



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR - IBARRA

**ESCUELA DE HÁBITAT, INGENIO Y CREATIVIDAD**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A

LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**ARQUITECTO**

TEMA: **ELABORACIÓN DE PANELES PREFABRICADOS A PARTIR DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR.**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

**PLANIFICACIÓN URBANO ARQUITECTÓNICA PARA TERRITORIOS EN DESARROLLO**

AUTORES:

**STEVEN DAVID DÍAZ MARTNEZ**

TUTOR:

**MGS. ARQ. CARLOS LOPEZ VEINTIMILLA**

**Ibarra, agosto 2025**

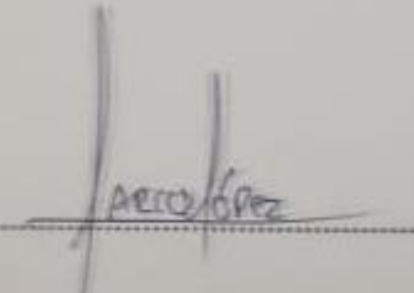
Ibarra, 20 de agosto de 2024.  
Certificación tutor

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular titulado: ELABORACIÓN DE PANELES PREFABRICADOS A PARTIR DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR, presentado por el estudiante STEVEN DAVID DIAZ MARTINEZ para obtener el Título de Arquitecto.

Certifico que el trabajo cumple con todos los parámetros establecidos, mediante el cual el estudiante demuestra el desarrollo de competencias en el campo de conocimiento de su profesión con un nivel de argumentación coherente, para ser sometido a la evaluación por parte de los lectores.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de originalidad de TURNITIN.

(f.)



Mgs. Arq. Carlos Alberto López Veintimilla

TUTOR DE TRABAJO

C.C.: 1002744751

DAVID DIAZ FINAL TESIS SIN CARATULAS.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	8%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJO DEL ESTUDIANTE

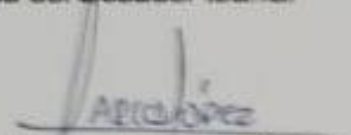
FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unbosque.edu.co Fuente de Internet	1%
4	dokumen.tips Fuente de Internet	<1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	<1%

Página de aprobación del tribunal

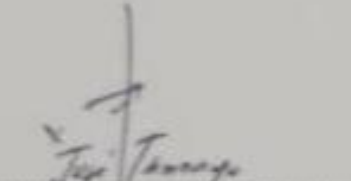
El tribunal examinador, aprueba el presente trabajo en nombre de la Pontificia Universidad

Católica del Ecuador Ibarra:

(f.)  \_\_\_\_\_

Mgs. Arq. Carlos Alberto López Veintimilla

C.C.: 1002744751

(f.)  \_\_\_\_\_

Mgs. Ing. Jorge Israel Peñafiel Alvarado

C.C.: 0604241877

(f.)  \_\_\_\_\_


Doc. Arq. Andrea Salome Jaramillo Benavides

C.C.: 1716799455

Acta de cesión de derechos

Yo, Steven David Díaz Martínez, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: "Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones a título gratuito y oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia".

Ibarra, agosto de 2025.

f)   
.....


Steven David Díaz Martínez

C.C.: 1004788772

## Autoría

Yo Steven David Díaz Martínez, portador de la cedula de ciudadanía N°1004788772, declaro que el presente trabajo de investigación es de total responsabilidad del autor y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

Ibarra agosto de 2025.

f)   
.....

Steven David Díaz Martínez

C.C.: 1004788772

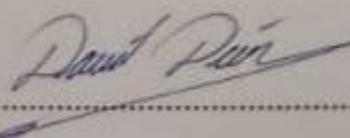
#### Declaración y autorización

Yo, Steven David Díaz Martínez con CC: 1004788772, autor del trabajo de grado intitulado: "ELABORACION DE PANELES PREFABRICADOS A PARTIR DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZUCAR", previo a la obtención del título profesional de Arquitecto, en la Escuela de Arquitectura.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través del Repositorio Digital de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Ibarra, 20 de agosto de 2024.

f) 

Steven David Díaz Martínez

C.C.: 1004788772

## Dedicatoria

Todo este esfuerzo está dedicado a las personas que me acompañaron desde el inicio, a quienes me dieron fuerzas para seguir y nunca rendirme. Sin su apoyo, este camino habría sido mucho más difícil.

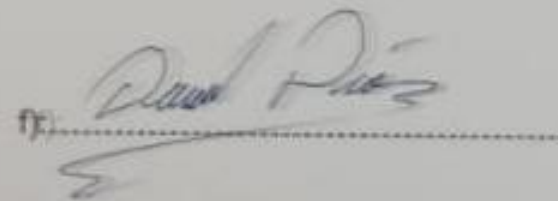
A mis padres, Armando Díaz y Elizabeth Martínez, que iniciaron todo lo posible por brindarme una educación y que siempre me alentaron a no rendirme. Solo ellos saben todo lo que hemos pasado para llegar hasta aquí. A mis hermanos, Darío y Shaydeli, porque esto también es para ellos, por ser mi mayor motivación.

A mis amigos, por su apoyo constante, por estar ahí cuando los necesité, y especialmente a Andrés Chuquín y Josué Villareal, quienes me tendieron la mano en los momentos más difíciles. Les agradezco profundamente.

A Gissela, quien fue una parte fundamental en este proceso y me brindó su apoyo incondicional a lo largo de todo este trayecto. Esto también es gracias a ella.

A mis abuelitos, tíos y primos, por sus palabras de aliento y por creer siempre en mí. Este logro también les pertenece.

Y a mi tutor, Carlos López Veintimilla, por su guía, compromiso y dedicación durante el desarrollo de este trabajo. Gracias por acompañarme en este proceso y por hacer posible la culminación de este proyecto.



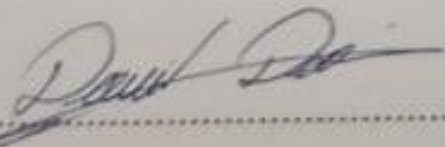
Steven David Díaz Martínez

C.C.: 1004788772

## Agradecimiento

Me agradezco por no rendirme, por el esfuerzo constante y por haber superado cada desafío que se presentó en este camino. Reconozco el valor de mi dedicación y celebro este logro que he alcanzado con compromiso y perseverancia. Esto es por mí y para mí.

Así mismo, quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Arquitecta Daniela Cadena Aguirre, quien, de manera externa, brindó un acompañamiento invaluable durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Su amplia experiencia en el estudio de biomateriales y su generosa disposición para compartir sus conocimientos desde las primeras fases del proyecto fueron fundamentales para orientar muchos de los avances alcanzados. Su apoyo técnico, sus sugerencias y su criterio profesional aportaron significativamente a la construcción de una propuesta sólida y con enfoque sostenible. Sin su guía y colaboración, este proyecto no habría tenido la misma profundidad ni claridad en su enfoque.

f).....

Steven David Díaz Martínez

C.C.: 1004788772

## Resumen

En el presente trabajo de titulación se propone el diseño y desarrollo de un panel prefabricado elaborado a partir de residuos de caña de azúcar recolectados en la provincia de Imbabura, Ecuador. El objetivo principal es presentar una alternativa constructiva utilizando materiales derivados de desechos agrícolas locales. Durante la investigación se elaboraron 21 muestras con diferentes dosificaciones. Tras un proceso de análisis y comparación, se seleccionó una de ellas como la más adecuada. A partir de esta muestra seleccionada, se fabricaron las probetas necesarias para realizar tres ensayos mecánicos: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y absorción de agua, con el fin de determinar su comportamiento y desempeño. Los resultados obtenidos permitieron validar su viabilidad técnica para la producción de elementos constructivos prefabricados no estructurales.

Los ensayos realizados evidenciaron que las probetas elaboradas a partir de la muestra seleccionada presentan un desempeño adecuado en resistencia a la compresión y a la flexión, alcanzando niveles compatibles con los requerimientos técnicos establecidos. Sin embargo, el ensayo de absorción de agua no cumplió con los parámetros esperados, lo que indica una limitación en cuanto a la resistencia del material frente a la humedad. A pesar de esta limitación, el estudio respalda la factibilidad de utilizar residuos de caña de azúcar como materia prima para el desarrollo de nuevos materiales prefabricados, ampliando las posibilidades en el diseño arquitectónico y constructivo con materiales alternativos.

## Abstract

This thesis proposes the design and development of a prefabricated panel made from sugarcane waste collected in the province of Imbabura, Ecuador. The main objective is to present a construction alternative using materials derived from local agricultural residues. During the research, 21 samples with different dosages were prepared. After a process of analysis and comparison, one was selected as the most suitable. From this selected sample, the specimens necessary to perform three mechanical tests—compression resistance, flexural resistance, and water absorption—were fabricated in order to determine its behavior and performance. The results obtained validated its technical feasibility for the production of non-structural prefabricated construction elements.

The tests showed that the specimens made from the selected sample performed adequately in compression and flexural resistance, reaching levels compatible with established technical requirements. However, the water absorption test did not meet the expected parameters, indicating a limitation in the material's resistance to moisture. This result suggests the need for further research to improve water absorption resistance or to apply additional treatments. Despite this limitation, the study supports the feasibility of using sugarcane waste as raw material for developing new prefabricated materials, expanding possibilities in architectural and construction design with alternative materials.

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	2	2.2. ENSAYOS.....	32
PROBLEMÁTICA.....	3	3. DIAGNÓSTICO - ELABORACIÓN DE MUESTRAS .....	39
ANTECEDENTES .....	4	3.1. DOSIFICACIÓN SELECCIONADA.....	43
UBICACIÓN .....	6	3.2. ELABORACIÓN DE PROBETAS.....	44
JUSTIFICACIÓN .....	7	4. PROPUESTA - RESULTADOS ENSAYOS.....	46
ALCANCE.....	7	4.1 ENSAYOS A FLEXIÓN.....	46
ESTRUCTURA.....	8	4.2. ENSAYOS A COMPRESIÓN.....	49
OBJETIVOS.....	8	4.3. ENSAYOS A FLEXIÓN ENSAYOS DE ABSORCIÓN .....	52
1. MARCO TEÓRICO.....	10	4.4. APLICACIONES .....	54
1.1. REFERENTES .....	12	4.5.. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	64
2. MARCO METODOLOGICO .....	17	CONCLUSIONES .....	64
2.1. PROCESO .....	18	RECOMENDACIONES .....	64
		4.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
		4.7. ANEXOS .....	70

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 .....	2
FIGURA 2 .....	2
FIGURA 3 .....	3
FIGURA 4 .....	5
FIGURA 5 .....	6
FIGURA 6 .....	10
FIGURA 7 .....	11
FIGURA 8 .....	13
FIGURA 9 .....	17
FIGURA 10 .....	18
FIGURA 11 .....	18
FIGURA 12 .....	19
FIGURA 13 .....	20
FIGURA 14 .....	21
FIGURA 15 .....	22
FIGURA 16 .....	23
FIGURA 17 .....	23
FIGURA 18 .....	24
FIGURA 19 .....	24
FIGURA 20 .....	24
FIGURA 21 .....	25

FIGURA 22 .....	25
FIGURA 23 .....	25
FIGURA 24 .....	25
FIGURA 25 .....	26
FIGURA 26 .....	26
FIGURA 27 .....	26
FIGURA 28 .....	27
FIGURA 29 .....	28
FIGURA 30 .....	28
FIGURA 31 .....	29
FIGURA 32 .....	30
FIGURA 33 .....	31
FIGURA 34 .....	32
FIGURA 35 .....	32
FIGURA 36 .....	32
FIGURA 37 .....	34
FIGURA 38 .....	34
FIGURA 39 .....	34
FIGURA 40 .....	34
FIGURA 41 .....	34
FIGURA 42 .....	39
FIGURA 43 .....	43

FIGURA 44 .....	43
FIGURA 45 .....	43
FIGURA 46 .....	44
FIGURA 47 .....	44
FIGURA 48 .....	46
FIGURA 49 .....	46
FIGURA 50 .....	49
FIGURA 51 .....	49
FIGURA 52 .....	50
FIGURA 53 .....	53
FIGURA 54 .....	54
FIGURA 55 .....	55

FIGURA 56 .....	56
FIGURA 57 .....	57
FIGURA 58 .....	57
FIGURA 59 .....	58
FIGURA 60 .....	59
FIGURA 61 .....	59
FIGURA 62 .....	60
FIGURA 63 .....	61
FIGURA 64 .....	62
FIGURA 65 .....	63

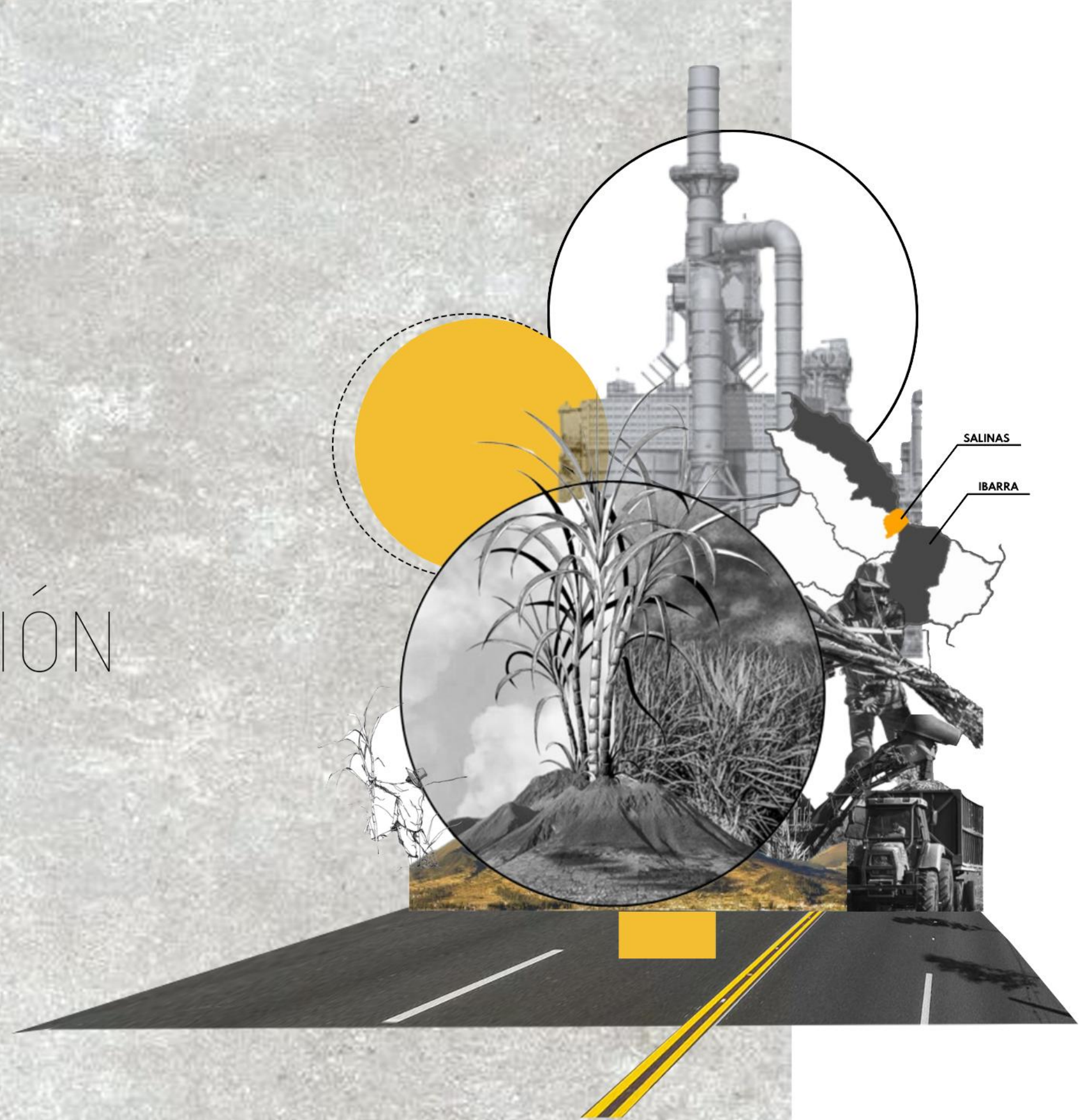
## INDICE DE TABLAS

TABLA 1.....	15
TABLA 2.....	16
TABLA 3.....	32
TABLA 4.....	41, 42, 43
TABLA 5.....	48
TABLA 6.....	51
TABLA 7.....	54

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.....	68
ANEXO 2.....	68
ANEXO 3.....	68
ANEXO 4.....	69
ANEXO 5.....	69
ANEXO 6.....	69
ANEXO 7.....	70
ANEXO 8.....	70

# INTRODUCCIÓN



## INTRODUCCIÓN

La búsqueda de soluciones sostenibles en el ámbito de la construcción ha llevado a la exploración de nuevas formas de reutilizar y dar un uso a los residuos agrícolas, como parte de materiales alternativos, en este contexto, el aprovechamiento de dichos residuos representa una oportunidad para reducir el impacto ambiental y fomentar la economía circular, esta investigación se enfoca en analizar el potencial de los residuos de caña de azúcar como un material alternativo y complementario para el desarrollo de paneles prefabricados sostenibles con la posibilidad de transformarlos en recursos útiles dentro de la construcción. Uno de los cultivos agrícolas que más residuos genera y que posee un alto potencial es la caña de azúcar. En distintos países, la caña de azúcar se posiciona como una materia prima de gran importancia. Según López (2006), "su cultivo tiene una alta relevancia debido a la amplia variedad de productos que pueden derivarse de ella, siendo fundamental tanto para la industria alimentaria como para otros sectores productivos. A partir de esta materia se pueden obtener azúcar orgánica, azúcar convencional, aguardientes, miel, entre otros productos, como se aprecia en la Figura 1.

Sin embargo, este mismo proceso productivo también genera una gran cantidad de residuos" (p. 7).

Figura 1

Productos elaborados de caña de azúcar



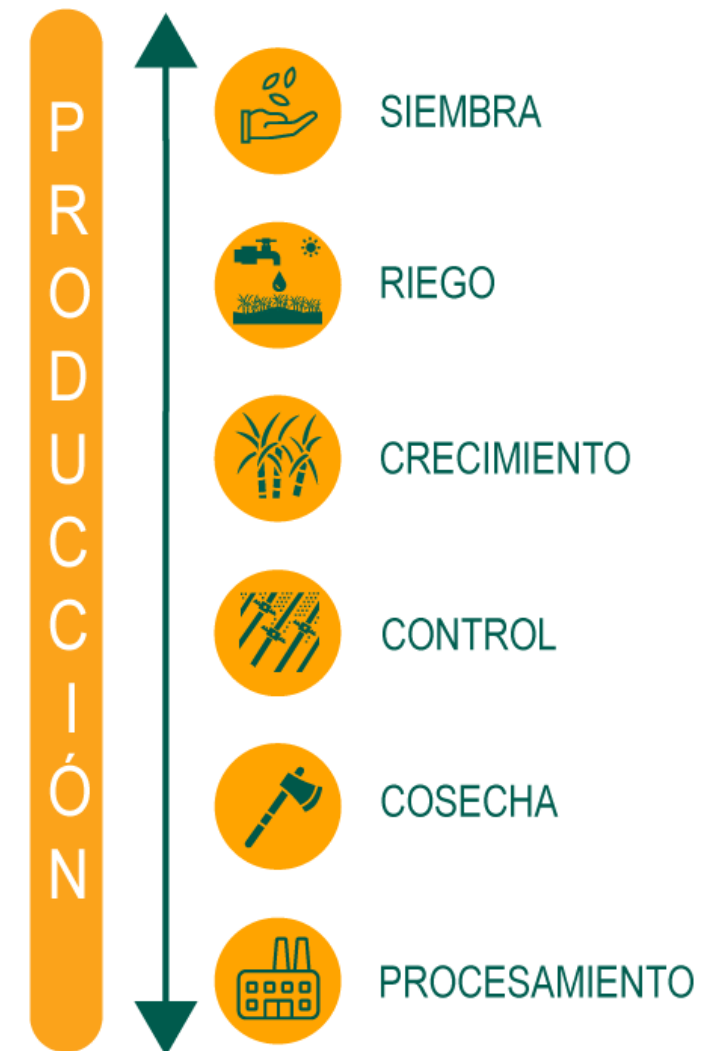
Nota: la figura representa los diferentes productos que se elaboran a partir de la materia prima que es la caña de azúcar.

A escala global, la industria cañera representa una de las actividades económicas que más residuos genera, los cuales, al no contar con un valor agregado, suelen considerarse desechos sin aprovechamiento. En muchos casos, estos residuos son eliminados mediante la incineración, luego de toda su etapa de proceso como se observa en la Figura 2, práctica que conlleva consecuencias

ambientales significativas debido a los distintos tipos de contaminación que produce.

Figura 2

Etapas de producción de caña de azúcar



En el contexto de la provincia de Imbabura, Mármol y Liviapoma (2014) indican que, con el tiempo, se han desarrollado diversas industrias vinculadas a la producción de caña de azúcar, las cuales generan un subproducto conocido como bagazo o residuo de caña. Este subproducto representa una materia prima con potencial para ser utilizada en la elaboración de múltiples productos. No obstante, en la actualidad, dicho recurso no se encuentra aprovechado de manera productiva, pese a que entre el 26% y el 40% del total procesado termina convertido en residuo, lo cual representa una oportunidad latente para su reutilización y valorización (p. 11).

El desaprovechamiento de este volumen de residuos implica no solo una pérdida de recursos, sino también un problema ambiental significativo. Urbano (2014) sostiene que uno de los métodos más comunes utilizados para facilitar la cosecha de caña consiste en la quema previa al corte. Esta práctica, que también se realiza posterior al uso del material, busca garantizar condiciones de seguridad al eliminar residuos y fauna que puedan representar un riesgo. Sin embargo, esta técnica tiene un alto impacto negativo, ya que contribuye al deterioro del suelo, la contaminación del aire,

la destrucción de la atmósfera y la pérdida de biodiversidad. Además, genera cenizas que se dispersan en zonas aledañas, afectando la salud de la población debido a las densas cortinas de humo que se producen (p. 83).

### PROBLEMÁTICA

En sus inicios, el cultivo de caña de azúcar se llevaba a cabo de una forma completamente orgánica, siendo un producto natural que aportaba nutrientes al suelo y embellecía el paisaje. Actualmente, estos beneficios han desaparecido debido a la evolución de los métodos de cultivo, y el proceso moderno de producción de caña tiene impactos negativos sobre el medio ambiente.

El mundo atraviesa una crisis ecológica. Como menciona Urbano (2014), desde hace muchos años se han generado daños provocados por la acción del ser humano y otros factores que, en el futuro, traerán consecuencias significativas. Entre estas se encuentran el aumento de la temperatura, las sequías, alteraciones climáticas, inundaciones, y la pérdida de fauna y flora. El monocultivo de caña y la quema de sus residuos contribuyen constantemente a la degradación del ambiente, afectando

especialmente al aire, al agua y al suelo. Además, la quema de caña genera una emisión descontrolada de gases como el dióxido de carbono y el metano, los cuales son conocidos por su efecto invernadero (p. 84).

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (2022) "señala que la caña de azúcar es un cultivo de gran importancia, ya que se encuentra entre los principales productos agrícolas del país y registra una producción elevada. Entre las provincias con mayor potencial productivo se destacan Guayas en primer lugar, seguida por Imbabura y Carchi, y posteriormente Loja y Cañar. Se estima que, entre 2021 y 2022, el país alcanzó una cosecha significativa de 6'460.032 toneladas de caña de azúcar" (p. 1).

Imbabura al ser uno de los principales productores de caña de azúcar, también se vuelve uno de los responsables de producir toneladas de residuos de caña de azúcar que se pueden reutilizar para elaborar materiales de construcción y así potenciar su uso y cuidar el medio ambiente. Por lo tanto, con el uso de los residuos de caña de azúcar puede contribuir a reducir que toda la cantidad de desechos terminen en vertederos de basura o sean quemados y así se puede disminuir las emisiones de gases, también con la

reutilización de estos desechos se puede fabricar alternativas de productos de construcción en los cuales estos desechos sean su materia prima principal.

Ayala (2022) afirma que los materiales de construcción que se fabrican a través del reciclaje son de mucha ayuda con el medioambiente y además crean alternativas sostenibles:

Los avances tecnológicos en los materiales de construcción benefician al ambiente porque propenden por alternativas sostenible. Por esta razón, es común encontrar, por ejemplo, cemento, bloques y metales que incorporan mejores propiedades mecánicas y a buen precio. (p. 1)

Gracias a la implementación de materia prima sostenible Ayala (2022) "menciona que una de las ventajas económicas que se obtienen al reutilizar o reintroducir los desechos de cualquier material o materia prima, en su mayoría de veces resulta más económico no por su precio, sino porque al adquirir estos residuos, su propietario o productor no tiene que pagar por deshacerse de ellos, por

ejemplo, los residuos de frutas, en su mayoría, son desechos, y solo un porcentaje muy bajo se utiliza para producir subproductos a partir de ellos, aprovechando sus fibras como material principal" (p. 14).

### ANTECEDENTES

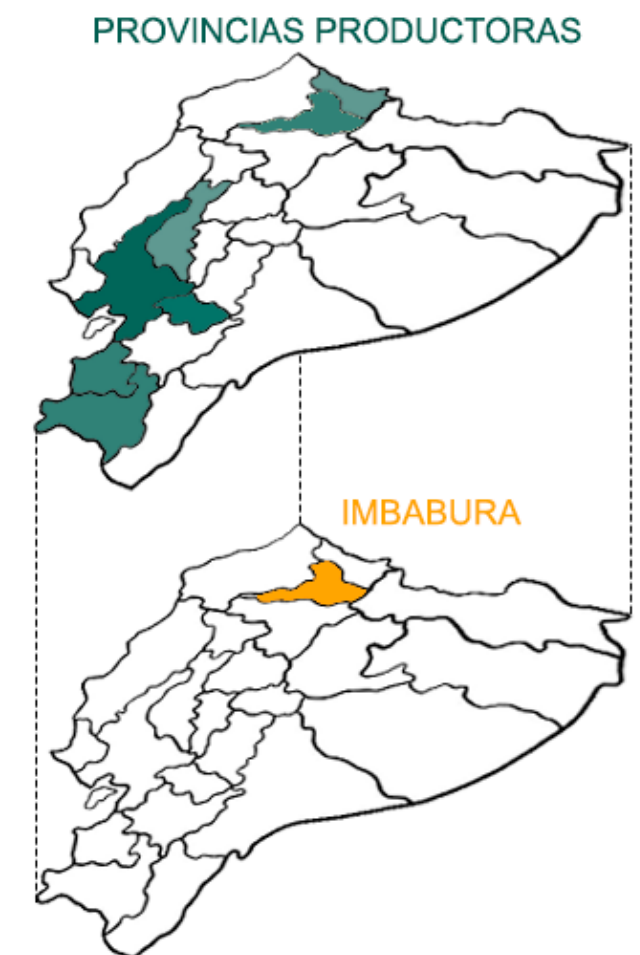
La caña de azúcar es un cultivo fundamental en la cultura productiva de Ecuador a nivel nacional, así menciona la Corporación Financiera Nacional B. P. (2022) que se calcula que anualmente se cosechan más de 80,000 hectáreas de esta planta para la producción de azúcar, concentrándose principalmente en las provincias de Guayas, Los Ríos, Cañar, Loja, Carchi e Imbabura como se indica en la Figura 3 (p. 6).

Imbabura, ubicada en el norte de Ecuador, es una provincia con una economía agrícola en la que la caña de azúcar desempeña un papel importante. Sus características geográficas, con suelos fértiles y un clima favorable, permiten el cultivo de caña, que se convierte en una fuente clave de ingresos para las comunidades rurales de la región. Este cultivo no solo genera empleo local, sino que también impulsa el desarrollo de productos derivados de la caña,

contribuyendo de manera significativa a la economía provincial.

Figura 3

Mapa de ubicación.



Nota: en la figura se indica de color verde las provincias productoras de caña de azúcar y en color amarillo se indica la provincia en la cual se lleva a cabo el trabajo de investigación.

Por tratarse de una zona productora de caña de azúcar, también se generan grandes cantidades de residuos que, al considerarse desechos como se puede ver en la Figura 4, estos desechos comúnmente son quemados. Esta práctica, aunque regulado en contextos comerciales, puede afectar gravemente la biodiversidad y el equilibrio ecológico. Según el Laboratorio Clínico Weyslab (2020) “durante la quema, muchas especies de animales como aves, roedores, entre otros, pueden quedar atrapadas sin lograr escapar a tiempo, sufriendo el impacto directo del fuego. Por esta razón, es fundamental establecer zonas de escape para minimizar el daño a la fauna y preservar el ecosistema” (p.1).

Frente a estos impactos negativos, una alternativa amigable en la provincia de Imbabura es reutilizar los residuos de caña de azúcar para la fabricación de productos de construcción, como paneles prefabricados. Este enfoque permitiría reducir la necesidad de incineración, lo que disminuiría las emisiones contaminantes y contribuiría a la protección ambiental. Asimismo, representaría una oportunidad económica para las comunidades agrícolas al transformar un desecho subutilizado en un recurso útil para la construcción.

Ayala (2022) “sostiene que los materiales de construcción elaborados mediante procesos de reciclaje aportan significativamente al cuidado del medio ambiente y ofrecen soluciones más amigables con el medio ambiente. Los avances tecnológicos han permitido desarrollar productos como cementos, bloques y metales reciclados con mejores propiedades mecánicas y costos accesibles, reforzando así la importancia de una producción más limpia y alineada con los principios de la economía circular” (p. 1).

Aprovechar los residuos de caña de azúcar como materia prima para la construcción representa una alternativa innovadora y necesaria frente a los desafíos ambientales actuales. En este contexto, la arquitectura tiene un papel clave al incorporar soluciones que respondan tanto a necesidades sociales como a la protección del entorno natural, pensando siempre en el bien estar del futuro en todos los aspectos posibles.

Figura 4

Representación de porcentaje de residuo y producto



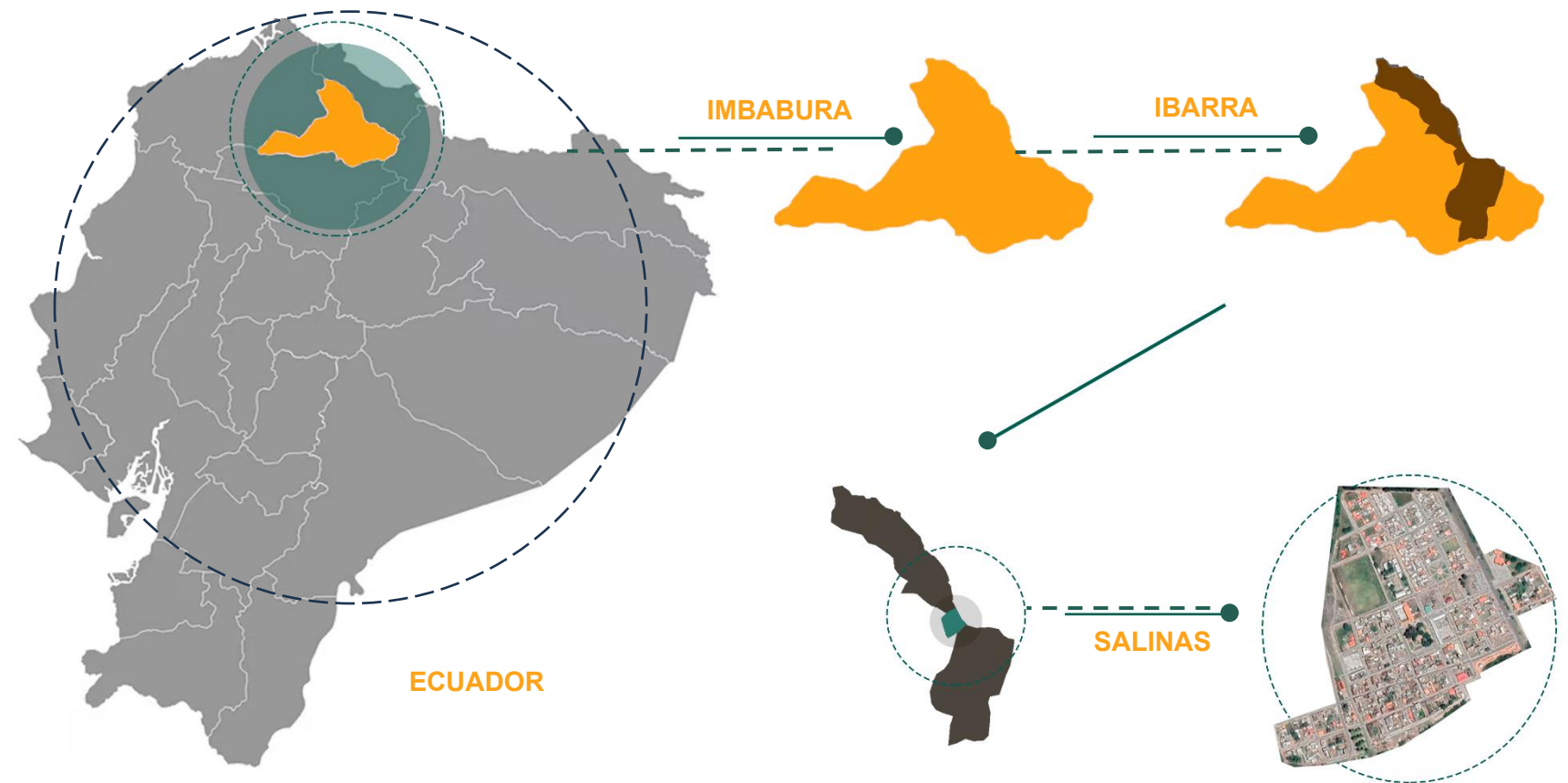
Nota: En la figura se representa de una manera gráfica la cantidad de residuos y producto que genera la cosecha de caña de azúcar.

## UBICACIÓN

El proyecto se llevará a cabo en la provincia de Imbabura ciudad de Ibarra, a una distancia aproximada de 30 km en dirección norte hacía en la Parroquia de Salinas, en la zona conocida como Los Cañaverales, como se puede observar en la figura 5. Se encuentra delimitado al norte por las parroquias de Juan Montalvo y Carolina, pertenecientes a los cantones de Mira e Ibarra, respectivamente. Al sur, limita con la cabecera cantonal de Urququí; al este, con las zonas limítrofes de las cabeceras cantonales de Ibarra y Mira; y al oeste, con las parroquias de Cahuasquí, Pablo Arenas y Tumbabiro, del cantón San Miguel de Urququí. Este sector se caracteriza por la presencia de cultivos de caña de azúcar, cuyos residuos son frecuentemente quemados, generando un impacto ambiental significativo. La ubicación geográfica de Salinas y su proximidad a la ciudad principal de Ibarra brindan un entorno adecuado para el aprovechamiento de los desechos locales que se generan en estas zonas. La principal fuente económica del sector de Salinas es la agricultura, este cultivo es fundamental para la economía local, ya que gran parte de la población se dedica a su producción y procesamiento.

Figura 5

Mapa exacto de la ubicación.



*Nota: Se indica de una manera más detallada la ubicación exacta, donde se enfoca este trabajo de investigación.*

## JUSTIFICACIÓN

Cuando se reutiliza cualquier materia prima se generan aspectos positivos, Ramos, Roque y Mendoza (2022) están de acuerdo que, al reutilizar los residuos generados por el sistema de producción de caña de azúcar, se puede contribuir a la disminución de toda la contaminación ambiental producida por la misma. Todo lo que se realiza en dichas áreas deben ir encaminados a reducir los impactos negativos buscando una solución la cual busque transformar los residuos con la ayuda de las innovaciones tecnológicas y prácticas agrícolas amigables que prioricen el bienestar de los ecosistemas y comunidades propias y aledañas de la zona, todas serán beneficiadas de una manera u otra (p. 1).

Es de suma importancia la reutilización y aprovechamiento de estos residuos ya que en la provincia de Imbabura su producción es a gran escala. Armijos (2024) "afirma que la empresa azucarera ubicada en Imbabura es una de las mayores productoras en el norte del país. Esta empresa de Imbabura es la única en el norte del país dedicada a esta actividad. Su producción se basa en materia prima proveniente de 3.960 hectáreas de cultivo de caña, de las cuales 933 hectáreas son de propiedad propia de los

ingenios azucareros y 2.027 son de proveedores externos.

En el año 2023, generó 740.900 sacos de azúcar de 50 kilogramos (tanto blanca como morena) bajo la marca Tababuela, además de 13.481.000 kilogramos de melaza" (p. 1).

Sin embargo, Ramírez (2008) "afirma que la producción de caña de azúcar deja un buen número de residuos, se confirma que por cada tonelada de azúcar se genera 254kg de residuos, los cuales pasan a ser desechos en su mayoría. Por esta misma razón se busca potenciar el uso de dichos residuos para generar productos los cuales disminuyan la contaminación ambiental a través de su reutilización y que a partir de dichos residuos se generen subproductos útiles generando una economía circular" (p. 8). Se debe buscar la manera de potenciar estos residuos de caña de azúcar, se aportaría de una manera positiva al medio ambiente reduciendo en un gran número la contaminación, creando productos a través del reciclaje de residuos que serían usados en la arquitectura y que generarían un cambio significativo tanto en la construcción como en la economía.

## ALCANCE

El alcance de este trabajo de titulación se centra en el desarrollo de paneles prefabricados a partir de residuos de caña de azúcar, con el objetivo de aprovechar este material de desecho como una alternativa útil en la construcción. No se busca comparar su rendimiento con otros materiales industriales, sino evaluar su comportamiento básico mediante procesos accesibles dentro del marco académico.

La investigación inicia con la recolección de residuos de caña de azúcar y su respectivo tratamiento, que incluye el lavado con agua, secado progresivo en horno, trituración de las fibras y tamizado para obtener fibras aptas para ser utilizadas. Posteriormente, se elaboraron distintas muestras con diferentes porcentajes de materiales, a fin de seleccionar una dosificación adecuada. Con base en esa mezcla, se prepararon probetas según normas técnicas que guían este tipo de procesos experimentales, en este caso nos guiamos en estudios realizados por la Universidad Andina del Cusco y por la Empresa Gyptec.

Una vez listas las probetas, se realizaron ensayos de compresión, flexión y absorción de agua, con el fin de conocer las propiedades del material. Finalmente, se desarrollaron renders y explicaciones visuales que muestran algunas de las posibles aplicaciones del material, principalmente como paneles interiores o cielos rasos. Este trabajo busca demostrar que un residuo agrícola puede tener un nuevo uso dentro del sector arquitectónico, reduciendo su impacto ambiental. Este proyecto busca aportar una solución práctica a la problemática ambiental que genera la quema de residuos de caña de azúcar en Imbabura, promoviendo un aprovechamiento más responsable de los recursos disponibles. Asimismo, se deja abierto el campo para futuras investigaciones que deseen profundizar o expandir esta propuesta, siguiendo la línea de lo que ya se ha trabajado.

## **ESTRUCTURA**

Por otro lado, la estructura del presente trabajo de titulación se organiza en cinco capítulos, cada uno enfocado en desarrollar de manera progresiva los aspectos teóricos, metodológicos y experimentales del estudio. El Capítulo I, correspondiente al Marco Teórico, reúne los fundamentos

conceptuales y técnicos relacionados con el aprovechamiento de residuos agrícolas, específicamente la caña de azúcar, así como referentes de investigaciones previas que han empleado estos residuos en la elaboración de materiales de construcción. El Capítulo II, denominado Marco Metodológico, expone con detalle los procesos llevados a cabo, incluyendo el tratamiento inicial de las fibras, la metodología de dosificación y los criterios técnicos que guían la elaboración del material. En el Capítulo III, correspondiente al Diagnóstico, se describe el desarrollo experimental, el cual abarca desde la preparación de las diferentes muestras hasta la selección de la mezcla final con base en su comportamiento físico. El Capítulo IV, referido a la Propuesta, presenta la fabricación de probetas, la aplicación de ensayos de flexión, compresión y absorción de agua, así como el análisis de resultados y la propuesta de posibles aplicaciones del panel elaborado. Finalmente, el Capítulo V incluye las Conclusiones y Recomendaciones, producto del análisis global del proyecto, dejando además el campo abierto para futuras investigaciones que deseen profundizar en esta línea de trabajo.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un panel prefabricado para uso en espacios interiores a través de la experimentación con fibras de residuos de caña de azúcar.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar diferentes muestras de paneles prefabricados con proporciones variables de fibras de caña de azúcar y materiales complementarios, para posteriormente seleccionar una de ellas como muestra final y aplicarle los ensayos correspondientes.
- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la muestra seleccionada, elaborada con fibras de residuos de caña de azúcar y materiales complementarios.
- Elaborar un manual donde se explique el proceso de elaboración, uso y aplicación de los paneles prefabricados.

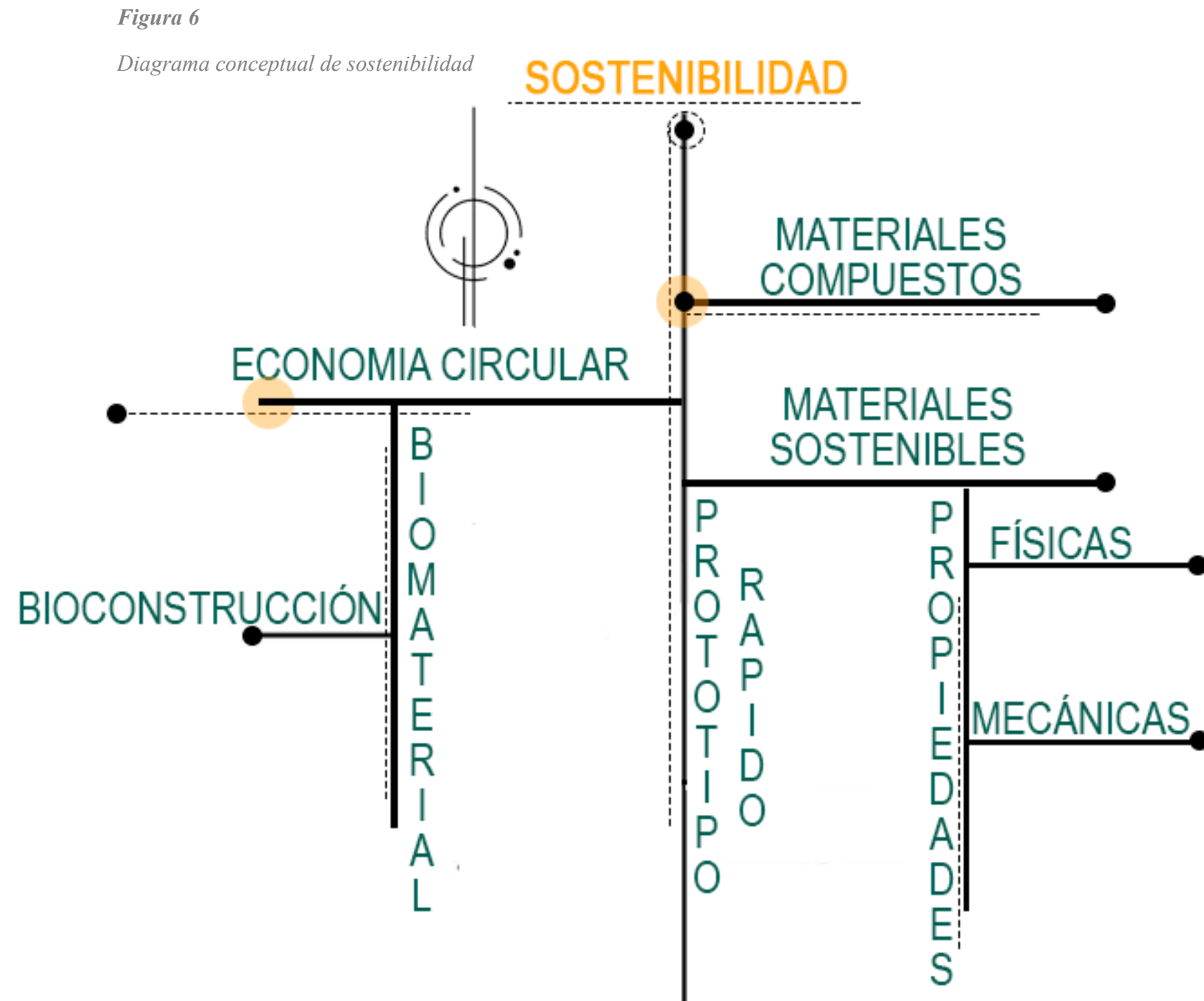


MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1

## 1. MARCO TEÓRICO

La sostenibilidad busca cuidar y proteger, así como menciona Riechmann (1995) se refiere al equilibrio entre las necesidades actuales y la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas, sin comprometer el entorno natural ni los recursos disponibles. En el ámbito de la construcción, este concepto adquiere una importancia crucial, ya que los edificios y las infraestructuras representan un alto consumo de energía, materiales y recursos, muchos de ellos no renovables. La teoría de la sostenibilidad en la construcción busca precisamente mitigar estos efectos negativos a través de prácticas que minimicen el impacto ambiental, como la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, la gestión eficiente de los recursos naturales y la adopción de materiales que puedan tener un ciclo de vida más largo y responsable, como se aprecia de una manera más resumida en la Figura 6. En este sentido, la innovación en materiales, como el uso de residuos orgánicos o reciclados (p.4).



*Nota: Diagrama conceptual de relaciones entre sostenibilidad, economía circular y materiales sostenibles, enfocado en el desarrollo de biomateriales para la bioconstrucción. Elaboración propia.*

Así mismo el tema de sostenibilidad en la arquitectura no se debe tomar a la ligera Edwards (2008) sostiene que la sostenibilidad es un concepto amplio que va más allá de reducir el calentamiento global con el uso eficiente de energía. También implica utilizar herramientas, como el análisis del ciclo de vida, para lograr un equilibrio entre lo que se invierte al principio y el valor que se obtiene a largo plazo. Pero no solo se trata de ahorrar energía, sino de crear espacios saludables, económicamente rentables y que respondan a las necesidades de la sociedad. Además, ser sostenible implica respetar los sistemas naturales y aprender de los procesos ecológicos. Dado que la construcción utiliza más del 50% de nuestros recursos, es importante equilibrar el uso de materiales y energía con los desechos que generamos. El objetivo es hacer que el ciclo sea cerrado, reutilizando y reciclando los residuos, aprovechándolos y regenerando los materiales que usamos y así dar paso a la economía circular (p.16).

Con el uso responsable de residuos orgánicos o reciclados en cualquier aspecto aporta la economía circular ya que se busca elaborar un producto a partir de algo que no tenía un uso específico en este caso considerado como un desecho

como menciona Enrique (2021) basado en la teoría de Walter Stahel, la economía circular se centra en extender la vida útil de los bienes y promover su reutilización como una estrategia clave para reducir la generación de residuos y aumentar la eficiencia en el uso de recursos. Esta práctica no solo reduce el consumo excesivo de materiales, sino que también fomenta la creación de empleo a nivel local al implementar procesos sostenibles en la industria. En lugar de desechar los productos al final de su ciclo de vida, se busca su reincorporación al sistema productivo, manteniendo su valor por más tiempo (p.1).

De esta manera surge la idea de fabricar un material sostenible a partir de un residuo. Cruz (2019) señala que los productos orgánicos, al llegar al final de su vida útil, se convierten en residuos. El impacto ambiental que generan depende en gran medida de su gestión: si son reutilizados, reciclados o simplemente desechados. En particular, los residuos orgánicos provenientes de la agricultura o biomasa tienen un gran potencial para ser reciclados y reutilizados, ya que pueden transformarse en compost, biogás o incorporarse en nuevos materiales de construcción.

Una adecuada gestión de estos residuos, junto con los convencionales, puede disminuir considerablemente sus efectos negativos sobre el medio ambiente, reduciendo la huella ecológica y promoviendo un enfoque más sostenible en la construcción. Como se muestra en la Figura 7, de la caña de azúcar se pueden obtener fibras (p. 9).

*Figura 7*

*Fibras de su estado natural después de ser procesadas.*



*Nota: la imagen indica el producto inicial que es la caña de azúcar y las fibras en su estado natural después de ser procesada, mismas que buscan implementarse en productos de construcción.*

En este contexto, los paneles prefabricados se presentan como una solución eficaz, como un material más amigable con el medio ambiente. Estos elementos, que sirven de cerramiento en diversas edificaciones como edificios comerciales, colegios, viviendas, cines y teatros, son elaborados cuidadosamente para cumplir con las funciones para las que fueron diseñados. Según Collado (2005), existen dos tipos de paneles prefabricados: los ligeros, que son fáciles de transportar y no requieren una estructura adicional, y los pesados, como los de hormigón, que, aunque son más complicados de manejar, se anclan directamente en el edificio, eliminando la necesidad de estructuras auxiliares. Integrar materiales sostenibles en estos paneles puede potenciar aún más su eficiencia y sostenibilidad, alineando el proceso constructivo con los principios de la economía circular.

El desarrollo de paneles prefabricados con residuos de caña de azúcar permite crear sistemas de construcción modulares, rápidos de ensamblar y que reducen el tiempo y el esfuerzo de trabajo. Al usar fibras vegetales como refuerzo, no solo se aprovechan recursos naturales de bajo costo, sino que también se evita que estos residuos, como

el bagazo, sean incinerados o desechados, lo que genera contaminación. En lugar de ser desperdiciados, pueden ser aprovechados en la construcción, contribuyendo a una mayor sostenibilidad y disminuyendo el impacto ambiental. De acuerdo con las propiedades de la caña de azúcar y sus residuos Hernández (2016) describe el bagazo como el residuo que queda de los tallos de la caña de azúcar una vez que se ha extraído el jugo, con aproximadamente un 50% de humedad y un contenido residual de sacarosa cercano al 4% en base seca. Este subproducto, junto con otros como la miel final y la cachaza, representa entre el 23% y el 27% del total de la caña de azúcar (11%-13% en base seca). En términos de su estructura, el bagazo es notable por su gran heterogeneidad morfológica. Está compuesto por dos partes principales: la fibra, que tiene una estructura cristalina y química estable, proporcionando rigidez a la planta; y el parénquima o meollo, que es amorfo y tiene un alto poder de absorción. En el contexto de la arquitectura, este material tiene un potencial considerable para ser utilizado en la creación de paneles sostenibles, aprovechando tanto su capacidad estructural como sus propiedades de absorción para desarrollar productos constructivos ecológicos y

funcionales (pp.31).

## 1.1. REFERENTES

### 1.1.1. PANELES PREFABRICADOS A BASE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CEMENTO

El estudio desarrollado por López y Valencia (2006) en la Universidad Industrial de Santander abordó la elaboración de paneles prefabricados utilizando como materiales principales el bagazo de caña de azúcar y el cemento Pórtland tipo I. El objetivo general fue evaluar experimentalmente el comportamiento de estos paneles, enfocándose en su aplicabilidad en viviendas de bajo costo. Entre los objetivos específicos se propusieron demostrar las cualidades constructivas de los aglomerados de bagazo y cemento, evaluar sus propiedades físico-mecánicas.

En cuanto a la metodología, se utilizó fibra de bagazo entre los tamices No. 4 y 40, con una relación en peso bagazo/cemento de 1/3.5, y silicato de sodio como agente mineralizante (10 % respecto al peso del bagazo), además de agua (0.6 % de la masa total) como se observa en la Tabla 1. La mezcla se compactó en moldes mediante golpes en capas para alcanzar una densidad de más de 1300 kg/m<sup>3</sup>.

El proceso de curado incluyó prensado por dos días y un humedecimiento constante durante 28 días.

Tabla 1

“ Dosificación empleada ”

MATERIAL	DOSIFICACIÓN		
	Relación	Cant.	Unidad
Bagazo de caña	-----	100	Gramos
Silicato de Sodio	10% con respecto al peso del bagazo	10	Gramos
Cemento	3.5 veces el peso del bagazo	350	Gramos
Agua de amasado	55% con respecto al cemento	195	Mililitros
Agua mineraliz.	Concentración del 29% de Silicato	34.5	Mililitros
Agua adicional	46% - % humedad con respecto al peso del bagazo	36	Mililitros
Agua bagazo	% humedad	10	Mililitros

Tomado de: López y Valencia

Para la fabricación de los paneles prefabricados se utilizaron platinas de hierro de 35 cm de largo, 23 cm de ancho y 5 mm de espesor, con el fin de evitar deformaciones causadas por los golpes durante la compactación. Estas platinas fueron esmaltadas en su parte interna para prevenir la oxidación y cualquier reacción con el cemento y el silicato de sodio que pudiera alterar sus propiedades. Los moldes de llenado, fabricados en madera, tenían dimensiones de 30 cm de largo, 18 cm de ancho y espesores de 2, 2.5 y 3 cm, según el tipo de panel a producir como se presenta en la Figura 8.

Figura 8

Moldes



Nota: Tomado de: López y Valencia

Los resultados demostraron que los paneles presentaban buenas propiedades físico-mecánicas, destacando por su bajo peso, facilidad de manipulación y compatibilidad con acabados como pintura o cerámica. Aunque algunos paneles presentaron imperfecciones por la compactación manual, se concluyó que son aptos para usos como cielo raso, divisiones interiores, y fachadas livianas. Además, mostraron un buen desempeño en cuanto a aislamiento acústico, resistencia al impacto y flexión, lo cual los posiciona como una alternativa viable y económica en la construcción de viviendas de bajo costo.

### 1.1.2. PANELES ECOLÓGICOS DE YESO CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Tinoco Padilla (2018) desarrolló una investigación con el objetivo de comprobar la aplicabilidad del bagazo de caña de azúcar como material alternativo en la fabricación de paneles ecológicos de yeso, en respuesta a la problemática ambiental causada por materiales de construcción tradicionales como los ladrillos. Entre los objetivos específicos se propusieron determinar la dosificación óptima entre yeso y bagazo, identificar beneficios del uso del residuo agrícola y evaluar el cumplimiento de las normas técnicas peruanas vigentes.

El estudio se dividió en dos etapas. La primera consistió en el tratamiento del bagazo mediante un proceso de mineralización con silicato de sodio para reducir su capacidad hidrofílica y aumentar su durabilidad. La segunda etapa fue la fabricación de los paneles, para lo cual se utilizaron moldes de diferentes dimensiones y una mezcla compuesta por yeso, bagazo tratado, agua y cola sintética. Se elaboraron 15 muestras que fueron ensayadas para evaluar su resistencia a la flexión, absorción de agua y densidad.

Los resultados mostraron que la muestra con una dosificación de 95 % de yeso y 5 % de bagazo (M1) fue la más eficiente, alcanzando una carga de rotura de 18 kg, absorción de agua del 4 % y una densidad de 0.553 g/cm<sup>3</sup>. Si bien los resultados de resistencia a la flexión no superaron lo requerido por la norma técnica peruana como se presenta en la Tabla 2, se concluyó que los paneles son una alternativa ecológica viable, con menor peso y costo frente al Drywall comercial, además de ser útiles como divisiones interiores en oficinas y viviendas. La investigación también enfatiza la importancia del tratamiento de las fibras para garantizar su desempeño mecánico y compatibilidad con el yeso.

Tabla 2

Muestras y sus diámetros

IMUESTRAS	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ESPESOR (cm)	CARGA POR ROTURA (Kg)	MÓDULO DE ROTURA O RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	NORMA TÉCNICA
M1A	15.40	53.40	1.51	18.5	24.8	NORMA TÉCNICA PERUANA 334.182.
M1B	15.40	53.40	1.51	17.5	23.4	
M2A	15.40	53.30	1.50	15.5	21.0	
M2A	15.30	53.30	1.50	16.0	21.8	
M3A	15.40	53.33	1.51	9.0	12.0	
M3A	15.40	53.33	1.51	9.5	12.7	

Tomado de: López y Valencia

### 1.1.3. COMPARACIÓN CON EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En comparación con los estudios de López y Valencia (2006), así como de Tinoco (2018), el presente trabajo de tesis también propone la elaboración de paneles prefabricados utilizando como componente principal el bagazo de caña de azúcar, con el objetivo de aprovechar un residuo agrícola abundante en la región y ofrecer una solución constructiva viable. No obstante, a diferencia de los trabajos analizados, el enfoque metodológico de este trabajo de titulación no utiliza cemento, únicamente yeso como aglomerante y cola natural a base de agua como aglutinante.

En relación con los objetivos, todos los estudios comparten el interés por comprobar la aplicabilidad del bagazo como material de construcción, pero tienen diferencias en la parte técnica, mientras que López y Valencia (2006) priorizan el uso del cemento como aglutinante para lograr alta resistencia, Tinoco Padilla (2018) al igual que el presente trabajo apuesta por un enfoque más ecológico mediante el uso de yeso. Sin embargo, este último autor combina el yeso con adhesivos y fibras tratadas, al igual que en esta investigación, donde también se aplica un proceso de

preparación y secado de las fibras para optimizar su integración en el compuesto.

Desde el punto de vista metodológico, los tres trabajos utilizan procesos similares: tratamiento del bagazo, mezcla controlada de materiales, moldes para compactación y ensayos mecánicos. En el caso del presente proyecto, se emplearon moldes metálicos, una prensa hidráulica para una mejor compactación, lo que permitió obtener resultados positivos en los ensayos de flexión y compresión. No obstante, se identificaron resultados negativos en absorción de agua, a diferencia del estudio de Tinoco (2018), cuya mejor muestra (M1) presentó un 4 % de absorción, cumpliendo parcialmente con la norma técnica peruana.

En cuanto a los usos propuestos, todos los trabajos coinciden en el potencial de los paneles para ser utilizados como muros divisorios, cielos rasos o elementos decorativos, destacando su versatilidad y facilidad de instalación. Además, los tres estudios abordan la necesidad de alternativas más amigables con el medio ambiente y económicas frente a materiales tradicionales como el

Drywall, entre otros sistemas de prototipado o instalación rápida.

En conclusión, este trabajo de titulación se alinea con la línea investigativa que explora el uso de residuos agroindustriales para la producción de materiales constructivos que incluyen materiales orgánicos. Aunque aún se requiere optimizar aspectos como la absorción de agua, los resultados obtenidos refuerzan la viabilidad del uso del bagazo de caña como una materia prima funcional y adaptable en sistemas prefabricados de construcción.



MARCO  
METODOLÓGICO

CAPÍTULO 2

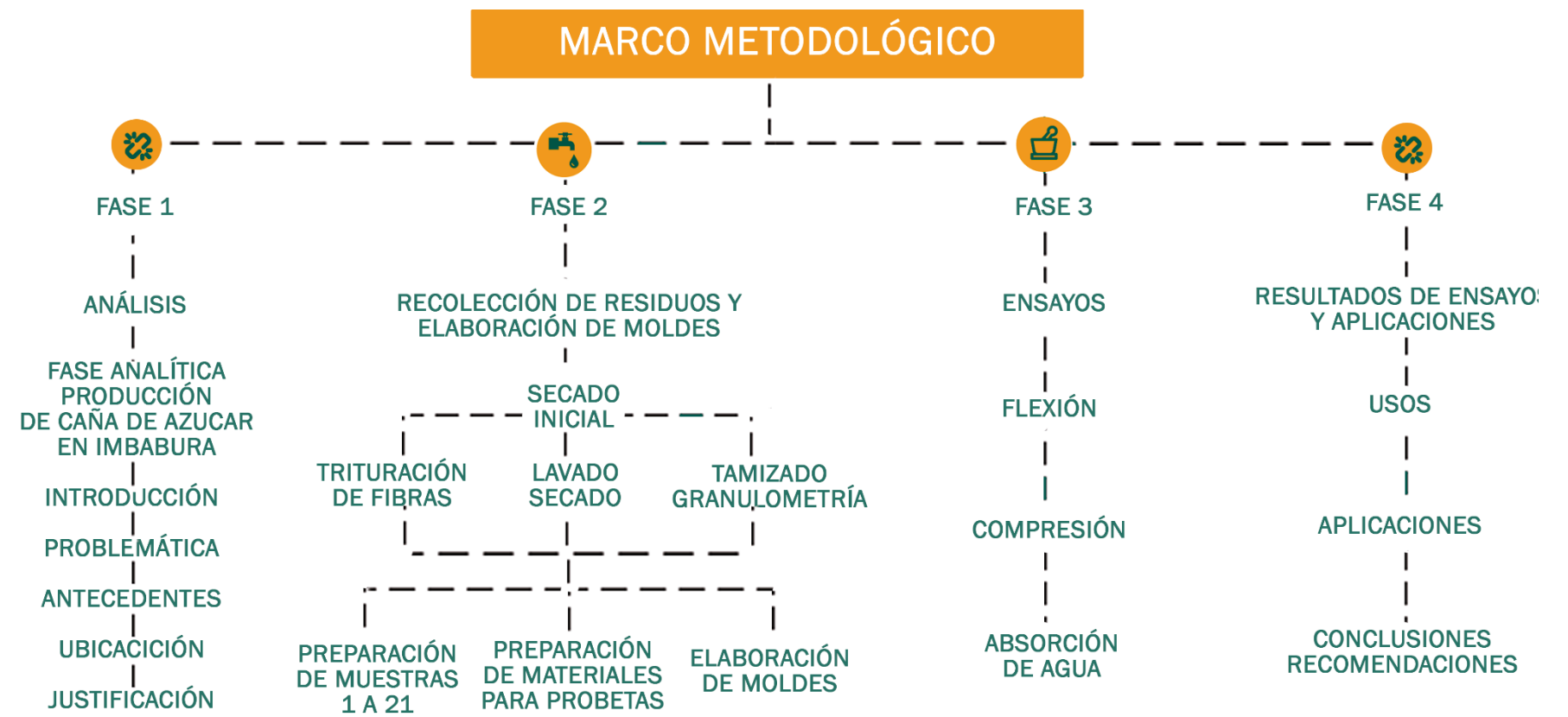
## 2. MARCO METODOLOGICO

El presente marco metodológico describe de forma secuencial las fases desarrolladas durante la investigación para la elaboración de paneles prefabricados a partir de residuos de caña de azúcar. La metodología se organiza en cuatro fases principales que abarcan desde el análisis contextual de la producción de caña en Imbabura y la extracción de fibras, hasta la preparación de materiales, ensayos técnicos y evaluación de resultados. Cada etapa se compone de actividades específicas que permiten asegurar la calidad del proceso experimental y obtener datos confiables sobre las propiedades físicas y mecánicas de los prototipos desarrollados.

En esta etapa se introdujo al estudio de caña en la provincia de Imbabura, destacando su importancia económica y cultural, así mismo se analizó el proceso del cultivos, cosecha y transformación de la caña, así como su impacto en las zonas locales y aledañas a Salinas.

Figura 9

Marco metodológico



Nota: La figura presentada indica el proceso resumido de todo lo que abarca en el tema de metodología

Figura 10

Procesos



## 2.1. PROCESO

### 2.1.1. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

La recolección de residuos consistió en la obtención del bagazo de caña de azúcar generado como desecho tras su procesamiento y consumo. En este proyecto, los residuos fueron recolectados en un punto de venta ubicado en el sector El Ejido, en la ciudad de Ibarra, donde se comercializa caña y jugo de caña. Este lugar genera una cantidad considerable de desechos orgánicos, especialmente bagazo, debido a su actividad diaria, como se aprecia en la Figura 11.

Considerando la escala reducida del proyecto, este punto de recolección resulta adecuado para abastecer la cantidad de material necesaria durante las fases de experimentación.

Figura 11

Recolección de residuos de caña de azúcar



#### Secado inicial

El secado inicial de los residuos de caña de azúcar es una etapa fundamental dentro del proceso, ya que influye directamente en la eficiencia de las fases

posteriores, especialmente en la trituración. Las fibras deben estar completamente secas para facilitar su fragmentación, ya que, al perder la humedad, las fibras se vuelven más quebradizas y se trituran con mayor facilidad. Cuando el material se encuentra húmedo, tiende a ser más flexible y resistente al corte, lo que dificulta su procesamiento mecánico. En estos casos, las fibras húmedas suelen enredarse en las aspas o cuchillas de las máquinas trituradoras, generando obstrucciones, pérdidas de tiempo y posibles daños al equipo. Por tanto, asegurar un secado adecuado no solo mejora el rendimiento del proceso, sino que también optimiza el funcionamiento del equipo y reduce el desgaste mecánico.

Para lograr este secado, se emplearán dos métodos: el secado natural al sol y el secado artificial en horno. El secado natural se llevará a cabo al exponer las fibras al sol, un método económico y accesible. Sin embargo, en algunos casos, se recurrirá al secado artificial utilizando hornos, especialmente cuando se requiera un control más preciso de la temperatura y tiempo, indicadas en la Figura 12. El secado al sol dependerá de las condiciones climáticas, mientras que el secado en horno permitirá una mayor uniformidad y velocidad en el proceso. El tiempo de exposición al sol puede variar dependiendo de la cantidad de humedad presente en las fibras. En el caso del secado en horno, se podrá ajustar la temperatura según las necesidades específicas de cada muestra. Ambos métodos son complementarios y se adaptarán según las condiciones de cada fase de la experimentación.

*Figura 12*  
*Tipos de secado*



### Trituración de fibras

En esta etapa se llevó a cabo la fase de trituración de las fibras de caña de azúcar, un proceso fundamental para reducir su tamaño y facilitar su manipulación en las siguientes fases. Una vez que las fibras están completamente secas, se procedió a triturarlas utilizando dos tipos de equipos: una licuadora casera y una trituradora industrial, como se indica en la Figura 13. La licuadora casera permitió realizar una trituración básica, adecuada para pequeñas cantidades de material. Sin embargo, presenta limitaciones cuando las fibras son largas o muy resistentes, y su baja velocidad de rotación impide que las fibras se pulvericen de forma efectiva. En contraste, la trituradora industrial ofrece un rendimiento mucho más eficiente, ya que tritura y pulveriza los residuos con mayor uniformidad gracias a su funcionamiento a altas revoluciones (aproximadamente 1000 rpm). La elección del equipo dependerá del volumen de fibras a procesar y del grado de finura requerido para las siguientes etapas del proyecto

Figura 13

Tipos de trituración



### Lavado de fibras

En esta etapa, se realizó el lavado de las fibras trituradas para eliminar impurezas como tierra o residuos orgánicos. Las fibras se colocaron en una funda de tela que evitó que se escapen durante el proceso y luego se sumergen en agua. Finalmente, se utilizó una lavadora casera con centrifugado para eliminar el agua de manera eficiente. Este proceso aseguró que las fibras queden lo suficientemente limpias para el siguiente paso. Al ser realizado de manera casera, fué controlado y adaptado a las necesidades del proyecto, utilizando equipos simples pero efectivos.

### Secado secundario

En esta etapa, las fibras secadas pasaron por un secado secundario en un horno eléctrico, modelo HOT AIR OVEN, se aprecia en la Figura 14, que proporcionó un control preciso de la temperatura.

Este proceso es esencial para evitar que las fibras finas se quemen, garantizando un secado uniforme y evitando daños por calor excesivo. Gracias al control de temperatura del horno, las fibras se secan de manera más consistente y eficiente. Luego, pasamos a la fase de tamizado, donde las fibras se separan por su granulometría, es decir, por tamaños, para asegurar que solo las fibras de la calidad y tamaño adecuados sean utilizadas en las siguientes etapas del proceso.

*Figura 14*

*Horno eléctrico*



### Tamizado

La extracción de fibras es el proceso mediante el cual se separaron las fibras de caña de azúcar a través de trituración, obteniendo fibras puras, flexibles y de tamaños variados, las cuales están listas para integrarse con otros materiales. En esta etapa, se llevó a cabo la separación de fibras por granulometría, utilizando tamices de diferentes tamaños para controlar la textura y resistencia del panel, ya que cada tamaño de fibra influye en las propiedades del producto final. Por esta razón, es crucial contar con una mezcla exacta de tamaños.

### Proceso de tamizado

Las fibras secas se colocaron en un recipiente para mezclarlas uniformemente y prepararlas para pasar por los distintos tamices.

- Tamiz #4 (4.75mm)
- Tamiz #8 (2.36mm)
- Tamiz #16 (1.18mm)
- Tamiz #30 (0.6mm)
- Tamiz base

#### Tamiz #4 (4.75mm)

El material inicial se colocó en el tamiz #4, que tiene las aberturas más grandes del conjunto. Las fibras más gruesas se retienen en este tamiz y se separan para su uso posterior, mientras que las fibras que pasan continúan hacia el siguiente tamiz.

#### Tamiz #8 (2.36mm)

Las fibras que pasaron por el tamiz #4 se procesan en el tamiz #8, que retiene partículas de tamaño intermedio. Las fibras que permanecen en este nivel se siguen separando, mientras que las fibras más finas pasan al siguiente tamizado.

#### Tamiz #16 (1.18mm)

Las fibras que pasaron por el tamiz #8 se colocan en el tamiz #16, que retiene fibras más pequeñas. Las partículas que logran pasar se trasladan al siguiente nivel para una mayor clasificación.

#### Tamiz #30 (0.6mm)

El material que pasa por el tamiz #16 se coloca en el tamiz #30, donde se retienen las fibras más finas. Este tamiz asegura que las partículas que pasan sean las más pequeñas del conjunto.

#### Tamiz base (0.00mm)

Finalmente, las fibras que logran atravesar el tamiz #30 llegan al tamiz base, donde se recogen las partículas más finas, obteniendo fibras extremadamente pequeñas. Estas fibras se utilizan en aplicaciones que requieren alta precisión y uniformidad.

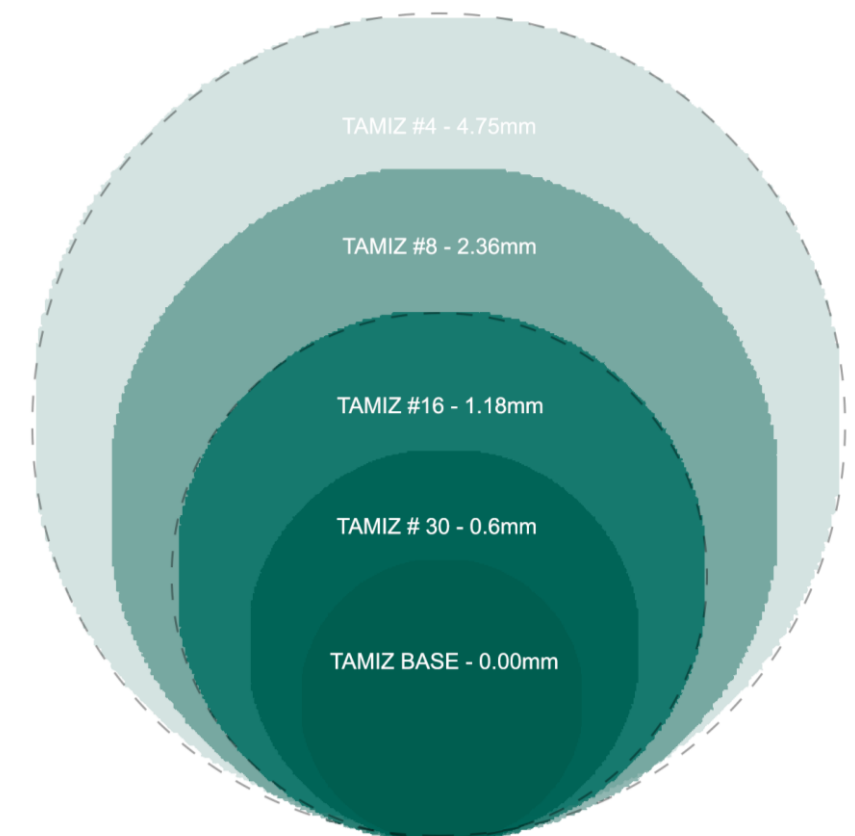
#### Conclusión

El proceso de preparación de las fibras de caña de azúcar comprende una serie de etapas fundamentales que permiten su adecuado aprovechamiento. Desde la recolección y el secado inicial, pasando por la trituración, el lavado, el secado secundario y el tamizado, cada fase está diseñada para optimizar las condiciones físicas de las fibras y garantizar su correcta clasificación por tamaño. Estas

acciones permiten disponer de un material con propiedades controladas, listo para futuras aplicaciones dentro del desarrollo del panel prefabricado. " figura 21 y 22 "

*Figura 15*

*Tamaños de tamices*



### 2.1.2. PREPARACIÓN DE MUESTRAS 1 a 21

Para el desarrollo experimental de este estudio, se elaboraron un total de **21 muestras**, divididas en tres grupos de trabajo según los métodos y herramientas empleadas para su fabricación. Todas las muestras fueron realizadas con una mezcla de fibras de caña de azúcar, yeso, aglutinante y agua, variando únicamente las condiciones de procesamiento y el tipo de equipo utilizado en cada fase, con el fin de evaluar su influencia en las propiedades de los paneles.

#### Muestras #1, #2, #3 y #4

Estas primeras muestras fueron fabricadas utilizando una licuadora de uso doméstico para triturar las fibras y un molde artesanal elaborado en madera trípex, seleccionado por ser un material económico, fácil de manipular y con suficiente resistencia para soportar la mezcla como se observa en la Figura 16. La preparación de la mezcla se realizó de forma manual, asegurando una distribución homogénea de las fibras dentro del yeso. Para la compactación, se aplicó presión manual utilizando una tabla, con el objetivo de simular el funcionamiento de una prensa y garantizar una

adecuada unión de los materiales.

Este proceso permitió obtener paneles experimentales con buena compactación y resistencia inicial, además de un acabado uniforme.

*Figura 16*

*Molde inicial en material trípex*



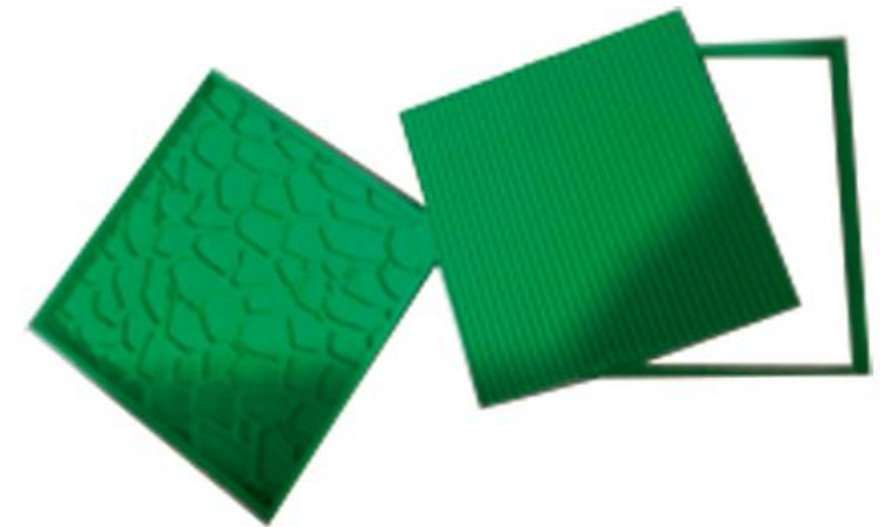
*Nota: La figura indica la mezcla de los materiales y seguido la mezcla compactada en el molde.*

#### Muestras #5, #6, #7, #8 y #9

En este segundo grupo de muestras, se incorporaron mejoras en el diseño de los moldes, fabricados mediante impresión 3D como se indica en la Figura 17. Este nuevo molde permitió un trabajo más preciso y repetible en cuanto a forma y dimensiones.

*Figura 17*

*Molde con textura en material 3D*



*Nota: La figura muestra los moldes fabricados con impresión 3D, utilizados para probar nuevas formas, texturas y acabados. Esta herramienta permitió explorar distintas opciones de diseño que aporten variedad estética y funcional a los paneles.*

Durante esta etapa, se emplearon dos equipos para la trituración de las fibras de caña de azúcar: una licuadora doméstica, como herramienta inicial, y un molino manual como apoyo, mirar Figura 18, específicamente para procesar las fibras que no se trituraban completamente con la licuadora. La mezcla continuó realizándose de forma manual y la compactación también fue hecha mediante presión manual con una tabla de madera, replicando el método empleado en la primera etapa.

*Figura 18*  
*Molino casero*



*Nota: Molino casero, se utilizó para triturar fibras que en la licuadora no se trituraron.*

#### Muestras #10 a #21

En la tercera fase, se optimizó aún más el proceso de fabricación, utilizando un molde metálico proporcionado por la universidad, mirar Figura 19.

*Figura 19*  
*Moldes metálicos*



*Nota: Moldes de acero, proporcionados por la universidad, ayudan a la compactación más exacta..*

Este molde ofrecía mayor precisión dimensional y mejor control durante el vaciado de las mezclas. Para el procesamiento de las fibras, se reemplazaron los métodos manuales por el uso de una trituradora profesional

marca RETSCH GM 200 presentada en la Figura 20 lo que permitió obtener una molienda más uniforme y eficiente.

*Figura 20*  
*Trituradora industrial*



*Nota: Trituradora industrial, trabaja a 1000rpm, lo cual ayuda que la trituración sea muy eficiente.*

La mezcla continuó preparándose manualmente para asegurar una buena homogeneidad. Sin embargo, la compactación fue realizada con una prensa hidráulica, lo que permitió ejercer una presión controlada, asegurando una compactación más firme, precisa y replicable. Este método mejoró significativamente la estructura de los paneles en términos de uniformidad y resistencia

### 2.1.3. PREPARACIÓN DE MATERIALES PARA PROBETAS

#### Recolección de residuos.

En esta etapa se realizó el tratamiento de residuos de caña de azúcar, los cuales pasaron por diversos procesos para convertirlos en fibras secas y aptas para su posterior uso. Debido a la escala del proyecto, los residuos fueron obtenidos de un punto de venta de caña de azúcar ubicado en el sector El Ejido, en la ciudad de Ibarra. En su estado inicial, estos materiales presentan un alto porcentaje de humedad, por lo que fue necesario aplicar un proceso de secado controlado, mirar Figura 21, para eliminarla humedad y facilitar su trituración.

Figura 21

Residuos de caña secándose



#### Secado inicial

El secado se realizó en horno bajo un régimen progresivo de temperatura durante un total de 12 días. " figura 22, 23 y 24"

- **Días 1 a 4:** Secado a 60°C para una eliminación inicial de humedad sin afectar la estructura de la fibra.

Figura 22

Horno a 60 grados



- **Días 5 a 9:** Aumento de la temperatura a 100°C para continuar con la reducción de la humedad interna.

Figura 23

Horno a 100 grados



- **Días 10 a 12:** Etapa final a 130°C para garantizar la estabilidad de la fibra y eliminar cualquier residuo de agua retenida.

Figura 24

Horno a 130 grados



Este procedimiento permitió obtener una fibra seca con características uniformes, lo que facilitó su trituración al reducir la resistencia del material. La ausencia de humedad en la fibra optimizó el proceso mecánico, permitiendo una fragmentación más eficiente y controlada. Esto garantizó la obtención de partículas con tamaños más homogéneos, preparándolas adecuadamente para las siguientes etapas de procesamiento en la fabricación de los paneles prefabricados.

### Trituración de residuos

Una vez seco, el material fue sometido a un proceso de trituración para reducir el tamaño de las fibras y facilitar su uso en los paneles prefabricados. Para esta etapa se utilizó un trituradora Retsch GM 200 como se indica en la Figura 25, el cual permite desintegrar los residuos en partículas más pequeñas bajo un control preciso de velocidad y tiempo. Este equipo cuenta con un sistema de cuchillas de alta eficiencia que garantiza una trituración homogénea. Además, su capacidad de ajuste en la velocidad de rotación permite obtener granulometrías específicas según los requerimientos del estudio.

Figura 25

Trituradora Retsch Gm 200



Dado que este equipo presenta limitaciones en la carga de material, la trituración se llevó a cabo en porciones de **10 a 15 gramos** por ciclo, evitando atascos o fallos en el sistema. Los parámetros establecidos fueron los siguientes:

- **Velocidad de operación:** 1000 revoluciones por minuto (rpm), mirar Figura 26.
- **Tiempo por ciclo:** Entre 30 y 45 segundos.
- **Capacidad máxima de procesamiento diario:** Entre 300 y 400 gramos de fibra triturada.

Figura 26

Tiempo y revoluciones



- **Ciclo de operación:** Para evitar el sobrecalentamiento de la máquina, se trabajó en intervalos de **20 minutos de operación** con descansos de **10 a 15 minutos** antes de continuar el proceso.

El objetivo de la trituración fue obtener una fibra de tamaño controlado, como se aprecia en la Figura 27, la cual debía cumplir con un criterio de granulometría específica. Para verificar el tamaño de las partículas obtenidas, se implementó un proceso de tamizado que se describe a continuación.

Figura 27

Fibras trituradas



### Lavado de fibras

Una vez que el material fue triturado, se procedió al lavado con el fin de eliminar cualquier residuo de impurezas, polvo o materia orgánica que pudiera comprometer su calidad y estabilidad a largo plazo. Este procedimiento se realizó exclusivamente con agua natural, sin el uso de productos químicos, como se indica en la Figura 28.

#### Pasos del lavado:

- Remoción de impurezas visibles mediante un lavado manual con abundante agua corriente. Para evitar la pérdida de material durante este proceso, las fibras fueron colocadas dentro de una funda de tela que impide su dispersión.
- Luego de este lavado, las fibras húmedas fueron introducidas en una lavadora de uso doméstico, donde se aplicó un proceso de centrifugado para extraer la mayor cantidad de agua posible antes de continuar con el siguiente procedimiento, la etapa de secado secundario.

### Secado secundario

Luego del proceso de lavado y centrifugado, las fibras aún conservaban humedad que debía ser eliminada para garantizar su correcta manipulación y tamizado posterior, además de asegurar su estabilidad antes de continuar con el siguiente procedimiento.

Para ello, las fibras fueron sometidas a un proceso de secado controlado en horno. Este secado se realizó durante un período de 3 días a una temperatura constante de 60°C. Esta temperatura fue seleccionada específicamente para permitir la evaporación progresiva de la humedad sin dañar las fibras o afectar su calidad.

Este proceso garantizó que las fibras alcanzaran un nivel de humedad mínimo, adecuado para su manipulación y tamizado en las siguientes etapas.

*Figura 28*

*Lavado de fibras*



## Tamizado

Para garantizar la uniformidad en la granulometría del material, la fibra triturada fue sometida a un proceso de tamizado en el que se utilizaron diferentes tipos de tamices, cada uno con una malla de diferente tamaño, permitiendo la separación y clasificación de las fibras según su grosor y tamaño como se indica en la Figura 29 y Figura 30. Este proceso asegura que solo las partículas de la medida deseada sean utilizadas en la elaboración de los paneles.

Figura 29

Tamices para separación por granulometría



Figura 30

Fibras finales

- **Tamiz base:** Retiene las fibras más finas, que serán utilizadas en la muestra seleccionada.



- **Tamiz N° 30:** Permite el paso de fibras de hasta 0.06 m de longitud, asegurando que el material cumpla con los parámetros requeridos para su aplicación en los paneles prefabricados.



- **Tamiz N° 16:** Retiene las fibras de mayor tamaño, consideradas no aptas para la muestra en su estado inicial.



Las fibras retenidas por el tamiz N° 16 fueron sometidas a un segundo proceso de trituración para reducir su tamaño y lograr que pasen a través de los tamices base y N° 30. Este procedimiento permitió recuperar una mayor cantidad de fibra útil para su incorporación en los paneles prefabricados.

## Conclusión

El desarrollo de este proceso permitió transformar los residuos de caña de azúcar en un material limpio y uniforme, adecuado para su correcta manipulación y almacenamiento. Durante el tamizado, únicamente se consideraron aptas las fibras que lograron pasar a través del tamiz N°30 y el tamiz base, ya que estas son las que cumplen con las características específicas que requiere la muestra seleccionada. Este tratamiento riguroso dejó las fibras en condiciones óptimas para iniciar la elaboración de las probetas que serán sometidas a ensayos correspondientes.

La Figura 31 presentada a continuación explica manera clara el recorrido completo de los residuos hasta convertirse en fibras listas para ser utilizadas, marcando con ello el cierre de esta fase de procesamiento y el inicio de la siguiente etapa experimental.

Figura 31

Procesos para obtener fibras

**Recolección de residuos:** Se obtuvieron residuos de caña de azúcar de un punto de venta en el sector El Ejido de Ibarra.

**Secado inicial:** Los residuos se secaron 3 días en horno a 60°C para reducir su humedad.

**Trituración de residuos:** Las fibras secas fueron trituradas en molino para reducir su tamaño de forma controlada.



**Lavado de fibras:** Las fibras trituradas se lavaron manualmente y fueron centrifugadas en lavadora doméstica para eliminar el exceso de agua.

**Secado secundario:** Las fibras lavadas se secaron nuevamente en horno durante 3 días a 60°C.

**Tamizado:** Las fibras fueron tamizadas y se seleccionaron solo las que pasaron por el tamiz N°30 y base.

### 2.1.4. FABRICACIÓN DE MOLDES

#### Fabricación de molde para probetas (flexión)

Para garantizar la precisión y reproducibilidad de los ensayos mecánicos, se fabricó un molde metálico siguiendo normativas técnicas establecidas para materiales de construcción. Este molde fue diseñado específicamente para la elaboración de probetas de flexión, asegurando que cada muestra cumpla con las dimensiones estandarizadas y permita obtener resultados confiables durante los ensayos de resistencia. Probeta final: 40 mm × 40 mm × 160 mm. Estas medidas se ajustan a los estándares usados para evaluar el comportamiento del material frente a esfuerzos de flexión.

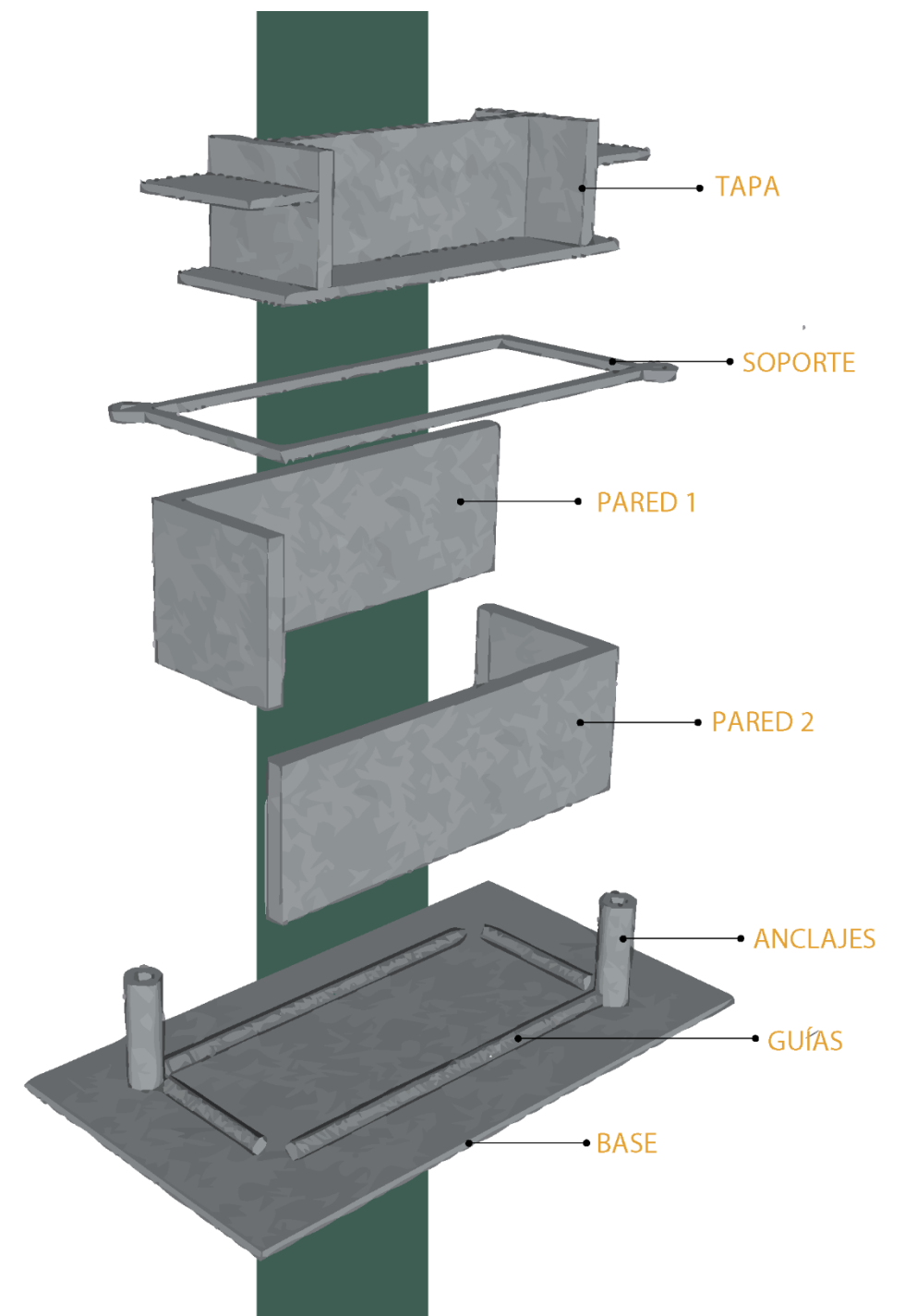
El molde es completamente desmontable y está compuesto por los siguientes elementos que se indican en la Tabla 3 y en la Figura 32.

Tabla 3 " Piezas de molde "

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
<b>Tapa</b>	Tapa metálica que se coloca sobre la mezcla para aplicar presión uniforme durante el prensado hidráulico.
<b>Soporte</b>	Estructura metálica superior que mantiene la rigidez del molde y evita el movimiento de las paredes laterales al aplicar presión.
<b>Paredes</b>	Piezas verticales que definen los lados mayores del molde. Son desmontables para facilitar el desmoldeo.
<b>Anclajes</b>	Barras verticales metálicas que estabilizan las paredes durante el armado del molde.
<b>Guías</b>	Elementos lineales soldados a la base que aseguran la correcta alineación de las paredes.
<b>Base</b>	Plataforma inferior que sirve de soporte principal. Cuenta con guías para encajar las paredes laterales y anclajes para asegurar su fijación.

Figura 32

Molde para probetas de flexión

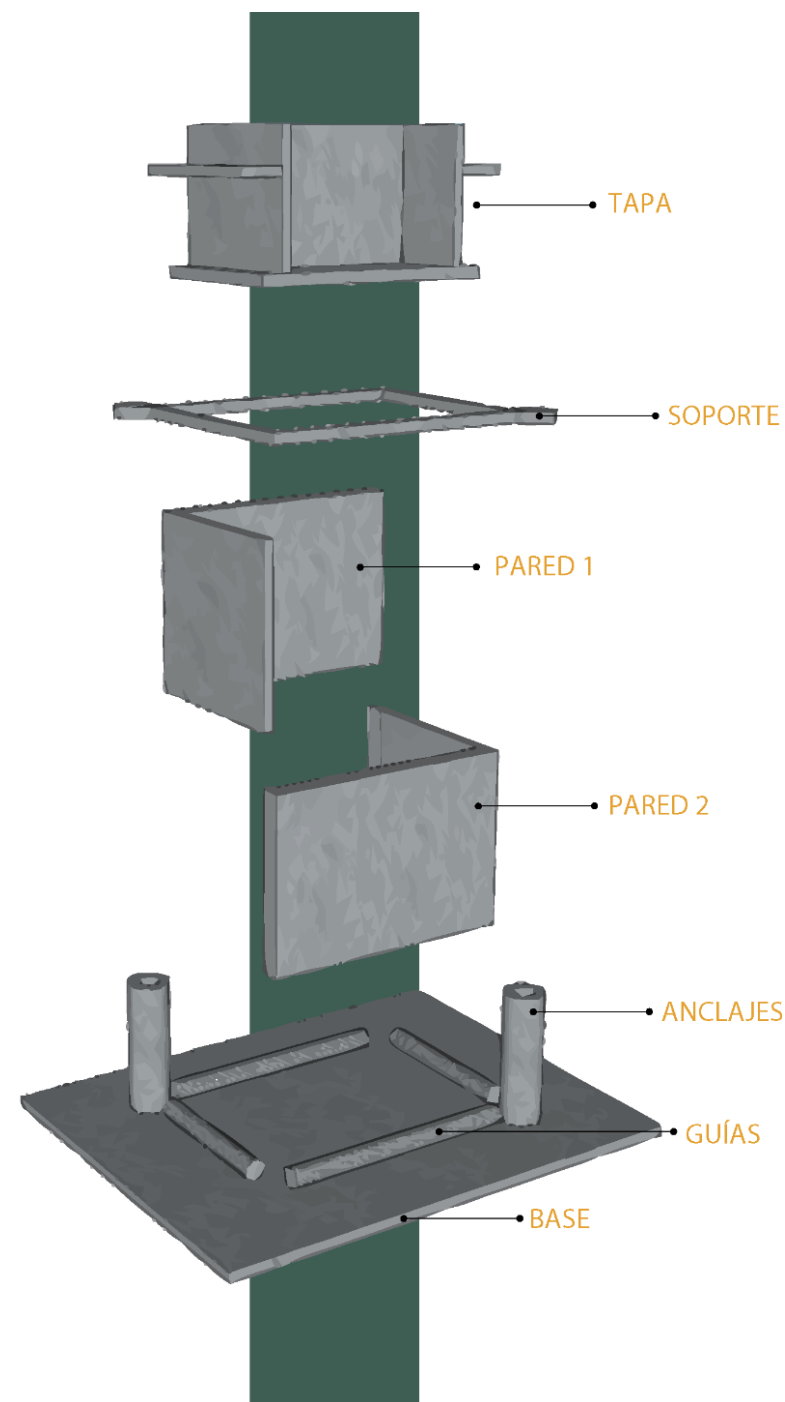


### Fabricación de molde para probetas (compresión)

Este molde fue diseñado específicamente para la elaboración de probetas cúbicas destinadas a ensayos de resistencia a la compresión. Su estructura completamente desmontable permite una manipulación precisa y una extracción eficiente de las muestras, asegurando que se mantengan las dimensiones establecidas para el análisis. Estas probetas, con medidas de 40 mm × 40 mm × 40 mm, cumplen con los requerimientos técnicos para evaluar de manera confiable la capacidad del material de resistir cargas de compresión. Gracias a este diseño, se optimiza tanto la uniformidad como la repetibilidad de los resultados obtenidos en laboratorio. El molde fue fabricado en acero de 9 mm de espesor, un material elegido por su alta resistencia mecánica y durabilidad. Esta elección garantiza que, incluso tras un uso repetido, el molde no sufra deformaciones que comprometan la precisión dimensional de las probetas. El conjunto está compuesto por elementos ensamblables que permiten un armado firme y estable, facilitando su operación, como se aprecia en la Figura 33.

Figura 33

Molde para probetas de compresión



### Preparación de la base

Se posiciona la base sobre una superficie firme. Las guías y anclajes permiten alinear las paredes del molde con precisión.

### Montaje de las paredes laterales

Se colocan las paredes 1 y 2 en sus respectivas guías, conformando el espacio cúbico para el vaciado del material.

### Colocación del marco de estabilización

El marco metálico asegura la rigidez del conjunto durante el llenado del molde.

### Vertido y compactación del material

Se vierte el material en el molde, y se compacta capa por capa para evitar vacíos, con la ayuda de la prensa hidráulica.

### Aplicación de presión

Se instala la placa o tapa de compactación y se aplica presión mediante una prensa hidráulica para asegurar la uniformidad de la muestra.

### Desmoldeo

Una vez prensada la muestra, se retiran las piezas en orden inverso para liberar la probeta sin alterar su forma y está lista para la etapa del secado de las probetas.

## 2.2. ENSAYOS

### 2.2.1. ENSAYO A FLEXIÓN

El ensayo de resistencia a la flexión se realiza siguiendo la normativa europea UNE-EN 13279-2, relacionada con yesos de construcción y conglomerantes (2014). Esta norma establece que las probetas deben tener dimensiones de 160mm x 40mm x 40mm, de igual manera para la elaboración de la probeta se debe mezclar los componentes (fibras, yeso, agua, pegante) con una relación de agua de 0.5 es decir que para 500g de agua se requiere el doble de componentes sólidos.

Como referencia, se tomará el ejemplo práctico desarrollado por la Universidad Andina del Cusco, específicamente por la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, el cuál servirá como base metodológica para realizar las mismas pruebas a los prototipos elaborados en este trabajo de titulación.

En esta prueba se necesita una prensa la cual cuenta con dos rodillos en cada extremo que servirán como apoyo para la probeta de las dimensiones ya indicadas, como se observa en la Figura 34 y Figura 35. La separación de los rodillos de apoyo del dispositivo para el ensayo de flexión deben ser de 100mm.

Figura 34

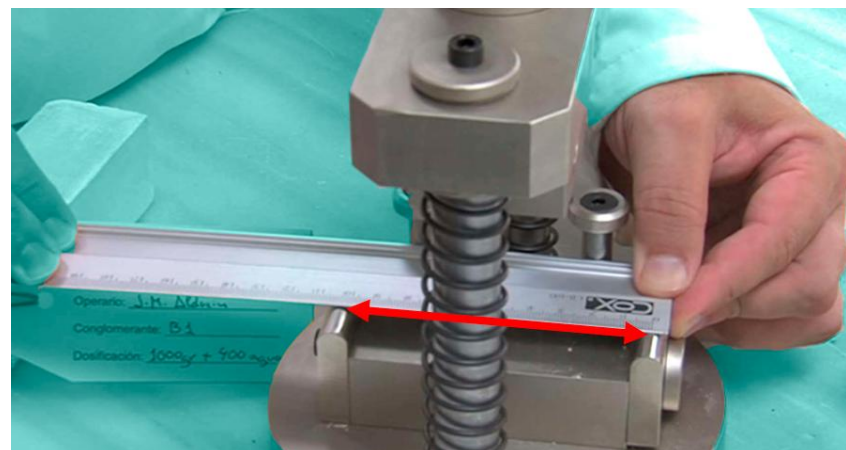
Placa de yeso para flexión



El siguiente paso es colocar la probeta centrándola sobre los dos rodillos de apoyo.

Figura 35

Medidas para prueba de flexión



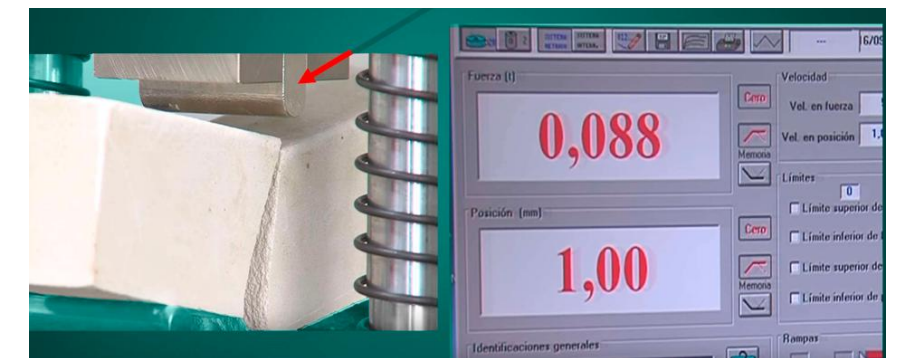
**Probeta (Material en prueba):** La pieza rectangular está apoyada en dos puntos inferiores (rodillos o soportes) y

recibe una carga aplicada en el centro mediante un cabezal metálico, este tipo de configuración se conoce como prueba de flexión a tres puntos.

**Carga aplicada:** El cabezal ejerce una fuerza progresiva sobre la probeta hasta que esta se rompe o alcance su punto máximo a la resistencia, la cual se indica en la Figura 36.

Figura 36

Resultados de muestra



En el ejemplo tomado como referencia registra los siguientes datos:

**Fuerza (t):** Representa la fuerza que se está aplicando a la probeta en toneladas. En este caso se registra 0.088 toneladas.

**Posición (mm):** Indica el desplazamiento o deformación de la probeta en el eje vertical, que en este caso es de 1,00mm.

A continuación, se realiza el cálculo para determinar la resistencia a la flexión, utilizando datos específicos y una fórmula estándar para ensayos de flexión en una probeta rectangular.

### DATOS

$$\text{Luz} = L = 10,0 \text{ cm} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Fondo} = b = 4 \text{ cm} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Canto} = h = 4 \text{ cm} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Carga} = F = 0,088 \text{ toneladas} = 88 \text{ Kp}$$

$$\text{Carga} = F = 88 \text{ Kp} \times 9,8 = 862,4 \text{ N}$$

### RESULTADO

$$\text{Resistencia a la flexión} = R_f =$$

$$\frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} = \frac{3 \cdot 88 \cdot 10}{2 \cdot 4 \cdot 4^2} = 20,6 \text{ Kp/cm}^2$$

#### Datos iniciales:

##### 1. Luz (L):

La distancia entre los dos apoyos de la probeta en el ensayo es **10.0 cm** (100 mm).

##### 2. Fondo (b):

El ancho de la sección transversal de la probeta es **4 cm** (40 mm).

##### 3. Canto (h):

El espesor (altura) de la sección transversal de la probeta es también **4 cm** (40 mm).

##### 4. Carga (F):

Se aplica una carga máxima de **0,088 toneladas**, lo que equivale a **88 kp**.

Convertida a Newtons (N), la carga es:

$$F = 88 \text{ kp} \times 9,8 = 862,4 \text{ N}.$$

Fórmula utilizada para la resistencia a la flexión (Rf):

$$R_f = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

Donde:

F: Carga aplicada (en kilopondios, kp).

L: Luz (distancia entre apoyos, en cm).

b: Fondo o ancho de la probeta (en cm).

h: Canto o espesor de la probeta (en cm).

Sustitución de valores:

$$R_f = \frac{3 \cdot 88 \cdot 10}{2 \cdot 4 \cdot 4^2}$$

##### 1. Cálculo del numerador:

$$3 \times 88 \times 10 = 2640.$$

##### 2. Cálculo del denominador:

$$2 \times 4 \times 4^2 = 128.$$

##### 3. División:

$$R_f = \frac{2640}{128} = 20,6 \text{ kp/cm}^2$$

#### Resultado final:

La **resistencia a la flexión** de la probeta es **20.6 kp/cm<sup>2</sup>**.

Este valor indica la tensión máxima que soporta el material antes de romperse cuando se somete a flexión.

### 2.2.2. ENSAYO A COMPRESIÓN

El ensayo de resistencia a la compresión se realiza siguiendo la normativa europea UNE-EN 13279-2, relacionada con yesos de construcción y conglomerantes (2014). Esta norma establece que las probetas deben tener dimensiones de 40mm x 40mm de igual manera para la elaboración de la probeta se debe mezclar los componentes (fibras, yeso, agua, pegante) con una relación de agua de 0.5 es decir que para 500g de agua se requiere el doble de componentes sólidos o a la vez se puede utilizar las probetas del ensayo a compresión, mirar Figura 37 y Figura 38.

La superficie de apoyo de la probeta en el dispositivo para el ensayo debe ser de igual manera de 40mm x 40mm, donde se colocan las caras laterales de las probetas en caso de utilizar las mismas que se utilizaron en el ensayo de flexión o si son probetas nuevas de 40mm x 40mm x40mm se podría apoyar cualquier de sus caras.

Figura 37

Prensa para ensayo de compresión



Una vez con las probetas listas en la prensa, se pone a funcionar la prensa, a la velocidad de carga de 100N/S.

Figura 38

Muestra expuesta a ensayo

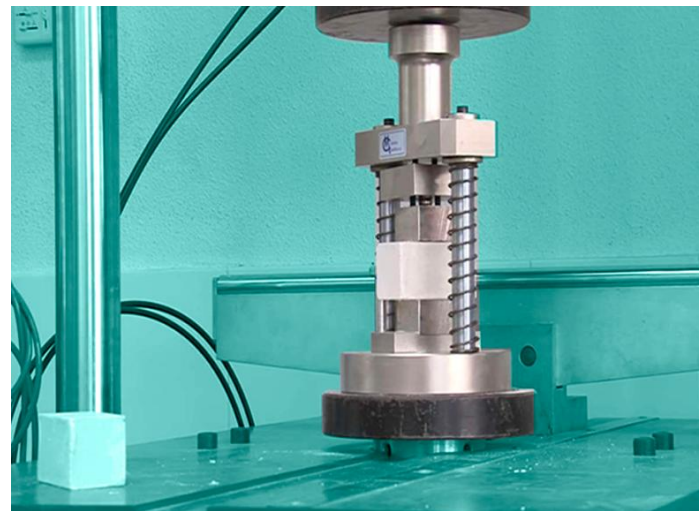


Figura 39

Resultados iniciales de probeta compresión



Una vez que se produzca la fractura o rotura de la probeta , mirar Figuras 39, 40 y 41, se toma el valor de la carga aplicada (F), y se deben realizar el ensayo al menos de 6 muestras para calcular el valor promedio.

Figura 40

Muestra fisurada



Figura 41

Datos finales de probeta compresión



Con los datos obtenidos se prosigue a la fase de expresión de resultados donde debe calcularse el valor promedio de los 6 valores obtenidos y expresarse en N/mm<sup>2</sup>. La carga de resistencia a la compresión R<sub>c</sub> que se da con la formula.

A continuación, se realiza el cálculo para determinar la resistencia a la compresión, utilizando datos específicos y una formula estándar presentada a continuación:

#### DATOS

l = 4 cm = 40 mm  
Área = A = l<sup>2</sup> = 4.4 cm<sup>2</sup> = 16 cm<sup>2</sup>  
Área = A = l<sup>2</sup> = 40.40 mm<sup>2</sup> = 1600 mm<sup>2</sup>  
Carga = F = 1022 toneladas = 1022 Kp  
Carga = F = 1022 Kp. 9.8 = 100515,6 N

#### Resultado

Resistencia compresión = R<sub>c</sub> = F/A = 1022/16 = 63,9 Kp/cm<sup>2</sup>  
Resistencia compresión = R<sub>c</sub> = F/A = 10015,6/1600 = 6,3 N/mm<sup>2</sup>

#### Formula:

$$R_c = F/A$$

#### Donde:

R<sub>c</sub>: Resistencia a la compresión en (kp/cm<sup>2</sup> o en N/mm<sup>2</sup>)

F: Fuerza aplicada sobre la probeta (kilopondios o en Newtons, N)

A: Área de la sección transversal de la probeta (en cm<sup>2</sup> o mm<sup>2</sup>)

#### Datos del cálculo:

##### 1. Área de la probeta (A):

- La probeta tiene una sección cuadrada con lado  
l = 4cm
- El área de la sección transversal se calcula como  
A = l<sup>2</sup> = 4cm x 4cm = 16cm<sup>2</sup>
- Convertido a milímetros cuadrados  
A = 40mm x 40mm = 1600mm<sup>2</sup>

##### 2. Fuerza aplicada (F):

- La carga aplicada sobre la probeta es de  
1.022 toneladas = 1022kp
- Convertida a Newtons  
F = 1022kp x 9.8 = 10015.6 N

#### Sustitución en la formula:

1. En kp/cm<sup>2</sup>:

$$R_c = F/A = 1022 \text{ kp} / 16 \text{ cm}^2 = 63.9 \text{ kp/cm}^2$$

2. En N/mm<sup>2</sup>:

$$R_c = F/A = 10015.6 \text{ N} / 1600 \text{ mm}^2 = 6.3 \text{ N/mm}^2$$

La resistencia a la compresión indica la presión máxima que un material puede soportar antes de fallar cuando se somete a una fuerza axial. Este valor es fundamental para evaluar la calidad de materiales aplicados en la construcción.

### 2.2.3. ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA

El ensayo de absorción de agua es fundamental para poder evaluar la capacidad de un material de construcción a resistir la humedad, este ensayo de rige según la norma EN 520 + A1, donde las probetas pueden ser de las mismas dimensiones que se utilizaron previamente en los ensayos de flexión y compresión. La norma clasifica las probetas en tres categorías, basadas en el porcentaje máximo de absorción total de agua. Estas categorías determinan el nivel de resistencia del material frente a la humedad.

#### Clase H1:

Absorción máxima permitida  $\leq 5\%$ : representa materiales altamente resistentes al agua, adecuados para ambientes húmedos o con exposición directa al agua.

#### Clase H2:

Absorción máxima permitida  $\leq 10\%$ : Indica presencia de materiales con resistencia moderada al agua, ideales para zonas donde la humedad no es constante, pero puede estar presente en ciertas condiciones.

#### Clase H3:

Absorción máxima permitida  $\leq 25\%$ : incluye materiales con menores resistencia al agua apropiados para áreas interiores o climas secos con baja exposición a la humedad.

La norma EN 520+A1 establece que, para realizar el ensayo de absorción de agua, las probetas deben sumergirse en agua durante un período de 2 horas.

Detalles clave del procedimiento:

##### 1. Condiciones de la prueba:

- El agua debe estar a **temperatura ambiente**, generalmente entre  **$23 \pm 2$  °C**, según lo especificado en normas de laboratorio estándar.

##### 2. Preparación previa:

- Las probetas deben estar completamente secas antes del ensayo. Esto se logra colocándolas en un horno a una temperatura controlada (generalmente 40-50 °C) hasta que se alcance un peso constante.

##### 3. Finalización del ensayo:

- Tras el período de inmersión de 2 horas, las probetas se retiran del agua, se secan superficialmente con un paño para eliminar el exceso de agua en la superficie y luego se pesan.

#### Cálculo de absorción de agua

Se utiliza la formula:

$$\frac{\text{Absorción de agua(\%)}}{\text{Peso después de la inmersión x peso seco inicial}} \times 100$$

Por ejemplo, si una muestra inicial pesa 100 gramos, al someterla al ensayo:

- Para la clase H1 ( $\leq 5\%$ ), el peso final sería como máximo 105 gramos.
- Para la clase H2 ( $\leq 10\%$ ), el peso final alcanzaría como máximo 110 gramos.
- Para la clase H3 ( $\leq 25\%$ ), el peso final podría ser de hasta 125 gramos

En esta fase 4 se recopilaron de forma ordenada todos los resultados obtenidos en los ensayos de flexión, compresión y absorción de agua realizados en las fases anteriores. Cada dato fue registrado y tabulado, de manera que la información se expresó en tablas para facilitar su entendimiento y permitir una lectura más clara de los valores obtenidos, Los resultados obtenidos se expresaron tanto en kilogramos-fuerza como en newtons, con el propósito de facilitar su interpretación y permitir la comparación directa con valores de referencia utilizados en la industria de la construcción. Esta doble presentación de unidades aporta mayor claridad al lector y asegura que los datos puedan ser comprendidos por distintos perfiles técnicos, desde profesionales de la ingeniería y arquitectura hasta investigadores que trabajen con normas internacionales.

Además, se plantearon ejemplos de aplicación en proyectos arquitectónicos que prioricen el aprovechamiento de materiales reciclados. En esta

etapa también se elaboraron las conclusiones generales del estudio, las cuales sintetizaron los hallazgos más relevantes del proceso experimental.

A partir de estas conclusiones, se formularon recomendaciones técnicas para la fabricación y uso de los paneles, incluyendo sugerencias de mejoras en la mezcla, en los procesos de secado y en el tratamiento de las fibras para optimizar su resistencia al agua. Finalmente, la fase permitió consolidar toda la información generada durante la investigación, aportando una visión integral de la viabilidad técnica y ambiental del material propuesto, así como de su potencial para contribuir a la reducción de residuos agrícolas y al desarrollo de soluciones constructivas más amigables.

Asimismo, en el capítulo 4 se presentaron las posibles aplicaciones de los paneles, para lo cual se emplearon diversas herramientas digitales. El modelado 3D se realizó con SketchUp 2024, mientras que para obtener imágenes con acabados más

realistas se utilizó el programa D5 Render. Para el cálculo de resistencias a compresión y flexión se utilizó Mathcad Prime, un software técnico ampliamente usado por ingenieros y científicos para realizar, documentar y compartir cálculos matemáticos complejos. Su principal función es facilitar la edición visual de notación matemática, lo que contribuye a un análisis más claro y preciso de los resultados.



DIAGNÓSTICO

CÁPITULO 3

### 3. DIAGNÓSTICO - ELABORACIÓN DE MUESTRAS

Una vez definidos los procedimientos metodológicos, se elaboraron 21 muestras experimentales con el fin de evaluar el desempeño físico y mecánico de paneles prefabricados hechos a base de fibras de caña de azúcar y yeso. El proceso contempló las etapas previamente explicadas: preparación, secado, tamizado, mezcla y moldeado del material. Las muestras se organizaron en tres grupos según las herramientas aplicadas en cada fase, principalmente en relación con el tipo de molde, al equipo para triturar las fibras y al método de compactación. Esta división permitió analizar cómo la incorporación progresiva de recursos técnicos influye en la calidad del panel final. Todas las muestras fueron preparadas con una mezcla manual de fibras tratadas, yeso y agua, la cual fue vaciada en moldes y compactada de inmediato. Aunque la base del procedimiento fue la misma, se implementaron mejoras importantes a lo largo del proceso: desde moldes de madera, pasando por moldes impresos en 3D, hasta moldes técnicos proporcionados por la universidad; y en el caso del triturado, desde herramientas caseras hasta una trituradora profesional que brindó resultados positivos al momento de

trituras como se aprecia en la Figura 42. La compactación también fue optimizada, pasando de presión manual a una prensa hidráulica, que aseguró mayor precisión y uniformidad en los resultados.

Estas mejoras permitieron observar no solo cambios en la estructura y apariencia de los paneles, sino también en su resistencia y calidad general. Este enfoque comparativo resultó clave para identificar los recursos más adecuados y establecer un procedimiento replicable en futuras aplicaciones constructivas. A continuación, se presentan los detalles técnicos correspondientes a cada grupo de muestras. De las 21 muestras elaboradas, se seleccionó una como referencia final tomando en cuenta criterios establecidos por una arquitecta especializada en biomateriales. La elección se basó en una evaluación sensorial, considerando aspectos visuales y táctiles como la textura, homogeneidad, rigidez superficial y calidad del acabado. A continuación, se muestra la tabla 4 que resume de forma clara las características de las 21 muestras que se elaboraron,






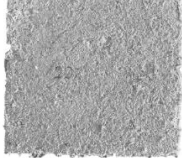
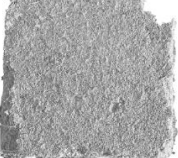
Figura 42

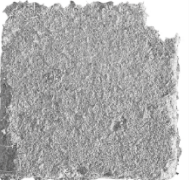
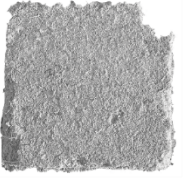




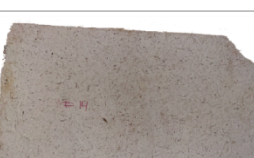
Fibras separadas por granulometría





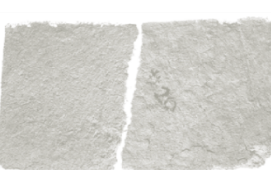
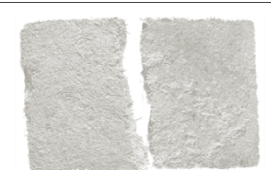



Nota: Fibras listas para su uso, en la elaboración de muestras

Tabla 4  
21 muestras elaboradas con diferentes dosificaciones.

		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 1	TAMICES	Tamiz #4	10 Gramos	291.6 gramos	Proporción 1:2 respecto al total de materiales secos	0.00 gramos		Se evidencio que las fibras del tamiz #4, por su tamaño excesivo dificultaron la mezcla uniforme y el prensado de los materiales, esto generó espacios vacíos en el interior afectando la resistencia del panel, se recomienda reducir o eliminar este tipo de fibras en futuras muestras.
		Tamiz #8	4 Gramos					
		Tamiz #16	6 Gramos					
		Tamiz #30	6 Gramos					
		Tamiz Base	2.4 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 2	TAMICES	Tamiz #4	15 Gramos	274.4 gramos	Proporción 1:2 respecto al total de materiales secos	0.00 gramos		En esta muestra se comprobó que al aumentar la cantidad de fibras del tamiz #4, por su tamaño, dificultan la mezcla uniforme de los materiales y el prensado no se logra compactar de una manera correcta, esto provocó más espacios vacíos dentro del panel y disminuye más su resistencia.
		Tamiz #8	6 Gramos					
		Tamiz #16	9 Gramos					
		Tamiz #30	9 Gramos					
		Tamiz Base	3.6 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 3	TAMICES	Tamiz #4	15 Gramos	259.2 gramos	Proporción 1:2 con respecto al peso total de los materiales secos (fibras + yeso).	0.00 gramos		En esta muestra se colocó el mismo porcentaje de fibras, dificultando el proceso de compactación de material y así mismo afectando el prensado ya que se crean muchos espacios de aire en el panel, disminuyendo de una manera significativa la resistencia del panel.
		Tamiz #8	15 Gramos					
		Tamiz #16	15 Gramos					
		Tamiz #30	15 Gramos					
		Tamiz Base	4.8 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 4	TAMICES	Tamiz #4	7.2 Gramos	226.8 gramos	Proporción 1:2 con respecto al peso total de los materiales secos (fibras + yeso).	0.00 gramos		En esta muestra se disminuyó las fibras del tamiz #4 teniendo un resultado positivo en el cual se reducen los espacios de aire en el panel, pero las fibras del tamiz #8 presentan características parecidas a las del tamiz #4 por su tamaño igual siguen dificultando el proceso de compactación.
		Tamiz #8	25 Gramos					
		Tamiz #16	25 Gramos					
		Tamiz #30	25 Gramos					
		Tamiz Base	15 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 5	TAMICES	Tamiz #8	4.1 Gramos	113 gramos	Proporción 1:2 respecto al total de materiales secos	0.00 gramos		Al reducir fibras del tamiz #4, la mezcla resultó más uniforme y fácil de trabajar, mostrando resistencia al tacto. Aunque la compactación fue manual, se logró un resultado positivo. Se sugirió usar prensa hidráulica para mejorar aún más la cohesión.
		Tamiz #16	5.47 Gramos					
		Tamiz #30	5.47 Gramos					
		Tamiz Base	5.47 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 6	TAMICES	Tamiz #8	2.73 Gramos	102.66 gramos	Proporción 1:2 respecto al total de materiales secos	6.8 = %5 gramos de pegamento natural a base de agua		El panel obtuvo una mezcla sólida, pero algo esponjosa debido al volumen de las fibras #8 y #16. A pesar de eso, mantuvo rigidez en su forma. Se recomendó prensa hidráulica para eliminar los espacios de aire que se crean por falta de compactación.
		Tamiz #16	8.21 Gramos					
		Tamiz #30	8.21 Gramos					
		Tamiz Base	8.21 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 7	TAMICES	Tamiz #8	0.00 Gramos	88.90 gramos	Proporción 1:2 respecto al total de materiales secos	6 = %5 gramos de pegamento natural a base de agua		En esta muestra el alto porcentaje de fibras finas y voluminosas generó una textura acolchonada y poco firme. Esto dificultó el prensado y redujo la cantidad de material dentro del molde. La muestra presentó baja resistencia estructural, de igual manera se recomienda utilizar una prensa hidráulica para una mejor compactación.
		Tamiz #16	6.80 Gramos					
		Tamiz #30	13.60 Gramos					
		Tamiz Base	20.50 Gramos					

		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 8	TAMICES	Tamiz #8	0.00 Gramos	88.90 gramos	Proporción 1:2 respecto al total de materiales secos	6 = %5 gramos de pegamento natural a base de agua		El aumento en la cantidad de agua facilitó el prensado manual y logró un mejor acabado superficial. Sin embargo, las fibras gruesas seguían afectando la compactación interior. La prensa hidráulica se planteó como solución para un resultado más sólido.
		Tamiz #16	6.80 Gramos					
		Tamiz #30	13.60 Gramos					
		Tamiz Base	20.50 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 9	TAMICES	Tamiz #8	0.00 Gramos	61.60 gramos	41.09 gramos, equivalente al %30 de la mezcla total.	6.8 = % gramos de pegamento natural a base de agua		En esta muestra la incorporación del agua como parte del peso total permitió obtener una mezcla firme y estable. El uso excesivo de fibras del tamiz # 30 ayudó a que los materiales se distribuyan y se mezclen de una mejor manera, así mismo se concluye que la prensa hidráulica dará resultados positivos para el panel gracias a la compactación.
		Tamiz #16	0.00 Gramos					
		Tamiz #30	27.30 Gramos					
		Tamiz Base	0.00 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 10	TAMICES	Tamiz #16	8.60 Gramos	78.43 gramos (%51.66 del total de la mezcla).	45 gramos (%30 de la mezcla total).	5.01 gramos (%3.33 de la mezcla total) de pegamento natural a base de agua.		En esta muestra el uso de fibras del tamiz #16 provocó una alta porosidad entre materiales, esta característica redujo la resistencia y afectó el acabo final del panel, se consideró disminuir o eliminar este tamaño de fibras para obtener mejores resultados, en este panel se utilizó una prensa hidráulica la cual generó resultados positivos en la compactación de materiales.
		Tamiz #30	8.60 Gramos					
		Tamiz Base	5.60 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 11	TAMICES	Tamiz #16	10 Gramos	63.32 gramos (%41.66 del total de la mezcla).	45 gramos (%30 de la mezcla total).	5.01 gramos (%3.33 de la mezcla total) de pegamento natural a base de agua.		En esta muestra el incremento de fibras del tamiz#16 generó aún más porosidad que en muestras anteriores, esto dejó al panel con una estructura débil y baja, es decir una mezcla sin resistencia, se recomienda replantear la proporción de este tipo de fibra.
		Tamiz #30	20 Gramos					
		Tamiz Base	8 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 12	TAMICES	Tamiz #16	0 Gramos	78.43 gramos (%51.66 del total de la mezcla).	45 gramos (%30 de la mezcla total).	5.01 gramos (%3.33 de la mezcla total) de pegamento natural a base de agua.		El uso de fibras más finas del tamiz #30 permitió una mezcla uniforme y compacta, con menos espacios de aire. El resultado fue un panel visualmente estable y de buenas propiedades mecánicas. Esta muestra se destacó entre las más eficientes.
		Tamiz #30	19.40 Gramos					
		Tamiz Base	3.40 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 13	TAMICES	Tamiz #16	22.8 Gramos	78.43 gramos (%51.66 del total de la mezcla).	45 gramos (%30 de la mezcla total).	5.01 gramos (%3.33 de la mezcla total) de pegamento natural a base de agua.		El uso exclusivo de fibras del tamiz #16 proporcionó buena resistencia, pero causó muchos espacios de aire por su tamaño. Esto limitó la densidad y firmeza de la muestra. Se sugirió evitar usar este tamaño de fibra de manera exclusiva.
		Tamiz #30	0.00 Gramos					
		Tamiz Base	0.00 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 14	TAMICES	Tamiz #16	0.00 Gramos	78.43 gramos (%51.66 del total de la mezcla).	50.1 gramos (%33.33 de la mezcla total).	No se utilizó, para analizar el comportamiento de la mezcla sin aditivos.		El uso de fibras del tamiz base sin aglutinante resultó en una mezcla uniforme y sin presencia de vacíos. La muestra destacó por su aspecto compacto y buena cohesión. Se estimó que con aglutinante podría alcanzar mayor resistencia.
		Tamiz #30	0.00 Gramos					
		Tamiz Base	22.8 Gramos					

		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 15	TAMICES	Tamiz #16	0.00 Gramos	63.33 gramos (%41.66 del total de la mezcla).	50.1 gramos (%33.33 de la mezcla total).	No se utilizó, para analizar el comportamiento de la mezcla sin aditivos.		La combinación de fibras del tamiz #30 y base, compactadas con prensa hidráulica, ofreció un panel con superficie lisa y sólida. A pesar de no usar aglutinante, el resultado fue estable. Esta muestra reflejó la importancia de la correcta selección granulométrica.
		Tamiz #30	29 Gramos					
		Tamiz Base	11 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 16	TAMICES	Tamiz #16	0.00 Gramos	78.43 gramos, representando el %51.66 del total de la mezcla.	5 gramos, equivalente al %30 del volumen total.	5.01 gramos (%3.33 de la mezcla), utilizando un pegamento natural a base de agua para facilitar la unión de los componentes.		El uso de fibras finas y mayor cantidad de aglutinante permitió obtener una mezcla uniforme y de alta resistencia. Esta dosificación generó uno de los paneles con mejores características. El resultado fue una estructura firme y bien cohesionada.
		Tamiz #30	0.00 Gramos					
		Tamiz Base	22.80 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 17	TAMICES	Tamiz #16	0.00 Gramos	78.43 gramos, equivalente al %51.66 del total de la mezcla.	45 gramos, representando el %30 del volumen total.	5.01 gramos (%3.33 del total), utilizando un pegamento natural a base de agua para favorecer la unión de los componentes.		El uso de fibras finas y mayor cantidad de aglutinante permitió obtener una mezcla uniforme y de alta resistencia. Esta dosificación generó uno de los paneles con mejores características. El resultado fue una estructura firme y bien cohesionada.
		Tamiz #30	38 Gramos					
		Tamiz Base	0.00 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 18	TAMICES	Tamiz #16	0.00 Gramos	55.60 gramos, lo que representa el %36.66 del total de la mezcla.	45 gramos, representando el %30 del volumen total.	5.01 gramos, correspondiente al %3.33 del total, utilizando un pegamento natural a base de agua para reforzar la adhesión entre los componentes.		El uso combinado de fibras de tamiz #30 y base, más la compactación a 200 kg, resultó en una mezcla homogénea y resistente. La distribución de fibras pequeñas facilitó la unión de materiales. Fue una muestra con muy buenos resultados.
		Tamiz #30	15.20 Gramos					
		Tamiz Base	30.40 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 19	TAMICES	Tamiz #16	0.00 Gramos	55.60 gramos, lo que representa el %36.66 del total de la mezcla.	45 gramos, representando el %30 del volumen total.	5.01 gramos, que corresponde al %3.33, utilizando pegamento natural a base de agua para reforzar la unión de las fibras con el yeso.		El panel logró buena compactación, pero la presencia de fibras del tamiz base provocó una textura esponjosa. Aun así, la resistencia fue aceptable. Se concluyó que es importante balancear las proporciones para evitar ese efecto acolchonado.
		Tamiz #30	30.40 Gramos					
		Tamiz Base	15.20 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 20	TAMICES	Tamiz #16	0.00 Gramos	55.60 gramos, lo que representa el %36.66 del total de la mezcla.	45 gramos, que equivale al %30 del volumen total de la mezcla.	5.01 gramos, representando el %3.33, utilizando un pegamento natural a base de agua para fortalecer la cohesión entre las fibras y el yeso.		El uso exclusivo de fibras del tamiz base facilitó una mezcla uniforme, pero la estructura final fue débil y sin rigidez. La textura esponjosa dominó el resultado. Esta dosificación no fue recomendada por su baja resistencia.
		Tamiz #30	0.00 Gramos					
		Tamiz Base	45.60 Gramos					
		FIBRAS / GRAMOS		YESO	AGUA	AGLUTINANTE	RESULTADO	CONCLUSIONES
M 21	TAMICES	Tamiz #16	0.00 Gramos	55.60 gramos, lo que representa el %36.66 del total de la mezcla.	45 gramos, que equivale al %30 del volumen total de la mezcla.	5.01 gramos, representando el %3.33. Se utilizó un pegamento natural a base de agua para mejorar la unión de los materiales sólidos.		La combinación de fibras del tamiz #30 y base permitió una buena mezcla y distribución, aunque la textura final fue esponjosa. La compactación a 200 kg y la temperatura constante ayudaron a estabilizar el panel. Fue la muestra seleccionada por su equilibrio entre manejabilidad y proceso.
		Tamiz #30	10.64 Gramos					
		Tamiz Base	34.96 Gramos					

### 3.1. DOSIFICACIÓN SELECCIONADA

La dosificación es un factor clave en el desarrollo de materiales de construcción, ya que determina las propiedades físicas y mecánicas del producto final. En la búsqueda de un panel prefabricado sostenible a partir de residuos de caña de azúcar, se experimentó con diversas proporciones de materiales para evaluar su comportamiento y viabilidad. Este proceso llevó a la elaboración de 21 muestras con diferentes composiciones, buscando una mezcla que optimizara características como la cohesión, la compactación y la estabilidad estructural.

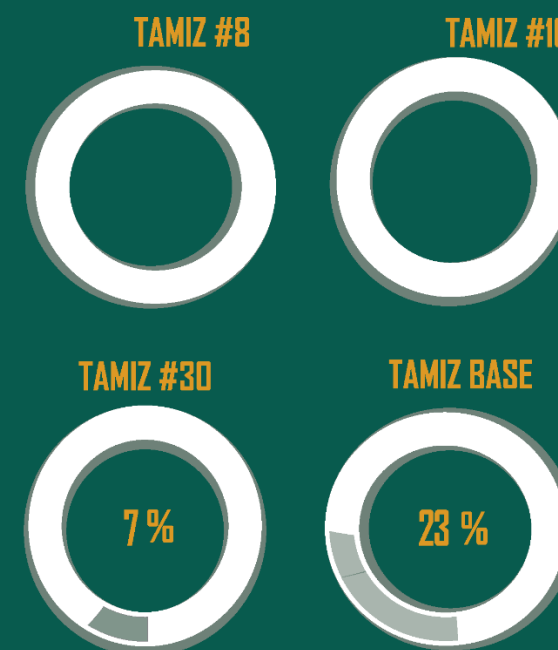
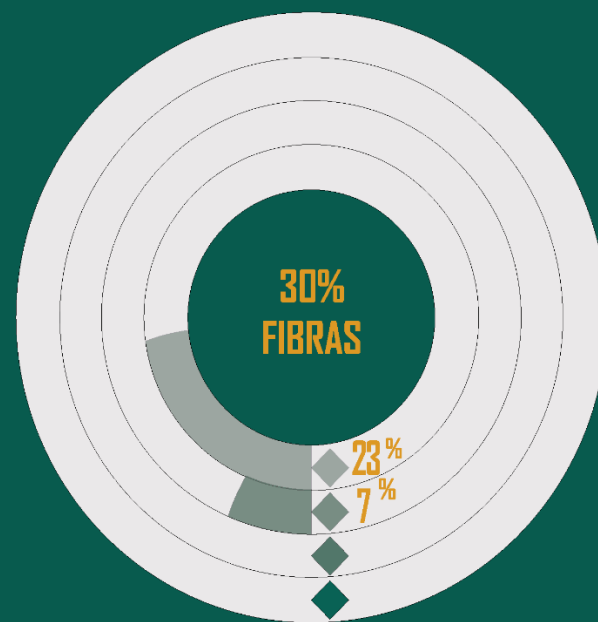
A lo largo de esta fase experimental, se analizaron las respuestas de cada muestra mediante pruebas manuales y visuales. Estas pruebas permitieron descartar aquellas formulaciones que presentaban problemas de desintegración, falta de cohesión o inestabilidad, identificando así la muestra con el mejor desempeño. Tras este análisis, se determinó que la muestra número 21 poseía las condiciones más favorables para su aplicación en construcción sostenible, convirtiéndose en la base para la siguiente etapa del estudio.

La dosificación final de la muestra seleccionada incluye un 30% de fibras naturales, con una distribución granulométrica que combina fibras muy finas retenidas en tamiz base en un 7% y fibras menos finas retenidas en tamiz #30 en un 23%. Como se observa en la figura 43, la combinación ha demostrado mejorar la cohesión del material, reduciendo defectos estructurales y optimizando la compactación. Con esta muestra definida, se procede ahora a la fabricación de probetas para los ensayos mecánicos y físicos, con el objetivo de obtener datos cuantificables sobre su comportamiento estructural.

Figura 43

Dosificación seleccionada

**MUESTRA SELECCIONADA**



En el desarrollo de esta investigación, se llevaron a cabo 21 muestras de paneles prefabricados utilizando residuos de caña de azúcar con el objetivo de evaluar su viabilidad como material de construcción sostenible. Tras un proceso de análisis y pruebas, se seleccionó la muestra más adecuada en función de sus propiedades físicas y mecánicas. Esta muestra representará la base para las siguientes fases del estudio y la elaboración de probetas para los ensayos de compresión, flexión y humedad.

### 3.2. ELABORACIÓN DE PROBETAS

Para evaluar el desempeño físico del material elaborado, se produjeron un total de 24 probetas, distribuidas en dos grupos de ensayo: 12 destinadas a pruebas de flexión y 12 a pruebas de compresión. Estas muestras fueron fabricadas cuidadosamente utilizando moldes metálicos diseñados con base en las normativas técnicas correspondientes y con el objetivo de mantener la precisión en las dimensiones y la calidad del proceso.

Las probetas para el ensayo de flexión presentan dimensiones de 40 mm × 40 mm × 160 mm y permiten analizar cómo se comporta el material frente a esfuerzos que tienden a doblarlo. En cambio, las probetas destinadas al ensayo de compresión fueron elaboradas en forma cúbica, con medidas de 40 mm × 40 mm × 40 mm, adecuadas para estudiar la resistencia del material al ser presionado, indicadas en la Figura 45.

Estas dimensiones no fueron seleccionadas al azar, sino que se definieron tomando como referencia el ejemplo práctico desarrollado por la Universidad Andina del Cusco, desde su Escuela Profesional de Ingeniería Civil, el cual

servió como guía metodológica para replicar el proceso de fabricación de probetas dentro de este trabajo de titulación.

Una vez finalizado el proceso de moldeado y desmoldeo, las muestras fueron sometidas a una etapa de secado controlado durante cinco días a una temperatura constante de  $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el secado de las probetas se llevó a cabo utilizando un horno de secado Memmert, mirar Figura 44. Este procedimiento se aplicó en cumplimiento de lo establecido por la normativa UNE-EN 13279-2, que regula los métodos de ensayo para evaluar la resistencia a flexión y compresión en materiales de construcción.

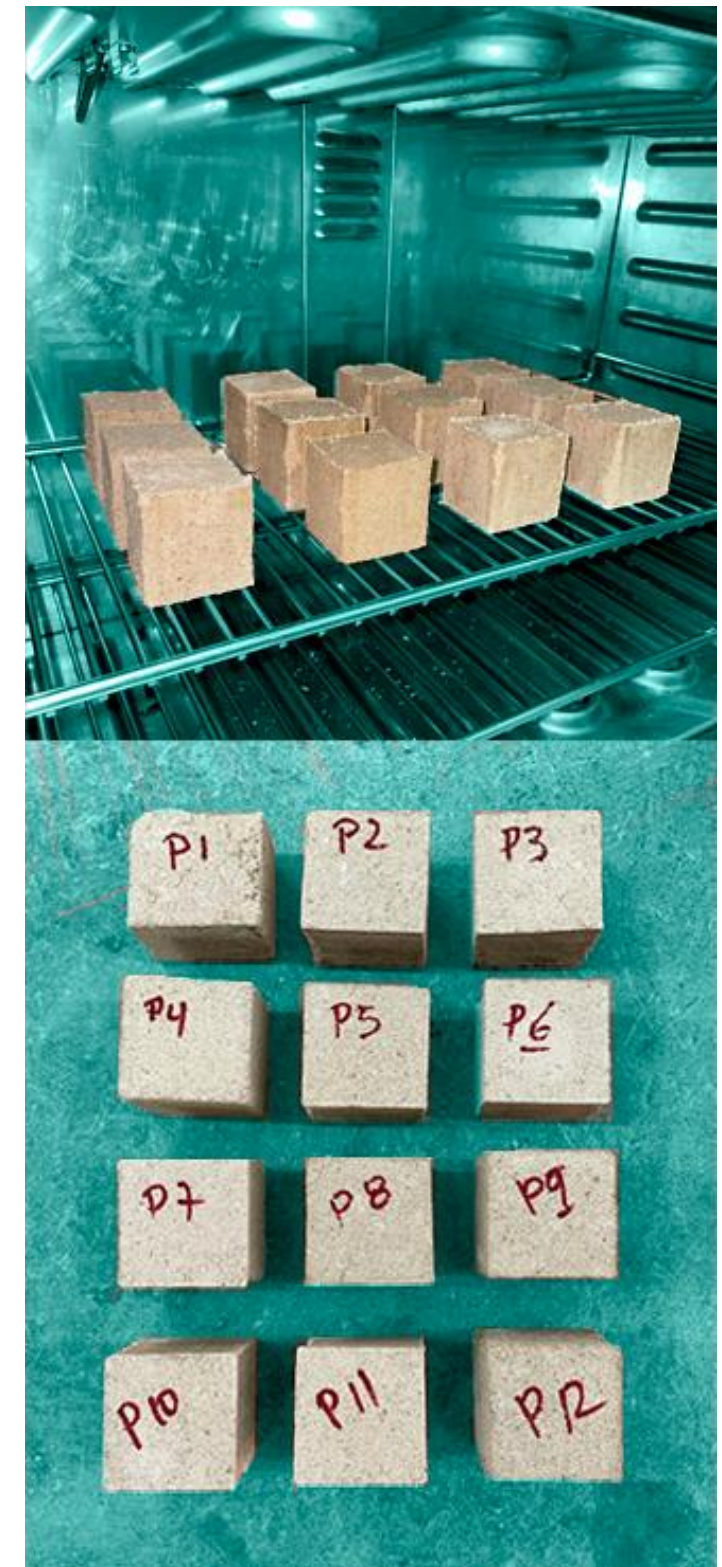
Figura 44

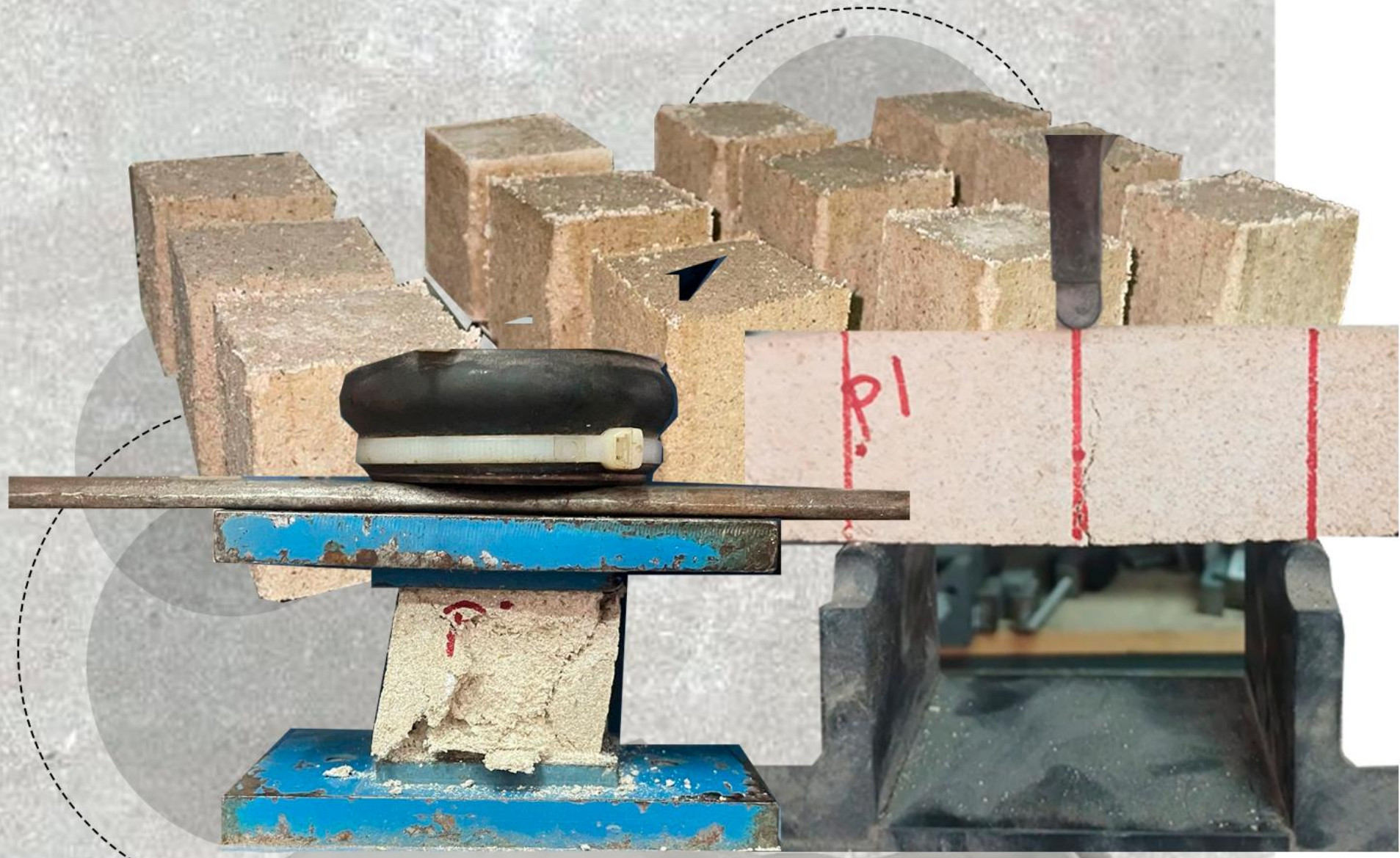
Horno eléctrico



Figura 45

Probetas secándose





PROPUESTA

## 4. PROPUESTA - RESULTADOS ENSAYOS

### 4.1 ENSAYOS A FLEXIÓN

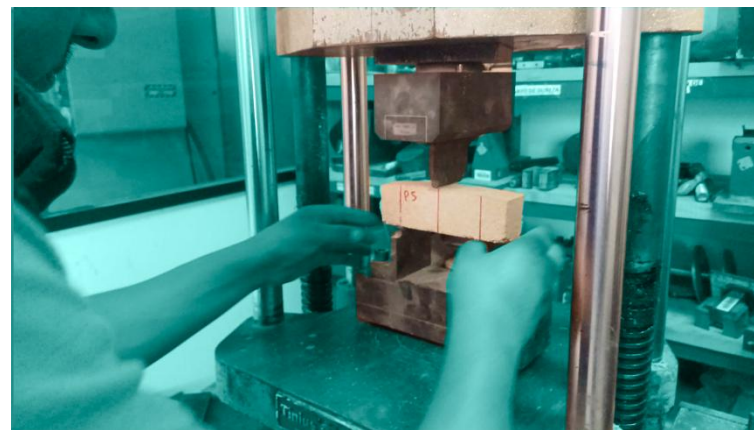
Para evaluar el comportamiento mecánico del material desarrollado a partir de residuos de caña de azúcar, se llevó a cabo el ensayo de resistencia a la flexión como parte fundamental del análisis estructural de los paneles prefabricados. Este procedimiento se desarrolló con base en la norma UNE-EN 13279-2:2004, la misma empleada por la Universidad Andina del Cusco en su estudio sobre yesos de construcción, lo cual permitió tomar como referencia tanto su metodología como los parámetros de comparación. En función de esta normativa, se elaboraron un total de 12 probetas con dimensiones estandarizadas de 160 mm de largo, 40 mm de ancho y 40 mm de alto, fabricadas con la dosificación seleccionada tras las etapas previas de experimentación. Estas dimensiones se eligieron para replicar con precisión las condiciones de los ensayos aplicados en el estudio guía y garantizar la validez comparativa de los resultados, como se indica en la Figura 46 y Figura 47.

Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de Suelos Geosil, donde se utilizó una prensa hidráulica calibrada, la

cual proporcionó lecturas exactas de la carga aplicada hasta la rotura de cada muestra. La máquina registró tanto la carga máxima como los datos necesarios para calcular la resistencia a la flexión de cada probeta, permitiendo un control detallado del proceso y resultados confiables. Cada muestra fue colocada cuidadosamente sobre dos apoyos y se aplicó la carga en el centro del tramo, conforme al método de ensayo establecido.

*Figura 46*

*Equipos para ensayos de flexión*



En las siguientes secciones se presentan los resultados obtenidos "mirar tabla 9" para cada una de las 12 probetas, junto con los cálculos de resistencia a la flexión correspondientes, lo que permitirá extraer conclusiones claras sobre el desempeño del material frente a este tipo de carga.

*Figura 47*

*Probeta de flexión colapsada*



Tabla 5 " Resultado ensayo de flexión "

<b>PROBETA BASE</b>		
Probeta base	20.6 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>		
PROBETA	RESULTADO	CUMPLE NO CUMPLE
Probeta 1	28.28 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 2	26.75 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 3	27.05 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 4	26.76 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 5	28.39 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 6	26.46 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 7	-----	No cumple
Probeta 8	26.86 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 9	27.22 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 10	31.08 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 11	26.63 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 12	-----	No cumple

Los resultados del ensayo de resistencia a la flexión indicados en la Tabla 5, demuestran que el material elaborado a partir de residuos de caña de azúcar posee un desempeño mecánico notable frente a las exigencias establecidas. La probeta base, utilizada como parámetro de comparación, registró una resistencia de 20.6 kp/cm<sup>2</sup> (20.6kg/cm<sup>2</sup>), valor que debía ser igualado o superado por las muestras desarrolladas para considerar viable su aplicación en contextos constructivos. De las 12 probetas ensayadas, 10 superaron satisfactoriamente este umbral, con valores que oscilaron entre 26.463 kp/cm<sup>2</sup> (26.46kg/cm<sup>2</sup>) y 31.088 kp/cm<sup>2</sup> (31.08kg/cm<sup>2</sup>), evidenciando una resistencia superior a la mínima requerida y un comportamiento estructural que aporta aspectos positivos al material. Estos resultados reflejan que el material no solo cumple con los estándares mecánicos esperados, sino que también posee un margen de mejora y optimización, abriendo paso a su aplicación como alternativa sostenible frente a materiales convencionales como el yeso. La buena respuesta frente a la flexión indica que el producto puede desempeñarse adecuadamente en elementos constructivos livianos, como divisiones internas, revestimientos o

componentes prefabricados, contribuyendo a reducir la dependencia de materiales con mayor huella ambiental, acotando que los materiales a reemplazar como el gypsum y el cielo raso, llevan materiales que los envuelven estos también aporta más rigidez al material y ayudan a su impermeabilidad, por ejemplo el gypsum lleva una capa de papel cartón en sus dos caras lo que ayuda a que el material se mantenga con rigidez y el cielo raso lleva en una cara un papel cartón blanco o plástico blanco el cual ayuda a mejorar su impermeabilidad y en la otra cara un papel tipo aluminio que ayuda a mejorar el aislamiento. Es importante señalar que dos de las probetas (la 7 y la 12) no arrojaron resultados por fallas en el proceso de ensayo o posibles irregularidades durante la fabricación. Esto sugiere la necesidad de fortalecer los controles de calidad en la etapa de producción, especialmente en lo relacionado con la compactación, el curado y la homogeneidad de la mezcla. Este ensayo constituye una validación clave dentro del proceso experimental del proyecto, demostrando que es posible transformar un residuo contaminante en un recurso útil para la construcción.

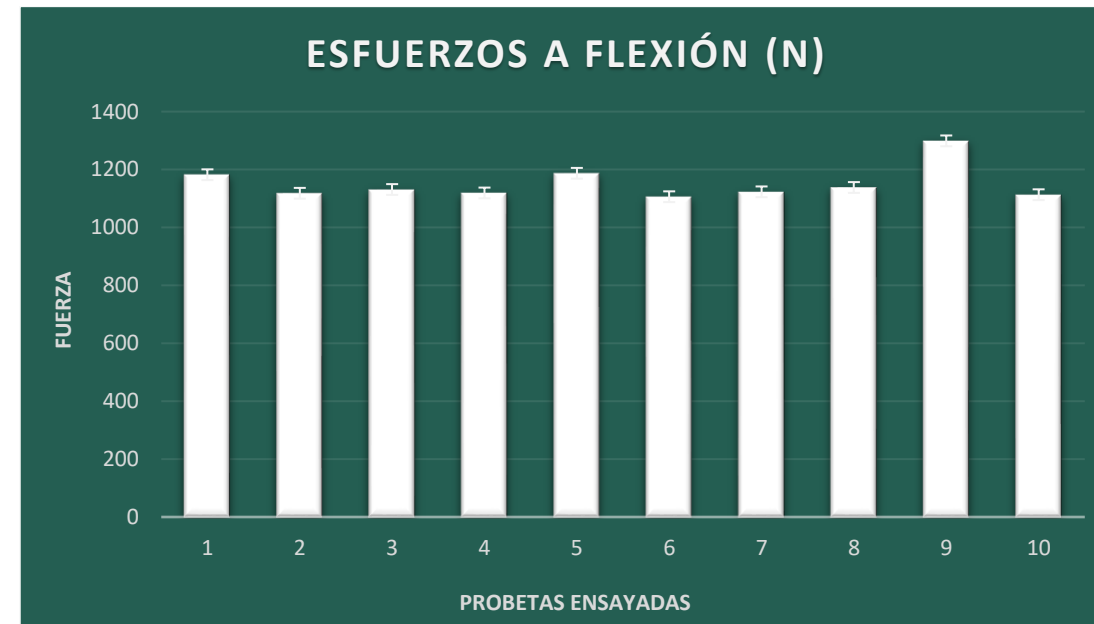
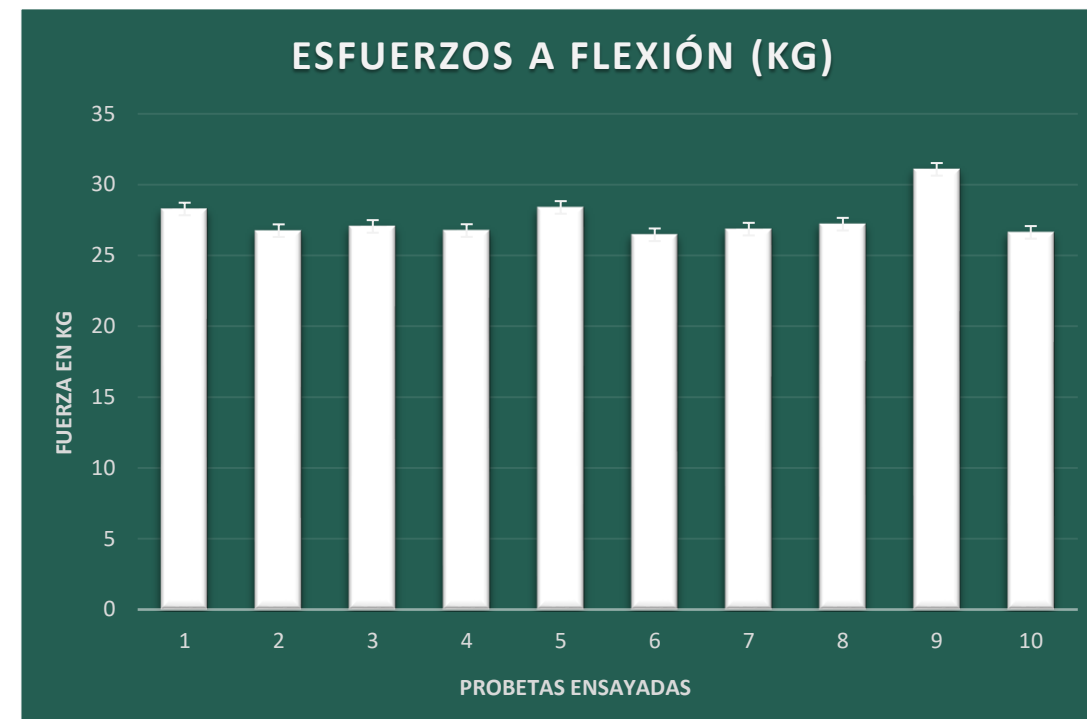
El valor promedio de carga máxima alcanzada fue de **27,55 kg/cm<sup>2</sup>**, con una desviación estándar de **1.41 kg**, lo cual indica un nivel aceptable de consistencia entre las probetas ensayadas. Además, se calculó un margen de aceptación equivalente al 10% del promedio, obteniéndose un valor de **± 2,75 kg**, que sirve como parámetro de control para validar la calidad de las muestras.

En la Figura 48 se observa la distribución de los valores individuales para cada probeta junto con sus barras de fuerza, que representan la fuerza máxima a la cual la probeta se fracturo. La mayoría de las probetas se ubican dentro del rango de aceptación, lo que evidencia un comportamiento uniforme y controlado en términos de resistencia a flexión.

Con base en estos resultados, se puede concluir que el material desarrollado posee una capacidad adecuada para soportar esfuerzos de flexión, lo que refuerza su viabilidad para aplicaciones en elementos no estructurales, como paneles prefabricados, revestimientos u otras soluciones ligeras donde la resistencia a flexión sea un requisito complementario.

**Figura 48**

*Resultados esfuerzos a flexión.*



*Nota: en la figura se indica los esfuerzos de cada probeta, en la parte superior datos en kg y en la inferior datos en Newton.*

## 4.2. ENSAYOS A COMPRESIÓN

Para evaluar el comportamiento mecánico del material desarrollado a partir de residuos de caña de azúcar frente a cargas axiales, se llevó a cabo el ensayo de resistencia a la compresión, considerado una etapa clave dentro del análisis estructural de los paneles prefabricados. Este procedimiento se ejecutó siguiendo los lineamientos de la **norma UNE-EN 13279-2:2014**, relacionada con yesos de construcción y conglomerantes, la cual también fue empleada por la Universidad Andina del Cusco como referencia metodológica en estudios similares.

En función de esta normativa, se elaboraron un total de 12 probetas cúbicas con dimensiones de 40 mm x 40 mm x 40 mm, utilizando la dosificación óptima definida en las etapas anteriores del proceso experimental. Estas dimensiones estandarizadas permiten garantizar la validez y comparabilidad de los resultados obtenidos.

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Suelos Geosil, donde se utilizó una prensa hidráulica de compresión marca HUMBOLDT, modelo ELE International, comúnmente

utilizada para ensayos de resistencia en probetas de concreto, como se indica en la Figura 49.

*Figura 49*

*Equipo para ensayos de compresión*



Cada muestra fue colocada con precisión sobre la plataforma del equipo, asegurando un apoyo uniforme sobre superficies de 40 mm x 40 mm, conforme a los requerimientos de la norma, indicada en la Figura 50. La carga fue aplicada de forma vertical, a una **velocidad constante de 100 N/s**, hasta que se produjo la rotura de cada una de las probetas.

Durante el desarrollo del ensayo se registraron los valores máximos de carga soportada por cada muestra, lo cual permitió obtener datos confiables para la evaluación del material. Estos resultados sirvieron como base para determinar la resistencia a la compresión y así conocer su desempeño frente a este tipo de esfuerzo.

*Figura 50*

*Muestra de compresión colapsada*



En las siguientes secciones se detallan los resultados obtenidos la Tabla 6 indica cada una de las 12 probetas ensayadas, lo que permitirá establecer conclusiones claras sobre la calidad y comportamiento estructural del material desarrollado.

Tabla 6 " Resultado ensayo de compresión "

<b>PROBETA BASE</b>		
Probeta base	64.3 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>		
PROBETA	RESULTADO	CUMPLE NO CUMPLE
Probeta 1	160.5 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 2	189.6 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 3	157.7 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 4	198.1 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 5	144.9 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 6	169.6 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 7	175.4 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 8	163.2 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 9	143.1 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 10	134.9 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 11	172.2 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple
Probeta 12	145.4 kg/cm <sup>2</sup>	Si cumple

Una vez realizados los ensayos de resistencia a la compresión sobre las probetas elaboradas con residuos de caña de azúcar, se obtuvieron resultados altamente positivos. La probeta base, tomada como referencia, presentó una resistencia de 6.3 N/mm<sup>2</sup>(64.3kg/cm<sup>2</sup>). El objetivo de estas pruebas fue comprobar si el material desarrollado superaba este valor. De las 12 probetas ensayadas, todas superaron la resistencia de la probeta base, con valores que oscilaron entre 13.226 N/mm<sup>2</sup>(134.9kg/cm<sup>2</sup>) y 19.413 N/mm<sup>2</sup>(198.1kg/cm<sup>2</sup>) indicados en la Tabla 6. Estos resultados son muy positivos, ya que no solo cumplen con los estándares de resistencia a la compresión, sino que también demuestran una resistencia considerablemente mayor, lo que valida aún más el potencial de este material como alternativa sostenible a materiales convencionales como el yeso, presentadas en la Figura 51.

Al igual que los resultados obtenidos en los ensayos de flexión, los de compresión continúan mostrando el desempeño prometedor del material. Este comportamiento robusto en ambas pruebas refuerza la posibilidad de que el material sea una opción viable para aplicaciones

constructivas, abriendo la puerta a futuras optimizaciones y ampliaciones en su uso en la industria de la construcción, contribuyendo así a la reducción de la huella ambiental.

Figura 51

Probetas de compresión colapsadas

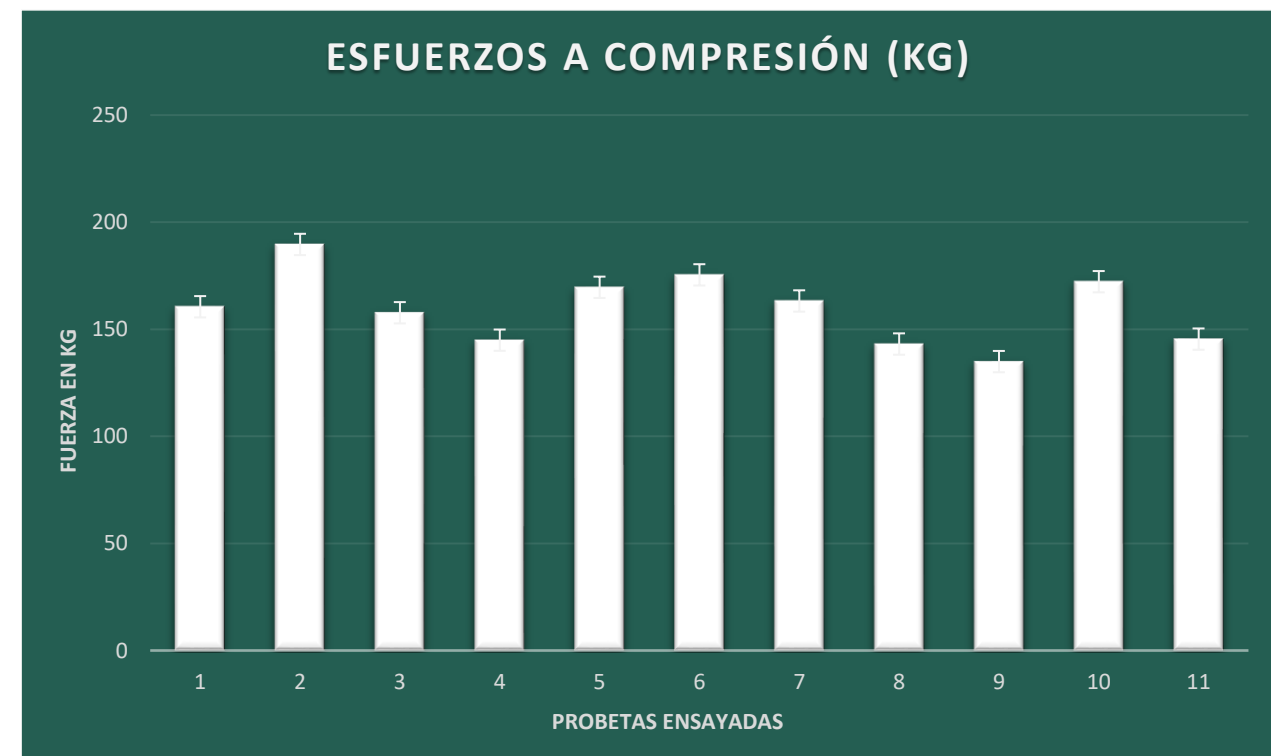
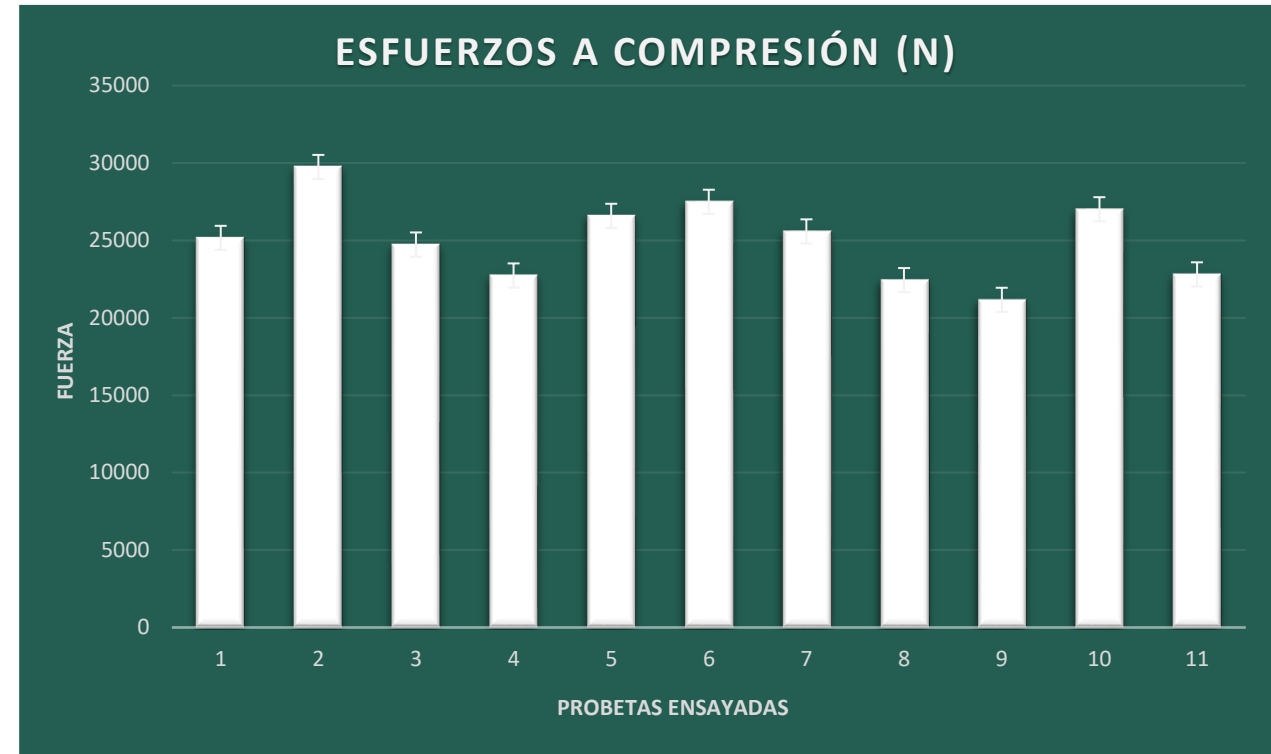


El valor promedio obtenido fue de **159,68 kg**, con una desviación estándar de **16,51 kg**, lo que indica cierta variabilidad entre las probetas. Adicionalmente, se calculó un 10% de aceptación, equivalente a  $\pm 15,97$  kg, el cual sirve como parámetro para definir la tolerancia y evaluar la uniformidad de la fabricación de las muestras.

En la Figura 52 se visualiza claramente la distribución individual de cada probeta, acompañada de barras que reflejan la fuerza máxima a la cual la probeta se fracturó. Todas las probetas se encuentran dentro del rango correcto, lo que evidencia un comportamiento estable y un nivel adecuado de consistencia en términos de resistencia a compresión.

Con estos resultados, se concluye que el material posee una resistencia a compresión aceptable para aplicaciones no estructurales, tales como paneles interiores, revestimientos o elementos prefabricados donde la exigencia principal no sea soportar grandes cargas verticales. Esta evaluación proporciona una base técnica sólida para continuar optimizando la formulación y evaluar futuras mejoras en el comportamiento mecánico.

*Figura 52*  
*Esfuerzos a compresión Kg – N*



### 4.3. ENSAYOS A FLEXIÓN ENSAYOS DE ABSORCIÓN

Con el objetivo de evaluar la capacidad del material desarrollado a partir de residuos de caña de azúcar para resistir la humedad, se llevará a cabo el ensayo de absorción de agua conforme a lo establecido en la norma EN 520 + A1. Esta prueba es fundamental para determinar el comportamiento del material en ambientes con presencia de agua o humedad, ya que permite clasificarlo en distintas categorías según su nivel de absorción.

Para este ensayo, se utilizarán las mismas probetas previamente empleadas en el ensayo de flexión, ya que el procedimiento no requiere dimensiones específicas, sino únicamente conocer el porcentaje de absorción de agua. Por esta razón, el proceso se basará en el peso inicial en seco de la muestra y el peso final luego de la inmersión en agua durante 2 horas, lo cual permitirá calcular el porcentaje de absorción con precisión.

El procedimiento por seguir será el siguiente:

1. Las probetas serán secadas completamente en horno a una temperatura de entre 40 y 50 °C hasta alcanzar un peso constante.
2. Una vez secas, se registrará el peso inicial de cada probeta.
3. Luego, las muestras se sumergirán completamente en agua limpia a temperatura ambiente (aproximadamente  $23 \pm 2$  °C) durante un periodo continuo de 2 horas. Se utilizará un recipiente con suficiente agua para cubrir las probetas por completo, procurando que no toquen el fondo del recipiente directamente.
4. Transcurrido este tiempo, se retirarán del agua y se secarán superficialmente con un paño limpio para eliminar el exceso de agua en la superficie.
5. Finalmente, se registrará el peso final de cada probeta para proceder al cálculo del porcentaje de absorción de agua.

Este ensayo permitirá clasificar el material dentro de una de las categorías establecidas por la norma (H1, H2 o H3), lo cual facilitará determinar su nivel de resistencia a la humedad y su posible aplicación en contextos constructivos específicos. Cabe señalar que esta normativa ha sido tomada como guía a partir de la documentación técnica proporcionada por la empresa Gyptec de México, especializada en la fabricación de paneles de yeso y sistemas de construcción ligera.

Se llevó a cabo el ensayo de absorción de agua en seis muestras, las mismas que previamente fueron sometidas al ensayo de flexión para garantizar la continuidad y consistencia de la evaluación. Los resultados obtenidos evidenciaron un comportamiento desfavorable frente a la humedad, ya que el material presentó un porcentaje de absorción superior al 60%.

Tabla 7 “ Resultado absorción de agua ”

<b>PROBETA BASE</b>		
H1	5 %	Si cumple
H2	10 %	Si cumple
H3	25 %	Si cumple
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>		
PROBETA	RESULTADO	SI CUMPLE NO CUMPLE
Probeta 3	87.55%	No cumple
Probeta 4	120.61 %	No cumple
Probeta 8	119.74 %	No cumple
Probeta 9	90.42 %	No cumple
Probeta 10	64.91%	No cumple
Probeta 11	60.20%	No cumple

Este elevado nivel de absorción confirma que el panel no es apto para su uso en ambientes expuestos a la humedad o en condiciones exteriores, mirar Tabla 7 y Figura 53, limitando su aplicación principalmente a espacios interiores secos. Este hallazgo resalta la necesidad de explorar

posibles tratamientos hidrofóbicos o recubrimientos protectores en futuras investigaciones, con el objetivo de mejorar su resistencia al agua y ampliar su rango de uso.

Figura 46

Probetas ensayadas a absorción de agua



#### Conclusión de ensayos

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos experimentales, se confirma que el material desarrollado a base de residuos de caña de azúcar presenta un desempeño notable en términos de flexión y compresión, superando los valores mínimos establecidos y posicionándose como una alternativa técnicamente viable para aplicaciones no estructurales. Las probetas elaboradas no solo alcanzaron, sino que en la mayoría de los casos

superaron la resistencia de la probeta base de yeso convencional, validando así su potencial para su uso en muros divisorios, cielos rasos y otros elementos interiores.

Sin embargo, el ensayo de absorción de agua evidenció un porcentaje superior al 60 %, lo que limita su aplicación en ambientes expuestos a la humedad o en condiciones exteriores. Este resultado resalta la necesidad de considerar tratamientos hidrofóbicos o la incorporación de recubrimientos protectores en futuras etapas de desarrollo, con el objetivo de ampliar sus posibles usos y optimizar su comportamiento frente a la humedad. En conjunto, los ensayos realizados confirman que el material es apto para espacios interiores secos, donde puede cumplir la función de panel prefabricado, ofreciendo una alternativa sostenible y eficiente frente a materiales convencionales como el gypsum. Esta validación experimental no solo permite garantizar su rendimiento técnico, sino que también respalda la propuesta de valor ambiental y social del proyecto, fomentando el aprovechamiento de residuos agroindustriales y contribuyendo a la construcción de espacios más responsables con el entorno.

#### 4.4. APLICACIONES

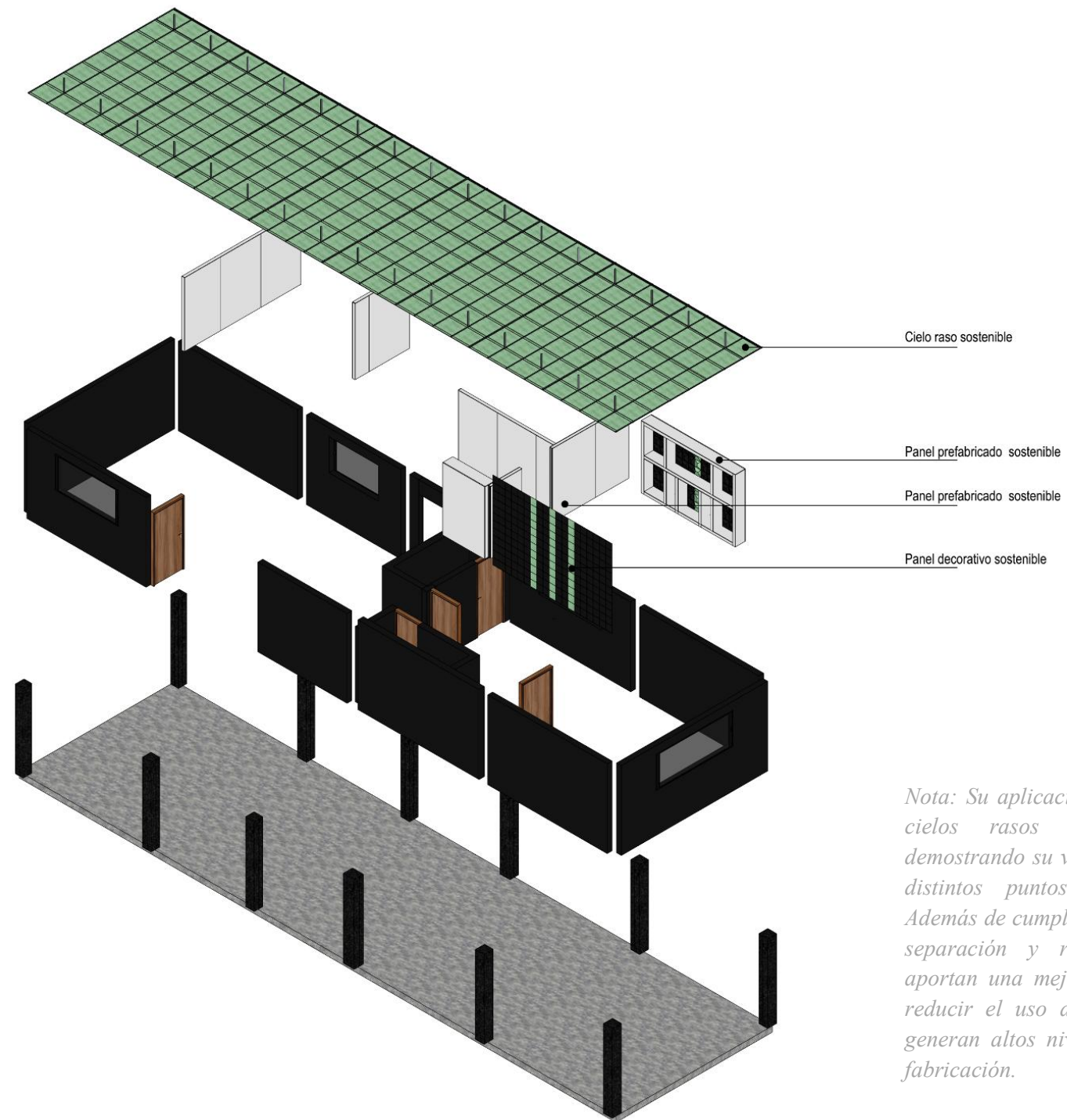
##### USOS

Luego de validar las propiedades físicas y mecánicas del material desarrollado durante todo este proceso, este capítulo se centra en identificar y describir las aplicaciones en las cuales se recomienda el uso de los tipos de paneles que se propone producir. A partir de los resultados obtenidos durante las fases de experimentación y análisis, se establecen criterios de uso específico que permiten determinar en qué contextos este material es funcional, eficiente y ambientalmente responsable, como se aprecia en la Figura 54.

El objetivo principal de este capítulo es exponer las ventajas del panel dentro del ámbito constructivo, particularmente en espacios interiores secos, así como su potencial para sustituir materiales convencionales en soluciones no estructurales, así mismo se exploran estrategias de valor agregado mediante el uso de texturas y pigmentación, lo que amplía su cumplimiento de aplicación hacia usos decorativos en interiores.

Figura 47

Ejemplo de aplicaciones



*Nota: Su aplicación se da en muros divisorios, cielos rasos y superficies decorativas, demostrando su versatilidad y adaptabilidad en distintos puntos del sistema constructivo. Además de cumplir con las funciones básicas de separación y recubrimiento, estos paneles aportan una mejora ambiental significativa al reducir el uso de productos industriales que generan altos niveles de contaminación en su fabricación.*

Se ha demostrado que el material elaborado a partir de los residuos de caña de azúcar y yeso presenta las características necesarias para ser considerado un panel prefabricado funcional para aplicaciones interiores, el cual busca reemplazar el gypsum y cielo raso cotidiano. Desde las primeras etapas de dosificación y tratamiento del residuo, hasta la fabricación de las muestras y ensayos de validación, se ha comprobado que el producto final presenta un comportamiento coherente y estable, lo cual lo posiciona como una alternativa viable dentro del sector de materiales de construcción sostenibles. Las propiedades físicas evaluadas demuestran que el material es apto para su manipulación en sus diferentes presentaciones, aunque no se trata de un material diseñado para cargas estructurales, su rigidez interna y la ayuda de recubrimientos exteriores permiten mantenerse íntegro ante condiciones de uso cotidiano. Esto significa que puede cumplir eficientemente funciones como división de ambientes, recubrimientos decorativos siempre y cuando se respeten sus limitaciones técnicas, especialmente frente a agentes externos como la humedad y el uso de la estructura adecuada para la instalación del material. Como ya se mencionó es

importante que el panel desarrollado responde de manera favorable a los requerimientos de estabilidad y en ambientes secos, lo que hace que su uso sea adecuado para habitaciones, oficinas, salas de estar, entre otros.

Otro aspecto relevante es que la combinación de fibras de caña de azúcar tratadas, yeso y aglomerante natural permite alcanzar una textura compacta sin fisuras visibles, mirar Figura 55, esto contribuye no solo a su durabilidad, sino también a su apariencia final, lo que abre la posibilidad de integrar en propuestas arquitectónicas donde se busque un acabado natural y artesanal, con un bajo impacto ambiental.

*Figura 48*

*Uso de material en interiores*

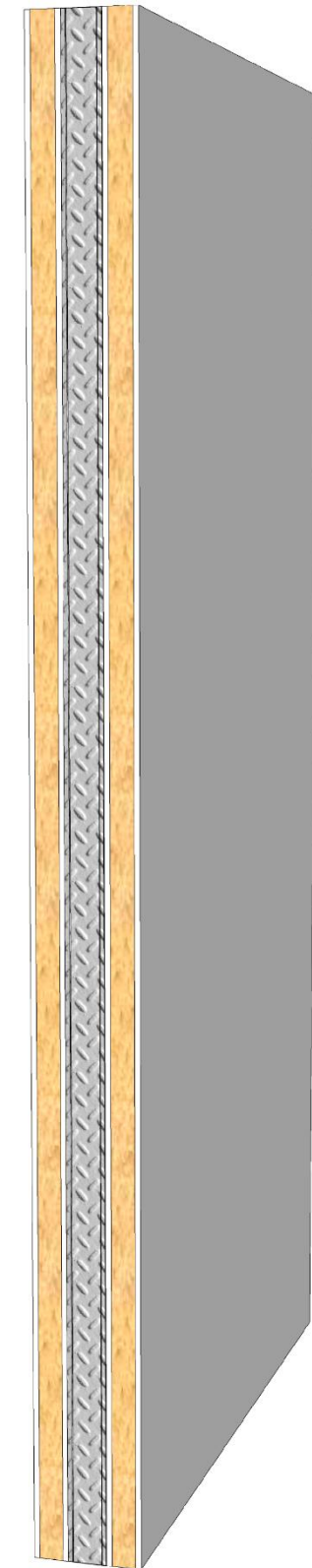
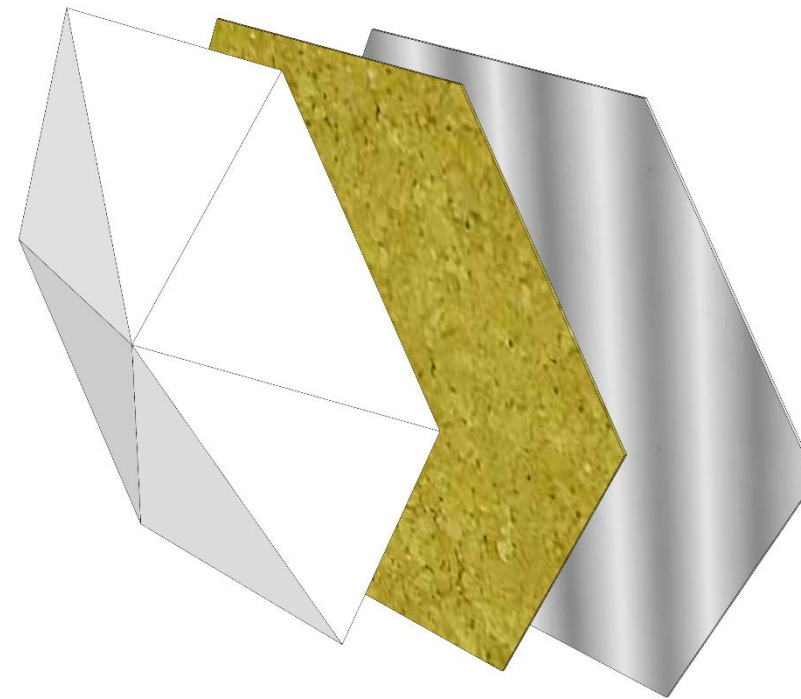


Como resultado de las distintas fases de dosificación y ajustes en el proceso de elaboración, se ha logrado obtener un panel prefabricado con el comportamiento técnico adecuado para reemplazar los materiales convencionales como el gypsum y los sistemas de cielo raso comunes en el mercado. Esta alternativa se presenta como una respuesta funcional a los requerimientos actuales de la construcción interior, donde la facilidad de instalación y la adaptabilidad del material son factores clave para su implementación. El panel, una vez prensado y secado correctamente, presenta rigidez suficiente para ser utilizado en elementos no estructurales, cumpliendo con los parámetros mínimos necesarios para desempeñar su rol en cielos rasos o muros divisiones como ya se ha mencionado. Su fabricación se basa en un proceso controlado que permite mantener la consistencia dimensional de las piezas, lo cual es fundamental para garantizar una instalación limpia, rápida y sin contratiempos técnicos. Viendo desde una perspectiva ambiental, la propuesta tiene un impacto positivo significativo. El uso de los residuos de caña de azúcar no solo responde a una necesidad de manejo responsable de los desechos producidos por estos ingenios azucareros, sino

que contribuye a la reducción de contaminación generada por la quema de estos residuos, práctica común en varias zonas productoras. Al transformar un desecho en un insumo útil, se promueve un modelo de producción circular, alineado con los principios de sostenibilidad que cada vez adquieren mayor relevancia en el ámbito de la arquitectura y la ingeniería. Además de representar una alternativa eficiente en la sustitución de materiales tradicionales, el panel desarrollado se destaca por incorporar un enfoque estético que aporta una capa adicional de valor al producto. A diferencia del gypsum convencional que requiere de acabados posteriores como pintura, estuco o revestimiento, este panel se elabora con acabados integrados que reducen esas etapas adicionales, optimizando tiempo y recursos, pero cabe recalcar que estos paneles solo son decorativos. Durante el proceso de fabricación, se aplicaron técnicas de moldeado con relieve que permiten transferir texturas visuales permanentes como se aprecia en la Figura 56, estas texturas enriquecen el aspecto del material, permitiendo que sea empleado no solo como fondo constructivo sino como una parte atractiva del diseño interior de espacios y ambientes. A recurso se suma el uso de

pigmentación natural, incorporada directamente en la mezcla del material, lo que permite obtener variaciones de tonos de colores, estas tonalidades se obtienen de igual manera a través de propuestas sostenibles, que contribuyen a su estética orgánica, además de que la pigmentación se puede adaptas a diferentes tipos de ambientes.

*Figura 49*  
*Paneles PS*



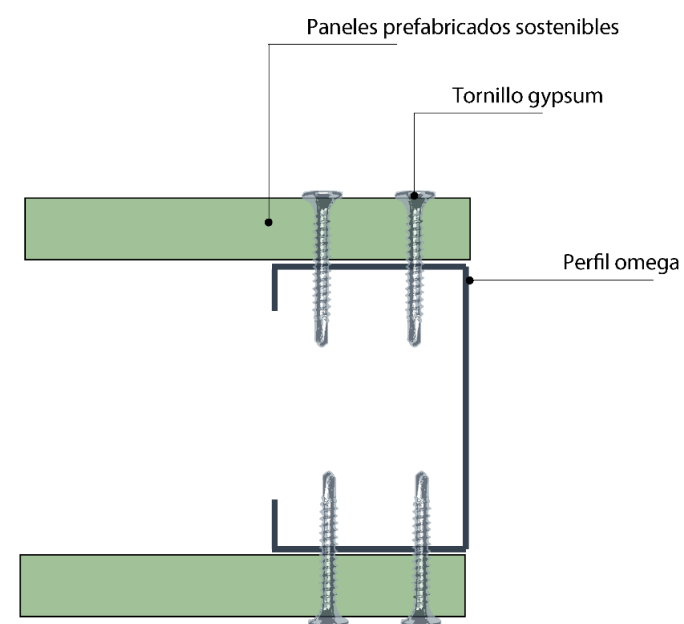
## SISTEMA CONSTRUCTIVO DRYWALL

Los paneles prefabricados desarrollados con residuos de caña de azúcar son compatibles con sistemas de construcción en seco, como el Drywall interior, permitiendo su instalación mediante procedimientos similares a los utilizados con placas de cartón-yeso tradicionales. Este tipo de aplicación resulta especialmente útil para formar divisiones interiores no portantes, como tabiques livianos en viviendas, oficinas o locales comerciales, aportando una alternativa sostenible dentro de los métodos constructivos contemporáneos.

Para su montaje, se requiere una estructura base conformada por perfiles metálicos galvanizados tipo "U" (utilizados generalmente como rieles horizontales en la parte superior e inferior del muro) y tipo "C" (empleados como montantes verticales espaciados regularmente). Estos perfiles forman una retícula que actúa como soporte para los paneles, permitiendo una instalación firme, estable y alineada, como se indica en la Figura 57 y Figura 58. La modulación de esta estructura puede adaptarse a las

dimensiones específicas del proyecto o a las medidas estándar del panel prefabricado, lo que facilita su colocación sin necesidad de cortes excesivos. La fijación de los paneles se realiza mediante tornillos autorroscantes para Drywall, que atraviesan fácilmente el material sin provocar fracturas, asegurando una sujeción adecuada. Para reforzar el aislamiento acústico entre espacios, es posible colocar lana mineral o fibra vegetal compactada entre los perfiles metálicos antes de fijar las placas. Posteriormente, las juntas entre paneles pueden ser tratadas con cintas y masillas ecológicas o convencionales, según el acabado final deseado.

*Figura 50*  
*Instalación*



*Figura 51*

*Proceso aplicación Drywall*

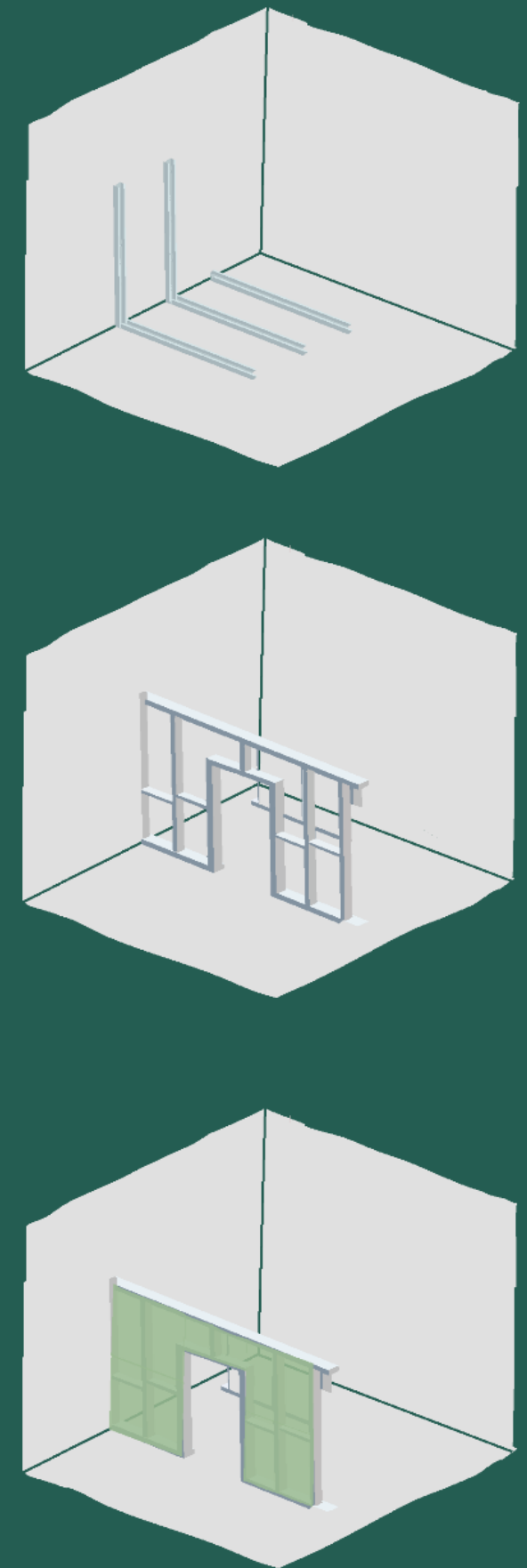
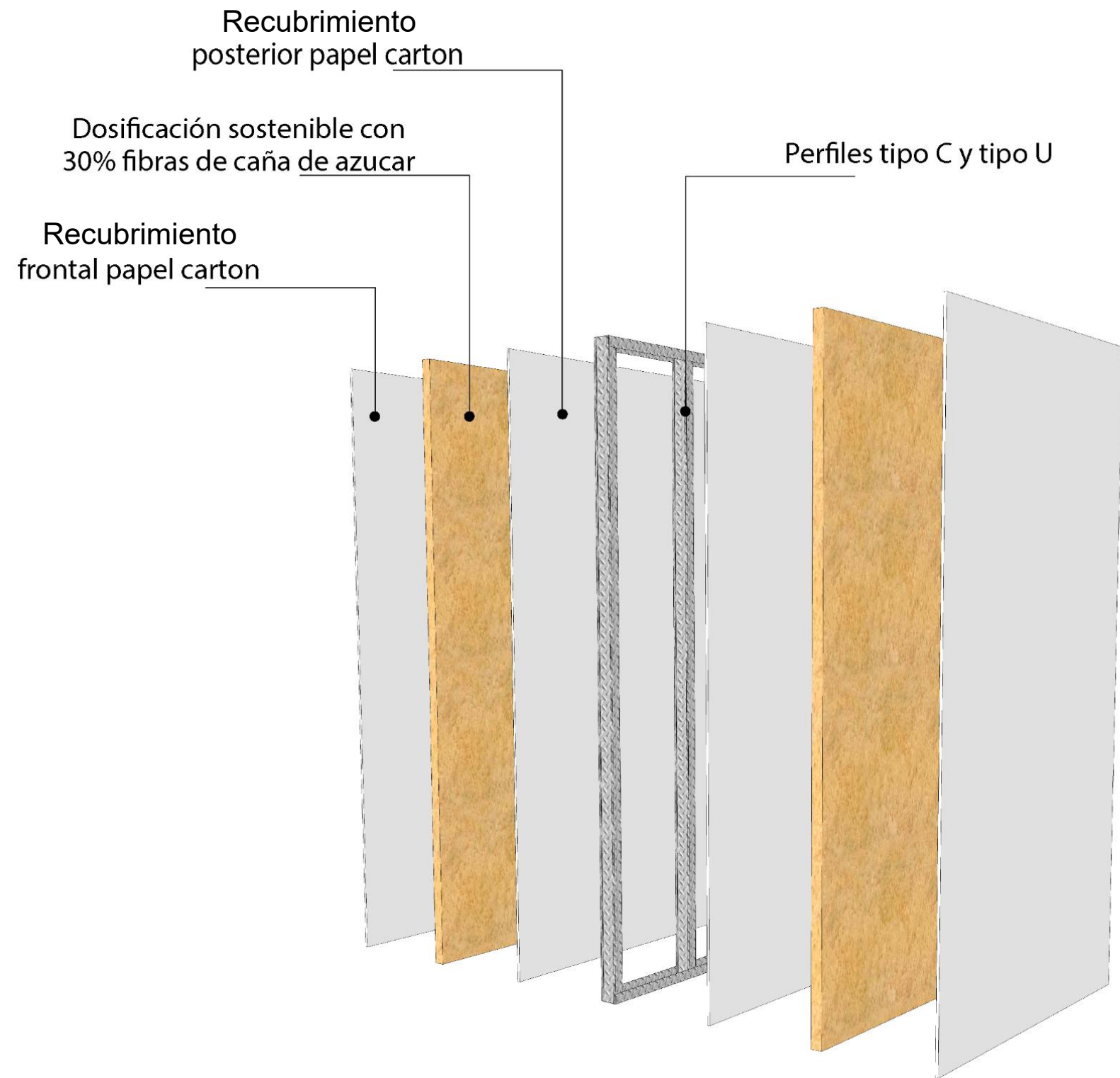


Figura 52

Panel PS para sistema Drywall

Este sistema constructivo no solo agiliza los tiempos de obra, sino que permite un alto grado de limpieza durante la ejecución, además, al ser desmontable y fácilmente modificable, ofrece flexibilidad para futuras redistribuciones del espacio sin necesidad de demoliciones mayores. Así, la incorporación de paneles elaborados con residuos de caña en estructuras representa una opción eficiente y alineada con las demandas de sostenibilidad en la construcción actual. Es importante considerar que, una vez instalados, también requieren acabados finales para lograr una apariencia uniforme. Al igual que ocurre con las placas de cartón-yeso, conocidas como gypsum, tras su fijación sobre la estructura metálica deben tratarse las juntas utilizando cinta y pasta niveladora. Este proceso permite disimular uniones, ocultar tornillos y preparar la superficie para acabados como pintura, estuco entre otros, mirar Figura 59. Esta etapa no solo asegura una correcta terminación visual, sino que protege el material frente a factores como la acumulación de polvo o el contacto leve con la humedad. Por eso la aplicación de un acabado final sigue siendo recomendable para su adecuada integración en distintos ambientes interiores.



## SISTEMA CONSTRUCTIVO CIELO RASO

En aplicaciones horizontales, como cielos rasos interiores, los paneles desarrollados a partir de residuos de caña de azúcar pueden ser instalados utilizando sistemas de suspensión metálica ligera, tales como estructuras de perfilera tipo T, canales en C o sistemas reticulados con soportes regulables. Esta modalidad de instalación es ampliamente empleada en arquitectura interior debido a su capacidad de conformar superficies continuas a partir de módulos prefabricados, que se ajustan fácilmente a diferentes dimensiones de ambiente.

Su implementación permite ocultar elementos técnicos como cableado eléctrico, luminarias empotradas, o ductos de ventilación, sin necesidad de realizar canalizaciones visibles en muros o losas, lo que contribuye a una imagen limpia y ordenada del espacio. El aspecto funcional, esta solución permite generar superficies, continuas y visualmente agradables en espacios interiores. Gracias a su composición y acabado, los paneles pueden integrarse de manera armoniosa en diferentes tipos de ambientes, adaptándose a propuestas arquitectónicas modernas o tradicionales.

Esta versatilidad facilita su aplicación, desde residencias hasta espacios institucionales o comerciales. Así, los paneles no solo ofrecen una alternativa sostenible, sino que también aportan valor estético al diseño interior, contribuyendo a crear espacios más ordenados, coherentes y visualmente equilibrados. Sumado a lo anterior, el sistema modular facilita el mantenimiento, ya que las placas pueden desmontarse de manera individual para realizar intervenciones en las instalaciones ocultas, sin necesidad de demoler o dañar otras partes del cielo raso. Mirar Figura 60 y Figura 61.

Figura 53

Panel PS para sistema Cielo Raso

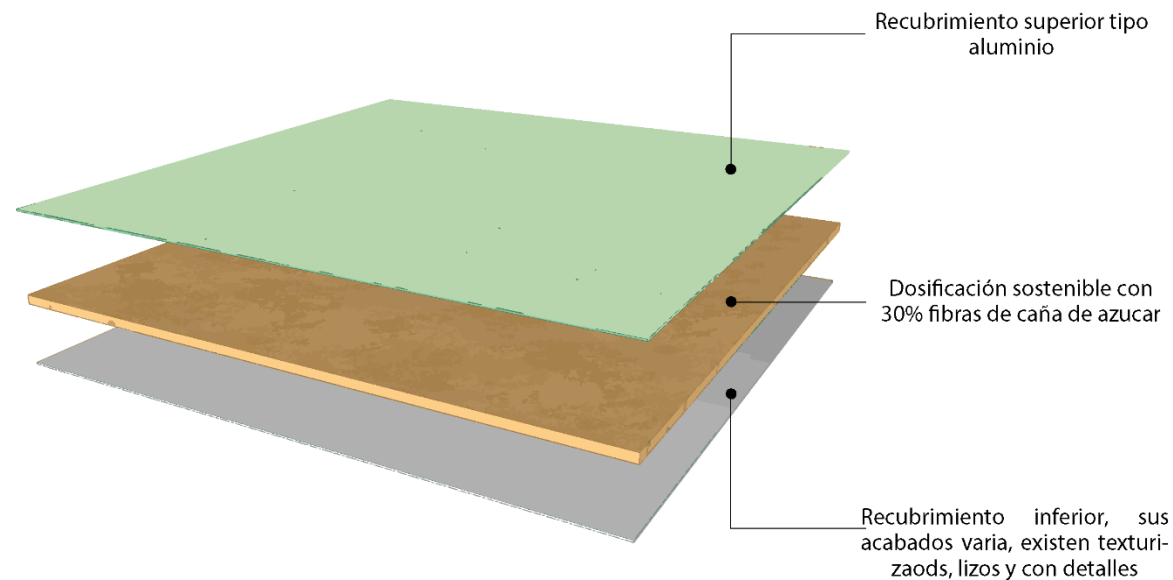
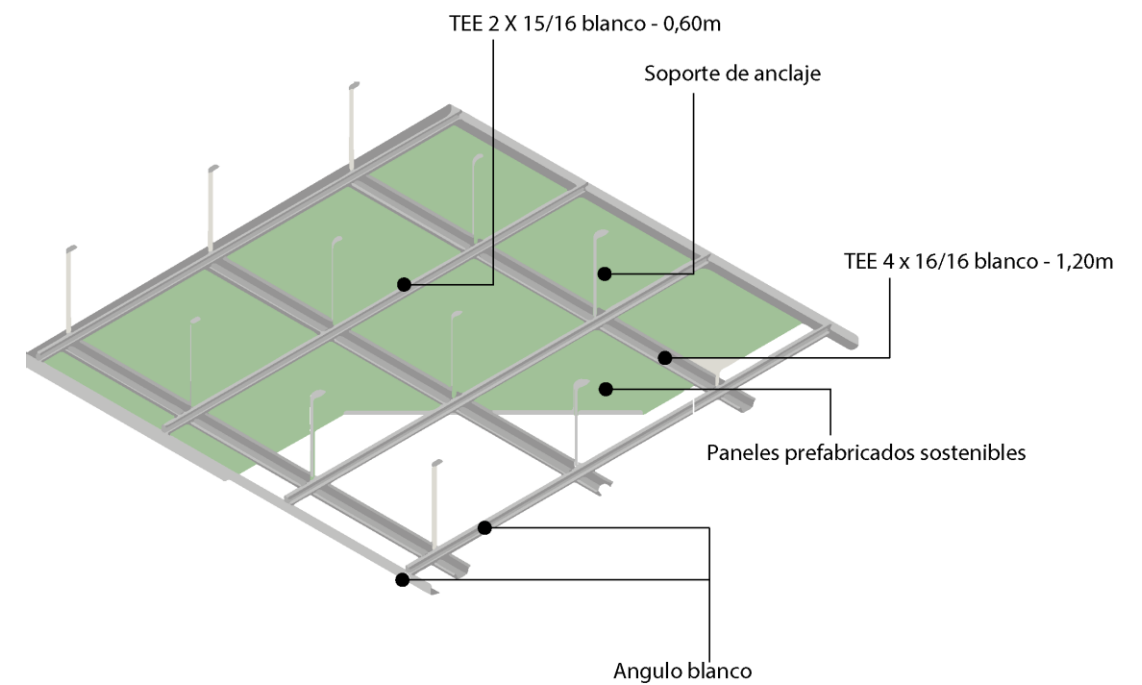


Figura 54

Sistema Cielo Raso



## PANELES DECORATIVOS

Dentro de las soluciones innovadoras desarrolladas en esta investigación, destacan los paneles texturizados prefabricados, los cuales fueron diseñados no solo con criterios sostenibles, sino también con un enfoque práctico y estético para su aplicación en interiores. A diferencia de los revestimientos convencionales, estos paneles cuentan con un acabado superficial final incorporado directamente durante su proceso de fabricación, lo que elimina la necesidad de aplicar pintura, estuco o cualquier tratamiento adicional posterior a la instalación. Esta característica los convierte en una alternativa eficiente que reduce tiempo, costos y mano de obra en obra, sin sacrificar la calidad visual del acabado. Estos paneles decorativos, desarrollados a partir de residuos de caña de azúcar, representan una solución integral para revestimientos interiores. Su textura y color son integrados desde el moldeado, permitiendo que cada pieza salga lista para ser instalada, con una apariencia final que responde tanto a criterios estéticos como de funcionalidad. A este producto se lo ha denominado panel decorativo sostenible, ya que además de aprovechar

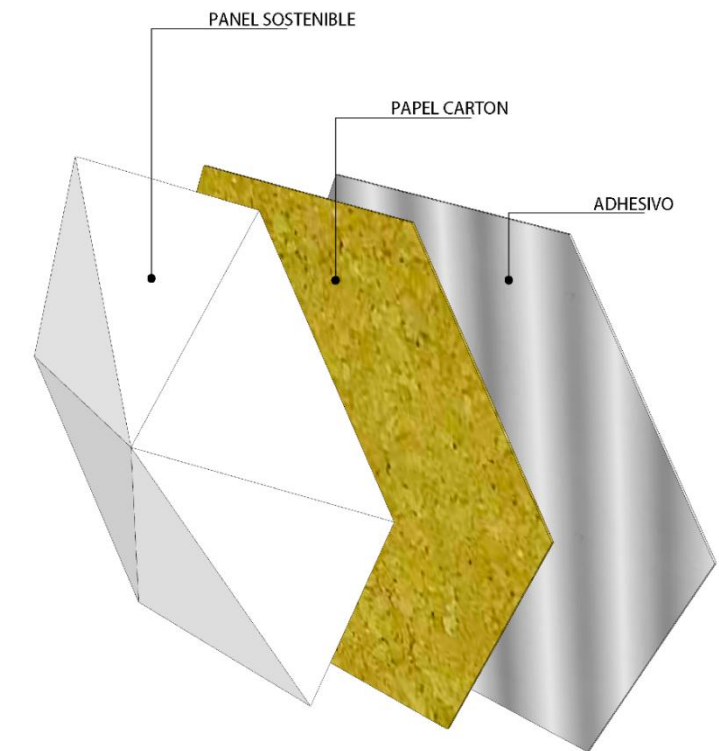
materiales reciclados en su composición, permite una intervención limpia y directa en los espacios sin generar residuos o requerir materiales adicionales para acabados.

En cuanto a su estructura, en la parte posterior del panel se incorpora una lámina de papel cartón, que cumple una doble función: por un lado, aporta rigidez y estabilidad a todo el conjunto, permitiendo que el panel conserve su forma durante la instalación y el uso; por otro lado, mejora su adherencia sobre las superficies, facilitando el montaje y al mismo tiempo aumentando la durabilidad del sistema. Este respaldo no añade peso significativo al panel, manteniendo así su condición de liviano y fácil de manipular en obra, mirar Figura 62.

Uno de los elementos más prácticos de este sistema es la capa autoadhesiva, ubicada al reverso del papel cartón. Esta capa viene protegida por una lámina removible que, al ser retirada, permite fijar el panel directamente sobre muros u otras superficies interiores. Gracias a este mecanismo, no se requieren herramientas especializadas ni adhesivos líquidos, lo que simplifica el proceso de instalación, reduce los tiempos de ejecución y evita desorden o residuos.

*Figura 55*

*Panel Decorativo*



Además de su practicidad, los paneles texturizados ofrecen una importante variedad de texturas y tonalidades. Esta diversidad permite adaptarlos a distintos estilos arquitectónicos y decorativos, desde ambientes modernos hasta espacios más rústicos o tradicionales. Las texturas, al estar en relieve, generan juegos visuales atractivos cuando interactúan con la iluminación del espacio, y también pueden disimular imperfecciones en las superficies donde se colocan, funcionando como una capa decorativa que mejora

la percepción visual del ambiente. Por su parte, los colores obtenidos mediante pigmentación natural no solo refuerzan el carácter ecológico del producto, sino que también brindan opciones cromáticas que se integran armoniosamente en los distintos entornos, aportando calidez, identidad y personalidad al lugar.

*Figura 56*

*Aplicación de paneles decorativos*



Las texturas y colores integrados en los paneles permiten una fácil adaptación a distintos tipos de espacios interiores, ya sean modernos, clásicos o rústicos. Esta versatilidad facilita su uso en viviendas, oficinas o locales comerciales, aportando personalidad al ambiente y logrando una armonía visual que se ajusta a cada estilo decorativo y arquitectónico.

Los paneles representan una propuesta versátil, estética y responsable con el medio ambiente, capaz de responder a las exigencias actuales del diseño interior sin recurrir a materiales contaminantes. Su facilidad de instalación, unida a sus cualidades decorativas, los posiciona como una alternativa ideal para quienes buscan soluciones amigables, como se presenta en la Figura 63.



*Figura 57*  
*Paneles PS uso*



Figura 58  
Paneles PS diferentes usos



## 4.5.. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

El desarrollo de paneles prefabricados a partir de residuos de caña de azúcar ha demostrado ser una propuesta técnicamente viable, ambientalmente responsable y adaptable a distintas aplicaciones constructivas en interiores. A lo largo del proceso investigativo, se evidenció que estos residuos, generalmente desaprovechados o incinerados, pueden transformarse en un material útil que responde a las necesidades actuales de sostenibilidad y eficiencia en el sector de la construcción. Mediante el diseño de diferentes dosificaciones, fue posible identificar una mezcla óptima compuesta por un 30% de fibras, la cual ofreció un buen rendimiento en términos de resistencia mecánica y trabajabilidad.

Esta dosificación se seleccionó no solo por sus resultados técnicos, sino también por su facilidad de producción, considerando las condiciones locales y la disponibilidad de recursos. Las pruebas de compresión y flexión confirmaron que el material es adecuado para aplicaciones no estructurales, cumpliendo con los requisitos básicos para muros divisorios, cielos rasos y elementos decorativos.

Además, la fabricación del panel con acabados integrados en textura y color representa una ventaja competitiva al reducir procesos secundarios como el lijado, pintado o revestimiento, lo que disminuye el tiempo de instalación y el uso de materiales adicionales. Durante la fase de aplicación, se comprobó la compatibilidad del panel con sistemas constructivos existentes, especialmente aquellos que emplean perfiles metálicos o estructuras livianas, lo cual facilita su incorporación sin necesidad de modificar los métodos constructivos tradicionales. Esta etapa también permitió evaluar aspectos prácticos como la facilidad de corte, perforación y fijación, confirmando que el material se puede trabajar con herramientas comunes en obra.

Por otro lado, el proceso de fabricación que incluye etapas de lavado, secado, tamizado, mezclado y prensado demostró ser replicable a pequeña escala, lo que permite considerar su implementación en contextos rurales o en zonas donde se genere este tipo de residuo. El hecho de trabajar con una materia prima de bajo o nulo costo también refuerza el enfoque sostenible y social del proyecto. En

conjunto, este trabajo no solo plantea una alternativa ecológica al uso de materiales convencionales como el gypsum, sino que también abre el camino para futuras investigaciones y desarrollos que promuevan una construcción más consciente, eficiente y vinculada con los recursos disponibles en cada territorio.

### RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos durante la investigación y la fase experimental, se proponen las siguientes recomendaciones para fortalecer el desarrollo del material y orientar futuras investigaciones o aplicaciones prácticas. Ampliar el alcance de los ensayos. Se recomienda complementar los ensayos realizados con pruebas específicas de aislamiento térmico, acústico y resistencia a la humedad. Esto permitirá evaluar el comportamiento del panel en diferentes condiciones ambientales y climáticas, especialmente en zonas donde las variaciones de temperatura o la presencia de humedad puedan afectar su rendimiento. Estos ensayos son clave para determinar la viabilidad del material en espacios como baños, cocinas o

incluso en climas tropicales. Además, contribuirán a definir con mayor precisión los usos óptimos del panel dentro del sistema constructivo, favoreciendo su adopción en proyectos arquitectónicos que prioricen el confort interior y la eficiencia energética. Realizar un análisis económico y ambiental más profundo, se sugiere llevar a cabo, en futuras etapas, un estudio detallado de costo-beneficio que permita comparar el panel desarrollado con materiales convencionales como el gypsum. Junto a esto, sería importante aplicar un análisis de ciclo de vida (ACV), con el fin de medir de manera más exacta el impacto ambiental desde la recolección de residuos hasta la aplicación final del producto. Esto aportará argumentos sólidos para posicionar el material como una alternativa sostenible y económicamente competitiva, fortaleciendo su aceptación en el mercado.

Evaluar la durabilidad a largo plazo, se recomienda someter algunos prototipos a condiciones controladas de exposición prolongada, para observar su comportamiento con el paso del tiempo. Esto permitiría identificar posibles deterioros físicos o cambios en su apariencia y resistencia, y ajustar el

proceso de fabricación si fuera necesario, asegurando mayor confianza en su desempeño real.

Documentar el proceso completo con fines educativos, sería útil generar una guía técnica ilustrada que incluya todos los pasos del proceso de fabricación, desde la recolección de los residuos hasta la obtención del panel final. Esto facilitará la transferencia del conocimiento a otros estudiantes, comunidades o personas interesadas en replicar la propuesta, fomentando la innovación local y el aprovechamiento de recursos disponibles en cada territorio.

#### 4.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2022). *Luego de siete años aumenta el precio de la tonelada de caña de azúcar.*  
<https://www.agricultura.gob.ec/luego-de-siete-anos-aumenta-el-precio-de-la-tonelada-de-cana-de-azucar/>
- Reyes, D., Cornejo, Y. (2014). *ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCION CON MATERIAL RECICLABLE.*  
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/6d2d2702-44ea-467e-8708-31de6bf94cfd/content>
- Ramírez., M. (2008). *Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos.*  
<https://www.bibalex.org/search4dev/files/289330/120295.pdf>
- Mármol, J., Livia Poma, R. (2014). *"PROYECTO ASOCIATIVO PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE PAPEL BOND EN BASE DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, UBICACADA EN EL VALLE DEL CHOTA, PARROQUIA, PROVINCIA DE IMBABURA Y SU DISTRIBUCIÓN EN LA CIUDAD DE QUITO".*  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6249/1/UPS-QT04741.pdf>
- Vera, I. A. (2006). *Cultivo caña de azúcar.*  
<https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/Cultivo+de+Ca%C3%B1a+de+Az%C3%BAcar-1.pdf>.
- Armijos., S. (2024). *La caña de azúcar mueve la economía de varios cantones.*  
<https://www.vistazo.com/enfoque/la-cana-de-azucar-mueve-la-economia-de-varios-cantones-JD7014319>
- Tinoco., G. (2018). *"Uso del residuo agrícola de la caña de azúcar como material alternativo para la elaboración de paneles prefabricados ecológicos de yeso – Lima 2018".*  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25868/Tinoco\\_PGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25868/Tinoco_PGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cajamarca., I. (2022). *Sociedades como Golden Marks se dedican a fabricar y comercializar productos biodegradables y amigables con el medio ambiente.*  
<https://www.larepublica.co/especiales/practicas-sostenibles/conozca-algunas-empresas-que-se-le-miden-a-usar-el-bagazo-de-cana-en-sus-productos-3376854>
- Navarrete, N., Naikiat, J., Parrales, M. (2022). *Desarrollo local de San Carlos (Ecuador). La caña de azúcar como potencial de emprendimiento.*  
<https://www.revistaespacios.com/a22v43n11/a22v43n11p03.pdf>
- Comunicaciones técnicaña. (2024). *Sugarcrete: materiales de construcción producidos de la Caña de Azúcar.*  
<https://tecnicana.org/2024/02/13/sostenibilidad/sugarcrete-materiales-de-construccion-producidos-de-la-cana-de-azucar/?v=056158413026#:~:text=La%20composici%C3%B3n%20de%20Sugarcrete%20es,convencionales%20de%20arcilla%20o%20concreto.>
- Romero., M. (2002). *Los residuos agroindustriales,*

- una oportunidad para la economía circular.*  
<https://www.redalyc.org/journal/3442/344271354013/html/>
- Chacha, A., Chiluisa, P. (2023). "APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) PARA LA OBTENCIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES".  
<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10564/1/PC-002657.pdf>
  - Ayala., J. (2002). Materiales de construcción con materiales reciclados.  
<file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/2299.pdf>
  - Urbano., S. (2014). *CONSECUENCIA AMBIENTAL DE LA QUEMA EXTENSIVA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.*  
<file:///D:/DOCUMENTOS/Documents/OCTAVO%20SEMESTRE/DOC%20TESIS/LEONARDO%20URBANO%202014.pdf>
  - Jácome, C., García, R., Guevara, L., Moreta, T. (2023). *Revalorización Del Bagazo De Cana De Azucar Saccharum Offi-9124152.pdf*
  - Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2022). *Luego de siete años aumenta el precio de la tonelada de caña de azúcar.*  
<https://www.agricultura.gob.ec/luego-de-siete-anos-aumenta-el-precio-de-la-tonelada-de-cana-de-azucar/>
  - Reyes, D., Cornejo, Y. (2014). *ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCION CON MATERIAL RECICLABLE.*  
<https://repositorio.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/6d2d2702-44ea-467e-8708-31de6bf94cfd/content>
  - Ramírez., M. (2008). *Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos.*  
<https://www.bibalex.org/search4dev/files/289330/120295.pdf>
  - Mármol, J., Livia Poma, R. (2014). "PROYECTO ASOCIATIVO PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE PAPEL BOND EN BASE DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, UBICACADA EN EL VALLE DEL CHOTA, PARROQUIA, PROVINCIA DE IMBABURA Y SU DISTRIBUCIÓN EN LA CIUDAD DE QUITO".  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6249/1/UPS-QT04741.pdf>
  - Vera, I. A. (2006). Cultivo caña de azúcar.  
<https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/Cultivo+de+Ca%C3%B1a+de+Az%C3%BAcar-1.pdf>
  - Armijos., S. (2024). *La caña de azúcar mueve la economía de varios cantones.*  
<https://www.vistazo.com/enfoque/la-cana-de-azucar-mueve-la-economia-de-varios-cantones-JD7014319>
  - Tinoco., G. (2018). "Uso del residuo agrícola de la caña de azúcar como material alternativo para la elaboración de paneles prefabricados ecológicos de yeso – Lima 2018".  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25868/Tinoco\\_PGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25868/Tinoco_PGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
  - Cajamarca., I. (2022). *Sociedades como Golden Marks se dedican a fabricar y comercializar productos biodegradables y amigables con el medio ambiente.*

- <https://www.larepublica.co/especiales/practicas-sostenibles/conozca-algunas-empresas-que-se-le-miden-a-usar-el-bagazo-de-cana-en-sus-productos-3376854>
- Navarrete, N., Naikiat, J., Parrales, M. (2022). *Desarrollo local de San Carlos (Ecuador). La caña de azúcar como potencial de emprendimiento*. <https://www.revistaespacios.com/a22v43n11/a22v43n11p03.pdf>
  - Comunicaciones técnicaña. (2024). *Sugarcrete: materiales de construcción producidos de la Caña de Azúcar*. <https://tecnicana.org/2024/02/13/sostenibilidad/sugarcrete-materiales-de-construccion-producidos-de-la-cana-de-azucar/?v=056158413026#:~:text=La%20composici%C3%B3n%20de%20Sugarcrete%20es,convencionales%20de%20arcilla%20o%20concreto.>
  - Romero., M. (2002). *Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular*. <https://www.redalyc.org/journal/3442/344271354013/html/>
  - Chacha, A., Chiluisa, P. (2023). *“APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum) PARA LA OBTENCIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES”*. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10564/1/PC-002657.pdf>
  - Ayala., J. (2002). *Materiales de construcción con materiales reciclados*. <file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/2299.pdf>
  - Urbano., S. (2014). *CONSECUENCIA AMBIENTAL DE LA QUEMA EXTENSIVA DE LA CAÑA DE AZÚCAR*. <file:///D:/DOCUMENTOS/Documents/OCTAVO%20EMESTRE/DOC%20TESIS/LEONARDO%20URBANO%202014.pdf>
  - Jácome, C., García, R., Guevara, L., Moreta, T. (2023). *Revalorización Del Bagazo De Cana De Azucar Saccharum Offi-9124152*. <file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/2299.pdf>
  - Aguilar, M., Torre, A. (2024). *DISEÑO DE UN BLOQUE DE MAMPOSTERÍA CON BASE EN LAS FIBRAS DE ALGODÓN Y BAGAZO DE CAÑA*. [file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/T-ULVR-5451%20\(1\).pdf](file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/T-ULVR-5451%20(1).pdf)
  - Alcaldía del Distrito Metropolitano de Quito. (2023). *resolución ADMQ 026-2023*. <file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/RADMQ-026-2023-Reglas-tecnicas-Arquitectura-y-urbanismo-Anexo.pdf>
  - Chiriboga., B. (2012). *CENTRO CULTURAL PARA NIÑOS DE EDUCACION BASICA*. <file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/Capitulo%20I%20y%20II.pdf>
  - García, R., Quirós. R., Rosales. M. (2022) *LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA EN LOS ÚLTIMOS 25 AÑOS*. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3943529003/html/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20de%20residuos%20generados,disminuci%C3%B3n%20de%20la%20contaminaci%C3%B3n%20ambiental>
  - Corporación Financiera Nacional, (2022). *Ficha Sectorial: Azúcar*. [en línea]. Disponible en:

- <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2022/fichas-sectoriales-3-trimetre/Ficha-Sectorial-Azucar.pdf>
- RIECMAN, (1995). *Documento Marco Teórico*. [en línea]. Disponible en: <file:///D:/DOCUMENTOS/Documents/NOVENO%20EMESTRE/TESIS%20ARQ%20CARLOS/DOC%20MARCO%20TEORICO/Riechmann%201995.pdf>
  - Walter, R. Stahe, (2021). *El señor de los círculos económicos*. <https://ambienteplastico.com/walter-r-stahel-el-senor-de-los-circulos-economicos/>
  - COLLADO, Pablo. *Control de ejecución de tabiquerías y cerramientos*. [en línea]. 1.ra ed. España.
  - Edwards, Brian (2008). *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona: Gustavo Gili. [file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/Guia\\_Basica\\_de\\_la\\_Sostenibilidad.pdf](file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/Guia_Basica_de_la_Sostenibilidad.pdf)
  - SICON. *Documento regular rey*. [en línea]. Disponible en: [file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/regular\\_rey.pdf](file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/regular_rey.pdf)
  - López, (2006). *Documento académico en NOESIS*. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/148f252d-7512-407d-806c-9d338c82b734/content>
  - Corporación Financiera Nacional, (2022). *Ficha Sectorial: Azúcar*. [en línea]. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2022/fichas-sectoriales-3-trimetre/Ficha-Sectorial-Azucar.pdf> <file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/Capitulo%20I%20y%20II.pdf>
  - García, R., Quirós. R., Rosales. M. (2022) *LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA EN LOS ÚLTIMOS 25 AÑOS*. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3943529003/html/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20de%20residuos%20generados,disminuci%C3%B3n%20de%20la%20contaminaci%C3%B3n%20ambiental>.
  - Corporación Financiera Nacional, (2022). *Ficha Sectorial del Azúcar*. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2022/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Azucar.pdf>
  - Teoría de construcción, (2010). *Blog sobre construcción, teoría y aplicación: materiales, normativa de edificación, sistemas constructivos*. <https://teoriadeconstruccion.net/blog/retardantes-definicion-y-efectos/>
  - NORMA ESPAÑOLA, (2006). *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción*. [file:///C:/Users/DELL/Downloads/\(EX\)UNE-EN\\_13279-1=2006.pdf](file:///C:/Users/DELL/Downloads/(EX)UNE-EN_13279-1=2006.pdf)
  - López Alvarado, L. A. (2006). *Elaboración de paneles prefabricados para muros divisorios a partir de bagazo de caña de azúcar y cemento* [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. <file:///D:/DOCUMENTOS/Documents/NOVENO%20EMESTRE/TESIS%20ARQ%20CARLOS/REFERENTES/LOPEZ%202006.pdf>

#### 4.7. ANEXOS

ANEXO 1



ANEXO 2



ANEXO 3



ANEXO 4



ANEXO 5



ANEXO 6





FICHA TECNICA ELABORACION DE PANELES					
Fecha inicio	02-12-24	Fecha fin	02-12-24	Muestra #	1
Hora inicio	14:15	Hora Fin	14:35	Contenido de fibra	10 %
DIMENCIONES	U	REGISTRO FOTOGRAFICO			
Long.	18cm				
Trans.	18cm				
Espesor	1cm				
Peso inicial	253.75gr				
Peso final					
MATERIALES	Tamiz #	Cant.	<p>NOTAS:</p> <p>Se coloco aproximadamente la misma cantidad de agua y materiales sólidos(fibras), la cantidad de agua no era la correcta provocando que la mezcla sea muy liquida, pero el resultado fue que si se pudo prensar en el molde.</p> <p>La granulometría del tamiz #4 aun es muy grande, para siguientes prototipos deberá pasar por otro proceso de trituración para reducir el tamaño de sus fibras</p>		
Fibra	4	10g			
	8	4g			
	16	6g			
	30	6g			
	base	2.4g			
Yeso		291.6gr			
Agua		300gr			
Pegamento		-			
SECADO	Hora Inicio	Hora Fin			
Panel	16:00				
Grados	105 grados				

**CÁLCULO DE PROBETAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN**

**MUESTRA 1**

$l := 40 \text{ mm}$   
 $A := 1600 \text{ mm}^2$   
 $F := 25161 \text{ N}$



Resistencia a la compresión  $Rc := \frac{F}{A} = 15.726 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  **SI CUMPLE**

**MUESTRA 2**

$l := 40 \text{ mm}$   
 $A := 1600 \text{ mm}^2$   
 $F := 29742 \text{ N}$

Resistencia a la compresión  $Rc := \frac{F}{A} = 18.589 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  **SI CUMPLE**

ENLACE DRIVE DONDE SE ENCUENTRAN LAS DEMAS FICHAS TÉCNICAS Y CÁLCULOS COMPLETOS: [https://drive.google.com/drive/folders/1B7Cr\\_Az5omEjPQpLH\\_ybPZEvOK2YCvr?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1B7Cr_Az5omEjPQpLH_ybPZEvOK2YCvr?usp=drive_link)

ENLACE DRIVE DONDE SE ENCUENTRAN LAS DEMAS FICHAS TÉCNICAS Y CÁLCULOS COMPLETOS: [https://drive.google.com/drive/folders/1B7Cr\\_Az5omEjPQpLH\\_ybPZEvOK2YCvr?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1B7Cr_Az5omEjPQpLH_ybPZEvOK2YCvr?usp=drive_link)