



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL  
CAMPO DE TECNOLOGÍA**

Material emergente, bio compuesto de almidón termoplástico y bagazo  
de cebada para la aplicación en mobiliario de interiores como alternativa al MDF.

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL**

**PRESENTA:**

D.I. Edith Sofia Moreno Larios

**TUTOR PRINCIPAL**

Mtro. Ernesto Ocampo Ruiz  
Facultad de Arquitectura – UNAM

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR**

Dra. Estela Sandoval Zapotitla  
Jardín Botánico, Instituto de Biología, UNAM  
Dr. Miguel Eguiluz Senior

División de Posgrado en Diseño Industrial de la Facultad de Arquitectura, UNAM

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, octubre 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*“The earth is a fine place and worth fighting for.”*

- Ernest Hemingway

Por papá.

Para mamá.

Para mis hermanos.

Por ustedes soy y seré.

Para Juan.

Por alentarme a siempre seguir.

A mis amigos.

Por siempre creer en mí y ayudarme a arriesgarme.

Agradecimientos al CONACYT que sin el apoyo continuo no se hubiera podido concretar los estudios y experimentos enfocados a este material.

A mis tutores por creer en el proyecto desde el inicio.

Al M. en C. Eliezer Hernández Mecinas que, junto con el Instituto de Investigaciones de Materiales de la UNAM, nos apoyó en las pruebas mecánicas.

Al Dr. Francisco Manuel Sánchez Arévalo del Instituto de Investigaciones de Materiales de la UNAM, quien me estuvo asesorando durante las caracterizaciones mecánicas.

A la Dra. Ilse García Villalobos por su guía en la utilización del microscopio.

## Resumen

En el contexto de un mundo caracterizado por la imperante urgencia del cambio climático, el diseño de mobiliario se encuentra en un punto de transformación crucial en donde se busca reemplazar los materiales convencionales para reducir el consumo excesivo. En aras de mitigar esto, emerge una revolución en la selección de materiales donde se investiga el refuerzo de componentes biodegradables, como lo es el almidón termoplástico, con fibras naturales rescatadas de los desechos agroindustriales.

Con un enfoque altamente exploratorio y experimental, la presente investigación se adentra en la búsqueda de llegar a una sostenibilidad ambiental sin dejar de lado la funcionalidad y la estética del producto. Mediante una cuidadosa selección de muestras y el diseño de experimentos estratégicos, se emplea la revisión documental, observación y mediciones precisas persiguiendo la formulación idónea del compuesto de almidón termoplástico y bagazo de cebada, guiado por el objetivo principal de optimizar sus propiedades mecánicas.

Una mejora significativa del 14.40% del compuesto en el módulo elástico, en comparación con su contraparte de almidón termoplástico puro, resalta el aprovechamiento del uso de residuos agroindustriales.

Si bien estos resultados son alentadores, se destaca la necesidad de considerar de manera equitativa el proceso de manufactura, asimismo, se alude a la oportunidad de explorar alternativas de materia prima, como el almidón proveniente del hueso de aguacate y fuentes de agua tratada o pluvial. Estas perspectivas adicionales apuntan a un compromiso continuo con la optimización y expansión de los horizontes de esta investigación.

<b>1</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
1.1	LOS MATERIALES TRADICIONALES Y EL DISEÑO SUSTENTABLE.....	16
1.1.1	<i>Mobiliario desechable</i> .....	19
1.2	PERSPECTIVA INSULAR Y CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD .....	21
1.2.1	<i>Ecodiseño</i> .....	30
1.3	LÁMINA DE FIBRA DE MEDIA DENSIDAD (MDF) Y SUS CONSECUENCIAS AL AMBIENTE .....	33
1.4	MATERIALES EMERGENTES EN EL DISEÑO.....	36
1.5	BIOPOLÍMEROS .....	42
1.6	ALMIDÓN .....	45
1.6.1	<i>Almidón termoplástico</i> .....	49
<b>1.7</b>	<b>LA CEBADA: <i>HORDEUM VULGARE L. (POACEAE)</i></b> .....	<b>50</b>
<b>1.8</b>	<b>BAGAZO DE CEBADA</b> .....	<b>54</b>
1.8.1	<i>Los residuos como materia prima</i> .....	57
1.9	MATERIALES BIO COMPUESTOS.....	59
1.10	¿POR QUÉ UTILIZAR NUEVOS MATERIALES? .....	63
<b>2</b>	<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>65</b>
2.1	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	67



2.2	HIPÓTESIS .....	67
2.3	OBJETIVO .....	68
<b>3</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>69</b>
3.1	OBTENCIÓN DEL BAGAZO DE CEBADA.....	72
3.2	INSTRUMENTACIÓN.....	76
3.3	COMPONENTES DE LA MEZCLA DE ALMIDÓN.....	78
3.3.1	<i>Los almidones experimentales</i> .....	79
3.4	DISEÑO DE PRENSA NO.1.....	79
1.1	USO DE MALLAS ORGÁNICAS COMO REFUERZO DEL LAMINADO.....	84
1.2	DISEÑO DE SECADOR DE PLACAS .....	86
3.5	DESARROLLO DEL PROTOTIPO SIN LÁMINA TEXTIL .....	89
1.3	PASOS QUE SEGUIR PARA LA ELABORACIÓN DEL BIO COMPUESTO A NIVEL LABORATORIO .....	91
3.6	DISEÑO DE PRENSA NO. 2 .....	93
<b>4</b>	<b>CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL PANEL TERMOPLÁSTICO.....</b>	<b>95</b>
4.1	<b>PRUEBAS MECÁNICAS:</b> .....	96
4.2	NORMATIVA ASTM D 1037 – 06A .....	99
4.3	PROBETAS SEGÚN LA NORMATIVA ASTM D 1037-06A:.....	100
4.3.1	<i>Flexión Estática</i> .....	101

4.3.2	<i>Tensión paralela a la superficie</i> .....	104
4.3.3	<i>Resistencia del Clavo Lateral</i> .....	106
4.3.4	<i>Retiro de clavo</i> .....	108
4.3.5	<i>Atravesamiento de cabeza de clavo</i> .....	109
4.3.6	<i>Retiro directo del tornillo</i> .....	110
4.3.7	<i>Dureza</i> .....	111
4.3.8	<i>Cortante en el plano del panel</i> .....	113
4.3.9	<i>Compresión paralela a la superficie</i> .....	115
4.4	VISTA MICROSCÓPICA.....	119
4.5	BIODEGRADABILIDAD .....	120
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>127</b>
5.1	LOS ALMIDONES EXPERIMENTALES .....	128
5.2	RESULTADO DE LA EXPERIMENTACIÓN CON MALLA TEXTIL .....	134
5.2.1	<i>Resultados de la placa sin textil</i> .....	135
5.2.2	<i>Resultados prensa no 2</i> .....	137
5.3	PROYECCIÓN DE COSTOS .....	138
5.4	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN: PRUEBAS MECÁNICAS.....	142
5.4.1	<i>Flexión Estática</i> .....	142
5.4.2	<i>Tensión paralela a la superficie</i> .....	146

5.4.3	<i>Resistencia del panel a la extracción del clavo paralela a la superficie.</i>	154
5.4.4	<i>Extracción de clavo normal a la superficie del panel</i>	157
5.4.5	<i>Atravesamiento de cabeza de clavo en panel</i>	160
5.4.6	<i>Retiro directo de tornillo en panel</i>	163
5.4.7	<i>Módulo de dureza</i>	166
5.4.8	<i>Cortante en el plano del panel</i>	174
5.4.9	<i>Compresión paralela a la superficie</i>	178
5.5	RESULTADOS DE BIODEGRADABILIDAD:	187
5.6	ANÁLISIS DE MICROSCOPIO	201
<b>6</b>	<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN</b>	<b>206</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>218</b>
	<b>FIGURAS</b>	<b>224</b>
	<b>TABLAS</b>	<b>229</b>
	<b>DIAGRAMAS</b>	<b>232</b>

## Introducción

Hoy en día, el concepto de sustentabilidad se ha hecho aún más importante en los criterios de producción. Uno de los retos del diseñador actual es poder generar nuevas alternativas dentro de los procesos de manufactura y diseño para poder incorporar las consideraciones ambientales sin dejar a un lado la forma y la función.

No es realmente nuevo, el acercamiento de los diseñadores a considerar los impactos ambientales de sus productos. Se toma una posición importante ante la toma de decisiones, donde se analiza la procedencia de los materiales que se utilizan, de donde viene, que tipo de procedimientos deben transcurrir para poder obtenerlo y hacia dónde va, esto último tomando en cuenta si es posible reutilizarlo, reciclarlo o bien reducir el consumo. Ahora bien, en este punto nos detenemos a pensar, ¿os diseñadores están verdaderamente preparados para responder a las nuevas demandas del mercado actual?, la respuesta es probablemente no. En la mayoría de las escuelas de diseño no se enseña a fondo los impactos de las decisiones

sociales y ambientales que tomamos a través de nuestros proyectos, o bien no se interesa en ello.

Muchos de los problemas ambientales que hoy sufrimos se han desarrollado por la contaminación del uso excesivos de productos y servicios con gran impacto a la tierra. La mayoría utiliza recursos naturales, los cuales en general son irremplazables, así como el petróleo. Los procesos de manufactura gastan cantidades inconmensurables de agua y energía, y dan como resultados desperdicios excedentes a los que no se les puede o simplemente no se le da una nueva vida. Es por ello por lo que los diseñadores debemos ser conscientes de los procesos de inicio a fin de nuestros productos.

Por estas mismas razones es que se buscan las alternativas más viables para dar un giro de 180° pues así, podremos al menos minorizar los impactos que se han causado a lo largo de las décadas y sobre todo concientizar a través del diseño el problema ambiental que la producción causa.

Asimismo, en el mundo de los plásticos (polímeros) ya conocemos bio alternativas funcionales que se han estudiado y ya están en el mercado, sin embargo, muchas de estas opciones

tienen aditivos químicos o sus procesos de degradación forzosamente deben estar en una composta controlada a nivel industrial

Los materiales emergentes son una fuente interesante, maleable e inagotable de oportunidades en el desarrollo del diseño, interviene desde el material hasta las propuestas finales del producto que se integra. Se nos ofrece una nueva oportunidad en el uso de residuos donde se genera una simbiosis de factores económicos, sociales y culturales, así como la búsqueda de soluciones de diseño más amables con el medio ambiente. (Alarcón Castro, 2021)

Durante el lapso en el cual estamos situados desde el comienzo de este proyecto, se nos presentaron dificultades por la pandemia COVID-19, esto nos permitió idear nuevos procesos para la fabricación del material, no solo porque fuese hecho a nivel laboratorio con instrumental de cocina, sino que, nos permitió experimentar estrategias de diseño diferentes a lo que normalmente podríamos hacer. Los resultados de hacerlo de esta manera seguramente serán diferentes a hacerlos en un ambiente totalmente controlado como lo es un laboratorio.

En la actualidad se busca, no revertir el problema, pero si disminuir los impactos que se han generado, por lo que se necesitan propuestas que puedan ser alternativas a los materiales que se usan hoy en día.

El propósito de este estudio es desarrollar y caracterizar un bio compuesto que demuestre el comportamiento mejorado del almidón termoplástico al ser reforzado con residuos agroindustriales, específicamente el bagazo de cebada. Este material se pretende utilizar en la creación de mobiliario interior. Además de esto, se analiza la composición a nivel microscópico del bio compuesto, su capacidad de biodegradación en un entorno no controlado y se realiza una estimación de los costos involucrados. A lo largo de la investigación, se llevaron a cabo diversos experimentos con diferentes combinaciones de componentes para lograr la formulación óptima de nuestro laminado objetivo.

# I MARCO TEÓRICO



## 1.1 Los materiales tradicionales y el diseño sustentable

Uno de los objetivos, dentro del ámbito del diseño, que en los últimos años se ha manifestado mediante la gran inquietud por el impacto ambiental, se puede reflejar a través de la siguiente cuestión: ¿Se podrá minimizar el daño climático por medio del cambio de nuestros hábitos en el diseño? En este caso es poder mitigar el impacto ambiental, que causan los materiales tradicionales, como los plásticos, la madera no regulada y el metal entre otros, por medio del uso de materiales sustentables.

El uso de los materiales tradicionales mencionados, usados como materias primas impactan de manera negativa hacia el ambiente del cual se extraen, principalmente por la sobreexplotación, tal es el caso de la madera. Por otro lado tenemos el gran problema de los plásticos provenientes del petróleo, si bien cuando surgieron fueron vistos como una nueva tecnología que brindaría grandes ventajas ante otros materiales como los metales, logrando la sustitución de estos, por sus propiedades de ligereza, resistencia, transparencia y costo, finalmente se vieron opacadas por el peligro ambiental que representan ya que a lo largo de su existencia no ha habido prácticas que realmente aprovechen todo o dispongan de ellos de una manera amigable con sus alrededores (CONADESUCA, 2016).

Los comúnmente plásticos representan un problema al por mayor ya que no pueden ser degradados por el entorno naturalmente. Al contrario de lo que ocurre con la madera, el papel, las fibras naturales o incluso el metal y el vidrio, los plásticos no se oxidan ni se descomponen con el paso del tiempo. Esto en cantidades masivas crean un impacto al ambiente donde se ven afectados principalmente los cuerpos marinos y el suelo, y donde a través de los desechos microscópicos de estos productos se afecta la salud humana y de la fauna.

El concepto de sustentabilidad resuena cada vez más a través del mundo, las comunidades y gobiernos presumen trabajar arduamente la prevención de contaminación y sobreconsumo para evitar la falta de recursos naturales y en consecuencia la ruina total del planeta que habitamos. Así hemos llegado a la urgente necesidad de generar procesos y productos sostenibles, así como, amigables con el ambiente y las personas.

Los productos que utilizamos día con día se han vuelto una de las principales fuentes de los problemas ambientales, desde la obtención de las materias primas, su procesamiento industrial hasta el consumo y desecho. Entre las afecciones podemos encontrar la deforestación, la perdida de especies y el calentamiento global como un efecto secundario a todos estos procesos que proveen a los consumidores un sinfín de bienes.

Tradicionalmente los problemas del diseño sólo consideraban y se relacionaban a la forma, función y un tanto a las preocupaciones financieras, sin embargo, en los años recientes tanto diseñadores como consumidores han buscado más allá de lo superficial (Deniz, 2002).

El diseño sustentable considera algunas de las preguntas colectivas más difíciles, como la necesidad, equidad, ética, el impacto social y la eficiencia de recursos (Deniz, 2002). Se intentan desarrollar productos y procesos benignos, desafortunadamente, en muchas situaciones del pasado, los efectos ambientales se ignoraron durante las fases de diseño de nuevos productos y procesos. Sin embargo, el cambio para productos ya existentes es difícil (Deniz, 2002).

El impacto que puede surgir por medio del diseño se transmite en diferentes maneras; a través de la extracción de materias, como se hace y como puede mejorar; el diseño de los procesos de manufactura, el uso del producto, su distribución y qué sucede al final de su vida útil.

Si bien el diseño y el uso de materiales tradicionales pueden hacer un cambio con nuevos procesos e innovación, una de las premisas más importantes para poder sobrellevar el impacto que ya se ha generado es la transición del comportamiento y la reducción del

consumo hacia un consumo consciente. El consumismo que experimentamos continuara sin rezagos, por lo que, se deberá atender a generar un impacto mínimo como sea posible. Las demandas del consumidor son la llave para forzar el desarrollo de productos ambientalmente amigables (Deniz, 2002).

### **1.1.1            Mobiliario desechable**

No se puede negar la tentación de una mesa auxiliar de \$500 o un banco de teca de \$5,000. Al comprar una pieza ya sea importada o de bajo costo ¿sabemos en qué estamos invirtiendo en realidad? ¿somos conscientes del impacto social, económico y ambiental que tiene? (RAW Sunshine Coast, 2019)

El mobiliario desechable es un término que comúnmente se usa para describir muebles que son producidos en masa, de bajo costo y pobremente hechos resultando en una pieza con un ciclo de vida muy corto (RAW Sunshine Coast, 2019).

En los últimos años se ha investigado el aprovechamiento profundo de residuos de la madera para generar materiales como los aglomerados y las láminas de fibra de media densidad

(MDF), los cuales reutilizan los desechos de los aserraderos, pero utilizan adhesivos de origen químico y procesos que son poco amigables con el ambiente (De la Torre, 2019).

En la primera fase del diseño de mobiliario se debe decidir el uso que se le dará al producto, de que materiales se compondrá y por último la esperanza de vida proyectada. Hoy en día la frecuencia con la que se amueblan las casas ha crecido pues por la movilidad laboral es más práctico adquirir otros muebles, y en otro caso específico por la situación de la pandemia de COVID-19 se vieron ingresos en este sector por la necesidad de mobiliario de oficina para los hogares.

## 1.2 Perspectiva insular y criterios de sostenibilidad

A partir de la perspectiva insular y los criterios de sostenibilidad se pretende determinar el alcance de este proyecto dentro de la intervención del diseño con la sociedad y el ambiente.

Dentro del ámbito del diseño se ha manifestado la inquietud por el impacto ambiental generado por los objetos que se producen de manera industrial, lo que nos lleva a cuestionarnos lo siguiente: ¿Se podrá mitigar el daño climático por medio del cambio de nuestros hábitos en el diseño? como objetivo del proyecto sería minimizar de cierta forma el impacto ambiental, que causan los materiales utilizados tradicionalmente, como las láminas de fibra de baja densidad (MDF), a través del cambio de hábitos y del uso alternativo de materiales sustentables como los biopolímeros.

Si bien en su inicio los plásticos fueron vistos como una nueva tecnología que brindaría grandes ventajas ante otros materiales como los metales, logrando la sustitución de estos, por sus propiedades de ligereza, resistencia, transparencia y costo, finalmente se vieron opacadas por el peligro ambiental que representan ya que a lo largo de su existencia no ha habido prácticas que realmente aprovechen todo o dispongan de ellos de una

manera más amigable con el ambiente, por ejemplo el uso de envases de plástico sintético como: el polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC) y el tereftalato de polietileno (PET), entre otros, como no son biodegradables representan un serio problema (CONADESUCA, 2016).

Algunos de los impactos ambientales que se han generado a gran escala por el uso de los plásticos son: Alrededor de 7.8-8.2 millones de toneladas de plástico pobremente usado terminan en los océanos cada año. Los asentamientos de plásticos no biodegradables en vertederos son inciertos, lo que dificulta la producción de recursos de la tierra. Estos causan un daño severo, junto con otros factores, a los habitantes (Thakur et al., 2018).

Este proyecto está basado en el desarrollo del bio compuesto de almidón termoplástico reforzado con bagazo de cebada proveniente de la industria cervecera, proyectando un material 100 % biodegradable, el cual se sugiere como una alternativa viable a los plásticos sintéticos. A través del enfoque insular, el cual está centrado en los materiales y la producción, se pretende que el alcance de este proyecto por medio del diseño permita un ajuste en los componentes que se utilizan tradicionalmente en el diseño de los productos. Si bien, como diseñadores no lograremos corregir el problema ambiental en el que estamos

viviendo, la tecnología y los equipos interdisciplinarios son una alternativa que podrían lograr minimizar el impacto que se genera por el consumo insostenible de plásticos no degradables que llevamos hoy en día. Por otro lado, la intervención del diseño en temas de sostenibilidad ha tenido cierto progreso en las últimas décadas, sin embargo y de acuerdo con Ceschin, “Esta ampliación del ámbito del diseño está directamente relacionada con la comprensión de que la sostenibilidad no puede lograrse interviniendo solo a nivel de innovación del producto”(Ceschin, 2020).



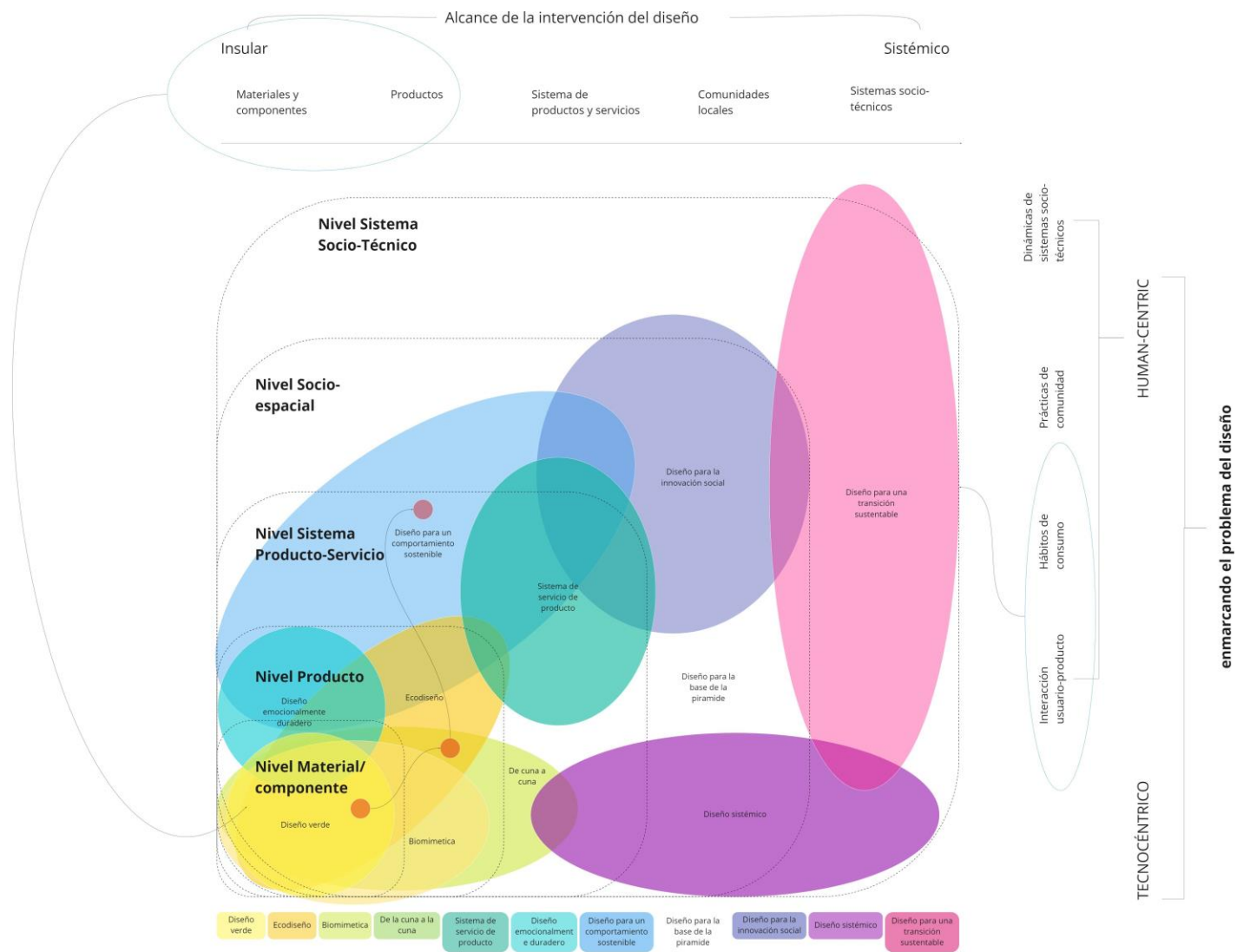


Figura 1: Retomado del diagrama de sistema insular por Ceschin, 2020.

Si queremos lograr un verdadero impacto en cuestiones ambientales a través de las prácticas en las que nos situamos, es importante ser conscientes que va más allá del desarrollo de un nuevo material biodegradable o un producto con tintes verdes. Dentro del marco del proyecto en cuestión el problema principal que lo determina es el abuso del consumo de plásticos sintéticos no biodegradables como se expresó anteriormente, sabemos que el problema no es únicamente de la producción masiva, si no, de los hábitos de consumo y desecho de la comunidad.

Desde el enfoque tecno céntrico el cual reconoce el potencial para afectar, controlar, e incluso proteger el medio ambiente a través de la tecnología, se plantea lo siguiente. Si bien el enfoque tecno céntrico, que se generó décadas atrás, considera al ambiente como inferior al ser humano, mi postura reside en que el medio ambiente es quien nos nutre y debemos tratarlo como un igual. Por otro lado, esto nos permite vincular el diseño a raíz de lo que se busca redimir, siendo esto la huella ecológica que se deja en el sistema actual. Para ello se busca un alcance mínimo necesario donde se contribuya a las metas globales de sostenibilidad creadas por las Naciones Unidas en 2015, enfocándose principalmente en las siguientes tres áreas:

**Objetivo 12:** Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles (ONU, 2015b)

El consumo y la producción global (quienes impulsan a la economía mundial) dependen del uso y los recursos del medio ambiente natural de una manera que continúa teniendo efectos destructivos sobre el planeta (ONU, 2015b).



Figura 2 Metas globales de sostenibilidad

*“El progreso económico y social conseguido durante el último siglo ha estado acompañado de una degradación medioambiental que está poniendo en peligro los mismos sistemas de los que depende nuestro desarrollo futuro (y ciertamente, nuestra supervivencia)” (ONU, 2015b).*

Se plantea que la producción de biopolímeros con agregados provenientes de residuos sean una alternativa para la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, como bien se indica en uno de los objetivos particulares, se considera que esto ayudaría a reducir el desperdicio de las potenciales materias primas, como son los desechos agroindustriales (ONU, 2015b).

Objetivo 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos (ONU, 2015c)

El océano impulsa los sistemas mundiales que hacen de la Tierra un lugar habitable para el ser humano. *“Nuestra lluvia, el agua potable, el tiempo, el clima, los litorales, gran parte de nuestra comida e incluso el oxígeno del aire que respiramos los proporciona y regula el mar. Una gestión cuidadosa de este recurso mundial esencial es una característica clave de un futuro sostenible. No obstante, en la actualidad, existe un deterioro continuo de las aguas costeras debido a la contaminación y a la acidificación de los océanos que está teniendo un efecto adverso sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la biodiversidad.”*(ONU, 2015c)

Como sabemos gran parte de la contaminación que afecta a la vida marina son los plásticos de un solo uso, por ello la misión de este proyecto se enfoca en hacer una propuesta para la

creación de materiales alternativos a partir de bagazo de cebada y almidón termoplástico junto con la espera en el cambio de los hábitos de consumo, que tienen los habitantes de las comunidades alrededor del mundo, desde la generación y difusión del uso de materiales biodegradables, se piensa que se podría controlar el deterioro continuo del hábitat marino que va de la mano con el deterioro terrestre.

En conjunto de esta meta se considera el objetivo 15, a continuación:

Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad (ONU, 2015a)

En 2016, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) alertó de que un aumento mundial de las epidemias zoonóticas era motivo de preocupación. En concreto, señaló que el 75 % de todas las enfermedades infecciosas nuevas en humanos son zoonóticas y que dichas enfermedades están estrechamente relacionadas con la salud de los ecosistemas (ONU, 2015a).

Para prevenir, detener y revertir la degradación de los ecosistemas de todo el mundo, las Naciones Unidas han declarado la Década para la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030). Esta respuesta coordinada a nivel mundial ante la pérdida y degradación de los

hábitats se centraría en desarrollar la voluntad y la capacidad políticas para restaurar la relación de los seres humanos con la naturaleza (ONU, 2015a).

La salud de las personas se concentra en que los ecosistemas se mantengan sanos, si se estropea la claridad de estos surge como consecuencia enfermedades cada vez más difíciles de combatir, si bien este proyecto no generará un gran cambio dentro de estos aspectos se tiene presente que, al ser una alternativa de materia prima, en un futuro logre minimizar en el ámbito de los plásticos esa huella de carbono que se deja actualmente.

Por ultimo y para lograr los alcances deseados de este proyecto, debemos visualizar cuales son los enfoques particulares de diseño para la sostenibilidad. En la figura 1 localizamos el alcance de intervención insular, como se ha descrito anteriormente se enfoca en materiales y componentes, así como en los productos.

Lo que deriva en los temas de ecodiseño por enfocarse en el ciclo de vida del producto, en este caso es el material, de la mano se coloca el sistema “de la cuna a la cuna”, pues se percibe que el uso de desechos orgánicos y biopolímeros de composición completamente natural, crean la circularidad requerida por este sistema. Por último, se considera el diseño

para un comportamiento sostenible, que derivamos de los nuevos hábitos que pueden ejercer al elegir un material biodegradable (ONU, 2015a).

### **1.2.1 Ecodiseño**

El objetivo general del diseño ecológico es minimizar el impacto medioambiental de las diferentes fases del ciclo de vida del producto, al tiempo que se maximizan los beneficios para los usuarios del producto. En el ecodiseño, el medio ambiente tiene el mismo estatus y la misma importancia que los valores industriales más tradicionales como el beneficio, funcionalidad, estética, ergonomía, imagen y calidad general ( Ceschin, 2020).

Existen algunas respuestas de diseño a los problemas medioambientales y sociales, reduciendo el impacto medioambiental mediante el rediseño de las cualidades individuales de los productos. Algunos ejemplos típicos son la optimización de la cantidad de material utilizado en un producto, el uso de materiales reciclables, la sustitución de materiales vírgenes por materiales reciclados y la sustitución de materiales peligrosos/tóxicos por otros no lo sean (Ceschin, 2020).

El ecodiseño tiene una diferencia significativa con respecto al diseño verde. En lugar de mejorar un aspecto individual de un producto, el ecodiseño hace hincapié en todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas, pasando por fabricación, distribución y uso, hasta su eliminación final. Esto permitió perfilar el impacto ambiental de los productos en todas las fases del ciclo de vida, identificando las fases con mayor impacto ambiental y, por tanto, proporcionar una dirección estratégica para las intervenciones de diseño (Ceschin, 2020).

Análisis de Ciclo de Vida (ACV). La conciencia con respecto a la importancia de la protección ambiental y los posibles impactos asociados con los productos y servicios ha ido creciendo en los últimos años, tanto manufacturados como consumidos, han aumentado el interés por el desarrollo de métodos para comprender y tratar esos impactos.

El ACV trata los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final, es decir, de la cuna a la tumba (Aranda & Zabalza, 2010).



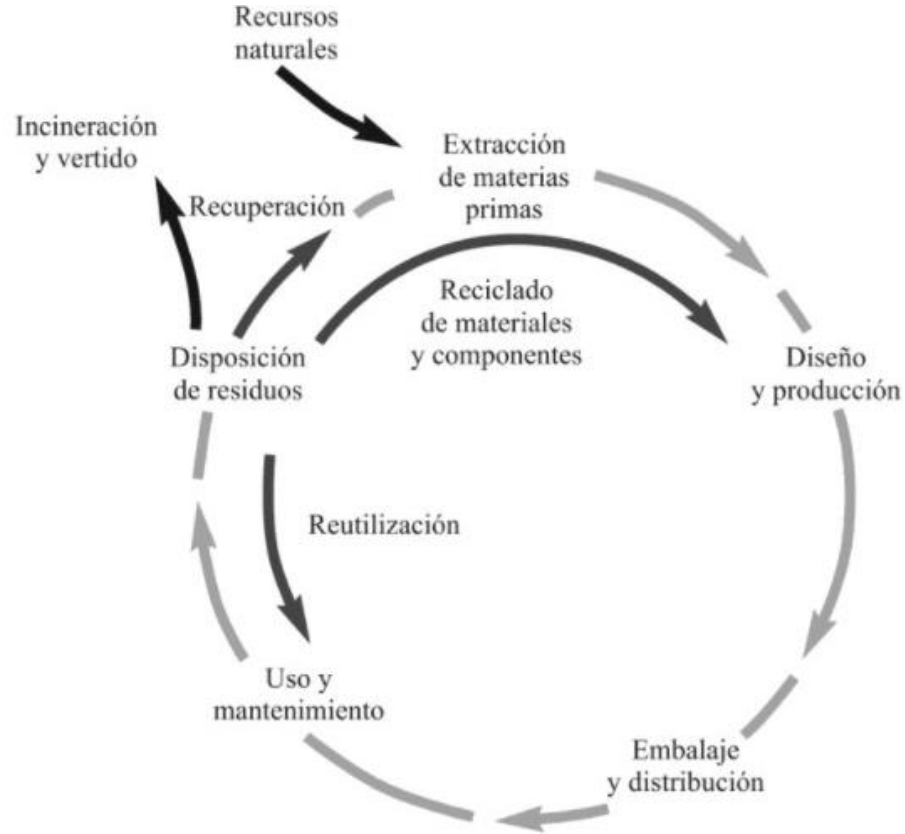


Figura 3 Ciclo de Vida de un producto, (Aranda Usón, 2010)

Siendo así, que el desarrollo de este bio compuesto deberá, a nivel producto, ejercer este análisis en una visión prospectiva.

## **1.3 Lámina de fibra de media densidad (MDF) y sus consecuencias al ambiente**

Dentro del mobiliario desechable se tiende a utilizar principalmente, para sus estructuras, las láminas de fibra de media densidad (MDF por sus siglas en inglés). Estas láminas se componen de aserrín y adhesivos químicos. El proceso industrial por el que debe pasar una lámina para su obtención se compone de diferentes etapas, donde se derivan contaminantes generados por dichos procesos. En la siguiente figura podemos ver el proceso que se utiliza generalmente para la fabricación de tableros de madera particulada:

Los impactos ambientales que se asocian con la fabricación de tableros de madera particulada incluyen los propuestos por la Corporación Financiera Internacional (IFC, 2007):

- Prácticas forestales sostenibles
- Residuos sólidos
- Contaminación sonora
- Aguas residuales
- Materiales peligrosos
- Emisiones a la atmósfera
- Combustibles utilizados para la maquinaria

### Prácticas forestales sostenibles

Se utiliza como materia prima un recurso natural muy valorado por el hombre, la madera. Generalmente toman los troncos completos en lugar de residuos de madera como fuente de fibra y en consecuencia el principal impacto ambiental de este proceso de fabricación atañe al manejo de

## PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MDF

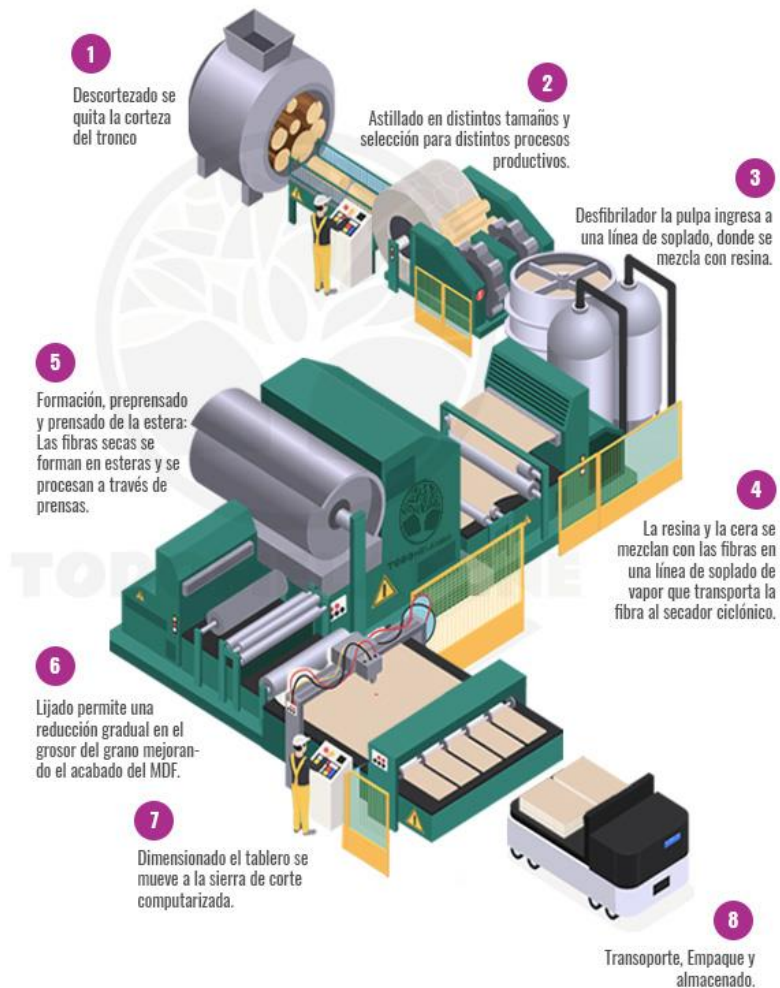


Figura 4 Proceso de fabricación del MDF (Todo Melamina, n.d.)

recursos forestales. Esto se puede reducir mediante un mayor uso de fibras recicladas o bien, aplicando la recuperación de fibras de otros procesos para la fabricación de los tableros (IFC, 2007).

### **Emisiones a la atmósfera**

Ciertamente las producciones industriales de tableros pueden generar una amplia gama de emisiones a la atmósfera. Los contaminantes que se derivan de los procesos de combustión utilizados incluyen materia en partículas, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y óxidos de azufre generados por calderas radiantes, generadores de aire caliente y calentadores de fluidos térmicos (IFC, 2007).

El polvo de madera que se genera durante las operaciones mecánicas como el astillado, cortado y lijado de los tableros. También afecta la utilización intensiva en términos de energía, sobre todo si estos sistemas de energía son basados en combustibles fósiles (IFC, 2007).

### **Aguas residuales**

En las guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad se explica que para la fabricación de los tableros se utiliza agua, principalmente en el lavado, la vaporización y

ablandamiento de astillas. Esta agua de lavado puede contener altas cantidades de lixiviado que proceden de las astillas de madera (IFC, 2007).

### **Residuos sólidos**

En este apartado se incluyen los residuos de madera, como las virutas, los derivados del tratamiento de agua y ceniza resultante de la combustión de residuos de madera(IFC, 2007).

## **1.4 Materiales emergentes en el diseño**

Ya hemos hablado del uso de materiales alternos en el mundo del diseño, pero ¿Cuáles son estos? ¿qué propósito pueden tener?, los materiales emergentes son innovaciones que en un principio se desarrollan para mejorar las capacidades físicas de lo que ya encontramos en la naturaleza, o bien son desarrollos que no encontramos naturalmente y son intervenidos totalmente por el ser humano. Estos materiales en aplicados al diseño pueden aportar nuevas experiencias al usuario, pues se basan en perspectivas del diseño, ciencias sociales y ciencia e ingeniería (Alarcón, 2021).

En el diseño, como se ha comentado, existe el problema de la producción excesiva, sin embargo, si queremos hacer un cambio a algo artesanal no tendrían abasto suficiente los artesanos y por lo tanto no se podría cumplir con la demanda de los consumidores. En este caso se aplican los materiales emergentes, que si bien mejoran o son iguales en las características de los tradicionales por otro lado se piensan para ser amigables en los procesos de desarrollo y de desecho de cada producto.

Doggosy y Czigany (Dogossy, 2011) hicieron el desarrollo de compuestos poliméricos biodegradables a base de almidón reforzados con subproductos agrícolas. La cáscara de maíz y el bagazo de caña de azúcar se utilizaron como refuerzos en el almidón de maíz, plastificado por glicerol y maltitol. Los compuestos con diferentes composiciones se produjeron combinándolos en una extrusora de doble husillo.

Las propiedades mecánicas de tracción, flexión en tres puntos e impacto Charpy y contracción se determinaron en especímenes moldeados por inyección y comparados con los de polietileno de alta densidad (HDPE) comercial.

El almidón aumento con la adición de cascarilla y bagazo de caña de azúcar, pero solo este último aseguró resultados tomando en cuenta el HDPE como referencia. Esto se atribuyó a

las diferencias en la adhesión interfacial entre el relleno y la matriz, observado por microscopía electrónica de barrido. Los utensilios llamados “espaciadores de distancia”, usados en las cajas para almacenar y trasladar pizzas, generalmente son hechos de HDPE, se inyectaron y moldearon a partir de estos compuestos biodegradables. Fueron sometidos a biodegradación en el suelo, los resultados indicaron que este espaciador biodegradable es una alternativa buena y ambientalmente benigna para la sustitución del HDPE (Dogossy, 2011).

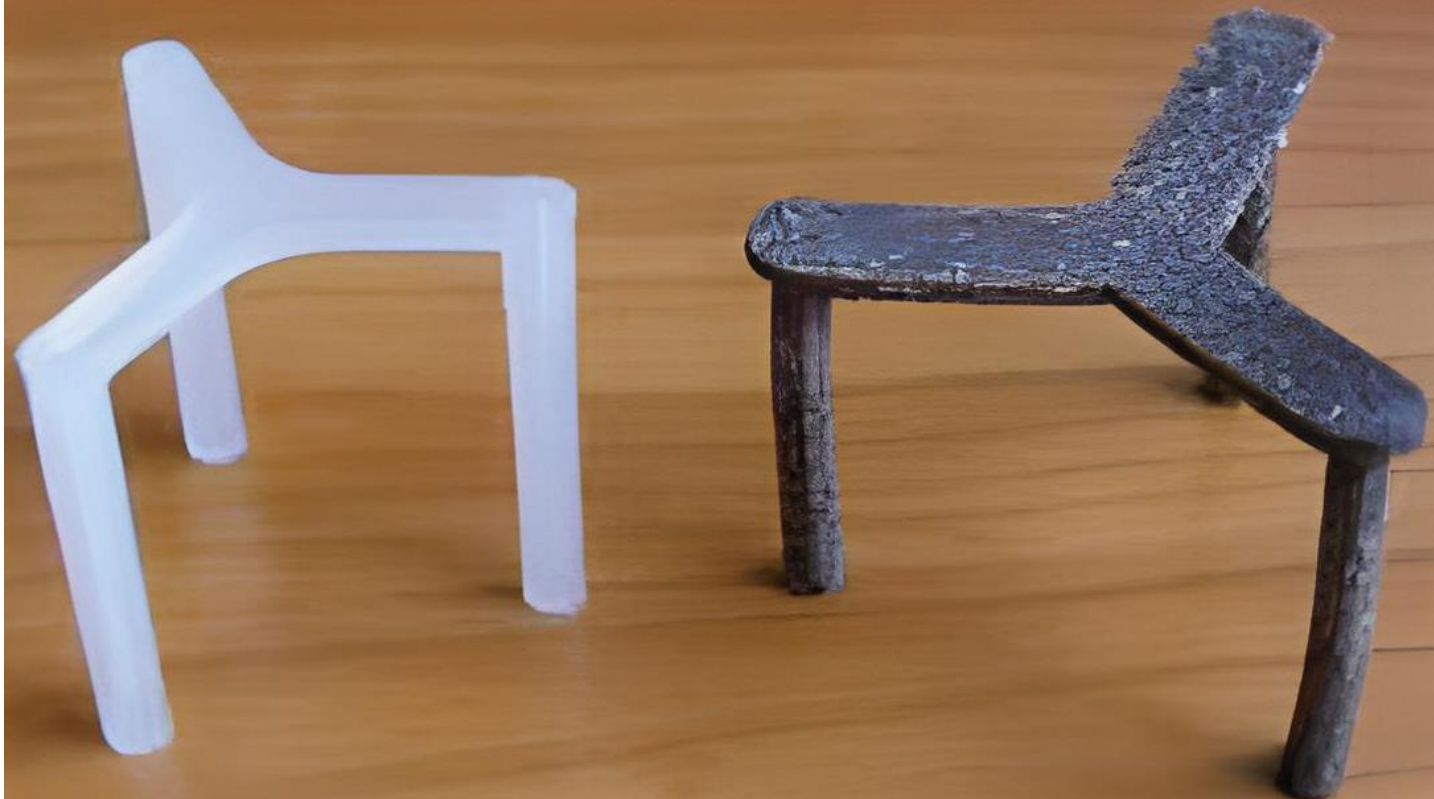


Figura 5 Ejemplo de comparación soporte de polietileno de alta densidad y soporte biodegradable de almidón termoplástico (Dogossy, 2011)



Para su proyecto llamado Artesanía digital, Ryu Jong- dae, elaboró una mesa impresa en 3D a partir de la utilización del ácido poliláctico (PLA) como la podemos ver en la figura 6, un bioplástico que se elabora de recursos renovables, incluyendo almidón de maíz o caña de azúcar, éste puede degradarse después de unos meses en entornos particulares. Por el contrario, el plástico generalmente está elaborado de productos petroquímicos, no es biodegradable y puede tardar cientos de años en descomponerse (Bioeconomía, 2020).



Figura 6 Mesa impresa en 3D por Ryu Jong- dae (Bioeconomía, 2020).

## 1.5 Biopolímeros

En los últimos años, el interés por proteger el medio ambiente no utilizando únicamente productos elaborados a partir de recursos naturales renovables sino también productos que se descomponen en componentes respetuosos con el medio ambiente se han incrementado de manera constante y rápida. Los movimientos, iniciativas y regulaciones verdes han surgido en casi todos los países desarrollados para reducir el volumen de residuos de polímeros sólidos generados por los consumidores cada año. Los consumidores también han expresado su deseo por los productos que son considerados con el medio ambiente a la vez que proporcionan los mismos resultados con productos elaborados a partir de materiales sintéticos. Sin embargo, las preferencias de los consumidores por los productos amigables pueden verse obstaculizados por el mayor costo y propiedades inferiores de estos productos en comparación con los productos sintéticos. En la literatura y las patentes no existe consenso sobre la definición exacta de los términos genéricos: degradable, biodegradable, de base biológica, compostable y biopolímero, que parecen tener significados múltiples y superpuestos (Niaounakis, 2015).

Degradable es un término amplio que se aplica a polímeros o plásticos que se desintegran mediante una serie de procesos, que incluyen desintegración física, degradación química y biodegradación por mecanismos biológicos. Como resultado de esta definición, un polímero puede ser degradable pero no biodegradable (Niaounakis, 2015).

Biodegradable es un término centrado en la funcionalidad de un polímero, "biodegradabilidad", y se aplica a polímeros que se degradaran bajo la acción de microorganismos como mohos, hongos y bacterias dentro de un periodo de tiempo y ambiente específicos. Por sí solo, el termino biodegradable no tiene un significado claro y crea confusión. Los polímeros biodegradables se refieren a polímeros que son capaces de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua, compuesto inorgánicos o biomasa en cuyo mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos que pueden medirse mediante pruebas estándar, durante un periodo de tiempo específico (Niaounakis, 2015).

Los biopolímeros se pueden dividir también en dos grandes grupos: biopolímeros biodegradables y no biodegradables. Alternativamente, los biopolímeros se pueden clasificar según su origen, ya sea de base biológica o de combustibles fósiles. Los biopolímeros de

base biológica se pueden producir a partir de plantas, animales o microorganismos. Hay muchos más biopolímeros de base biológica no degradables que biopolímeros biodegradables de base biológica (Niaounakis, 2015).

En la clasificación de los biopolímeros que son biodegradables entra el almidón el cual es de bajo costo y un biopolímero natural. Dado que el almidón nativo generalmente tiene una estructura granular, debe ser desestructurado (es decir, polimerizarlo) antes de que pueda ser procesado por fusión. Comúnmente, se obtiene almidón desestructurado procesando almidón nativo en la masa fundida por medio de un plastificante (por ejemplo, glicerol) o un agente de hinchamiento (por ejemplo, agua), a una masa homogénea, donde la proporción de agente de hinchamiento o plastificante puede ascender por regla general a 10-40% en peso, basado en el peso total de la mezcla. El almidón desestructurado se comporta como un polímero termoplástico (ATP) y puede procesarse mediante técnicas convencionales (Niaounakis, 2015).

En este proyecto, se considera que el almidón termoplástico, por la naturaleza de sus componentes, es un bioplástico renovable y biodegradable.

## 1.6 Almidón

Este carbohidrato ha sido parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria, además de que se le ha dado un gran número de usos industriales. Después de la celulosa, es probablemente el polisacárido más abundante en la naturaleza e importante desde el punto de vista comercial. Se encuentra en los cereales, los tubérculos y en algunas frutas como polisacárido de reserva energética. Su concentración varía según el estado de madurez de la fuente (Dergal, n.d.).

Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy

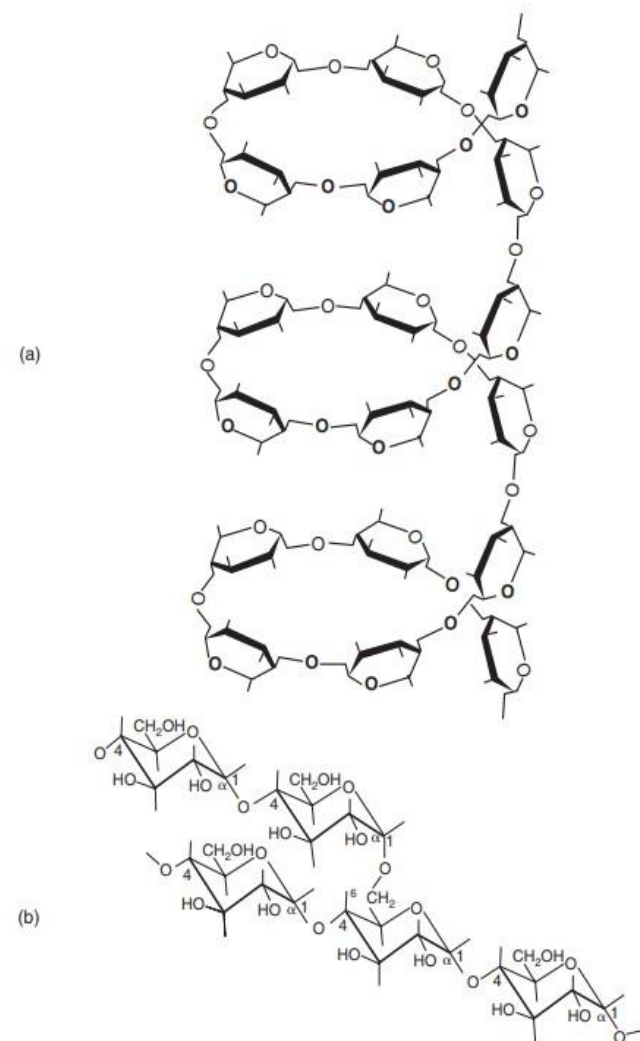


Figura 7 (a) enrollamiento helicoidal de la amilosa; (b) estructura química de la amilopectina (Dergal, n.d.).

similares: la amilosa y la amilopectina (Dergal, n.d.).

Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En ciertos casos, cuando una de estas fracciones está en exceso, puede traer consigo algunos inconvenientes; esto se observa por ejemplo en el arroz cocido, cuya calidad mejora cuando se reduce el contenido de amilosa, pues resulta menos pegajoso(Dergal, n.d.).

En la Tabla 1, podemos identificar los porcentajes de amilosa y amilopectina, provenientes de varias fuentes naturales, así como la temperatura de gelatinización y otras propiedades. Para fines de este proyecto nos interesan conocer principalmente los valores de ciertas propiedades del almidón del maíz (*Zea mays* L.), de la papa (*Solanum tuberosum* L.) y de la tapioca (*Manihot esculenta* Crantz).

Tabla 1 Características de algunos almidones (Dergal, n.d.).

<i>Tipo</i>	<i>Amilopectina (%)</i>	<i>Amilosa (%)</i>	<i>Temperatura de gelatinización (°C)</i>	<i>Tamaño del gránulo (micras)</i>
Maíz	69-74	26-31	62-72	5-25
Maíz rico en amilosa	20-45	55-80	67-80	5-25
Papa	73-77	18-27	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Tapioca	82	18	51-65	5-35
Maíz céreo	99-100	0-1	63-72	5-25
Sorgo céreo	99-100	0-1	67-74	5-25
Trigo	76	24	58-64	11-41

El almidón es el carbohidrato más abundante en las naturales, se sintetiza durante la fotosíntesis y se almacena en los amiloplastos de las células vegetales. El almidón es un gránulo parcialmente cristalino e insoluble en agua a temperatura ambiente. Los gránulos de almidón tienen diferentes tamaños y formas dependiendo de la fuente biológica de donde provengan, por ejemplo, los gránulos más pequeños corresponden al almidón de arroz y amaranto con diámetros entre 1 y 5  $\mu\text{m}$  mientras que los gránulos de papa y tapioca



presentan diámetros entre 15-100  $\mu\text{m}$  y el diámetro de los gránulos de maíz dependerá de la variedad, pero se encuentra entre 25-50  $\mu\text{m}$ . La forma de los gránulos también varía siendo redonda, elíptica, ovalada, lenticular o poligonal (Villada et al., 2008).

Los almidones se utilizan principalmente en la industria alimenticia para fabricar productos de panadería, caramelos, chicles, etc. Sin embargo, también se cuenta con una escala industrial en la producción de papelería, adhesivos, bio empaques, etc. (Villada et al., 2008).

Los almidones nativos son aquellos que no han sufrido ninguna modificación y es extraído de fuentes naturales (Villada et al., 2008). Para fines de este proyecto se utilizaron este tipo de almidón, sin embargo, se sugiere más adelante obtener el almidón de productos como hueso de aguacate u otro recurso del cual ya sea un subproducto para así, poder evitar el consumo directo del almidón nativo y seguir rescatándolo de otros materiales.

La transformación de un almidón a un material bioplástico se encuentra cuando se rompen y funden las estructuras semi cristalinas originales. La estabilidad, transformación y propiedades físicas de los ATP dependen de la naturaleza de las zonas amorfas y cristalinas presentes en la estructura del granulo. Su transformación está influenciada por las

condiciones del proceso, tales como la temperatura y el contenido de plastificante. El agua y glicerol son los plastificantes comúnmente utilizados (Villada et al., 2008).

### **1.6.1 Almidón termoplástico**

El almidón termoplástico (ATP) es un concepto relativamente nuevo y, hoy en día, es una de las principales vías de investigación para la fabricación de materiales biodegradables. El almidón no es un verdadero termoplástico, sino que, en presencia de un plastificante (agua, glicerina, sorbitol, etc.), una temperatura elevada (90-180°C) y el cizallamiento, se funde y fluidifica, lo que permite su uso en equipos de inyección, extracción y soplado, como el utilizado para los plásticos sintéticos. Por desgracia, el ATP presenta algunos inconvenientes, como un fuerte carácter hidrófilo (sensibilidad al agua) propiedades mecánicas bastante pobres en comparación con los polímeros convencionales, y una importante variación de sus propiedades tras el procesamiento. El principal uso del almidón desestructurado por sí solo es

en espumas solubles comportables utilizados como rellenos sueltos, bandejas expandidas, piezas moldeadas, láminas y como sustitución del poliestireno (Yu, n.d.).

## 1.7 La cebada: *Hordeum vulgare* L. (Poaceae)

La comprensión de la morfología y la anatomía de una planta es importante porque estas características pueden estar asociadas a la productividad agrícola de muchas maneras. Por ejemplo, la longitud y la resistencia de la paja, los componentes del cultivo, la respuesta a diversas enfermedades, la fotosíntesis, el tiempo y la cantidad de agua necesarios, los fertilizantes y los pesticidas aplicados, y los efectos de las enfermedades, tiempo y la cantidad de agua requerida, los fertilizantes y pesticidas aplicados, y los efectos del estrés ambiental, como la sequía, las deficiencias del suelo y las toxicidades (Reid, n.d.).

Las raíces, tanto seminales como nodales (adventicias); el tallo (culmo), cilíndrico con entrenudos huecos y de 5 a 7 nudos sólidos (articulaciones las hojas, que nacen alternativamente en lados opuestos del tallo y surgen en cada nudo; la espiga (cabeza, espiga), situada en la parte superior del tallo, formada por flores dispuestas en espiguillas de una sola flor (cada una de las cuales lleva dos glumas y el floreto), tres de las cuales están unidas en cada nudo de un raquis plano y en zigzag (en los cultivares de dos filas, las dos

glumas laterales son estériles); el flósculo, formado por la lema y la palea, que encierra las partes florales masculina y femenina; y el grano, formada por la cariósipide (en las cebadas desnudas), pero que incluye el lema, la palea y la raquilla, que se adhieren a la cariósipide en las cebadas descascarilladas. (Reid, n.d.)

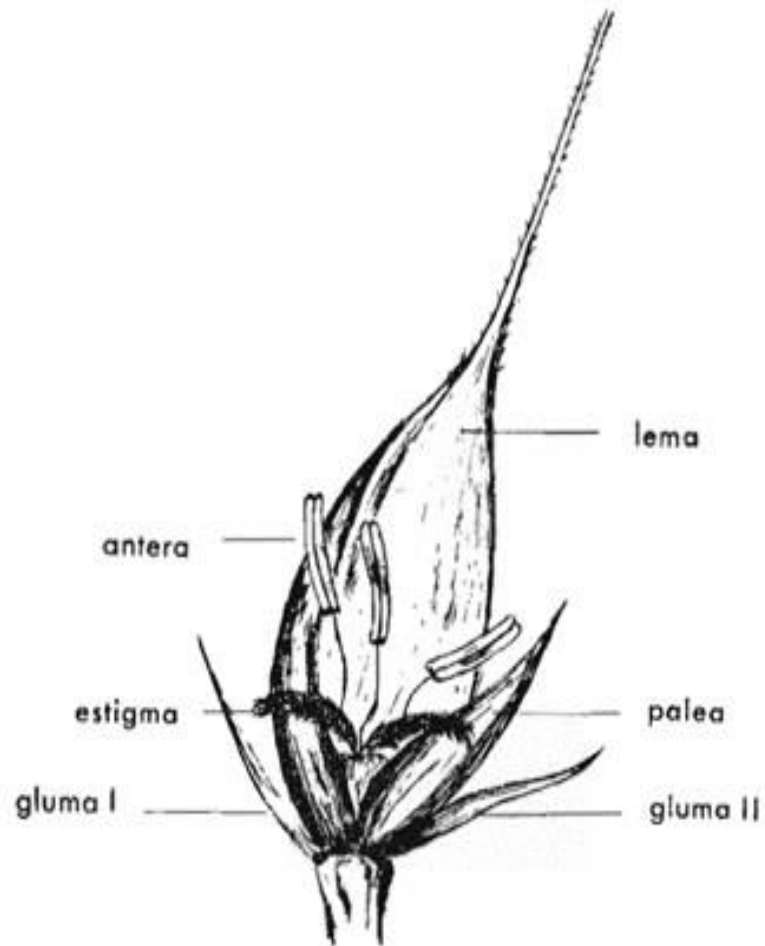


Figura 8: Espiguilla de cebada



Figura 9 Espiga de cebada y Granos de cebada (CEBADA GRANO Mexicana Planeación Agrícola Nacional, 2017).

Aplicaciones: La cebada se emplea para la alimentación del ganado, tanto en grano maduro como en verde, para forraje. A pesar de que una de sus principales aplicaciones es la de contribuir en la alimentación del ganado y de las aves, se utiliza en gran escala en muchas industrias, una de las cuales, y quizá la más importante, sea la de la fabricación de cerveza (A.M, 1957).

Se utiliza, asimismo, en destilería para obtener alcohol, para preparación de maltas especiales de diversos usos, como sustituto del café, elaboración de azúcares, productos alimenticios para el hombre en varios preparados, etcétera. La harina de cebada, mezclada con la de trigo, se emplea para hacer pan, pero resulta de una calidad poco apreciada (A.M, 1957).

La paja tiene aplicaciones semejantes a la del trigo, aunque es inferior como alimento (A.M, 1957).

Las partes del grano de la cebada que se quitan antes de la fabricación de la cerveza y los residuos de esta industria también se aprovechan para la alimentación del ganado (A.M, 1957).

## 1.8 Bagazo de cebada

La industria cervecera genera una gran cantidad de residuos, puesto que es la quinta industria de bebidas más importante del mundo, con una producción de 1,88 billones de hectolitros en el año 2015 (PUCDE, n.d.).

El desecho que genera esta industria se compone de aguas residuales y sólidos. Estos últimos se obtienen durante el proceso de producción de la cerveza y se clasifican en lúpulos, levaduras, tierra de diatomeas y el bagazo cervecero, el cual, para fines de esta investigación, nos es el más relevante (PUCDE, n.d.).

Durante el proceso de maceración de la cerveza, el endospermo amiláceo de la cebada malteada es sometido a degradación enzimática, resultando en la solubilización del 70-80 del contenido original de cebada en polipéptidos, aminoácidos, carbohidratos fermentables (glucosa, maltosa y maltotriosa) y no fermentables (dextrinas). Después de este proceso, el remanente de la cebada es insoluble y se lo denomina bagazo cervecero (BC). Este residuo corresponde aproximadamente al 85% del total de desechos generados en el proceso de elaboración de la cerveza y su volumen de producción es entre 16 a 22 kg por hectolitro de cerveza elaborada (PUCDE, n.d.).

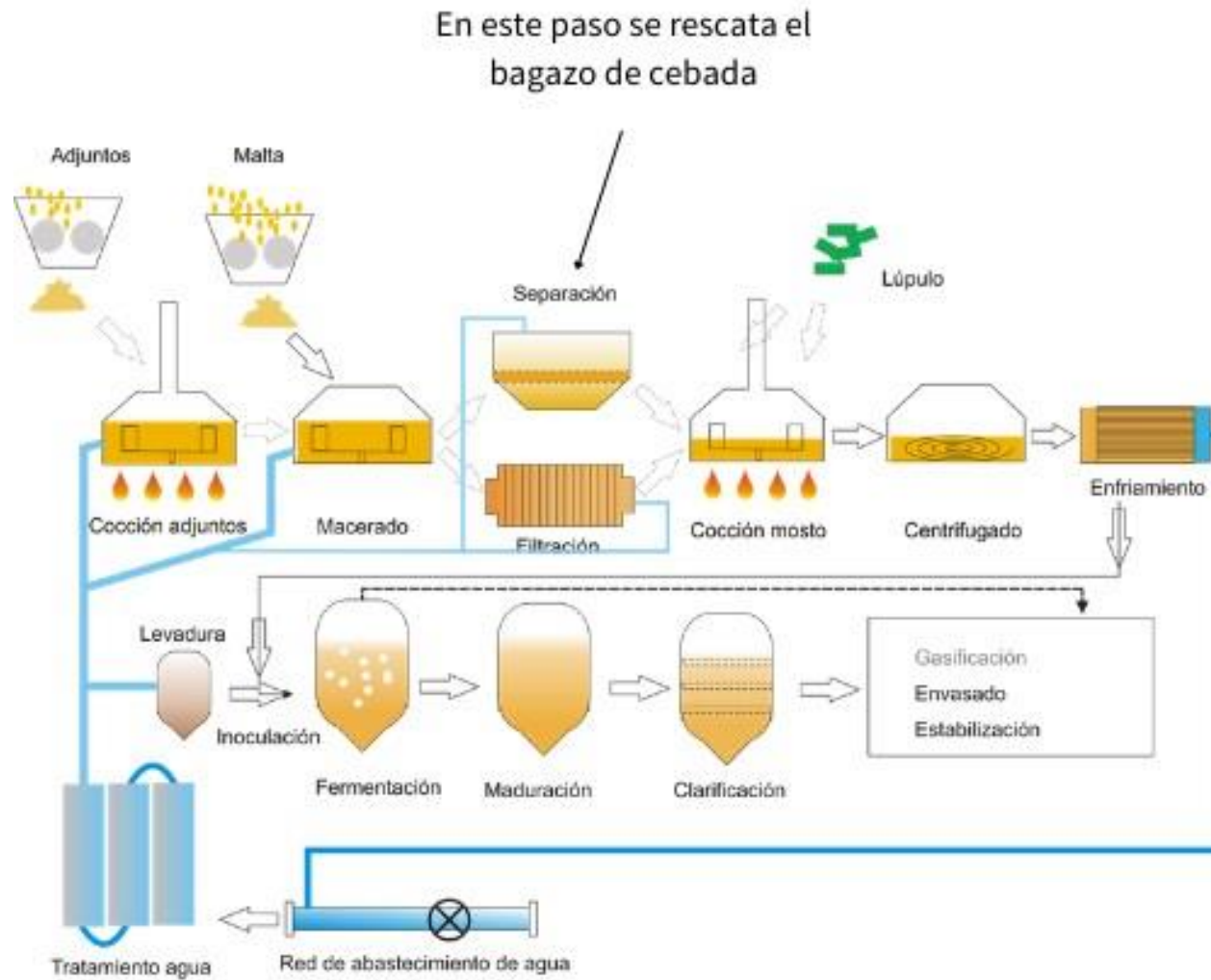


Figura 10 Circuito de obtención del bagazo cervicero (PUCDE, n.d.).



El BC es considerado biomasa lignocelulósica porque está conformado por cascara del grano, pericarpio y fragmentos de paja. Su composición química en peso seco es predominantemente de carbohidratos de celulosa y hemicelulosa (17-25%) y no celulósicos (25-35%), proteína (10-30%), lignina (8-28%); y en menores cantidades por lípidos (11%) y cenizas (5%). Cada una de estas macromoléculas presenta aplicaciones en casi todos los campos industriales(PUCDE, n.d.).

### 1.8.1 Los residuos como materia prima



Figura 11 Legume (Seetal Solanki, 2018)

El manejo apropiado de los desechos orgánicos que se obtienen día con día en las ciudades es una clave importante para poder reducir el impacto negativo que estos causan tanto en la sociedad como en el ambiente. Por ello, más iniciativas han emergido para la transformación

de los residuos a materiales con un nuevo propósito y tiempo de vida, por ejemplo, en el ámbito del diseño y construcción (RUBIO, 2022).

Algunos de los residuos que tradicionalmente se desechan, se mandan a compostas, se incineran o se han estado utilizando en el sector de la producción de objetos y algunos en construcción. Por ejemplo, el proyecto Legume: Lupine Project, el cual se enfoca en tomar plantas herbáceas, las cuales son invasivas y previenen el crecimiento de otro tipo de plantas, para poder procesarla de manera que, con solo ese elemento, sin necesidad de agregados materiales hechos por el hombre, generen laminados semejantes al MDF (Seetal Solanki, 2018).

El desarrollo tecnológico de materiales cada vez es más fuerte, pues es necesario cambiar las rutinas que nos rigen como sociedad y aprenden que realmente el dicho de “la basura de uno es el tesoro de otro” nos propicia un nuevo objetivo para poder darle más vida a lo que creíamos desechos. Casi todo tipo de desechos se le puede volver a transformar en un nuevo objetivo.

## 1.9 Materiales Bio compuestos

Los bio compuestos son materiales que contienen dos o más fases constitutivas distintas, a una escala mayor que la atómica. En estos las propiedades, como el módulo elástico, son muy diferentes de las de los constituyentes por sí solos y se ven muy alteradas por las estructuras y los contenidos de los constituyentes. Desde el punto de vista estructural, los materiales bio compuestos son anisótropos por naturaleza: sus propiedades mecánicas son diferentes en distintas direcciones. La mayoría de los tejidos vivos, como el hueso, la dentina, el colágeno, el cartílago y la piel, son esencialmente compuestos. Estos materiales son fundamentalmente una combinación de dos fases constituyentes, es decir, una fase de refuerzo, como la fibra o la partícula, y una fase continua llamada matriz (Ramakrishna & Huang, 2016).

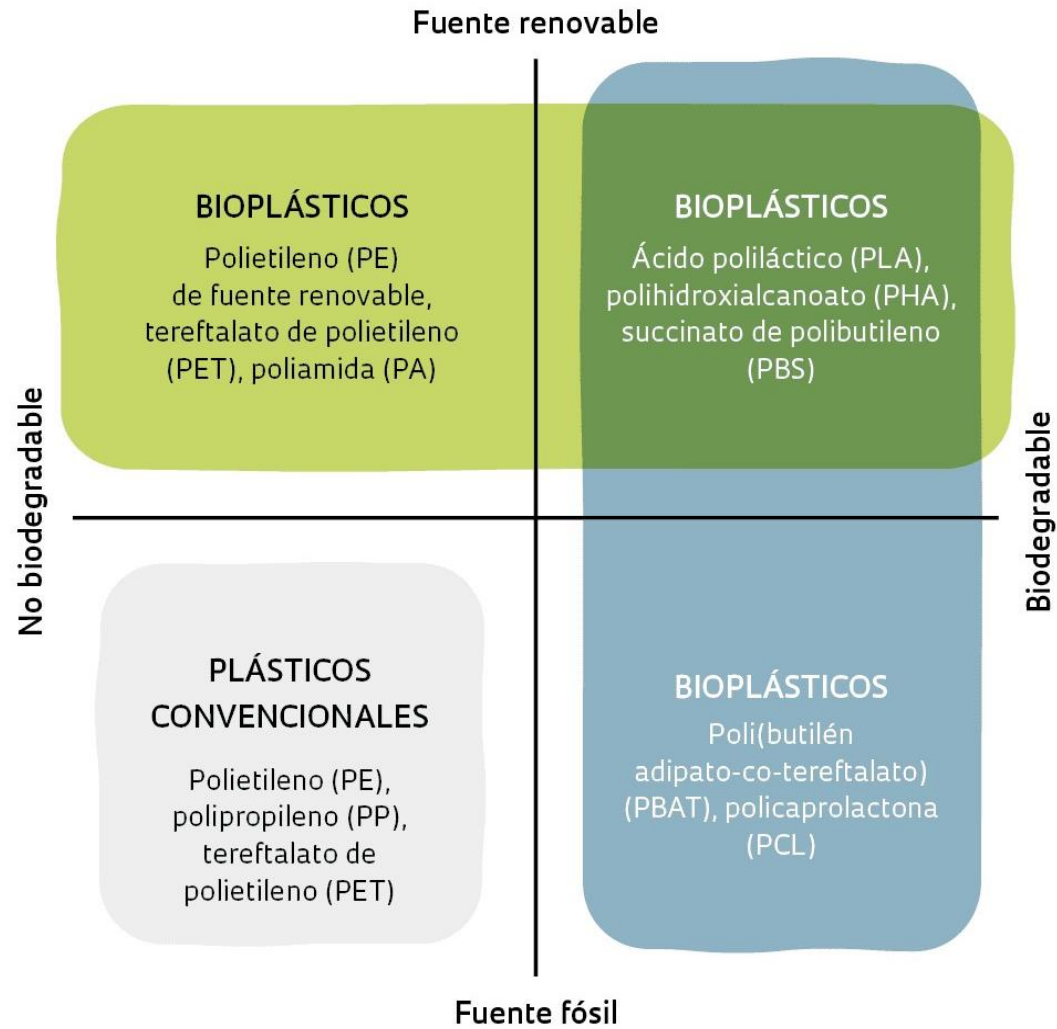


Figura 12 Biopolímeros degradables y no degradables (Bioplastic Materials, 2021).

Los bio compuestos son biopolímeros reforzados con fibras naturales, las cuales son filamentos de origen natural, que generalmente presentan finura y flexibilidad (Christian, 2016).

Los investigadores han estado desarrollando estos materiales como alternativa a los materiales convencionales que pueden ser no renovables, recalcitrantes o fabricados mediante procesos contaminantes. Mientras que en producción a escala industrial de bio compuestos es cada vez más viable, la durabilidad de estos materiales naturales limita su aplicación en muchos entornos (Christian, 2016).

Los polímeros reforzados con fibras son compuestos en los que están incrustadas en una matriz polimérica. El polímero une las fibras entre sí dando forma al compuesto, distribuye las tensiones entre ellas, resiste una pequeña cantidad de tensión y suele proteger las fibras de la exposición al medio ambiente. Normalmente, las fibras son más fuertes y rígidas que la matriz polimérica, lo que significa que el comportamiento de las fibras incide en el comportamiento mecánico mientras que la matriz tiende a incurrir en el comportamiento de durabilidad. Los materiales utilizados para formar los materiales compuestos convencionales suelen ser sintéticos, por ejemplo, fibras de vidrio y de carbono y polímeros derivados del petróleo. Estos materiales se utilizan en muchas industrias desde la aeroespacial hasta la automovilística,

pasando por la deportiva y la de la construcción. Las aplicaciones en el sector de la construcción incluyen barras de refuerzo para el hormigón, refuerzos externos utilizados para reparar o reforzar componentes existentes de hormigón y acero, y secciones transversales. Aunque estos materiales presentan una resistencia importante y no se corroen sus componentes y sus procesos de fabricación, al igual que muchos materiales de construcción, requieren el uso de materiales no renovables y de combustibles fósiles (Christian, 2016).

Los compuestos por fibras naturales y polímeros de origen biológico están siendo desarrollados para ofrecer una alternativa ecológica a los materiales convencionales.

Las ventajas de los bio compuestos son que los materiales proceden de recursos renovables y, en muchos casos, pueden biodegradarse completamente cuando se someten a un entorno adecuado. Los usos actuales tienden a ser no estructurales y a situarse en entornos controlados debido a su comportamiento mecánico variable y a su desconocida durabilidad a largo plazo (Christian, 2016).

Para que la mayoría de estas pruebas compitan con los materiales de construcción convencionales, sus formas estructurales suelen modificarse utilizando, por ejemplo, paneles sándwich donde se unen tres láminas (Christian, 2016).

## 1.10

### ¿Por qué utilizar nuevos materiales?

La persistente utilización de los plásticos ha generado un gran impacto ambiental con el resultado de sus desperdicios a nivel global y los métodos de desecho son limitados. La incineración puede generar gases tóxicos en el aire, los botaderos son limitados ya que son utilizados para todo tipo de desecho y los métodos de reciclaje son costosos y usualmente gastan mucha energía. Por otro lado, los recursos del petróleo son finitos y están limitados (Thermoplastic\_Starch, n.d.).

Desde la silla donde nos sentamos, la ropa que llevamos, hasta la piel de nuestras palmas, estamos rodeados, cubiertos y hechos de materia. Después de todo, cada cosa está hecha de algo; desde el metal que nos protege en camino al trabajo (automóviles etc.), el carbón presurizado con el que adornamos nuestros dedos hasta las hojas de este documento. Sin embargo, cuando los materiales hacen tanto por nosotros, apenas y tomamos una pausa para maravillarnos con ellos (Seetal Solanki, 2018).



El poder de los materiales trasciende los límites de las diferencias disciplinarias. Por lo que, como sociedad global, necesitamos de un montón de personas con muchas y diferentes habilidades para poder afrontar los problemas complejos a los que encaramos hoy en día. (Seetal Solanki, 2018).

Así como el hombre evoluciona a lo largo de las décadas, todo a su alrededor le ha seguido, ya sea en su forma de vestir, comer, actuar hasta en la tecnología y herramientas que utiliza. A costa de ello, los materiales se han desarrollado a medida de las necesidades y las demandas de los consumidores. Ahora nos encontramos en un periodo donde debemos volver a desarrollar este tipo de tecnología para un bien común, nuestra necesidad es dejar de impactar de una forma tan agresiva y negativa al ambiente donde habitamos. Si bien en las innovaciones de hace unas décadas nuestra visión era hacernos la vida más sencilla sin preocupación alguna, ahora debemos prevenir aún más daño del que ya se efectuó.

# 2 PROBLEMA

En lo que se lleva del siglo XXI se ha fortalecido la preocupación por los problemas provenientes de los desechos causados por la alta demanda de materiales no biodegradables provenientes del petróleo que impactan al medio ambiente. De esto deriva el interés por el desarrollo de componentes biodegradables como son los biopolímeros. Sin embargo, las deficiencias inherentes de los materiales basados en polímeros naturales, como las bajas propiedades mecánicas y la baja resistencia al agua, están causando una limitación considerable para su uso industrial (Rhim & Kim, 2014).

El desarrollo de polímeros sintéticos es considerado uno de los grandes avances de la historia, gracias a sus posibilidades de uso y propiedades como ser livianos, su durabilidad, versatilidad y por ser económicos. Sin embargo, estas ventajas también son un gran inconveniente para el ambiente, por ejemplo, su solidez hace que se conviertan en residuos difíciles de eliminar, aparte de que también tardan hasta 500 años en descomponerse y esto provoca que la cifra de residuos plásticos global aumente año tras año. La versatilidad de los polímeros sintéticos ha incrementado su consumo y, por lo tanto, la contaminación.

El continuo crecimiento de preocupación por parte de las personas ha estimulado el interés en la investigación por productos biodegradables como alternativa a los materiales

tradicionales que no se degradan o bien sobreexplotan los recursos naturales

(*Thermoplastic\_Starch*, n.d.) .

## 2.1 Pregunta de investigación

¿Será una alternativa efectiva el uso de compuestos naturales en el mobiliario, ante el uso del MDF estándar?

## 2.2 Hipótesis

Si utilizamos un desecho agroindustrial como el bagazo de cebada para reforzar el biopolímero de almidón termoplástico, entonces podemos obtener una mejora en las propiedades mecánicas de este compuesto, lo que permitirá además aprovechar de mejor manera el recurso natural.

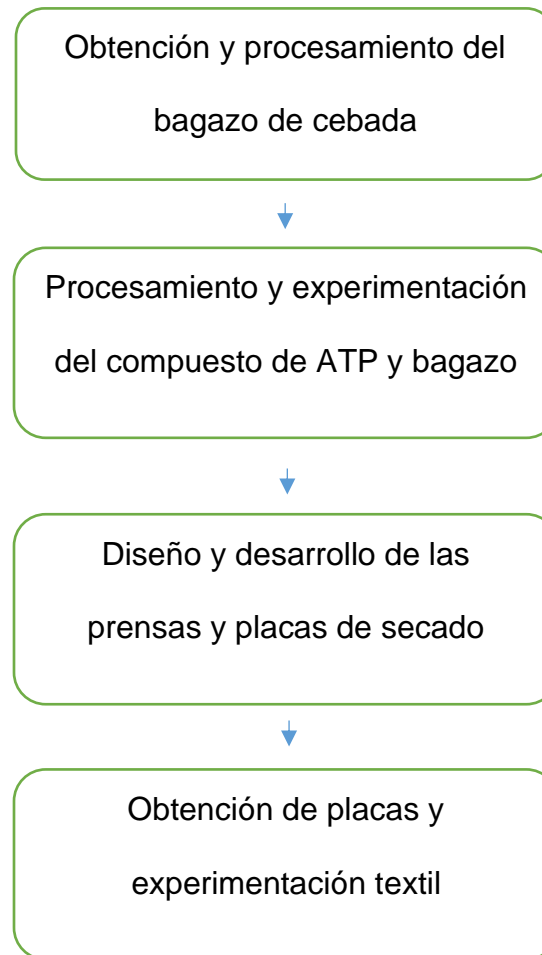
## 2.3 Objetivo

Examinar las propiedades mecánicas de flexión, tensión, resistencia al clavo y al tornillo, dureza y compresión del compuesto de almidón termoplástico (ATP) y bagazo de cebada mediante la utilización del bagazo de cebada como agente reforzante, para un mejor aprovechamiento de los desechos agroindustriales y alternativas de materiales en la producción de laminados.

# **3** **MÉTODOS**

El desarrollo para la obtención de una lámina requiere de pasos en específico: obtención de materia prima, procesamiento de los materiales, generación de las placas a presión y secado. Esto dependerá de los componentes y procesos que se requieren para su finalización, en este proyecto se siguieron una serie de pasos a partir de la obtención de nuestra materia prima.

Diagrama 1: Pasos aplicados





### 3.1 Obtención del bagazo de cebada

El bagazo de cebada se obtuvo a través de la cervecería artesanal Dos Mundos en la Ciudad de México, dado que este producto es considerado para la industria como desecho, en este proyecto se recibió como donación.

El bagazo se retira del proceso cervecero y queda húmedo y caliente por lo que es de suma importancia, para efectos de este proyecto, secarlo al sol, se distribuyó sobre una superficie absorbente como es el cartón para poder detener su fermentación.

Para la preparación de la materia prima en este proyecto, se realizó el siguiente proceso:

1. Se extendió sobre una mesa cubierta con cartón y se dejó secar al aire libre. Se revolvía cada hora para que el proceso de secado fuera uniforme.



Figura 13: Bagazo sobre cartón

2. Para asegurar el secado, dividimos el bagazo en pequeñas cantidades sobre charolas para poder meter al horno a una temperatura de aproximadamente 140°C, hasta notar un mayor secado en el bagazo.



Figura 14: Bagazo dentro del horno a 140 grados °C.

En esta última imagen apreciamos el bagazo de cebada seco.



Figura 15: Bagazo de cebada deshidratado

## 3.2 Instrumentación

Una parte fundamental de los ejercicios exploratorios de materiales emergentes es la instrumentación ¿con qué herramientas me puedo ayudar para el desarrollo de este proyecto? Esta es una gran pregunta en este caso en específico, ya que a pesar de estar en una situación global de enfermedad donde debíamos aislarnos en nuestros hogares, logramos proseguir la etapa de experimentación a través de utensilios de cocina y, por otra parte, elaboramos otras herramientas conforme se requerían. Los cuales son:

- Balanza digital
- Probeta
- Tazón pírex
- Jeringa de 10ml
- Estufa
- Cacerola
- Pala de goma
- Tortillera de metal (se utilizó en el desarrollo de formulación)
- Prensas 1.0 y 1.2 (en las dos últimas etapas se utilizaron dos diferentes)

- Rejillas de metal
- Secador

### 3.3 Componentes de la mezcla de almidón

Se realizaron pruebas iniciales para llegar a la mezcla ideal de almidón termoplástico con bagazo de cebada para el propósito de este proyecto, se experimentó el almidón termoplástico a partir de almidón de maíz: *Zea mays* L., de tapioca: *Manihot esculenta* Crantz y papa: *Solanum tuberosum* L., como matrices en conjunto, los cuales se mezclaron con el bagazo de cebada seco y triturado.

¿Por qué estos tres almidones? El almidón es considerado un polímero natural lo cual, indica que es renovable. De donde se saca el almidón comúnmente es precisamente de la papa, el maíz y la yuca, entre otras plantas. Estos tres se utilizan principalmente en la industria alimentaria, sin embargo, gracias a sus propiedades termoplásticas, podemos experimentar, no solo con empaques, sino con productos más elaborados como laminados.

### **3.3.1 Los almidones experimentales**

El camino de la experimentación en ocasiones es un tanto extenuante, sin embargo, en un punto crítico llegamos a un resultado que nos permite dar un paso más en nuestra investigación y con ello descubrir nuevas cosas. En este proyecto se desarrollaron 16 formulaciones, en las cuales indagamos los tres almidones como punto de partida hasta resolver cuál de ellos se acoplaba más a nuestro objetivo. Se realizó esta cantidad de formulaciones ya que en algunos los cambios en los componentes o en los gramajes eran mínimos con el fin de tener una respuesta acertada o bien tener el conocimiento de que cambio se tenía que realizar. Esto nos permitió también conocer a simple vista los cambios que se generaban.

## **3.4 Diseño de prensa no.1**

Encontraremos las formulaciones iniciales y finales en una tabla en la sección de resultados, ahí también podremos analizar los cambios que se perciben de acuerdo con el método que se utilizó para llegar a él.



En esta etapa del desarrollo del laminado de almidón termoplástico reforzado con bagazo de cebada se diseñó una prensa que permitiera dar forma y medidas precisas a la formulación que ya se obtuvo en los procesos anteriores. Se hizo una prensa que permitiera obtener una lámina de 15 x 15 x 0.12cm de tamaño. El proceso para la manufactura de la prensa inicio un modelo 3D (figura 16, A) que permitiera visualizar las medidas y piezas necesarias para el objeto. Al tener la idea clara de lo que se necesitaba realizar no hubo necesidad de hacer más modelos ya que también está inspirada en una prensa para tofu (figura 16, B) que tiene un fin semejante.

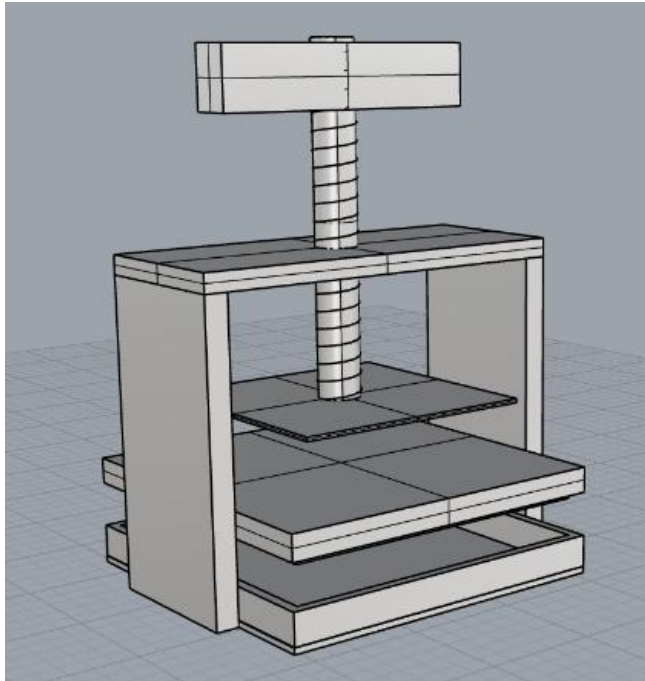


Figura 16: A) Diseño de prensa (B) Prensa de tofu (mercado libre, 2022)

En la búsqueda de las piezas necesarias para esta prensa se tuvieron que hacer cambios improvisados ya que en el mercado y por la situación de pandemia no se encontraron fácilmente, sin embargo, se logró una alternativa útil y viable. A continuación, se muestra la

prensa que se obtuvo (figura 16), esta se hizo de manera artesanal con los siguientes materiales: laminado de madera variada, tornillos, tornillo de automóvil para la rosca de la prensa, tornillo de paso y un conector de PVC (Policloruro de vinilo), no se utilizó pegamento ya que las paredes de la base se desmontan para poder sacar sin problemas el prototipo de la lámina seca.



Figura 17: Prensa 1

## 1.1 Uso de mallas orgánicas como refuerzo del laminado.

La utilización de mallas es común en el ámbito arquitectónico por lo que nos llevó a probar la misma técnica en el desarrollo de este proyecto ya que se pretende en el futuro que esta lámina pueda ser utilizada en estructuras de mobiliario interior.

¿Por qué se utilizan mallas? Las mallas de refuerzo se emplean para aumentar la resistencia de los revestimientos frente a las atracciones y diferencias de tensión, con el fin de

evitar fisuras y desprendimientos en los revestimientos. (*Aplicaciones de Las Mallas de Refuerzo*, 2021).

Las aplicaciones de las mallas de refuerzo que más nos interesan para este desarrollo son:

1. Resistencia: la colocación de la malla aumenta la estabilidad de la lámina.
2. Reparto de fuerzas: Se consigue una mayor y mejor distribución de las fuerzas que soporta la superficie (*Aplicaciones de Las Mallas de Refuerzo*, 2021).

Ahora bien, las mallas que se utilizan usualmente son metálicas, sin embargo, se requiere que este proyecto sea 100% biodegradable por lo que se toma la siguiente decisión, usar una malla

textil orgánica, esto quiere decir que provenga de fibras naturales, por lo que se eligió la malla de yute.

El yute es una fibra muy versátil, este reemplazó durante mucho tiempo a diferentes fibras como las de lino y cáñamo en la arpillera, el cual es un tejido fuerte y áspero que usualmente se utiliza para sacos de carga. Una característica del yute es la posibilidad de usarse por separado o bien mezclarse con otras fibras y materiales. En muchos casos es usado como reemplazo a fibras sintéticas por su carácter biodegradable. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021).

Se hizo el ejercicio de la utilización de la malla de yute en una placa que se realizó con la prensa no. 1, la obtención de esta placa lo podremos ver en el apartado de resultados.

## 1.2 Diseño de secador de placas

En la realización de las placas que se obtuvieron a través de la prensa se ideó la manera de poder mantener estas placa a temperatura ambiente mientras se aplicaba presión, esto permitiría que las placas quedaran uniformes.

Se realizó un secador compuesto por dos placas de aglomerado de fibra de media densidad (MDF) con una plantilla de perforaciones para la circulación del aire presionadas por cinco tornillos con mariposa para que nos ayude a mantener la forma de las placas por medio de la presión que se ejerce en el proceso.



Figura 18: Secador de placas vista lateral.

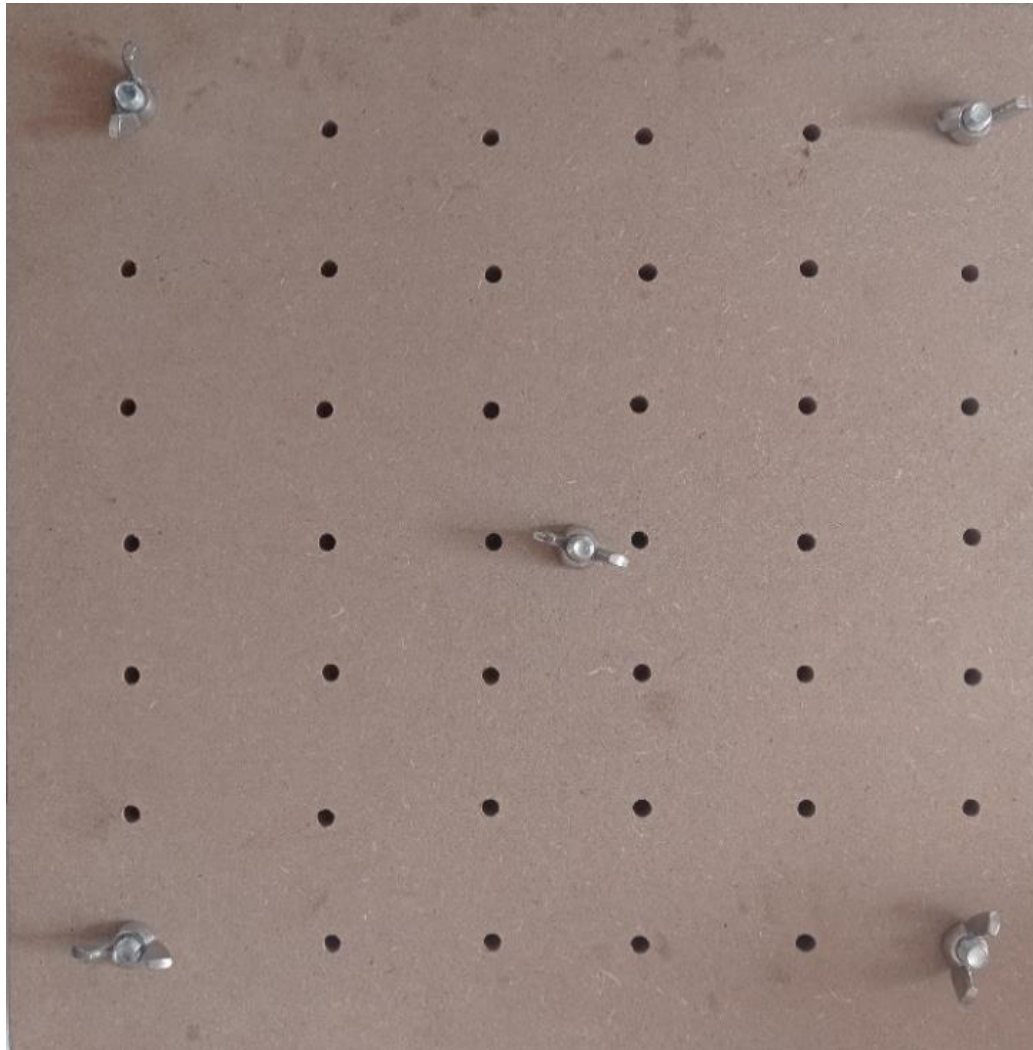


Figura 19: secador de placas



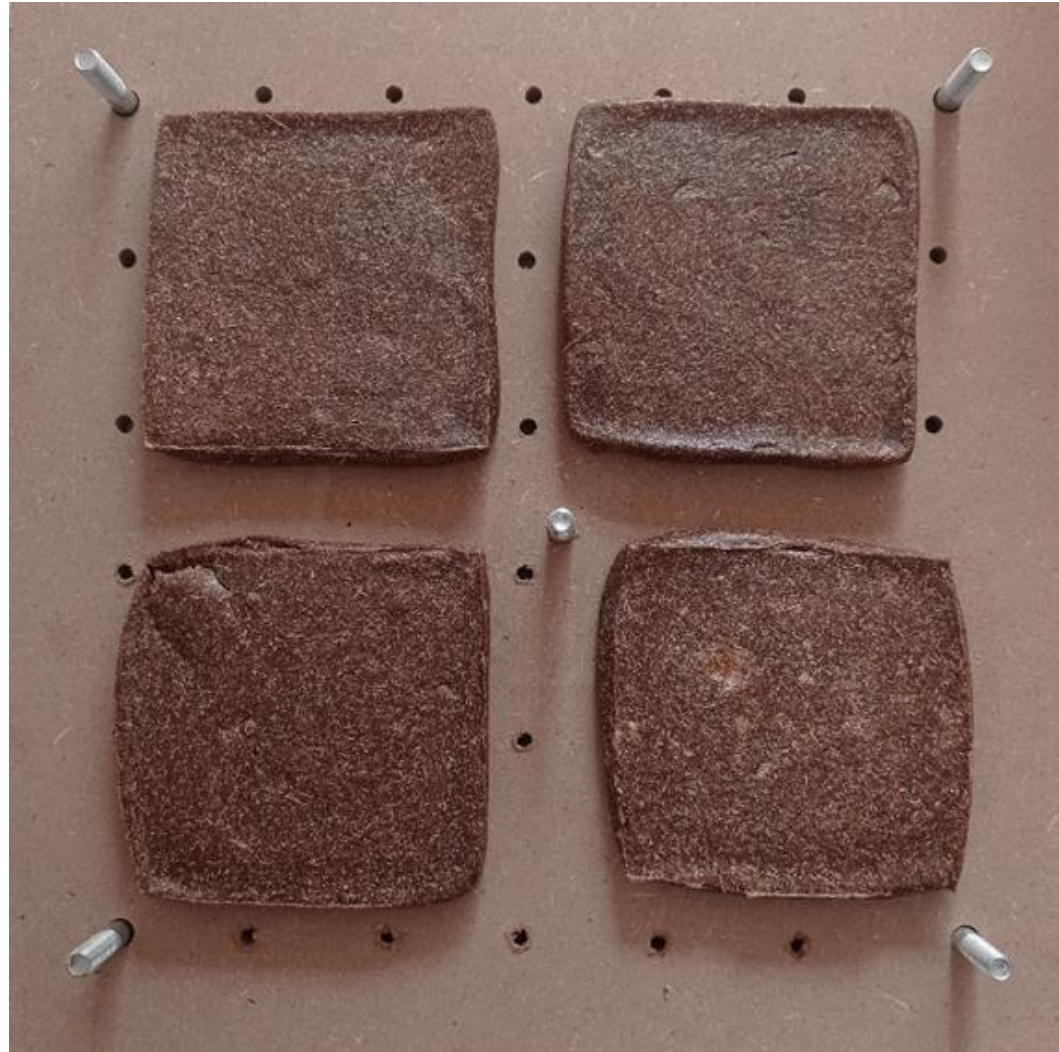


Figura 20: Vista interna del secador de placas con 4 placas del bio compuesto en proceso de secado.

### 3.5 Desarrollo del prototipo sin lámina textil

En esta etapa de experimentación se volvió a probar la mezcla con bagazo de cebada triturado, la diferencia fue en que no se utilizó la malla de yute ya que se quería analizar la probabilidad de poder omitir el uso de esta.

Para este fin se utilizó la prensa de madera de una manivela, se presionó el material y se dejó en la prensa por 15 minutos aproximadamente para poder darle forma a las placas, el siguiente paso fue dejarlas secar sobre charolas de metal con el fin de obtener una primera

cubierta (lámina delgadita del mismo material ya en proceso de secado) y después se daba vuelta para conseguir la segunda cubierta y dejar secar dentro del secador prefabricado por una semana a temperatura ambiente.



Figura 21: Vista lateral del bio compuesto húmedo



Figura 22: vista superior del compuesto húmedo

## 1.3 Pasos que seguir para la elaboración del bio

### compuesto a nivel laboratorio

A nivel laboratorio seguimos pasos específicos para la elaboración del compuesto por lo que expresaremos los pasos en el siguiente diagrama:

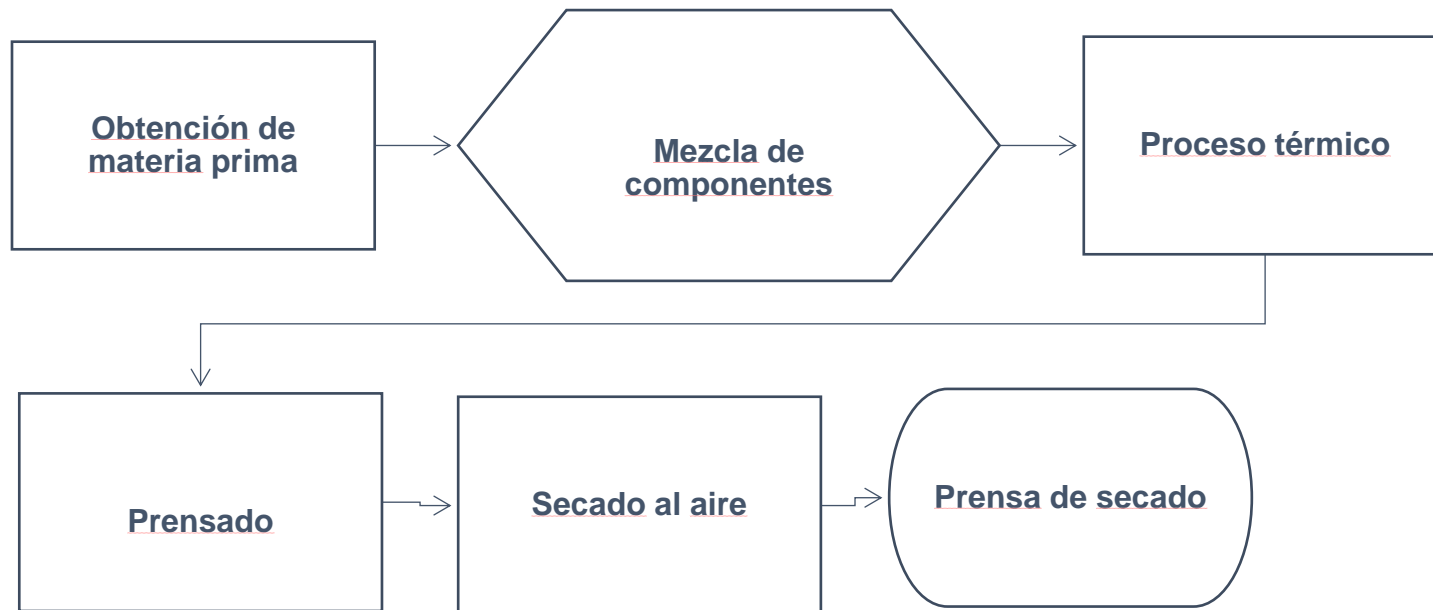


Diagrama 2: Proceso de fabricación a nivel laboratorio

1. Se obtienen los componentes necesarios de materia prima
2. Los componentes se clasifican en secos y líquidos. Por una parte, se mezcla el almidón junto con el bagazo hasta que sea homogéneo. El siguiente paso es añadir la glicerina, agua y ácido acético, por último, se incorporan ambas mezclas.
3. El compuesto se expone a calor (estufa) medio-alto, donde se agita constantemente hasta el punto de plastificación, la mezcla se nota muy flexible. En ese momento se deja enfriar para proceder al siguiente paso.
4. El compuesto frío se vierte entre dos láminas delgadas de plástico (para evitar que se adhiera) directamente a la prensa, en esta se deja por unos minutos para que se forme la placa requerida.
5. Una vez transcurrido al menos 10 a 15 minutos dentro de la prensa, se puede desmoldar la placa para colocarla en una rejilla, esto permitirá crear una película en todo el exterior de la placa para evitar la deformación al secarse. El tiempo en la rejilla es aproximado de 24 horas.
6. El último paso es colocar la placa del compuesto dentro del secador desarrollado, en este secador se pretende presionar ligeramente la pieza para evitar deformaciones. El tiempo en la prensa de secado es de aproximadamente 1 a 2 semanas dependiendo del tamaño y grosor de la muestra.

## 3.6 Diseño de prensa no. 2

En el proceso de generar las placas para poder obtener la caracterización mecánica del bio

compuesto de almidón termoplástico y bagazo de cebada, se necesitó rediseñar la prensa, ya que se utilizan medidas de mayor tamaño según la norma:

ASTM: D 1037 – 06a, Métodos de prueba estándar para la evaluación de los materiales de fibra a base de madera y paneles de partículas.

Estas medidas varían de acuerdo con las pruebas que se aplicarán, asimismo, no exceden de los 30 x 14 cm, por lo tanto, se adecuo la prensa de acuerdo con esta información. Sé utilizó madera recuperada de otros proyectos para así, evitar generar más



Figura 23: Prensa de doble manivela

residuos. Al igual que la manivela de la primera prensa, se tuvo que hacer una segunda manivela para poder presionar al mismo tiempo el material.

Se obtuvieron placas del compuesto de 30 x 14 cm en estado húmedo, cuando se dejó secar, la placa que se obtuvo es de 25 x 11 x 1.5cm.



Figura 24: Placas en secado de rejilla

# **4**

# **CARACTERIZACIÓN**

# **MECÁNICA DEL**

# **PANEL**

# **TERMOPLÁSTICO**



## 4.1 Pruebas mecánicas:

*“La caracterización de materiales es una herramienta fundamental para asegurar la máxima calidad en los procesos de diseño y fabricación de nuevos productos.”(Caracterización de Materiales. Principales Técnicas Empleadas, 2020)*

La caracterización de materiales nos permite estudiar las propiedades morfológicas y funcionales de determinadas sustancias. Así podemos conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las muestras tales como los grados de resistencia y elasticidad, así como sus posibles aplicaciones según los resultados obtenidos (Caracterización de Materiales. Principales Técnicas Empleadas, 2020).

Con el propósito de tener una alternativa al MDF aplicaremos los ensayos mecánicos, donde engloban experimentos de dureza, tensión, compresión y flexión entre otros. A estas pruebas se le aplican fuerzas mecánicas de distinto tipo para comprobar sus propiedades de durabilidad de resistencia (Caracterización de Materiales. Principales Técnicas Empleadas, 2020).

Esta herramienta en el ramo de la investigación permitió hacer más eficientes los procesos productivos, así como la asignación de un lugar en el rango de materiales utilizados en la industria del mueble a nuestro bio compuesto.

La caracterización mecánica del compuesto de ATP y bagazo de cebada se realizó siguiendo diferentes procedimientos según cada prueba, los ensayos que se realizaron fueron los siguientes:

- A. Flexión estática: Determina las propiedades de flexión, tales como módulo de ruptura y aparente módulo de elasticidad. Cuando se requiere, se puede determinar el estrés y el trabajo máximo de carga. (*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1*, n.d.)
- B. Tensión paralela a la superficie: Determinar la resistencia a la tracción en el plano del panel. (*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1*, n.d.)
- C. **Resistencia del Clavo Lateral:** Se realizarán pruebas de sujeción de clavos para medir la resistencia del panel al movimiento lateral de un clavo a través de un panel. (*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1*, n.d.)

- D. **Retiro de clavo:** Las pruebas de sujeción de clavos se realizarán en clavos clavados a través de la muestra de cara a cara para medir la resistencia a la retirada del clavo en dirección normal a la cara del panel. (*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1*, n.d.)
- E. **Atravesamiento de cabeza de clavo:** Se deben realizar pruebas de extracción de la cabeza del clavo para medir la resistencia de un panel a tener la cabeza de un elemento común, clavo u otro elemento de fijación atravesado el panel (Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1, n.d.).
- F. **Retiro directo del tornillo:** Las pruebas de sujeción de tornillos se realizarán en tornillos roscado en el panel para medir la resistencia al retiro del tornillo en un plano normal a la cara del panel. (*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1*, n.d.)
- G. **Dureza:** El método de ensayo Janka-ball modificado se utilizará para determinar la dureza del panel. (*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1*, n.d.)

- H. Cortante en el plano del Panel:** Los ensayos de corte se realizarán en especímenes preparados por laminando. (*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1*, n.d.)
- I. Compresión paralela a la superficie:** Determina la resistencia al corte por compresión de una muestra de panel sin pegar ni sujetar. Proporciona una indicación de la calidad de unión de un material. (*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1*, n.d.)

## 4.2 Normativa ASTM D 1037 – 06a

En esta etapa del proceso de desarrollo se hizo la caracterización mecánica de panel termoplástico de yuca con bagazo de cebada, nos basamos en la siguiente norma ASTM: D 1037 – 06a, la cual se refiere a los Métodos de prueba estándar para la evaluación de los materiales de fibra a base de madera y paneles de partículas (Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1, n.d.).

La maquinaria que se utilizó para la elaboración de todas las pruebas fue la INSTRON 5500R.

### 4.3 Probetas según la normativa ASTM D 1037-06a:

Se fabricó una probeta por cada una de las 9 pruebas mecánicas de la normativa ASTM D1037-06a que se practicaron, estas se realizaron a través del mecanismo de prensa no. 2, se obtuvieron las placas de 25 x 15 cm y estas se cortaron de acuerdo a la norma .



Figura 25: Probetas para pruebas mecánicas.

### 4.3.1 Flexión Estática

La flexión estática, como ya vimos, nos permite determinar las propiedades mecánicas de los materiales relacionadas con los esfuerzos y deformaciones en los puntos máximo y de rotura, y módulo elástico en **flexión** teniendo en cuenta la separación entre apoyos calculada a partir del espesor de la probeta.

Esto nos ayuda a saber su comportamiento mecánico y poder proponer una aplicación, en este caso mobiliario.

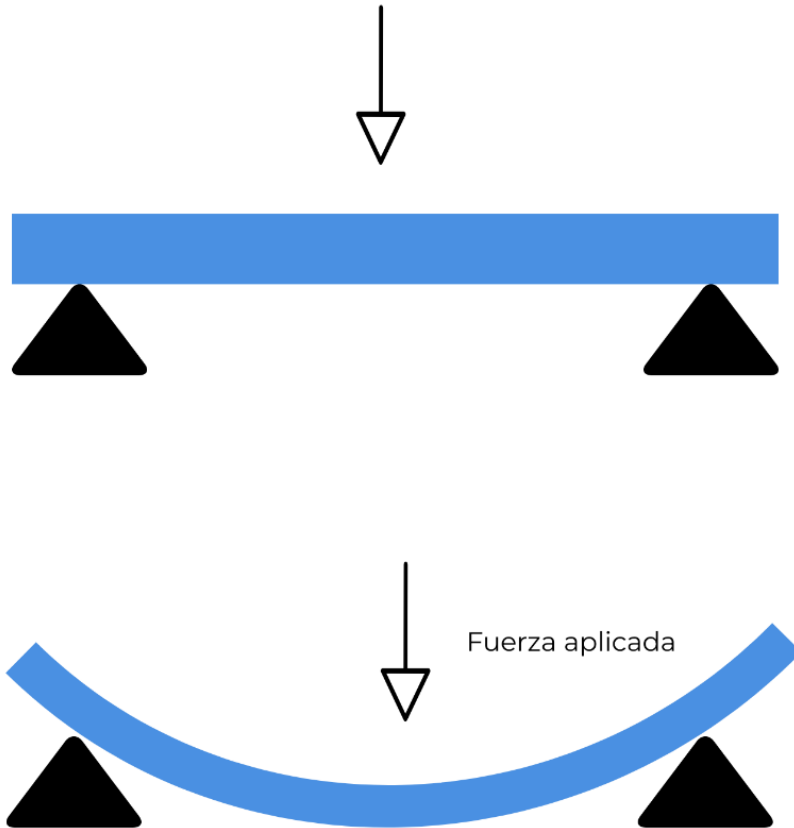


Figura 26 Diagrama de flexión estática.

Como la norma lo indica se debe reportar el módulo aparente de ruptura, dónde:

$R_b$ : Módulo aparente de ruptura, (MPa).

$P_{max}$ : Carga máxima, (N).

$b$ : ancho de las probetas, (mm).

$d$ : grosor de las probetas ,(mm).

$L$ : longitud entre rodillos, (mm).

$$R_b = \frac{3P_{max}L}{2bd^2}$$

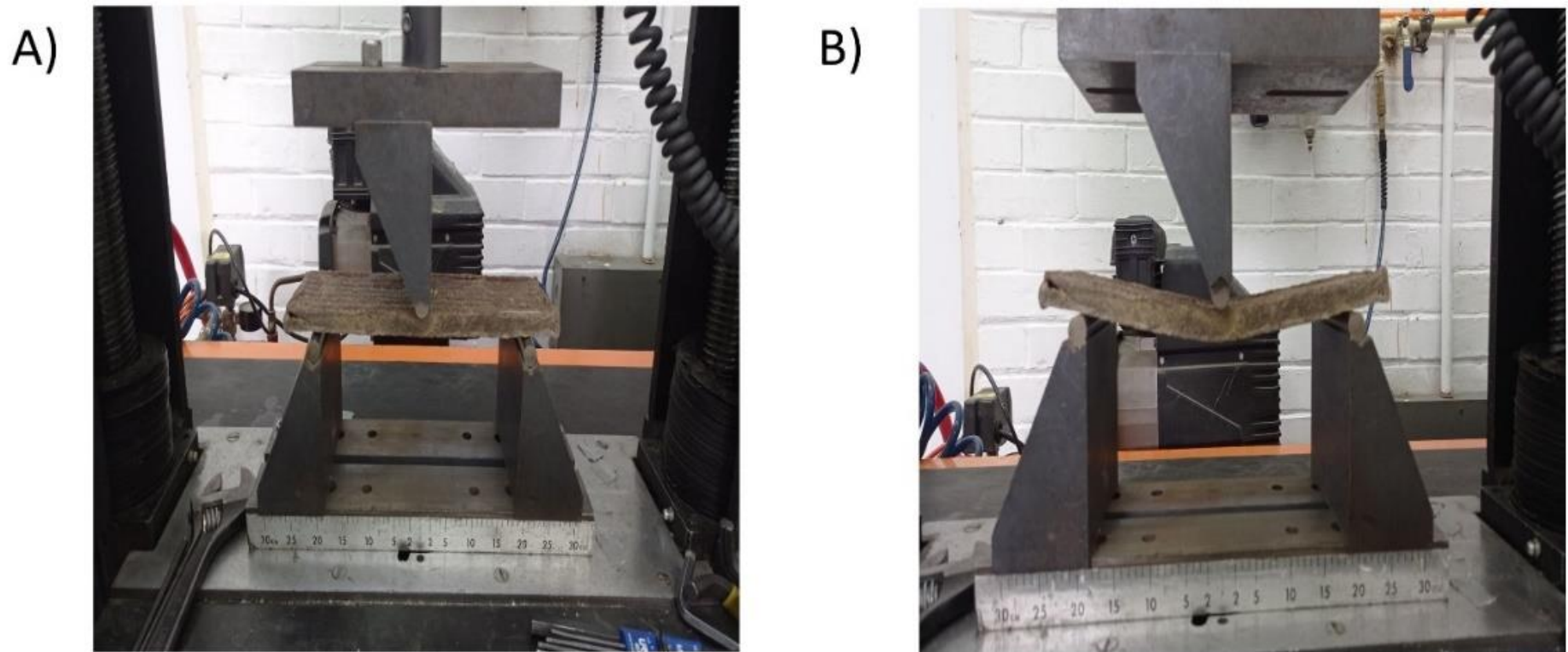


Figura 27 Prueba de Flexión estática, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B).

Se manejaron 3 probetas para esta prueba para tener una medida de la carga máxima.



### 4.3.2 Tensión paralela a la superficie

La tensión es la reacción que se produce en el interior de la probeta, cuando sobre ésta se aplica una carga uniaxial. (*TIPOS DE ESFUERZOS FÍSICOS INTRODUCCIÓN*, n.d.)

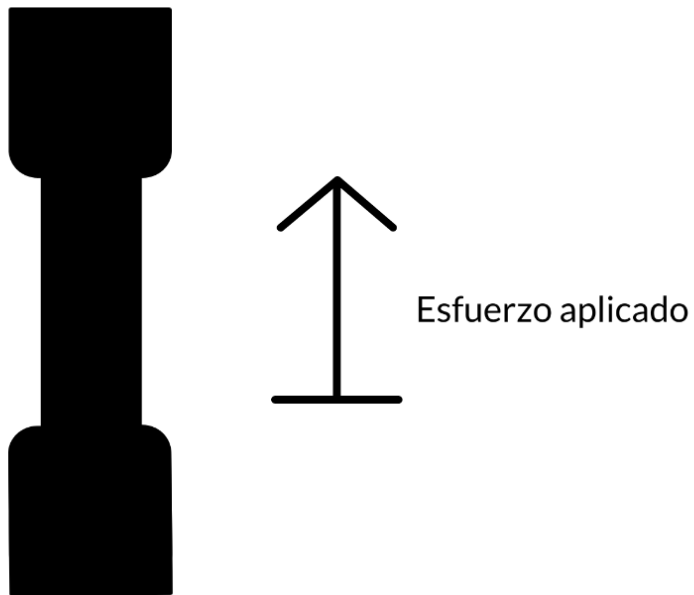


Figura 28 diagrama de tensión paralela a la superficie.

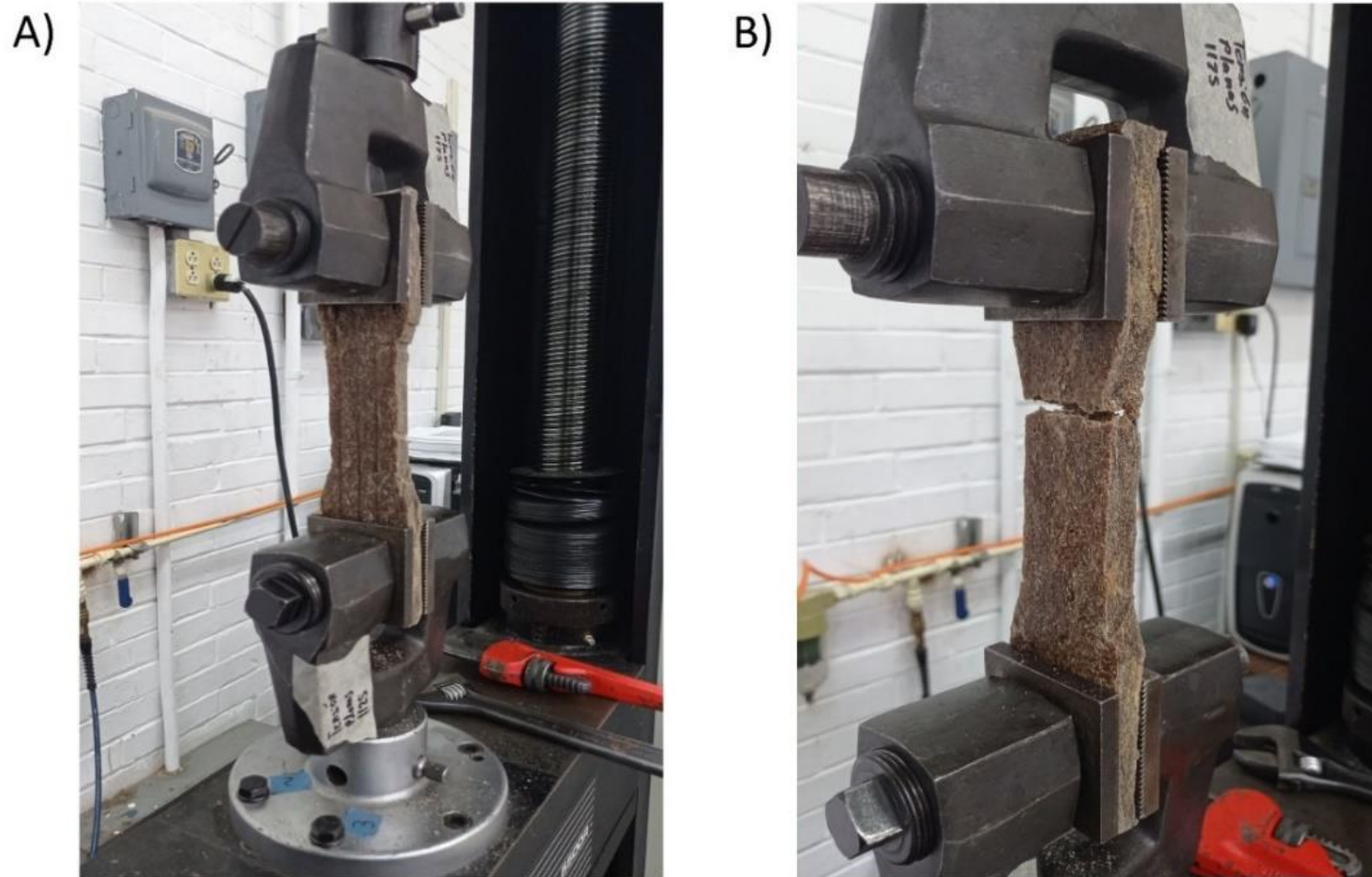


Figura 29 Prueba de Tensión paralela a la superficie, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B).

### **4.3.3 Resistencia del Clavo Lateral**

La resistencia lateral de clavo nos permite determinar experimentalmente el comportamiento mecánico del sistema mediante el ensayo de probetas de elementos laminados con distintos esquemas de clavado en ensayos de cizalle, analizando estadísticamente su resistencia y rigidez.

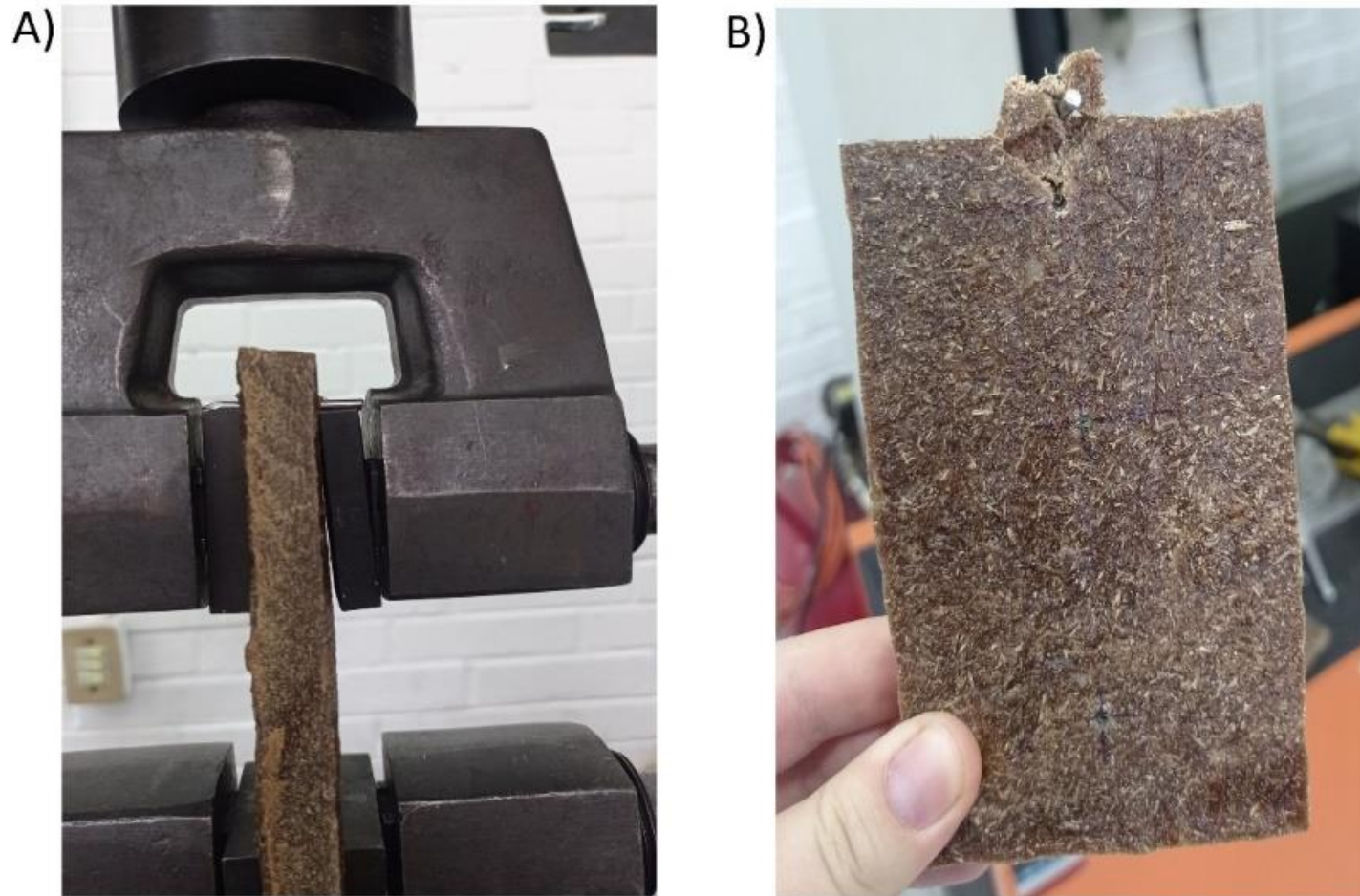


Figura 30 Resistencias del clavo lateral, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B).

#### 4.3.4 Retiro de clavo

Esta prueba nos permite conocer la capacidad de carga y unión al utilizar clavos a comparación de tornillos, en el uso en mobiliario.

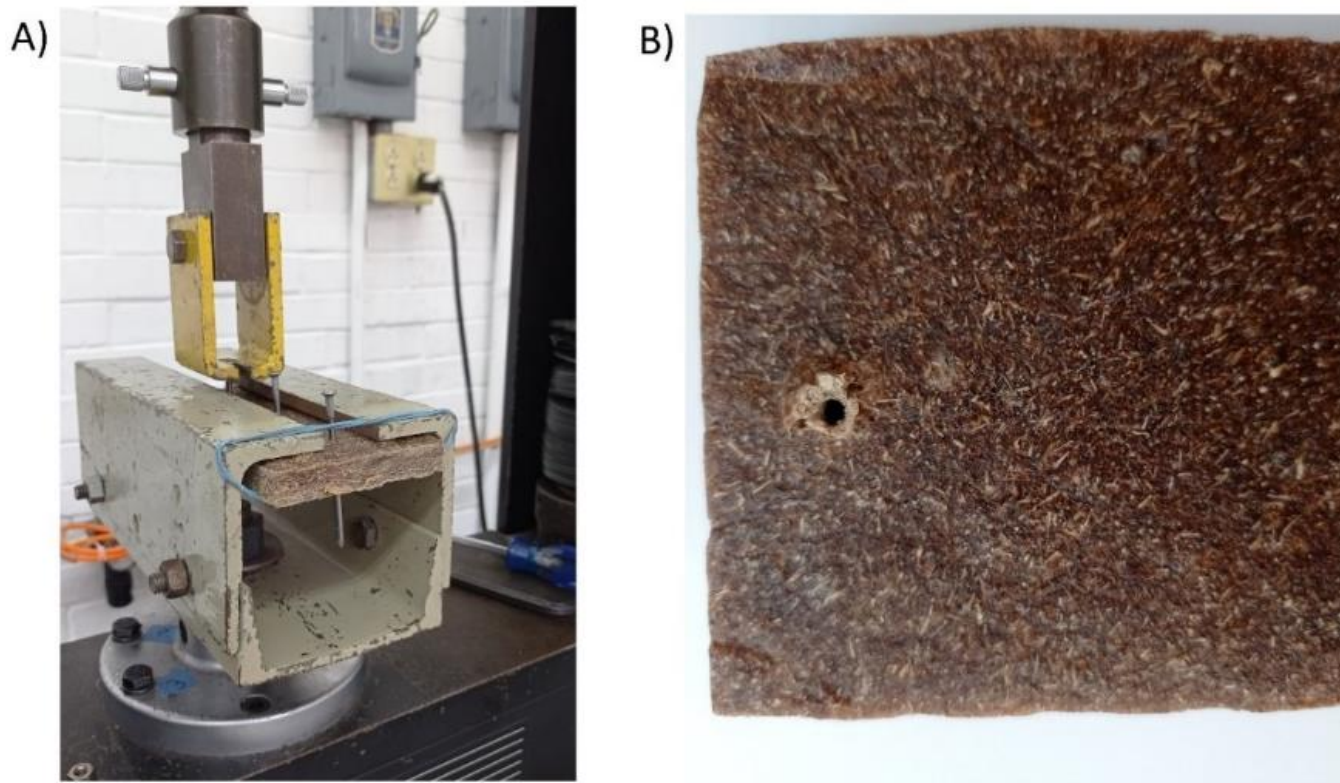


Figura 31: Prueba de retiro de clavo, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el resultado de ésta (B).

### 4.3.5 Atravesamiento de cabeza de clavo

Al igual que el retiro de clavo, el atravesamiento de este nos permite saber que tanto puede aguantar nuestro material al momento de clavar un clavo y que en un momento se tuviese que atravesar la lámina, en las prácticas de producción de mobiliario nos podría surgir este problema.

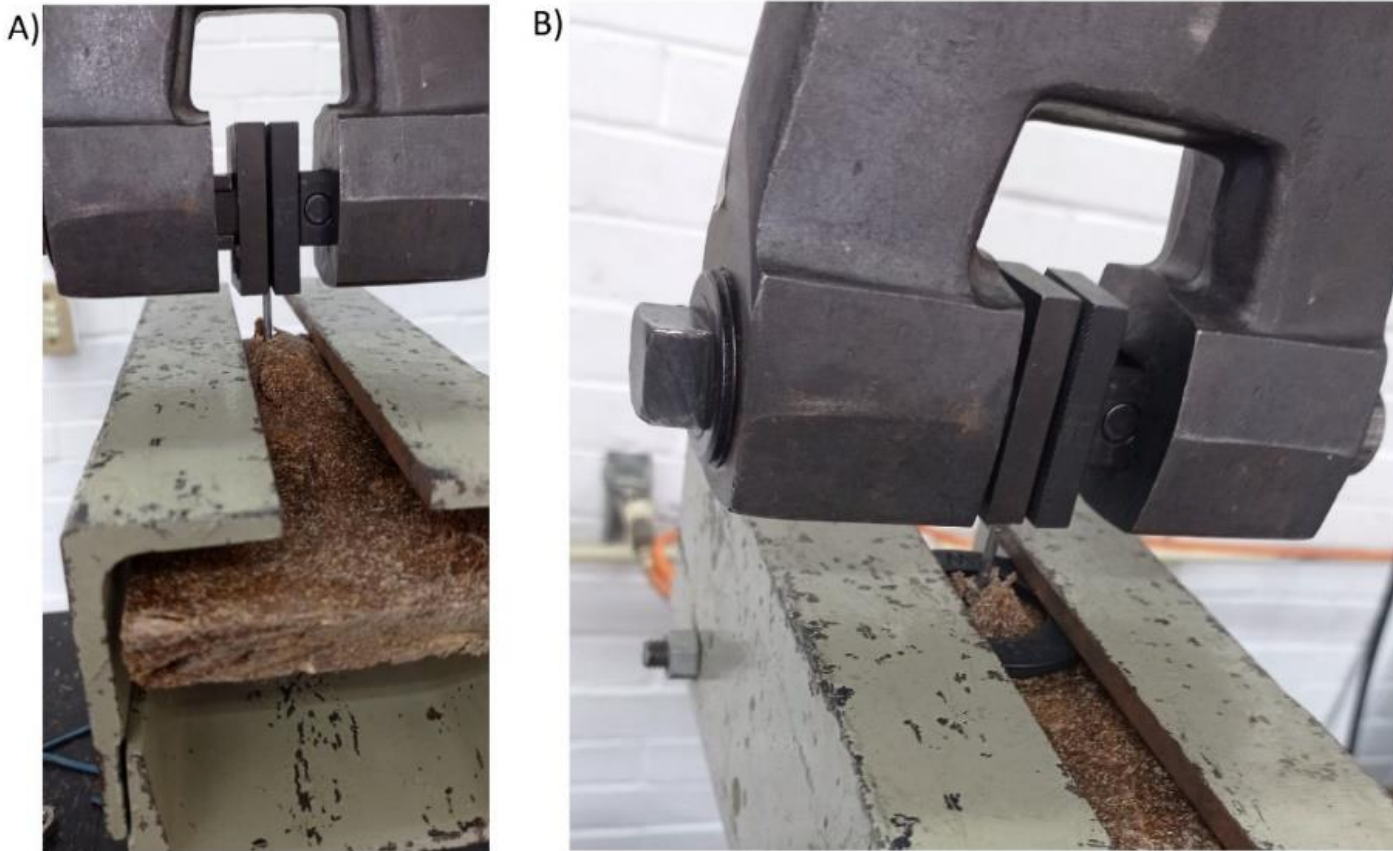


Figura 32: Prueba de atravesamiento de clavo, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B).

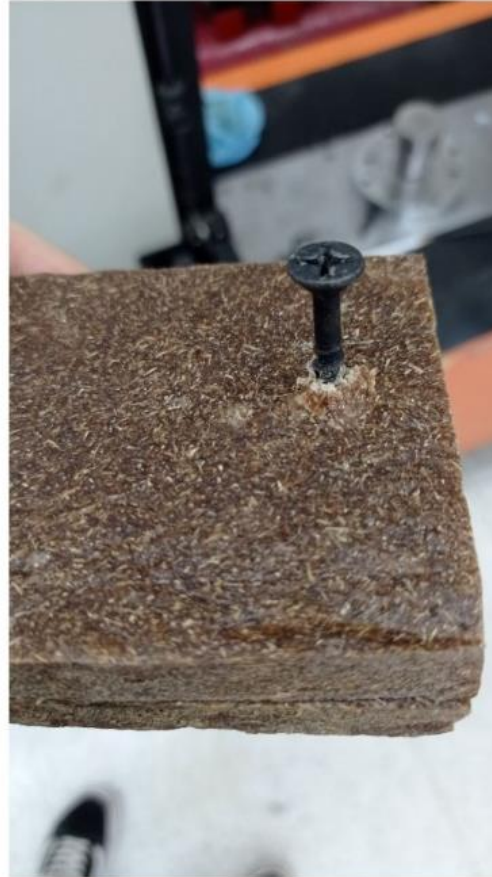
### 4.3.6 Retiro directo del tornillo

Al igual que el clavo, el tornillo es una pieza imprescindible en la hechura de mobiliario, pues es una herramienta que nos permite hacer uniones y estas duren por años, también nos da la

A)



B)



flexibilidad de hacer el tipo de mueble donde lo puedes ensamblar en casa solo con la guía de un instructivo sin tener que ser experto.

Figura 33: Prueba de retiro directo del tornillo, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B).

### 4.3.7 Dureza

La dureza es la magnitud específica de la materia que caracteriza la deformación local, concentrada en un pequeño volumen de superficie exterior de un material. (Centro Nacional de Meteorología, n.d.)

Para nosotros es importante conocer la dureza, ya que al ser el objetivo la fabricación de mobiliario, estos tienen a tener contacto con objetos y personas todo el tiempo, por lo que nos es necesario saber que tan fácil es que este tablero resista el ser rayado o penetrado por un objeto.

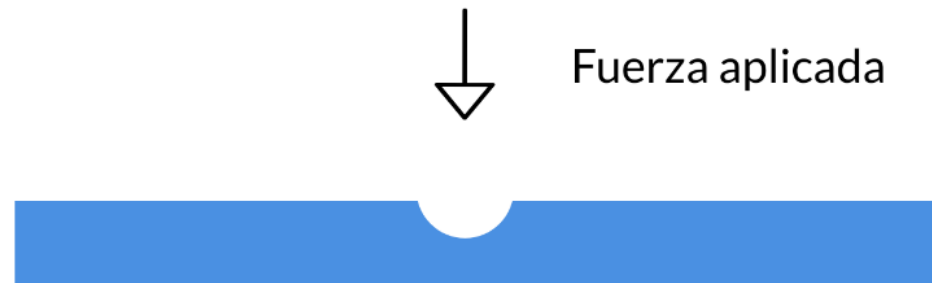


Figura 34: Diagrama de dureza.



A)



B)



Figura 35: Prueba de dureza, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B).

### 4.3.8 Cortante en el plano del panel

En esta prueba, se intenta que el plano se corte sea paralelo a las superficies del panel y que la falla se produzca aproximadamente a mitad de camino entre las dos superficies del panel. (*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1*, n.d.)

Se utilizará la siguiente fórmula para obtener el resultado del esfuerzo cortante, dónde:

$b$  = ancho de la probeta medida en condiciones secas, (mm).

$d$  = grosor de la probeta en condiciones secas, (mm).

$P_{max}$  = carga máxima, (N)

$T$  = esfuerzo cortante, (MPa).

$$\tau = \frac{P_{max}}{bd}$$

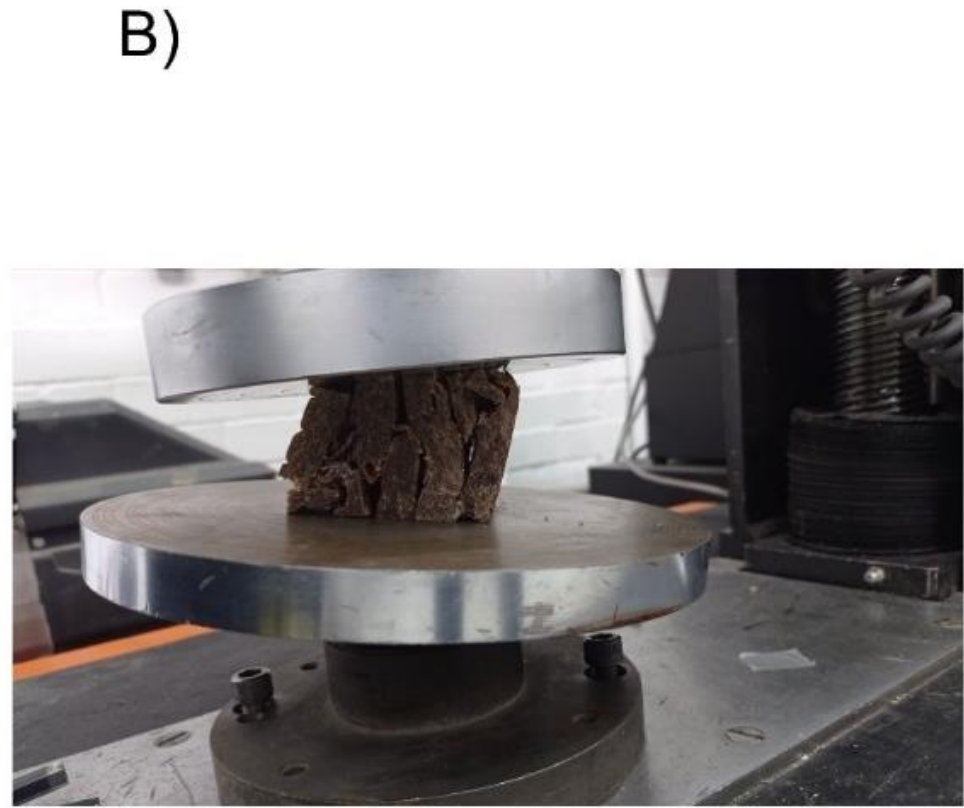
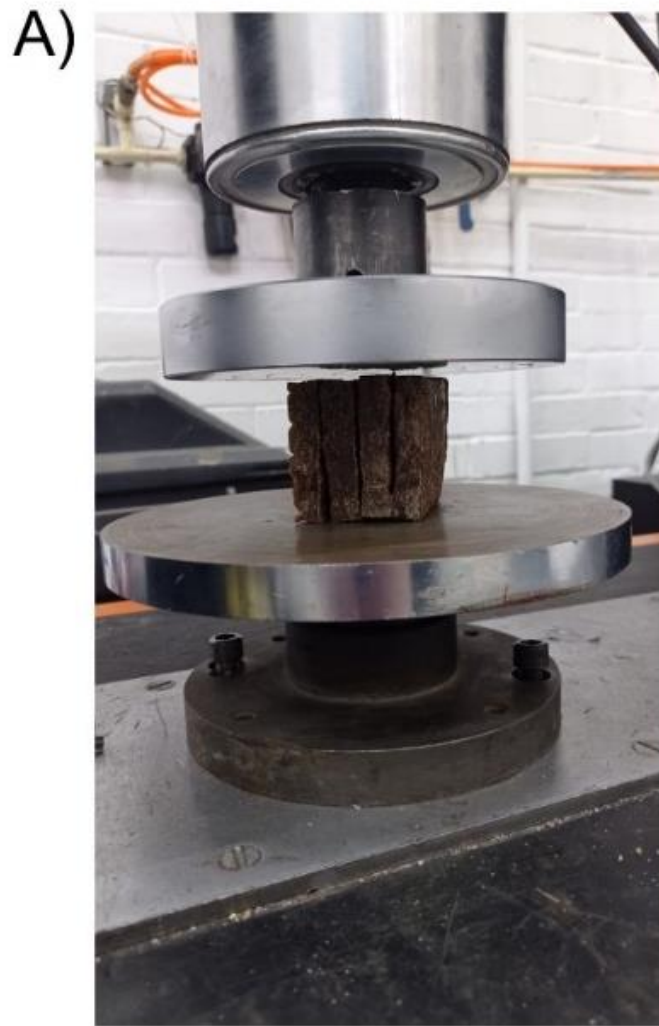


Figura 36: Cortante en el plano del panel, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el resultado de ésta (B).

### 4.3.9 Compresión paralela a la superficie

La compresión nos ayudara a tomar en cuenta, cuanto peso puede soportar lateralmente nuestro material.

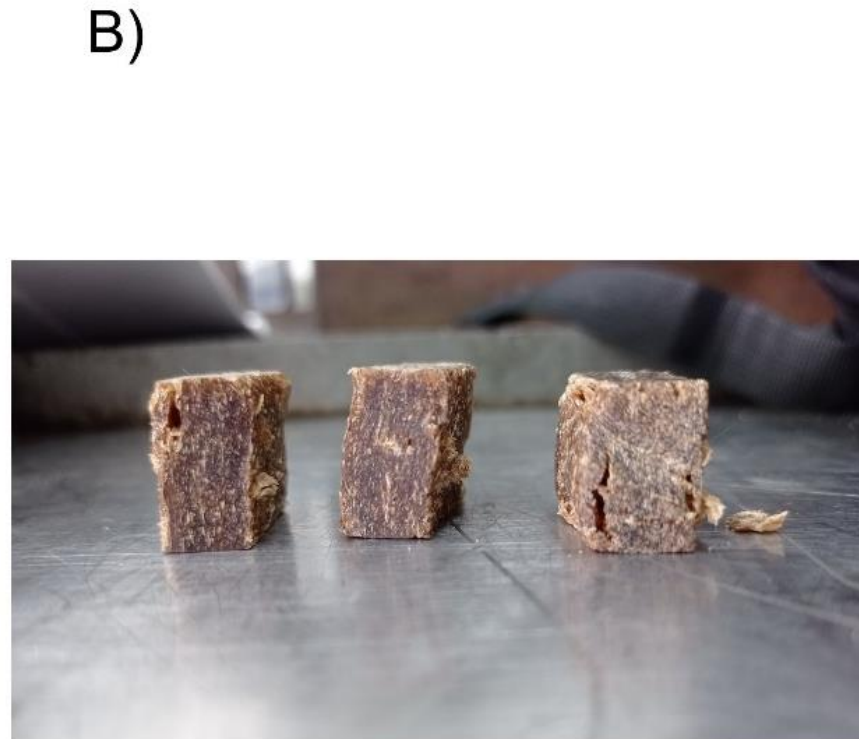


Figura 37: Prueba de Compresión paralela a la superficie, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B).

Obtendremos como resultado la fuerza de compresión a través de esta formula, dónde:

$R_c$  = Esfuerzo de compresión, (MPa).

$P_{max}$  = Carga máxima, (N).

$b$  = ancho del espécimen medido en condiciones secas, (mm).

$d$  = grosor del espécimen medido en condiciones secas, (mm).

$$R_c = \frac{P_{max}}{bd}$$

Se trabajó en el laboratorio de pruebas mecánicas, donde se nos permitió observar de cerca cómo se aplican estas pruebas a los materiales.



Figura 38: Ensayos mecánicos y práctica en laboratorio de pruebas mecánicas, instituto de investigación de materiales.

Esta primera aproximación de pruebas mecánicas sobre normativa nos permite comprender el comportamiento de nuestro material emergente, así podremos tener un punto inicial de comparación con el MDF comercial.

Podemos analizar los valores obtenidos que nos mandó el instituto de investigaciones en materiales en el apartado de resultados, así como un análisis aproximado y comparativo contra el MDF y el ATP.

## 4.4 Vista microscópica



Los microscopios son una herramienta muy precisa que nos permite ver lo que no podemos apreciar a simple vista, se utilizan en ámbitos médicos para ver a nivel celular al igual que en la biología, básicamente nos abre las puertas a un mundo que está aún por explorarse. Para nuestro caso, utilizamos el microscopio para percibir más a fondo cómo interactuaron los componentes del material que estamos desarrollando en el proceso de plastificación, así también podemos analizar ciertos aspectos que podrían determinar su uso comercial.

Por lo tanto, se decidió tomar capturas fotográficas a nivel microscópico. Con el fin de obtener más información de nuestro material.

Analizamos a profundidad como se encapsulo el bagazo de cebada en la matriz de almidón termoplástico. Así como tomar las medidas en micrómetros de las partículas utilizadas del bagazo de cebada, también pudimos ver como se comportó el material ante el corte manual con cegueta y corte con maquinaria

Figura 39: Fotografía del microscopio (amoladora y disco de corte).  
estereoscópico Motic SMZ-161



## 4.5 Biodegradabilidad

Dentro los aspectos que buscamos en el desarrollo de este material emergente es su biodegradabilidad, ya que procuramos que sea amigable con el medio ambiente, por lo que necesitamos que se reintegre fácilmente a la tierra.

En este proceso nos guiaremos con las siguientes normas:

**ASTM D 5509** Biodegradabilidad en composta o Humus.

**ASTM D 3132** Disolución en agua.

Estas pruebas se realizaron con una duración de 7 días de acuerdo con los lineamientos establecidos en las normas antes mencionadas.

La instrumentación que se utilizó para estos ensayos fue:

- Probetas de PVC
- Cilindros de ensayo del Compuesto
- Agua
- Composta

- Vinagre
- Sal

Para la realización de estas pruebas y según las normativas utilizaremos 6 cilindros del material compuesto. Como primer paso se tomará notas de las dimensiones y peso de cada cilindro al igual que en la finalización de estas pruebas, así podremos apreciar la diferencia que se pueda dar.

Las pruebas consisten en el ensayo de biodegradabilidad, se analizó el impacto visual, de peso y medidas de un ambiente de composta hacia el material, esto nos dio a conocer la viabilidad de composta de nuestro material. Al igual que el ensayo de solubilidad se tuvieron tres diferentes escenarios, el primero fue una composta húmeda al tacto, el segundo la composta con 150 ml de agua y la tercera fue la composta con vinagre.

El segundo ensayo que se hizo fue el de solubilidad, los cilindros se sometieron a tres soluciones acuosas, la primera con agua simple, la segunda agua salina y la tercera agua con vinagre, esto tendrá como objetivo analizar el impacto de acidez y salinidad en el material al igual que el impacto del sumergimiento completo en agua a nivel visual, en peso y medidas.

Los ensayos nos guiaron de manera visual a percatarnos si es posible que nuestro material se desintegre en un ambiente no controlado, por ejemplo, si cae al mar o bien sí lo colocamos en una composta casera.

Cada ensayo se denominó según la prueba, dónde:

**EB:** Ensayo de biodegradabilidad

**ES:** Ensayo de solubilidad

Tabla 2: Relación de dimensión y pesos de los cilindros antes de realizar las pruebas

<b>Cilindro</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>
<b>EB</b>	8	2.4	2.1
<b>EB</b>	8	2.4	2.1
<b>EB</b>	8	2	2.2
<b>ES</b>	9	2.3	2.1
<b>ES</b>	8	2.3	2

ES	9	2.4	2.5
----	---	-----	-----



Figura 40: Inicio de pruebas biodegradables



Figura 41: Inicio de pruebas biodegradables en composta.

Se inician las pruebas de biodegradabilidad, estas se mantendrán dentro de la tierra compuesta con una duración de 7 días.



Figura 42: Inicio de prueba de solubilidad

Al igual que la prueba de biodegradabilidad, se mantendrán sumergidas las probetas durante 7 días, para entonces notar una diferencia a simple vista.

En el apartado de resultados podremos visualizar lo que sucedió a partir de estas pruebas.

**5**

# **RESULTADOS**

Bio compuesto de almidón termoplástico y bagazo de cebada



## 5.1 Los almidones experimentales

Representamos en una tabla el desarrollo de la “formulación ideal” del material bio compuesto basad almidón termoplástico y bagazo de cebada. Se enlistan las imágenes del producto seco (en el paso del mezclado de los componentes no se logra apreciar una diferencia ya que está se presenta hasta la fase de polimerización), la fórmula que se utilizó y una descripción de lo que se percibió al momento de hacer el experimento. De las 16 formulaciones se mostrarán la experimentación inicial y la experimentación final en esta etapa.

Objetivos de formulación experimental:

1. La mezcla al secarse no se dividiera en segmentos.
2. No hubiera una deformación exagerada de las láminas después del secado.
3. Se percibiera rígido al tacto y presión ejercida.
4. Que sea una mezcla uniforme.

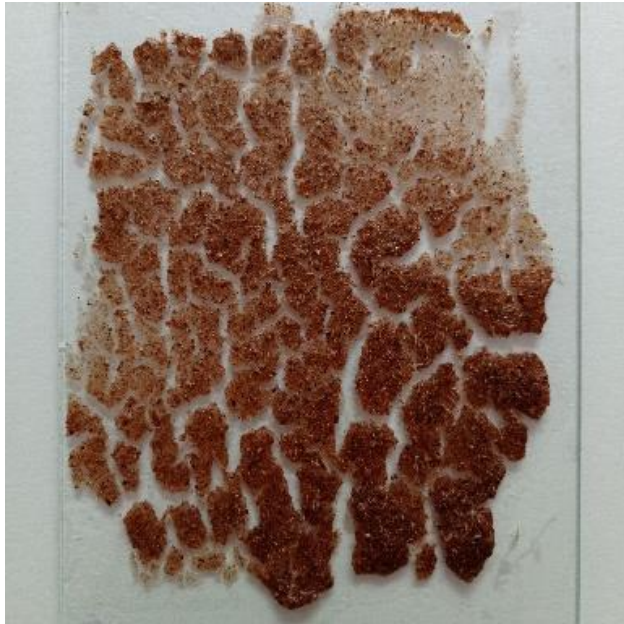
Se utilizaron los almidones de *Zea mays* (maíz), *Solanum tuberosum* (papa) y *Manihot esculenta* (tapioca), este último dando los mejores resultados.

Analizando los compuestos que fueron resultando, el almidón de papa y de maíz no cumplían con los objetivos que se buscaban. Por lo tanto, se terminó experimentando solamente con el almidón de tapioca, el cual nos permitió obtener una lámina rígida con la cual ya podíamos proceder con los siguientes pasos en la investigación:

Tabla 3: Concentrado de materiales experimentados, solo se publican los iniciales y finales.



Fórmula		Descripción
<i>Almidón de Zea mays, L. (Maíz)</i>	30gr	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las formulaciones después que se polimerizara presentan una consistencia espesa semejante a un gel. Se puede manipular el compuesto sin ningún problema sobre una superficie de vidrio.</li> </ul>
Agua	250ml	
Glicerina	30ml	
Ácido Acético	45ml	
Bagazo de cebada	18gr	



<i>Almidón de Zea mays, L. (Maíz)</i>	30gr
Agua	250ml
Glicerina	30ml
Ácido Acético	45ml
Bagazo de cebada	18gr

- Los compuestos secos presentan rupturas, sin embargo, es semiflexible.



<i>Almidón de Manihot esculenta, Crantz (Yuca)</i>	30gr
Agua	250ml
Glicerina	30ml
Ácido acético	45ml
Bagazo de cebada	18gr

- La fórmula que presenta menos ruptura y más elasticidad al estar seco es en la que se utilizó la tapioca.



*Manihot esculenta,*  
*Crantz (Yuca)*

50gr

Agua

100ml

Glicerina

15ml

Ácido Acético

15ml

Bagazo de cebada

13gr

- Se prensó para tener una lámina y se moldeó en una probeta de PVC para observar su comportamiento.
- Obtuvimos una lámina que se ondula al secarse, es rígida y tiene una textura lisa.
- Se busca rigidez dentro de las propiedades ideales del bio compuesto en desarrollo, por lo tanto, nos hemos acercado bastante al compuesto objetivo.

Para la mejora de la producción del material se es necesario que el bagazo de cebada sea una partícula semejante a la partícula del almidón, por las condiciones en las que estamos viviendo se volvió imposible poder triturar y pulverizar adecuadamente el bagazo adquirido al principio de esta investigación, por lo tanto, se buscó una alternativa. Se consiguió harina de cebada perla, la cuál es usada en el proceso cervecero donde extraemos el bagazo utilizado.



<i>Manihot esculenta, Crantz (Yuca)</i>	50gr
Agua	100ml
Glicerina	10ml
Ácido Acético	15ml
Bagazo de cebada	13gr

- La fórmula fue la misma que el compuesto anterior, se presenta un producto rígido semi translucido con menor ondulación al secado.

## 5.2 Resultado de la experimentación con malla textil



Figura 43: Primer prototipo con uso textil.

La placa con textil fue el primer experimento en el que utilizamos la prensa no.1 por lo que se generaron dos resultados, el funcionamiento apropiado de la prensa en acuerdo a nuestro objetivo específico de esta etapa (obtener una placa a medidas exactas) y el experimento del uso de la malla como tal.

Se analizó el resultado y se percibe esto:

1. La distribución de la mezcla no es buena por lo que la falta de ella hace que se vea la malla utilizada.
2. Existe una reducción de medidas al estar completamente seco.
3. El secado resulta en tiempo mayor al secado de las muestras anteriores, dando como resultado aproximado de una semana mientras que las que se secan al aire libre sin peso se secan en tres días. Esto también es un factor que está en función del grosor de la lámina.
4. El prototipo se deforma al momento de secarse.

### **5.2.1 Resultados de la placa sin textil**

El problema al que nos enfrentamos con esta técnica de secado en placas de metal fue que no permitía generar esa lamina delgada en forma homogénea por toda la placa de bio compuesto por lo que al secar por completo se desgarraba por un lado o en algunos casos se fracturaban en ambos lados.





Figura 44: Placas de 15 x 15 x 1.2 cm seco

## 5.2.2 Resultados prensa no 2

Como hemos experimentado a lo largo de este proyecto, en este proceso en particular se decidió dejar secar en una rejilla totalmente abierta las placas, al hacer esto nos pudimos percatar que se seca la capa exterior por ambos lados, a lo que se experimentó dejando una pieza fuera del secador y vimos que esta lamina evita la deformación del compuesto al secarse, esto nos permite dejar de utilizar la prensa de secado.



Figura 45: Placa de ATP y bagazo totalmente seco

## 5.3 Proyección de costos

La viabilidad de los proyectos ya sean grandes o pequeños recae principalmente en la innovación, pero existe una parte sumamente importante que sin ella no se podrían desarrollar, los costos nos ofrecen la viabilidad de producción de este tipo de materiales.

Existen ya en el mercado una gran variedad de productos a precios que satisfacen las necesidades básicas de los consumidores a los cuales ya se está acostumbrado. Por ello nos es importante tener una comparativa de costos aproximados de este material contra materiales tradicionales, en este ejercicio lo compararemos contra el MDF, ampliamente utilizado en el mercado mexicano actual.

En la siguiente tabla podemos visualizar los costos de materia prima que se consumió para este proyecto en específico. Tomaremos en cuenta que se compró el material vía internet, en el estado de México. El bagazo como se ha mencionado fue gratuito.

Tabla 4: Costos de materia prima

<b>Componente</b>	<b>Gramaje</b>	<b>Costo</b>
Fécula de tapioca	500gr	\$65.00
Agua	10.1l	\$30.00
Ácido acético	1l	\$16.50
Bagazo de cebada	-	-
Glicerina	500ml	\$48.00

Tabla 5: Costos de materia prima por placa

Costo de materia prima para una placa de 30 x 14 x 1.2 cm de compuesto:

<b>Componente</b>	<b>Gramaje</b>	<b>Costo</b>
Fécula de tapioca	300gr	\$39.00
Agua	600ml	\$1.70
Ácido acético	90ml	\$1.48
Bagazo de cebada	78gr	-
Glicerina	90ml	\$8.64
<b>Total</b>		<b>\$50.82</b>

Tabla comparativa de costos aproximados de un tablero estándar de 244 x 122 x 1.2 cm entre el compuesto y el MDF:

Tabla 6: Costos de materia prima por placa (Home depot, 2022)

<b>Compuesto ATP y Bagazo de cebada</b>	<b>MDF</b>
\$1,311.15	\$595

Los costos para la elaboración de una placa estándar de nuestro material se duplican a comparación de una placa estándar de MDF, esto nos dice que el producto que se obtuvo en este proyecto no es costeable.

## **5.4 Resultados de la caracterización: Pruebas**

### **mecánicas**

Los resultados de las pruebas mecánicas los abordaremos de la siguiente manera, en cada prueba se necesitó utilizar una serie de fórmulas para obtener un parámetro general del peso o desgaste que soporta el material en ciertas condiciones, por lo que:

#### **5.4.1 Flexión Estática**

Se manejaron 3 probetas para esta prueba para poder tener una medida de la carga máxima en cada ensayo.

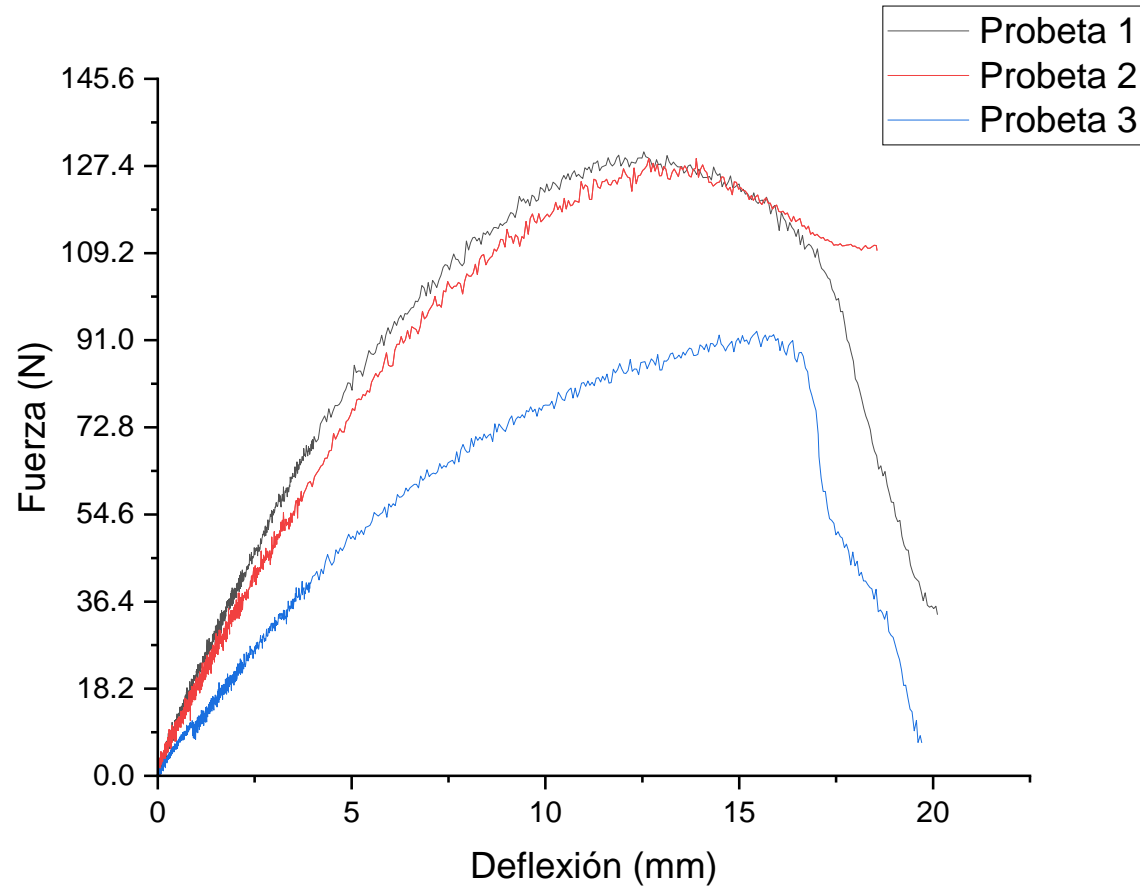


Figura 46:Curvas de fuerza vs. Deflexión para un material bio compuesto basado en almidón y bagazo de cebada sometido a flexión en tres puntos.



Como la norma lo indica se debe reportar el módulo aparente de ruptura, dónde:

$R_b$ : Módulo aparente de ruptura

$P_{max}$ : Carga máxima

$b$ : ancho de las probetas

$d$ : grosor de las probetas

$L$ : longitud entre rodillos

$$R_b = \frac{3P_{max}L}{2bd^2}$$

$$R_b = \frac{3(127N)(200mm)}{2(75mm)(15mm)^2}$$

$$R_b = \frac{76,200N * mm}{33,750mm}$$

$$R_b = 2.257 \text{ MPa}$$

Tabla 7: Valores obtenidos de la prueba de flexión estática

<i>Valores obtenidos</i>	<i>Carga Máxima a la flexión por Carga máxima (N)</i>	<i>Deflexión máxima (mm)</i>	<i>Módulo aparente de ruptura (MPa)</i>
<b>1</b>	<b>140</b>	<b>12.9</b>	<b>2.413</b>
<b>2</b>	<b>139</b>	<b>13.2</b>	<b>2.387</b>
<b>3</b>	<b>100</b>	<b>15.45</b>	<b>1.719</b>
<b>Media</b>	<b>127</b>	<b>13.85</b>	<b>2.173</b>
<b>D.E</b>	<b>23</b>	<b>1.39</b>	<b>1.459</b>

### **5.4.2 Tensión paralela a la superficie**

Para la prueba de tensión paralela a la superficie se utilizaron dos probetas. Durante la ejecución en ambas probetas se aprecia que, al inicio de las curvas, se rompe una primera parte de la probeta y después continua el desplazamiento como se puede apreciar. Por lo que se tomaran los dato por debajo del punto 0.2 MPa de esfuerzo para así poder generar las gráficas de regresión lineal.

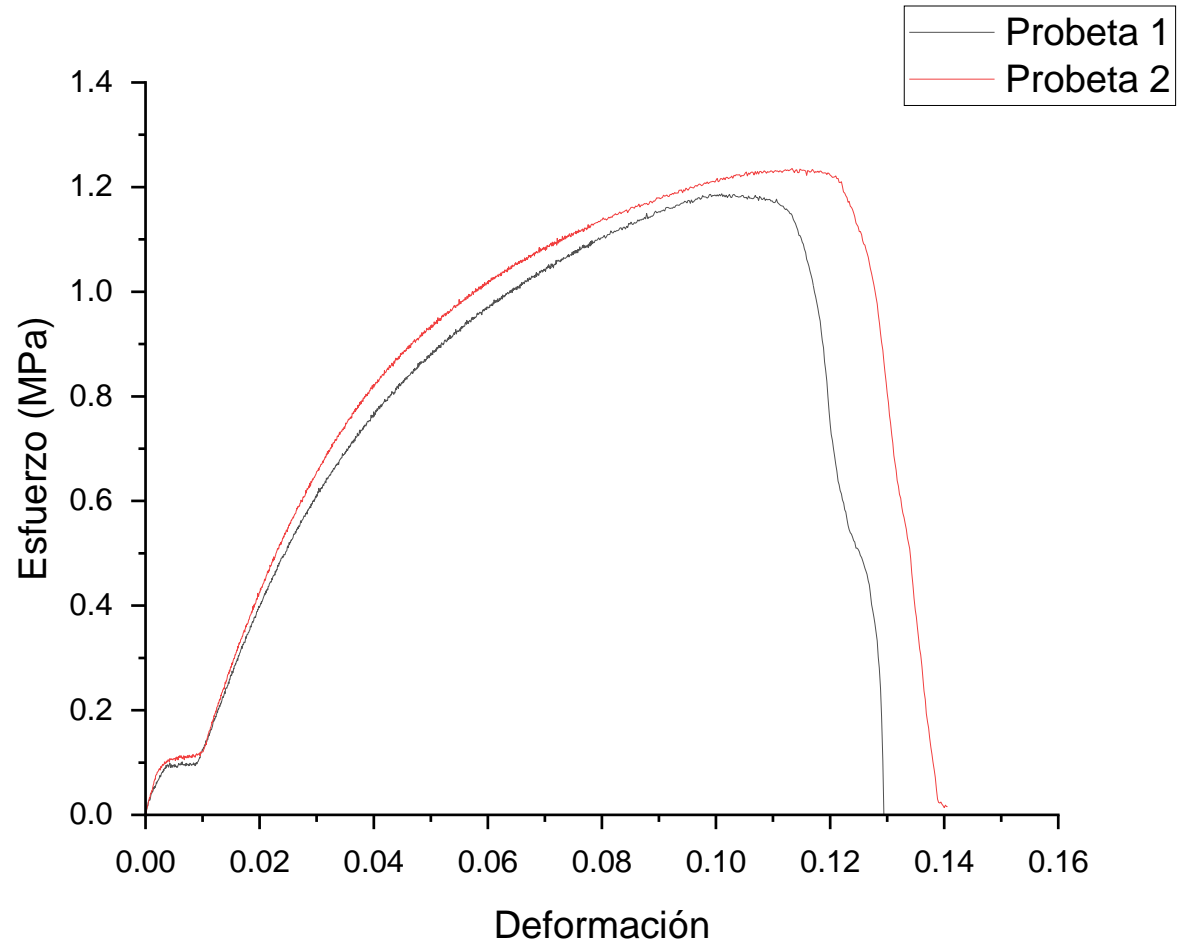


Figura 47: Curva esfuerzo vs. Deformación para un material bio compuesto basado en almidón y bagazo de cebada sometido a tensión uniaxial.

Tabla 8: Valores obtenidos del a prueba de tensión paralela a la superficie

<i>Valores obtenidos</i>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Elongación a la carga máxima</b>
<i>1</i>	1.186	627.14	0.1187
<i>2</i>	1.235	652.74	0.1235
<i>Media</i>	1.211	639.94	0.1211
<i>D.E</i>	0.034	0.018	0.0034

Determinamos valores de la primer parte de la curva esfuerzo vs. defromación de la tensión paralela a la superficie para asi poder aplicar la regresión lineal en cada curva, obtener la media y tener el valor del módulo elástico.

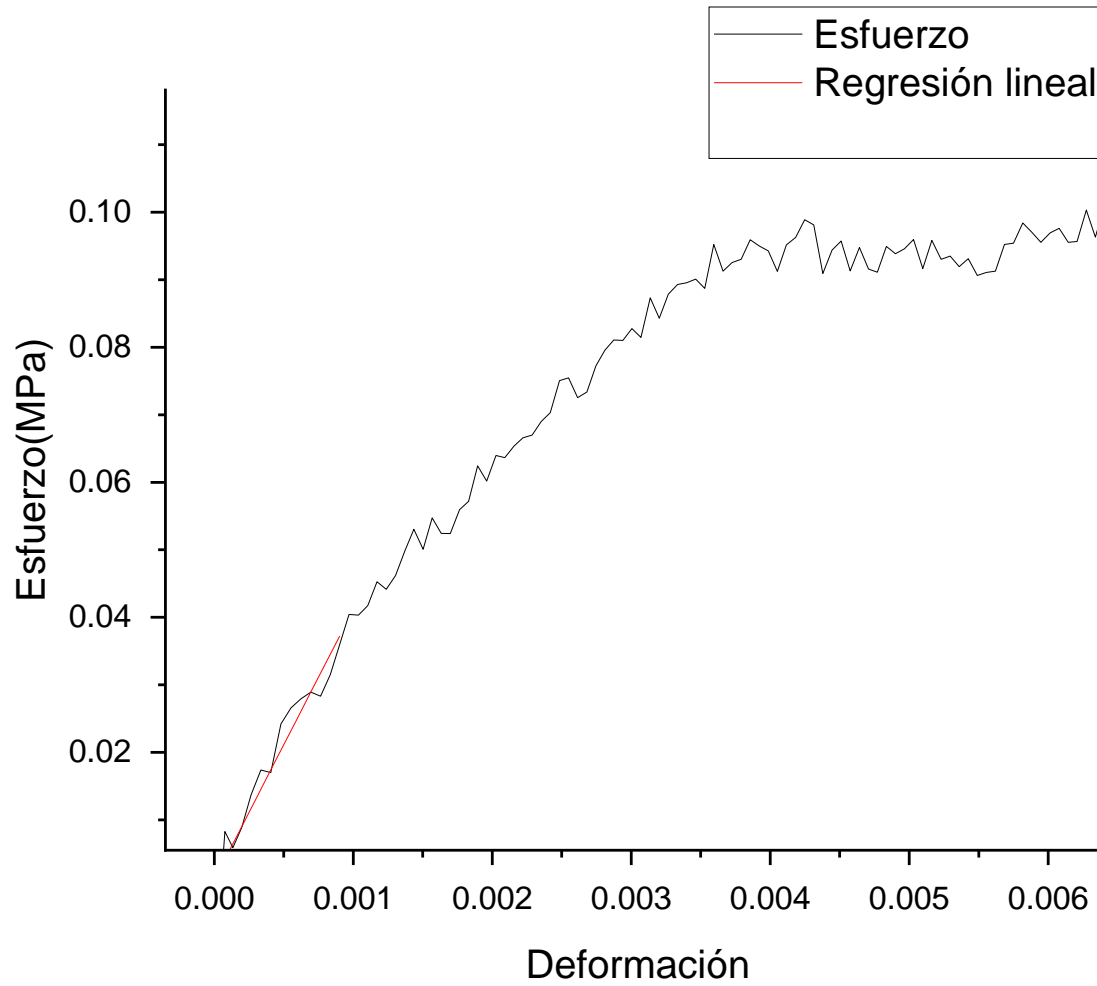


Figura 48: Curva esfuerzo vs. deformación paralela a la superficie ajuste de mínimos cuadrados de la primera probeta.

Tabla 9: Valores del ajuste de mínimos cuadrados de la primera probeta de la curva esfuerzo vs. deformación paralela a la superficie

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Esfuerzo
Weight	No Weighting
Intercept	$0.0011 \pm 0.00149$
Slope	$40.02669 \pm 2.91089$
Residual Sum of Squares	$1.39999E-4$
Pearson's r	0.9673
R-Square (COD)	0.93567
Adj. R-Square	0.93072

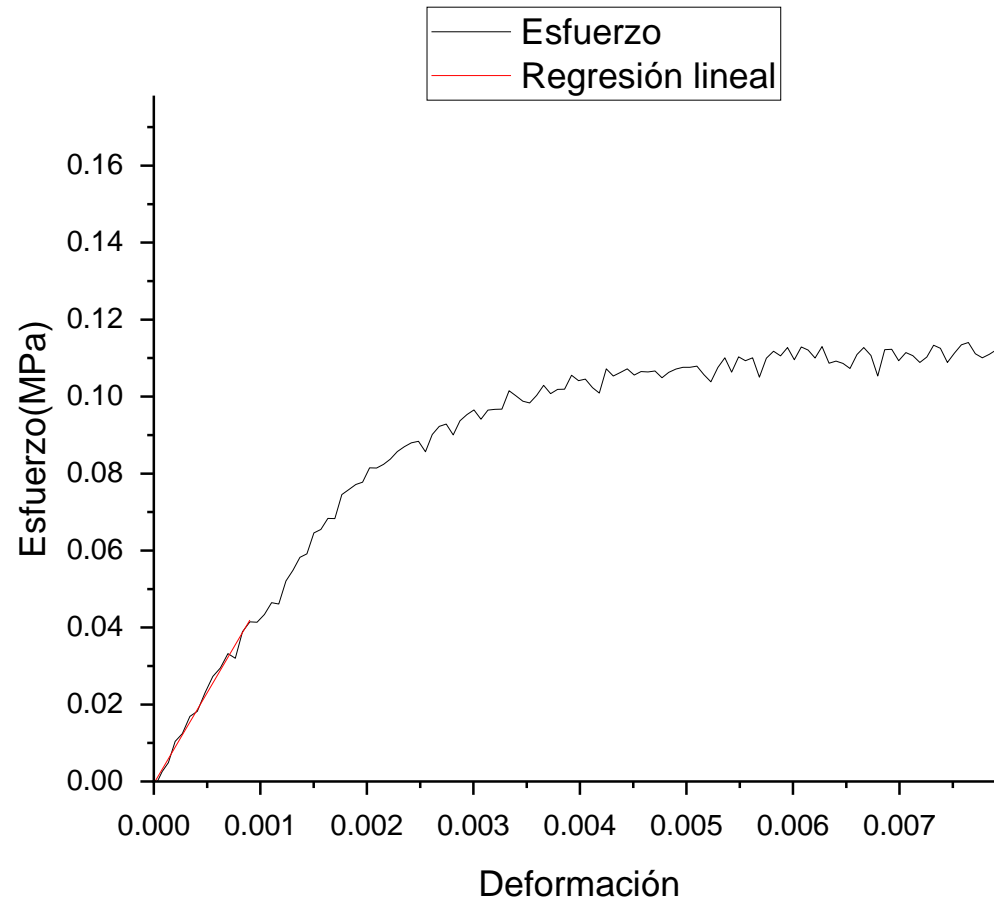


Figura 49: Curva esfuerzo vs. deformación paralela a la superficie ajuste de mínimos cuadrados de la segunda probeta.



Tabla 10: Valores del ajuste de mínimos cuadrados de la primera probeta de la curva esfuerzo vs. deformación paralela a la superficie.

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Esfuerzo
Weight	No Weighting
Intercept	-5.47013E-4 ± 6.37821E-4
Slope	47.16362 ± 1.24781
Residual Sum of Squares	2.55676E-5
Pearson's r	0.99548
R-Square (COD)	0.99098
Adj. R-Square	0.99029

El módulo de elasticidad describe la capacidad de un material para deformarse elásticamente bajo una fuerza aplicada y recuperar su forma original al eliminarla.

Tabla 11: Módulo de elasticidad de la tensión paralela a la superficie

<i>Valores obtenidos</i>	<i>Módulo elástico(MPa)</i>
<i>1</i>	40.02
<i>2</i>	47.16
<i>Media</i>	43.59
<i>D.E</i>	5.048742418

El modulo elastico de un material biocompuesto basado en almidón y bagazo de cebada en tensión paralela a la superficie es de **43.59MPa**

### **5.4.3 Resistencia del panel a la extracción del clavo paralela a la superficie.**

La resistencia lateral de clavo nos permite saber que tan viable es la colocación de clavos en el material es el supuesto de que colguemos una lámina de este, esto nos dice si es resistente y a qué peso resiste.

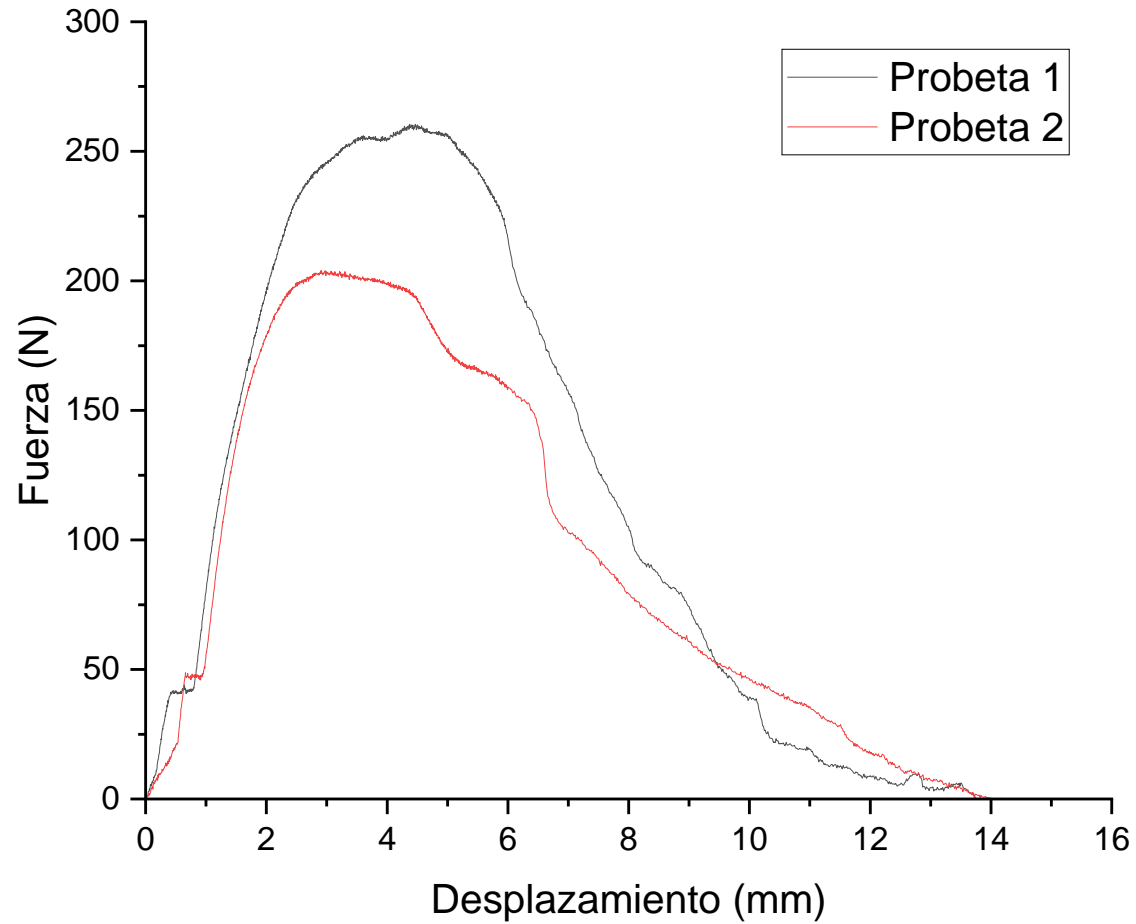


Figura 50: Curvas de carga máxima de la resistencia del panel a la extracción del clavo paralela a la superficie.

Tabla 12: Valores obtenidos del a resistencia al clavo lateral

<i>Valores obtenidos</i>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Desplazamiento en la Máxima carga (mm)</b>
<i>1</i>	260	4.375
<i>2</i>	204	2.905
<i>Media</i>	232	3.64
<i>D.E</i>	40	1.039

La carga máxima que puede resistir la lámina de bio compuesto de almidón con bagazo de cebada en la extracción del clavo paralela a la superficie es de **232N**

#### **5.4.4 Extracción de clavo normal a la superficie del panel**

Se hicieron tres pruebas en el mismo espécimen, así, obtuvimos tres resultados de la carga máxima, y como indica la tabla 7 nuestra medida de carga máxima es de 34.64N, con este dato sacaremos el esfuerzo máximo.

Esta prueba nos permite saber la viabilidad y ventaja de la utilización de clavos a comparación de tornillos, en el uso en mobiliario.

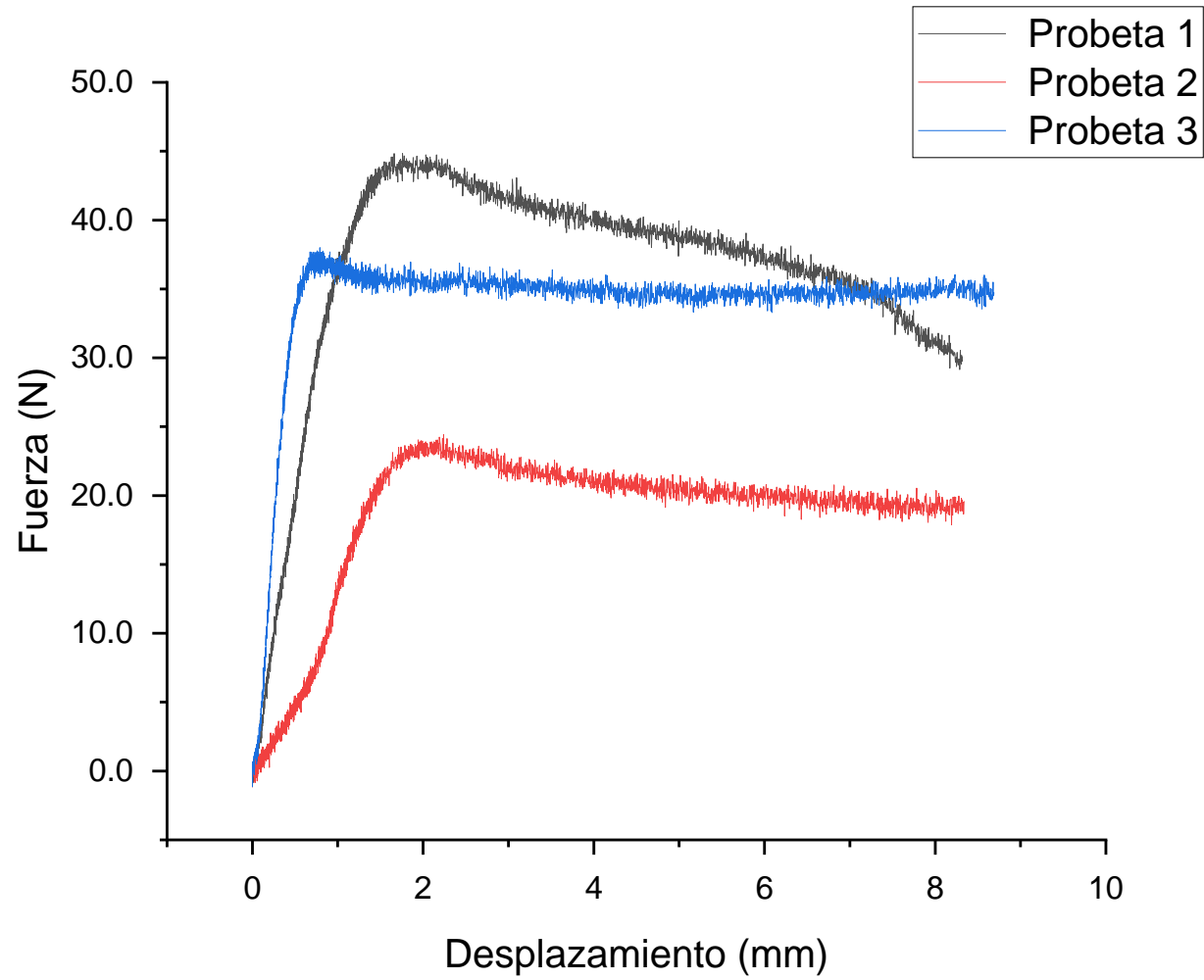


Figura 51: Curvas de fuerza vs. desplazamiento en extracción de clavo normal a la superficie del panel.

Tabla 13: Valores obtenidos de la prueba de extracción de clavo

<i>Valores obtenidos</i>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Desplazamiento en la Máxima carga (mm)</b>
1	44.84	1.669
2	24.41	2.239
3	38.00	0.791
<i>Media</i>	34.64	1.566
<i>D.E</i>	10.399	0.729

La carga máxima que puede resistir la lámina de bio compuesto de almidón con bagazo de cebada en la extracción del clavo normal a la superficie del panel es de **34.64N**



### **5.4.5 Atravesamiento de cabeza de clavo en panel**

Al igual que el retiro de clavo, el atravesamiento de este nos permite saber que tanto puede aguantar nuestro material al momento de clavar un clavo y que en un momento se tuviese que atravesar la lámina, en las prácticas de producción de mobiliario nos podría surgir este problema. El resultado obtenido fue de 273N como carga máxima.

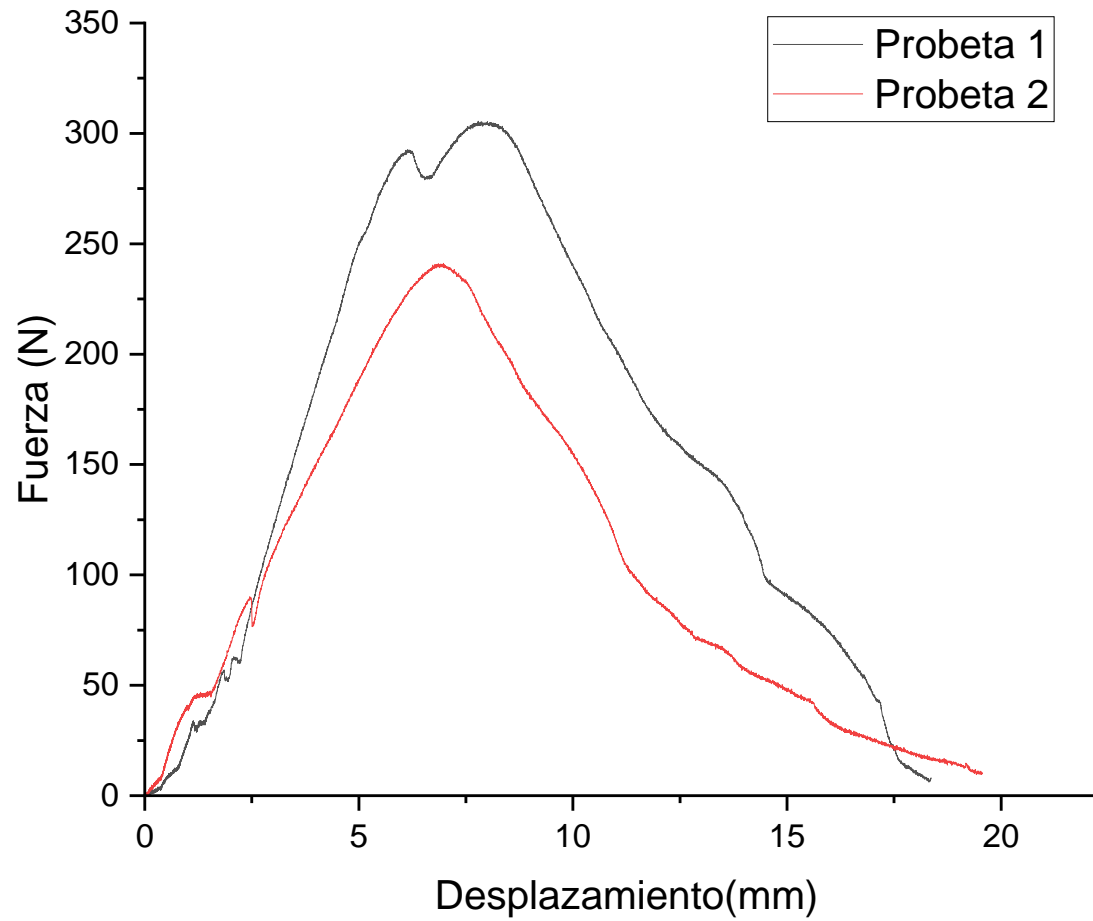


Figura 52: Curvas de fuerza vs. desplazamiento del material en atravesamiento de cabeza de clavo en panel

Tabla 14: Valores obtenidos de la prueba de atravesamiento de clavo

<i>Valores obtenidos</i>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Desplazamiento en la Máxima carga (mm)</b>
1	306	7.790
2	241	6.975
<i>Media</i>	273	7.383
<i>D.E</i>	45	0.576

La carga máxima que puede resistir la lámina de bio compuesto de almidón con bagazo de cebada atravesamiento de cabeza de clavo en panel es de **273N**

### **5.4.6 Retiro directo de tornillo en panel**

Esta prueba permite conocer la resistencia del panel de nuestro material a la extracción de un tornillo, por lo que, según nuestros resultados, es de  $446 \pm 71$  N.

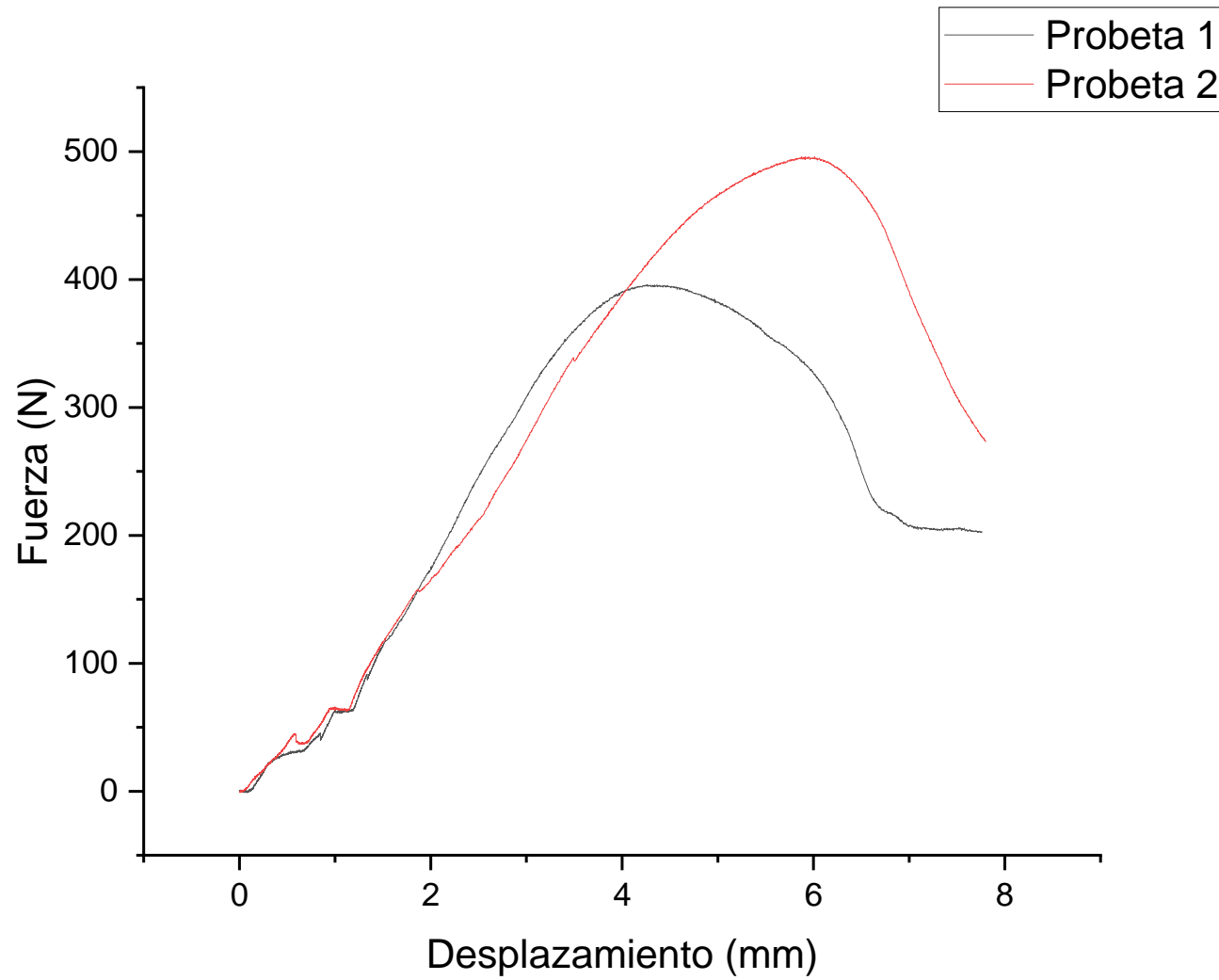


Figura 53: Curvas de fuerza vs. desplazamiento en retiro directo de tornillo en panel.

Tabla 15: Resultados obtenidos del a prueba de retiro directo de tornillo

<i>Valores obtenido s</i>	<i>Carga Máxim a (N)</i>	<i>Desplazamient o en la Máxima carga (mm)</i>
1	396	4.264
2	496	6.012
<i>Media</i>	446	5.138
<i>D.E</i>	71.0	1.236

Cómo vimos anteriormente en la prueba de extracción de clavo, que su resultado fue de **273N** lo comparamos con la extracción de tornillo el cual tuvo como esfuerzo máximo **446N**. nos da una variación notable de peso. Por lo que podemos argumentar que el uso del tornillo sobre el uso de clavo es mejor para este material.

### **5.4.7 Módulo de dureza**

La dureza se percibe como la resistencia que opone un material a ser deformado plásticamente por penetración o rayado, teniendo en cuenta esto, esta prueba demostro que el material tiende a ser blando ya que se puede deformar.

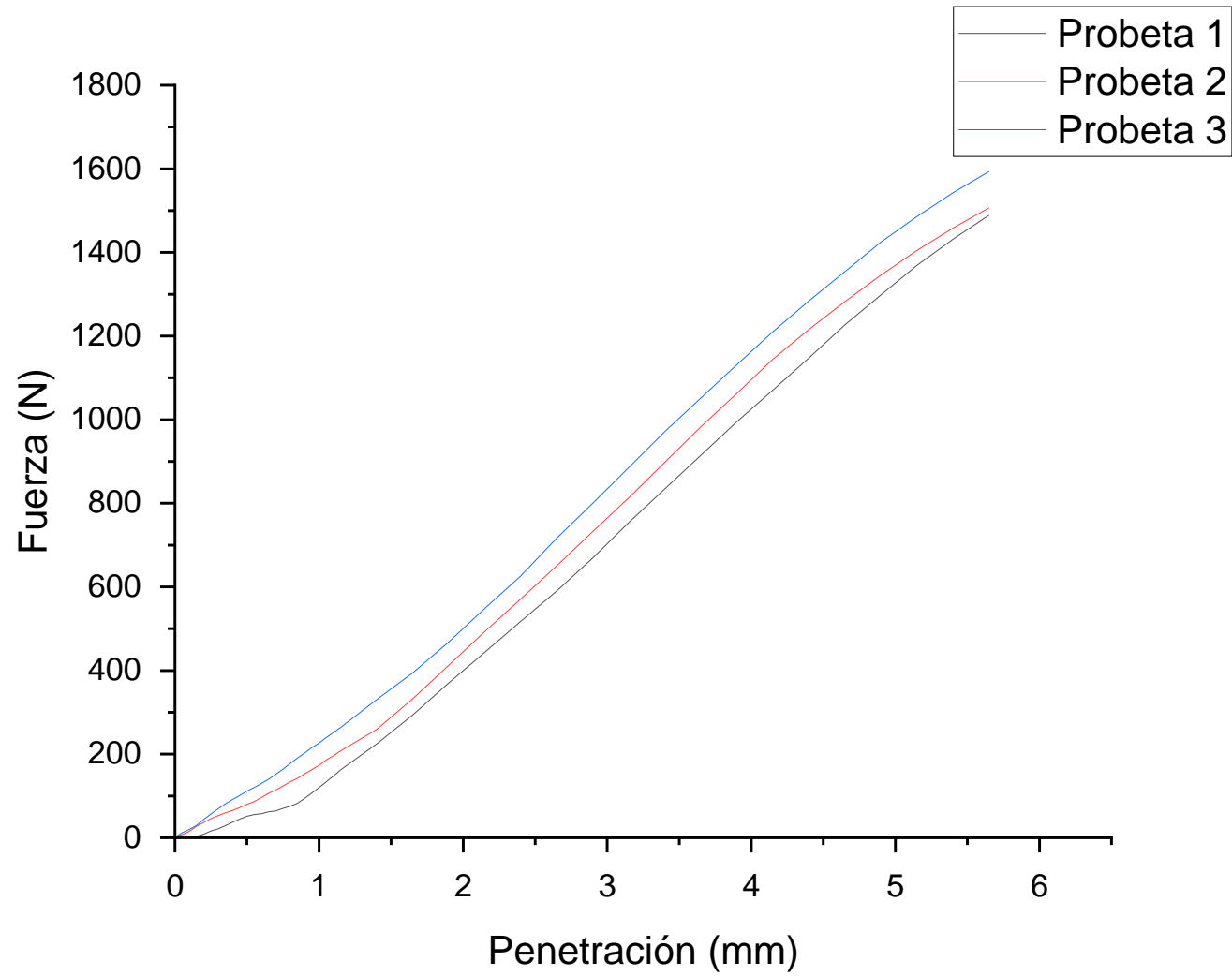


Figura 54: Curvas de fuerza vs penetración del material en dureza del panel.



Los resultados obtenidos nos indican que la superficie de nuestro material se deforma con una carga máxima de **1.53 N**.

Tabla 16: Valores obtenidos de la prueba de dureza

<i>Valores Obtenidos</i>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Desplazamiento en la Máxima Carga (mm)</b>
1	1.48	4.84
2	1.50	4.90
3	1.59	5.12
<i>Media</i>	1.53	4.96
<i>D.E</i>	0.056	0.150

Para obtener el modulo de dureza, sacaremos la regresión lineal en cada probeta y obtendremos el valor promedio y desviación estándar.

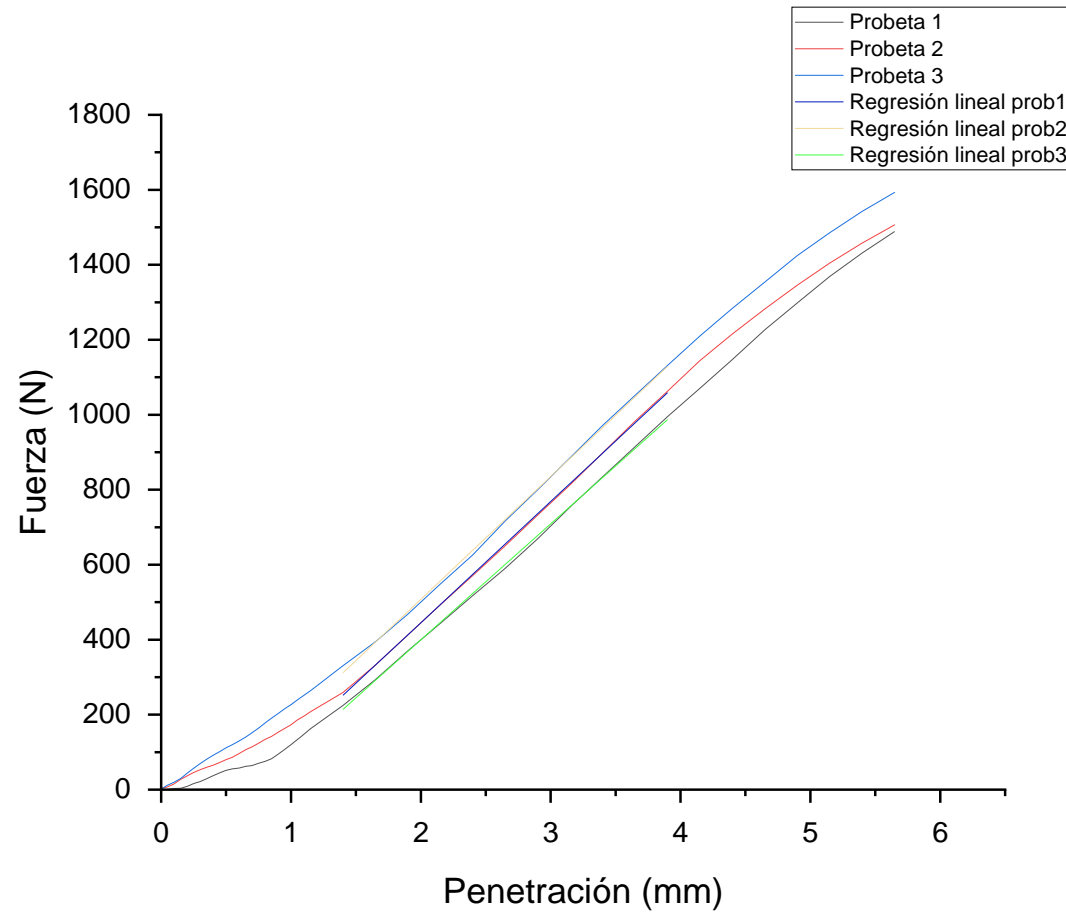


Figura 55: Pendiente de la porción recta de la curva fuerza vs penetración de dureza

Tabla 17: Valores del ajuste de mínimos cuadrados de la primera probeta de la pendiente de la porción recta de la curva fuerza vs penetración de dureza.

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Fuerza
Weight	No Weighting
Intercept	-200.60288 $\pm 4.39753$
Slope	322.97225 $\pm 1.59019$
Residual Sum of Squares	156.46228
Pearson's r	0.99989
R-Square (COD)	0.99978
Adj. R-Square	0.99976

Tabla 18: Valores del ajuste de mínimos cuadrados de la segunda probeta de la pendiente de la porción recta de la curva fuerza vs penetración de dureza.

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Fuerza
Weight	No Weighting
Intercept	-146.51841 $\pm 9.43043$
Slope	327.14443 $\pm 3.41018$
Residual Sum of Squares	719.56458
Pearson's r	0.99951
R-Square (COD)	0.99902
Adj. R-Square	0.99891

Tabla 19: Valores del ajuste de mínimos cuadrados de la tercera probeta de la pendiente de la porción recta de la curva fuerza vs penetración de dureza.

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Fuerza
Weight	No Weighting
Intercept	-218.70174 $\pm 7.39634$
Slope	309.18053 $\pm 2.67455$
Residual Sum of Squares	442.60399
Pearson's r	0.99966
R-Square (COD)	0.99933
Adj. R-Square	0.99925

Para medir la dureza de un material utilizando la prueba de dureza una vez que se traza una curva de carga-penetración y se calcula la pendiente de la porción recta de la curva para obtener el módulo de dureza en newtons por milímetro. Luego, para obtener el valor equivalente de dureza en newtons, este módulo se divide por 5.4. Cuanto mayor sea el valor mayor será la resistencia del material a la penetración y, por lo tanto, mayor será su dureza.

Tabla 20: Valores obtenidos para el módulo de dureza

<i>Valores Obtenidos</i>	<i>Módulo de dureza</i>
1	59.796
2	60.574
3	57.240
<i>Media</i>	59.203
<i>D.E</i>	1.7438

Por lo tanto el módulo de dureza de lamina de un biocompuesto de almidón y bagazo de cebada es de **59.2N**

### 5.4.8 Cortante en el plano del panel

Como podemos apreciar en la tabla 21, el esfuerzo cortante máximo es de **3.67 MPa**, en este punto nuestro material presenta la deformación, para este proceso se utilizó pegamento epóxico, el cual adhirió de manera formidable las placas de material. A pesar de ello, deberemos buscar un adhesivo que nos permita que un ensamblaje biodegradable.

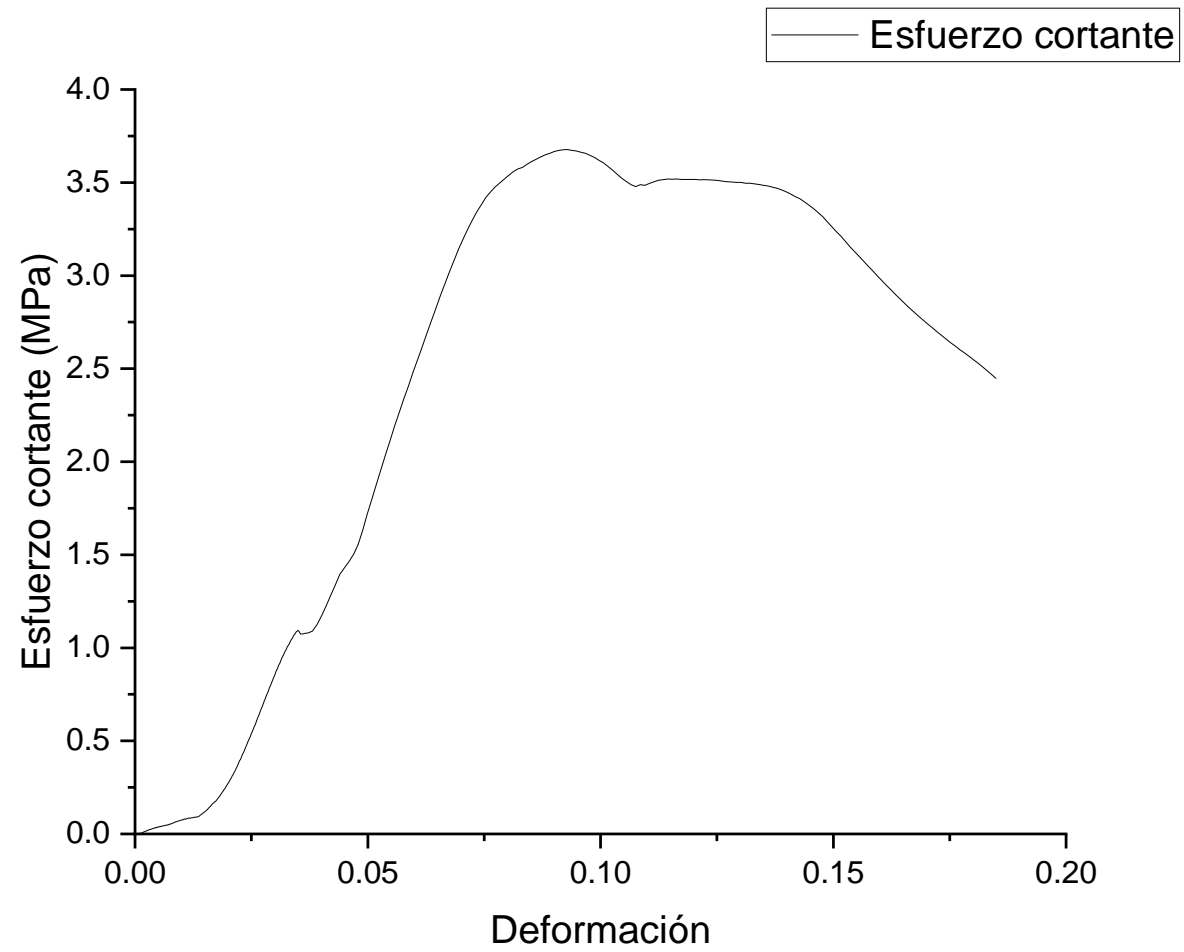


Figura 56: Curvas de esfuerzo cortante vs deformación en cortante en el plano del panel.



Según la norma deberemos obtener el valor del esfuerzo cortante a partir de la siguiente fórmula, dónde:

$b$  = ancho de la probeta medida en condiciones secas, (mm).

$d$  = grosor de la probeta en condiciones secas, (mm).

$P_{max}$  = carga máxima, (N)

$T$  = esfuerzo cortante (MPa)

$$\tau = \frac{P_{max}}{bd}$$

$$\tau = \frac{12004N}{64 * 51mm^2}$$

$$\tau = \frac{12004N}{3264mm^2}$$

$$\tau = 3.6 MPa$$

Tabla 21: Valores obtenidos de la prueba de Cortante en el plano del panel

<i>Valores obtenidos</i>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Deformación a la carga máxima</b>	<b>Esfuerzo Cortante Máximo (MPa)</b>
1	12004	0.092	3.678

### **5.4.9 Compresión paralela a la superficie**

Como sabemos con la compresión podemos tener un estimado del peso que puede soportar lateralmente el compuesto, dándonos los siguientes valores:

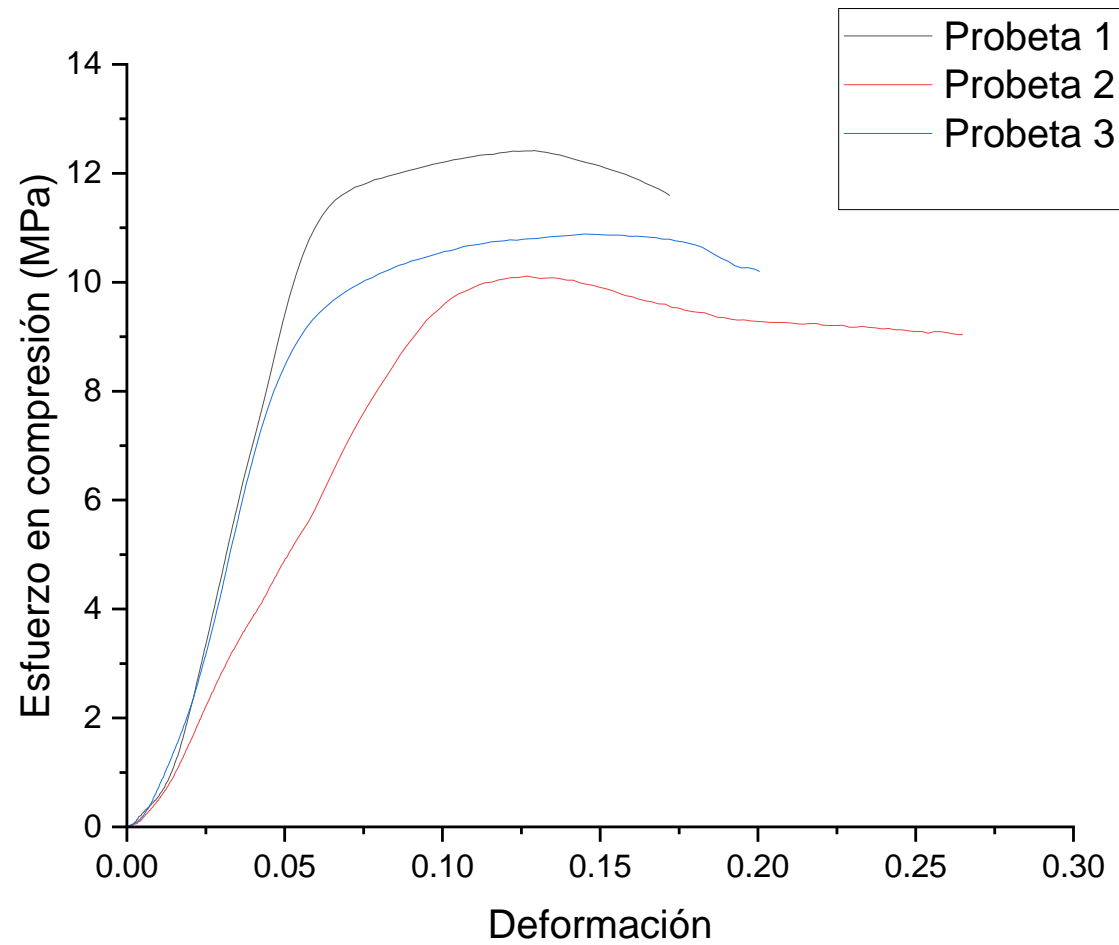


Figura 57: Curvas de esfuerzo vs. deformación a compresión paralela a la superficie del panel.

Obtendremos como resultado el esfuerzo de compresión a través de esta formula, dónde:

$R_c$  = esfuerzo de compresión, MPa.

$P_{max}$  = carga máxima, N.

$b$  = ancho del espécimen medido en condiciones secas, mm.

$d$  = grosor del espécimen medido en condiciones secas, mm.

Por lo que:

$$R_c = \frac{P_{max}}{bd}$$

$$R_c = \frac{2286(N)}{10mm * 20mm}$$

$$R_c = \frac{2286(N)}{200mm^2}$$

Lo que nos lleva al resultado del esfuerzo de compresión:

$$R_c = 11 \text{ MPa}$$

Tabla 22: Valores obtenidos del a prueba de Compresión paralela a la superficie

<i>Valores obtenidos</i>	<b>Esfuerzo Máximo en compresión (MPa)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Deformación en la carga máxima</b>
1	12.418	2548	0.116
2	10.887	2234	0.132
3	10.114	2075	0.119
<i>Media</i>	11.140	2286	0.122
<i>D.E</i>	1.172	241	0.0810

Percibimos en primera instancia que los resultados fueron satisfactorios, que si bien siendo un experimento a nivel laboratorio cualquier resultado nos será bueno para poder seguir mejorando. En la siguiente tabla concentramos las unidades generales de carga maxima que se le puede aplicar al material antes del fallo de las pruebas realizadas

Tabla 23: Valores obtenidos de los ensayos mecánicos del bio compuesto ATP y BC

Prueba	Módulo	Unidad	Valores promedio obtenidos
<b>Flexión estática</b>	Módulo aparente de ruptura	MPa	2.173
<b>Tensión paralela a la superficie</b>	Módulo Elástico	MPa	43.59
<b>Resistencia del clavo lateral</b>	Fuerza	N	232
<b>Extracción de clavo</b>	Fuerza	N	34.64
<b>Atravesamiento de cabeza de clavo</b>	Fuerza	N	273
<b>Retiro directo del tornillo</b>	Fuerza	N	446
<b>Dureza</b>	Módulo de dureza	N	59.2
<b>Compresión cortante</b>	Esfuerzo cortante	MPa	3.6
<b>Compresión paralela a la superficie</b>	Esfuerzo de compresión	MPa	11



Para poder tener una base donde podamos analizar los resultados obtenidos de la caracterización, se comparará con el MDF el cuál, como hemos visto, es de los materiales más utilizados en el ámbito del mobiliario interior y el cual queremos comparar. Así en la siguiente tabla podremos dimensionar qué tan viable es este bio compuesto emergente en cuestión de características mecánicas.

Tabla 24: Comparativa de propiedades mecánicas del MDF estándar y el compuesto de ATP y BC. (MASISA, 2022)

\*Tablero MDF de uso general de 12 mm de espesor

\*Bio compuesto basado en almidón y bagazo de cebada de aprox. 12 mm de espesor.

Material		MDF*	Compuesto ATP/ BC*
Propiedad	Unidad		
Modulo aparente de ruptura	MPa	30 ± 5	2.173
Módulo elástico	MPa	2500 ± 500	43.59

\*Tablero MDF de uso general de 15 mm de espesor

\*Compuesto de almidón termoplástico y bagazo de cebada de aprox. 12 mm de espesor.

Tabla 25: Comparativa de propiedades mecánicas del MDF estándar y el compuesto de ATP y BC. (MASISA, 2022)

Material		MDF*	Bio compuesto ATP/ BC*
Propiedad	Unidad		
Retiro directo del tornillo	N	1250 ± 150	446

Incorporaremos una tabla comparativa entre el almidón termoplástico, el compuesto de almidón termoplástico y bagazo de cebada y el MDF estándar.

Tabla 26: Comparativa de propiedades mecánicas del Almidón termoplástico MDF estándar y el compuesto de almidón termoplástico y bagazo de cebada. (Mingfu Huang, 2005)(MASISA, 2022)

Material		ATP	ATP/BC	MDF
<b>Propiedad</b>	Unidad			
<b>Módulo de elasticidad</b>	MPa	38.1	43.59	2500 ± 500

## **5.5 Resultados de Biodegradabilidad:**

Transcurridos los 7 días existe una diferencia notoria tanto visualmente como en las dimensiones y peso, los cuales tenemos en la siguiente tabla (tabla 27), debido a su estado de descomposición, fue imposible tener medidas adecuadas para poder lograr una comparación debida, a pesar de ello podemos notas una diferencia en los tamaños visualmente.

Tabla 27: Relación de dimensión y pesos de los cilindros después de realizar las pruebas

<b>Cilindro</b>	<b>Peso (gr)</b>
<b>EB composta húmedo</b>	12
<b>EB composta + 50 ml agua</b>	15
<b>EB composta + 100 ml de vinagre</b>	17
<b>ES 200ml de agua</b>	17
<b>ES 200ml + 50gr de sal</b>	36
<b>ES 100 ml de agua + 100 ml de vinagre</b>	19

En la prueba B1, al día 7, podemos notar la aparición de moho (coloración verde-gris), esto nos indica que empieza a deteriorar la materia que haya estado en contacto, además de la humedad que aplicamos a la tierra, la cual nos ayuda a presentar estos organismos que nos ayudan a descomponer.



Figura 58: prueba B1 en descomposición



Figura 59: probeta B1 en descomposición

La probeta B1 al sacarla de la tierra y examinarla, podemos a simple vista ver el proceso de descomposición, donde se aprecia el hongo (parte blanca), a comparación de la figura 57 se percibe la desintegración de la probeta.

Al igual que la prueba B1, en esta (B2) identificamos moho, como explicamos en anteriormente, la humedad que aplicamos, en este caso 150 ml de agua, nos ayuda y permite el crecimiento de los microorganismos que deterioran la materia.



Figura 60: Prueba B2 al día 7



La probeta B2 a comparación de la B1 después de estar sumergida 7 días no presentó una desintegración notoria, sin embargo alcanzamos aver el crecimiento de los microorganismos (marcados con el círculo). Si bien se mantiene todavía en una pieza, a lo largo de los días debería empezar a perder forma.



Figura 61: Prueba B2 al día 7



En la prueba B3, al contrario de las pruebas B1 y B2 en esta no se observa a simple vista la aparición de moho, ya que, recordemos esta tiene 100 ml de agua y 100 ml de vinagre, la acidez del vinagre previene la aparición de los hongos.

Figura 62: Prueba B3, día 7



Figura 63: Prueba B3, día 7.

En este caso, se utilizó vinagre, y como sabemos es una parte importante de nuestro material, por otro lado, este componente previene el crecimiento de moho, así mismo al ser un ingrediente más del material, este mismo ayuda a deshacerlo, por ello podemos observar que se partió la probeta y no se mantuvo en una pieza.

En las pruebas de solubilidad, notaremos lo siguiente:



Figura 64: Prueba S1 de solubilidad, solo agua.

A comparación de la figura 59 que es nuestro punto de partida, notamos que el agua se tornó turbia y presenta burbujas, estos nos indica un estado de descomposición, donde nuestro material empieza un proceso de segmentación al estar sumergido en agua.



Figura 65: Prueba S1 de solubilidad, solo agua. Después de 7 días.

Sin embargo, una vez que lo sacamos del agua, la probeta queda en una sola pieza. Se nota la absorción de agua que presenta también al pesarse. También se realizó la acción de aplastar ligeramente esta pieza para saber si pudiera partirse, no sucedió, la sensación es de una pieza ligeramente resbaladiza pero dura.

En la prueba de solubilidad S2 notamos a primera instancia la diferencia en la que nuestra probeta está flotando, esto se debe a la salinidad del agua. Transcurriendo los 7 días podemos notar hinchazón en nuestra pieza, asimismo notamos una diferencia considerable en el peso inicial con el peso final. Así podemos concluir que este material absorbe aún más agua si está y tiene niveles altos de salinidad. Por otro lado, y como observamos en la figura 69, nuestra probeta sigue en una pieza y al igual que la prueba S1, no se desintegra al momento de aplicar presión.



Figura 66: Prueba de solubilidad, agua con 50gr de sal.



Figura 67: Prueba de solubilidad, agua con 50gr de sal.

Por último, en las pruebas de solubilidad tenemos la probeta S3, donde se utilizó vinagre y agua. Si bien recordamos la última probeta de biodegradabilidad, el vinagre acelera la desintegración del material, sin embargo, impide la descomposición por agentes microbiológicos. Esto pasó nuevamente con la prueba de solubilidad

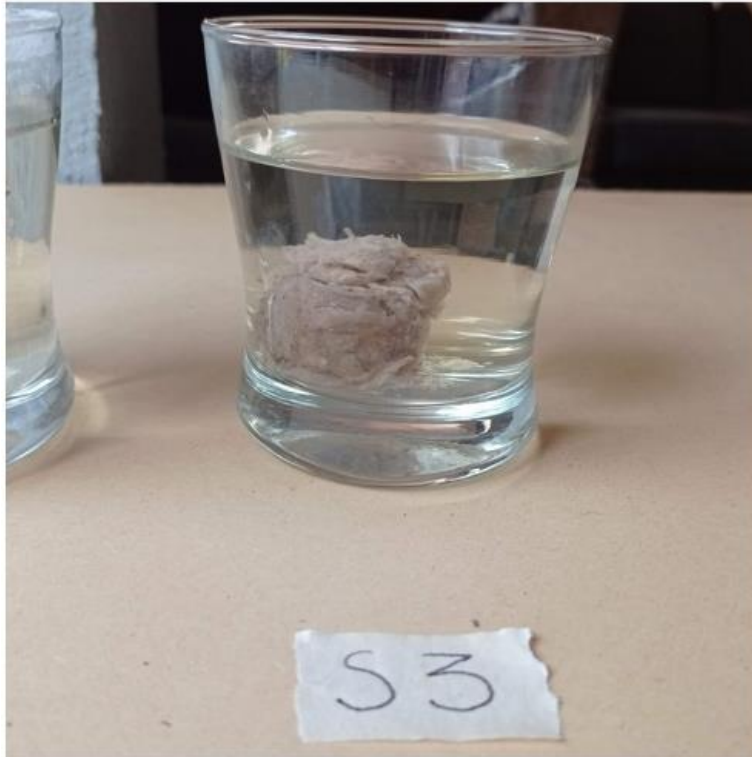


Figura 68: Prueba de solubilidad, 100 ml de agua y 100 ml de vinagre





Figura 69: Prueba de solubilidad, 100 ml de agua y 100 ml de vinagre

Podemos notar en la figura 62 que se desmoronó en cuanto se extrajo de la solución.

## 5.6 Análisis de microscopio

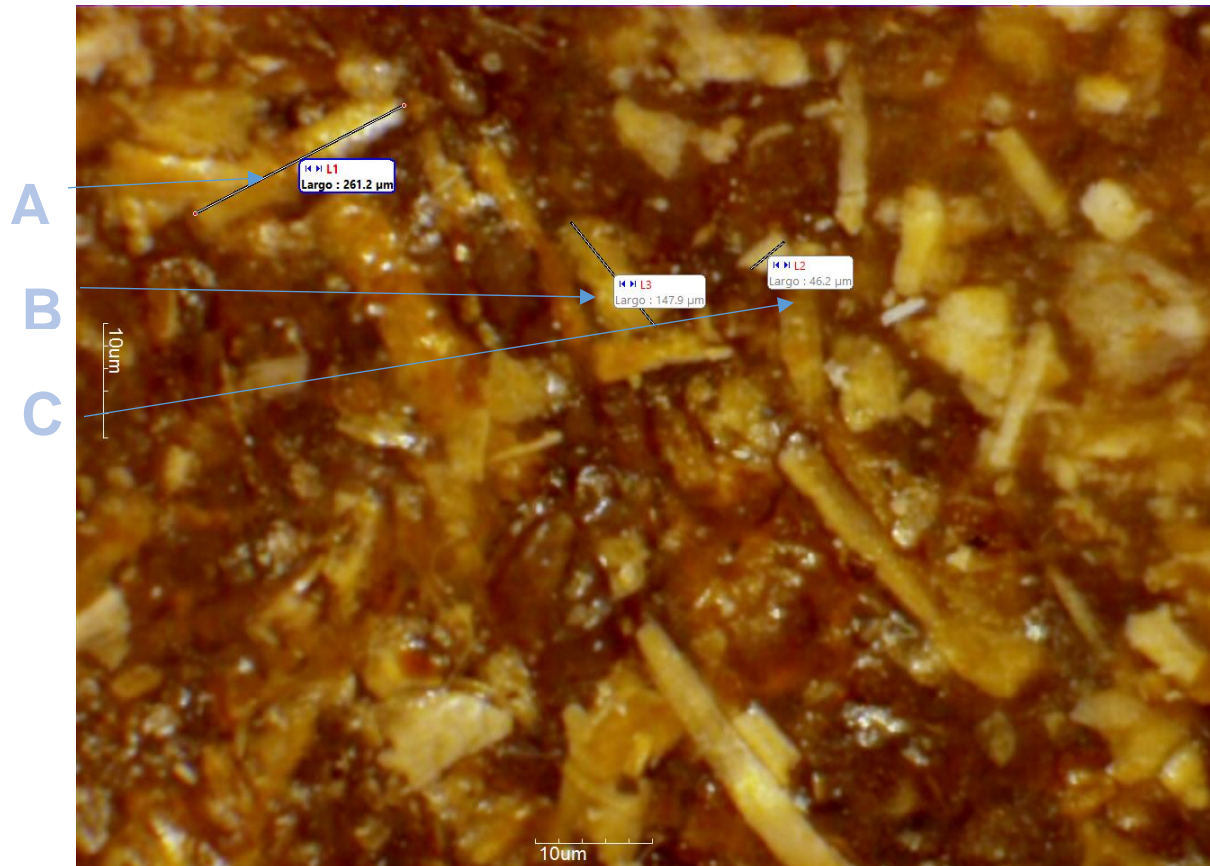


Figura 70: Vista superior del material

Las fibras del bagazo de cebada fueron obtenidas a nivel laboratorio solo a través de un molino de especias convencional teniendo como resultado una variedad de medidas. En esta imagen destacamos tres medidas para tener una idea aproximada.

Medida del largo de partícula:

- A. 261.2  $\mu\text{m}$
- B. 147.9  $\mu\text{m}$
- C. 46.2  $\mu\text{m}$



En esta toma se aprecia una burbuja que se hizo en el desarrollo de esta placa en específico, se nota una ligera transparencia dentro del círculo donde se aprecia la plastificación y encapsulación del bagazo de cebada en la matriz de ATP.

Figura 71: Apreciación de burbuja en el material

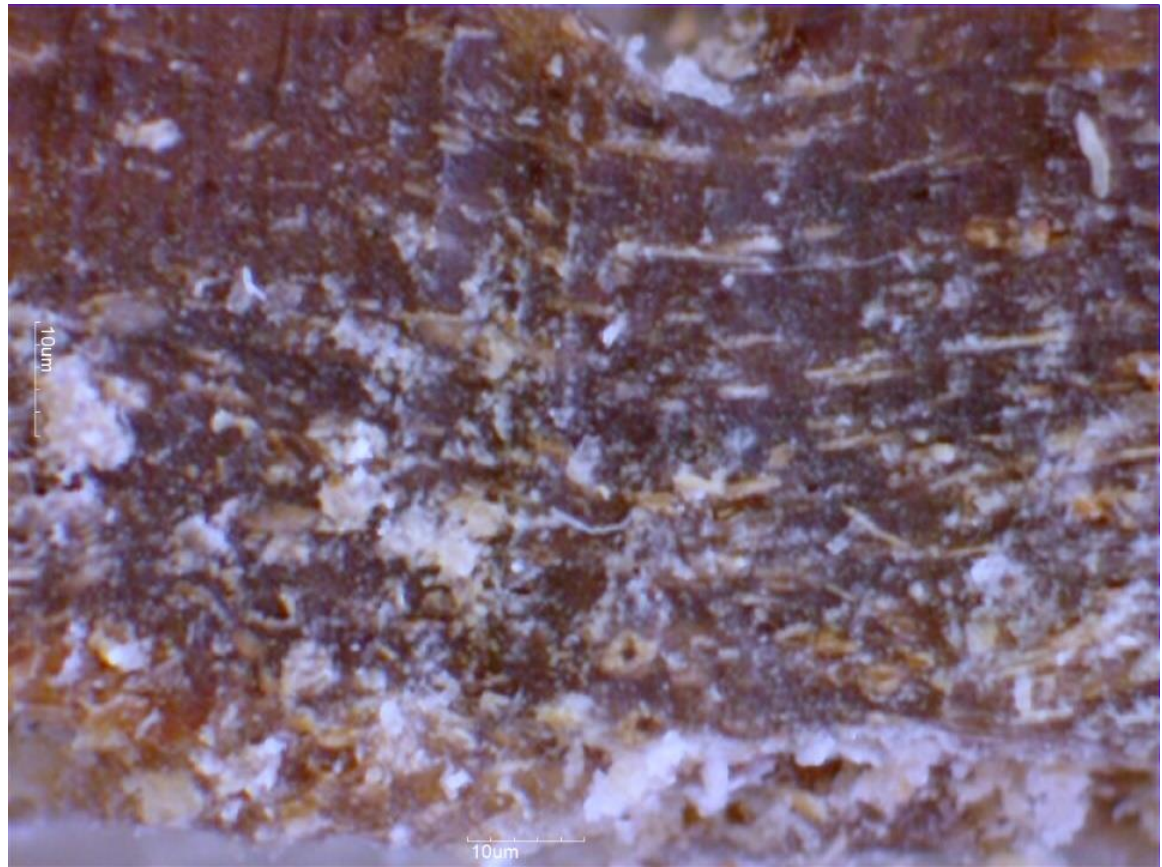


Figura 72: Corte con amoladora

La imagen nos muestra el corte con dirección a la derecha como nos indica la flecha, en esta pieza se hizo un corte con amoladora por lo que queda más limpio a comparación de un corte manual con segueta.

El corte con segueta manual, lo podemos apreciar en esta fotografía, podemos considerar notar que es un corte más irregular que se ha hecho en partes y no de un tajo a comparación

de la amoladora, también intervine el factor donde la sierra de la amoladora tiende a calentarse y en consecuencia calienta al material.

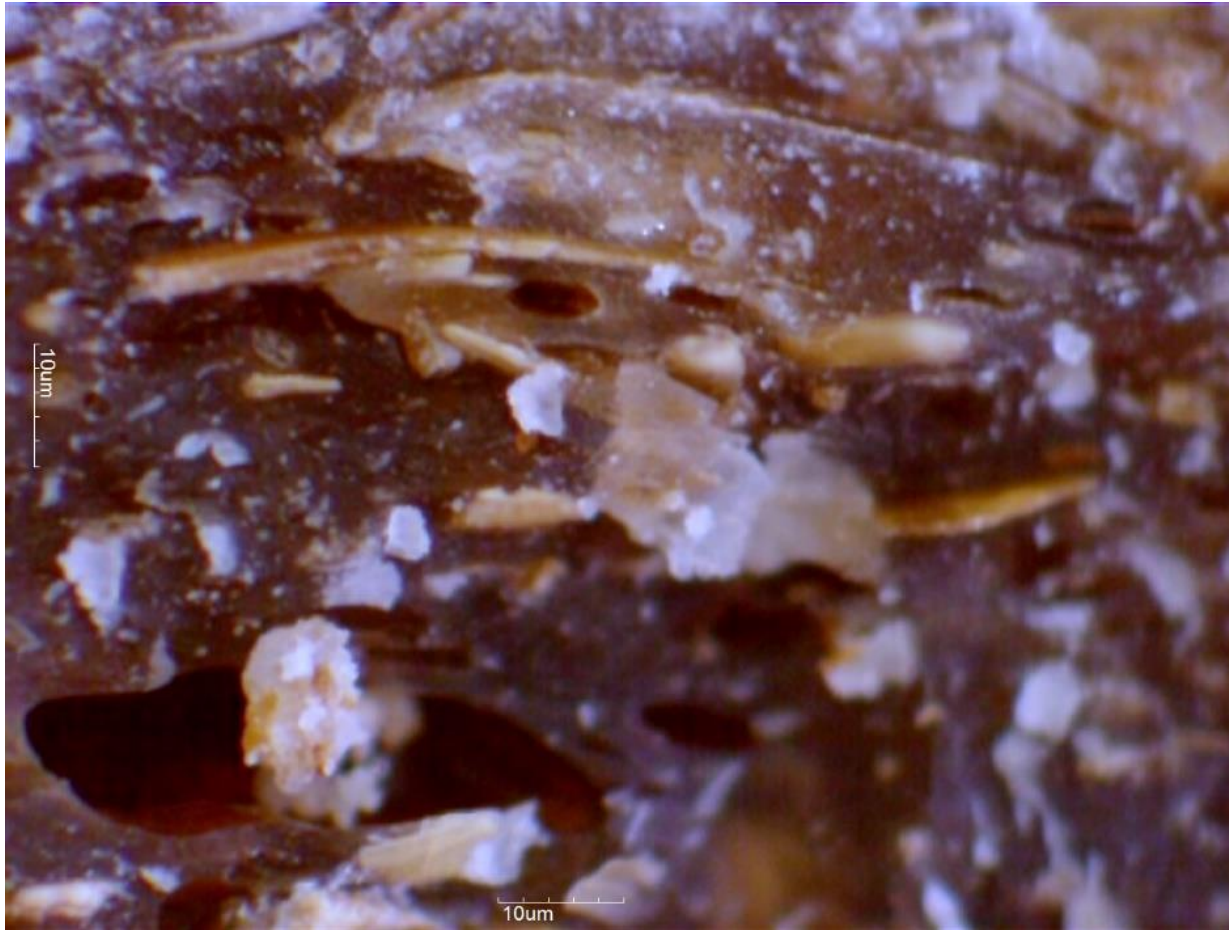


Figura 73: Vista del corte con segueta



La rebaba es lo que nos sobra al cortar el material, podemos distinguir a comparación de las imágenes superficiales, que este pedazo de materia se nota homogéneo.

Figura 74: Foto microscópica de la rebaba

# **6** **DISCUSIÓN Y** **CONCLUSIÓN**

El producto elaborado a lo largo de este estudio se basó en la búsqueda y desarrollo de alternativas para la producción de mobiliario. Por lo que nuestra pregunta fue ¿Será una alternativa efectiva el uso de compuestos naturales en el mobiliario, ante el uso del MDF estándar?

La respuesta que surgió fue un no, ya que según los valores de propiedades mecánicas obtenidos no se logra un estándar comparable al mdf comercial.

### **Evaluación de la hipótesis**

“Si utilizamos un desecho agroindustrial como el bagazo de cebada para reforzar el biopolímero de almidón termoplástico, entonces podemos obtener una mejora en las propiedades mecánicas de este compuesto, lo que permitirá además aprovechar de mejor manera el recurso natural”, esta hipótesis la encontramos afirmativa. Si se obtuvo una mejora del 14.40% en las propiedades mecánicas, siendo el módulo de elasticidad para ser específicos, del compuesto a comparación del ATP por sí solo.

### **Cumplimiento del objetivo**

Nuestro objetivo fue, “examinar las propiedades mecánicas de flexión, tensión, resistencia al clavo y al tornillo, dureza y compresión del compuesto de almidón termoplástico (ATP) y bagazo



de cebada mediante la utilización del bagazo de cebada como agente reforzante, para un mejor aprovechamiento de los desechos agroindustriales y alternativas de materiales en la producción de laminados para mobiliario interior”.

¿Sé logró este objetivo? Si, de acuerdo con los valores resultantes, hay una mejora respecto al ATP y al compuesto basado en ATP y bagazo de cebada, sin embargo, no se considera que sea una alternativa viable como laminado para su aplicación en mobiliario porque no alcanza los valores estándar comerciales en las propiedades mecánicas comparándolo contra el MDF.

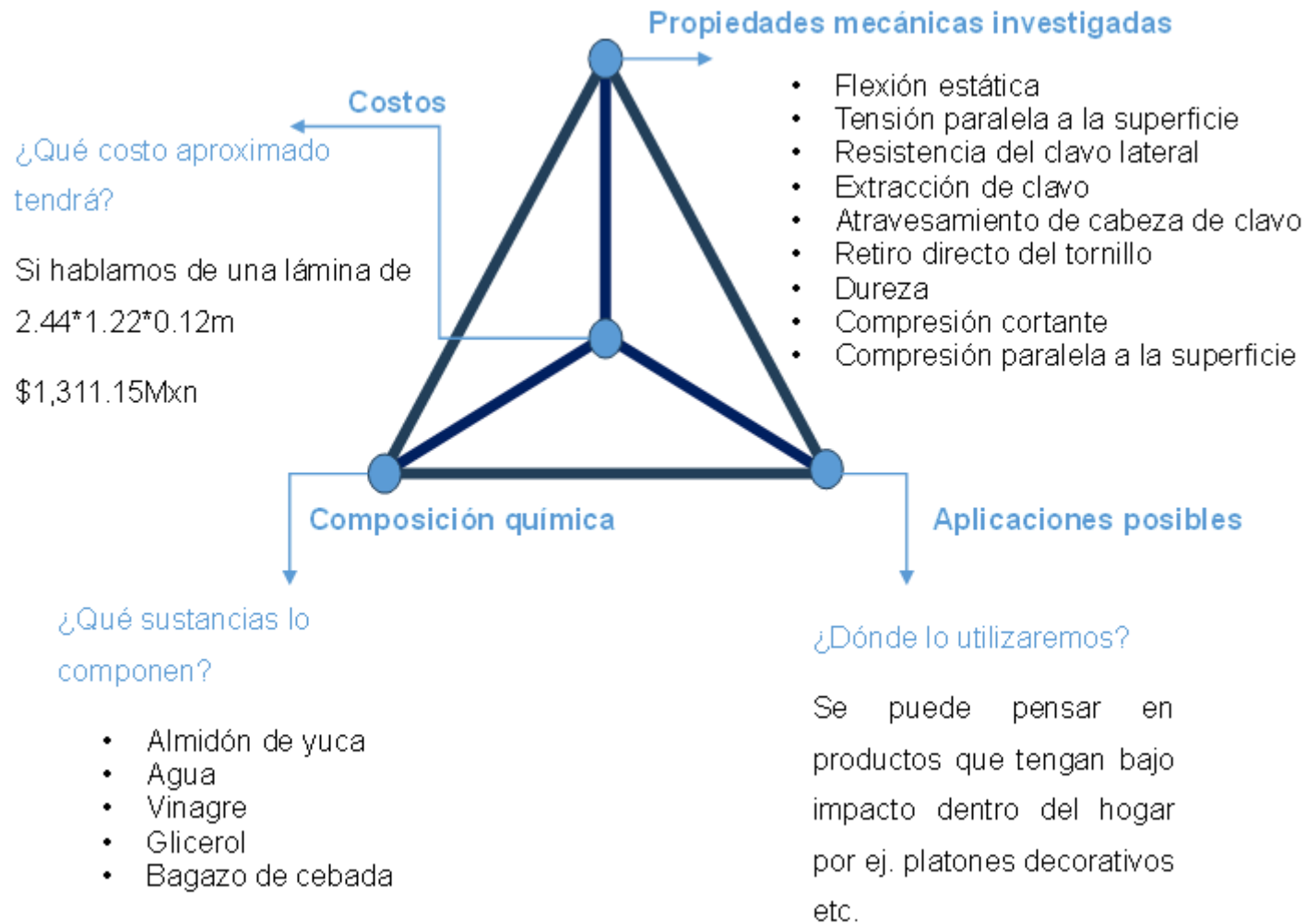
La investigación destaca la importancia del diseño de experimentos para mejorar las propiedades mecánicas del bio compuesto basado en almidón, utilizando el bagazo de cebada como agente reforzante. Este enfoque experimental es esencial para explorar y aprovechar el potencial de los materiales emergentes y diversificar las posibilidades de desarrollo del diseño, considerando su integración en propuestas concretas.

El aprovechamiento de desechos agroindustriales ha ganado protagonismo como componente en materiales emergentes debido a su bajo costo y fácil obtención, lo que contribuye a la conservación de materias primas y desempeña un papel importante en el reciclaje. En el contexto de la sostenibilidad y la búsqueda de alternativas a los materiales tradicionales, el

diseño experimental se vuelve fundamental para abordar los desafíos técnicos y económicos asociados con los materiales emergentes. Al identificar y optimizar la combinación de material primas, procesos de fabricación y proporciones adecuadas, se puede mejorar la viabilidad comercial de estos materiales.

Es crucial abordar la falta de conocimiento y conciencia sobre los beneficios de los materiales emergentes entre fabricantes y consumidores, lo que puede representar otro obstáculo. Se necesita un esfuerzo educativo y de divulgación para resaltar las ventajas ambientales y técnicas de estos materiales.

Podemos entonces condensar el material de la siguiente manera:



### Perspectivas a futuros investigadores

Realizando una reflexión respecto al futuro de este material emergente existen algunos puntos que se pueden seguir desarrollando:

- La estandarización y certificación del bio compuesto de ATP y bagazo de cebada para generar confianza en los involucrados en la producción y adopción de este material en diferentes aplicaciones. Cumplir con normas y estándares internacionales facilitará la confianza en la calidad y utilidad de este material en el mercado.
- Buscar otro tipo de fibra que, en conjunto con el bagazo de cebada, acerque al estándar comercial de laminados la propuesta de este documento.
- El uso de agua es excesivo por lo que se sugiere experimentar con agua pluvial o aguas tratadas.
- El almidón de yuca utilizado viene directo del recurso natural se sugiere la experimentación con almidones que provengan como un producto terciario, por ejemplo, del hueso de aguacate, para así poder generar un producto del cual este compuesto de al menos un 50% de residuos como materia prima.
- Considerar el desarrollo de una prensa que genere calor para poder acelerar el secado parejo de las láminas y así conseguir un acabado más homogéneo.
- Se considera importante un estudio a profundidad de la biodegradabilidad del compuesto, siendo así que se pueda estudiar su toxicidad y que tipo de micropartícula podría dejar en el ambiente.

- Las aplicaciones de este material se pueden seguir estudiando en productos con uso de menor impacto, así como la joyería o elementos del hogar.

Repensar el diseño como primer paso se está logrando poco a poco, cada vez son más las personas que buscan una alternativa más amigable con el ambiente sin que afecte su función. Sin embargo, no podemos dar por sentado que la sustitución de materiales utilizados normalmente por biopolímeros es la respuesta a todos los problemas ambientales que hemos generado. Estos materiales a pesar de tener un objetivo claro también repercuten de distintas maneras al ambiente, a la economía y a la sociedad.

Por otro lado, la utilización de residuos como materias primas son un esfuerzo para cambiar la mentalidad de la necesidad de que todo sea nuevo y provenga directamente de las fuentes originarias, así podemos hacer mayores descubrimientos y aportes tecnológicos. El aprovechamiento de recursos se vuelve una nueva normalidad en la sustentabilidad.

## Glosario

### μ

μm

micrómetro, unidad de longitud que equivale a una milésima de milímetro, micra. (Real Academia Española, 2023)

### A

Agroindustriales

Perteneiente o relativo a la agroindustria.(Real Academia Española, 2023)

Almidón

Mezcla de dos polisacáridos, amilosa y amilopectina, formados por unidades de glucosa. Hidrato de carbono que constituye la principal reserva energética de casi todos los vegetales y tiene usos alimenticios e industriales.

(Real Academia Española, 2023)

Anisótropos

Dicho de una sustancia o de un cuerpo: Que posee propiedades físicas distintas según la dirección en que se mide. (Real Academia Española, 2023)

## **B**

### Bagazo

Residuo fibroso resultante de la trituración, presión o maceración de frutos, semillas, tallos, etc., para extraerles su jugo, especialmente el de la vid o la caña de azúcar, etc. (Real Academia Española, 2023)

### Bio

Significa 'biológico, que implica respeto al medio ambiente'. Biocombustible, bioagricultura.(Real Academia Española, 2023)

### Biodegradable

Dicho de una sustancia: Que puede ser degradada por acción biológica.(Real Academia Española, 2023)

### Biopolímeros

Polímero que interviene en los procesos biológicos.(Real Academia Española, 2023)

## **C**

### Celulosa

Polisacárido que forma la pared de las células vegetales y es el componente fundamental del papel.(Real Academia Española, 2023)

### Cizallamiento

Acción o el estrés resultante de fuerzas aplicadas que causa que dos partes contiguas de un cuerpo o dos cuerpos se deslicen uno con respecto al otro en dirección paralela a su plano de contacto. (Real Academia Española, 2023)

## **L**

Lixiviado

Líquido residual, generalmente tóxico, que se filtra de un vertedero por percolación. (Real Academia Española, 2023)

## **M**

mm

Unidad de longitud del sistema internacional, que originalmente se estableció como la diezmillonésima ( $10^{-7}$ ) parte del cuadrante del meridiano terrestre, y hoy, con más precisión, se define como la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de  $1/299\,792\,458$  de segundo,  $1\text{ mm} = 0.001$ . (Real Academia Española, 2023)

Morfológica

Forma o estructura de algo, 66 (Real Academia Española, 2023)

MPa



Unidad de presión y de tensión del sistema internacional, equivalente a la que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie plana de 1 m<sup>2</sup>, perpendicular a la misma., 1Pa=1 N/m<sup>2</sup>, 1MPa= 1 N/mm<sup>2</sup>. (Real Academia Española, 2023)

## **N**

### N

Unidad de fuerza del sistema internacional, equivalente a la fuerza que, aplicada a un cuerpo cuya masa es de 1 kilogramo, le comunica una aceleración de 1 metro por segundo cada segundo. (Real Academia Española, 2023)

### Polisacárido

Hidrato de carbono formado por una larga cadena de monosacáridos; p.

ej., el almidón, la celulosa y el glucógeno(Real Academia Española, 2023)

### Recalcitrantes

Terco, reacio, reincidente, obstinado, aferrado a una opinión o conducta (Real Academia Española, 2023)

### Reológicas

Estudio de los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos. (Real Academia Española, 2023)

## Z

### Zoonóticas

Enfermedad que puede transmitirse entre animales y seres humanos. Las enfermedades zoonóticas pueden ser provocadas por virus, bacterias, parásitos y hongos. Algunas de esas enfermedades son muy frecuentes.

(“Animales (zoonóticos) - Centers for Disease Control and Prevention”)(Gobierno de México, 2016)

## T

### $\tau$

La nomenclatura  $\tau$  se utiliza para esfuerzo cortante, ya que éste actúa tangencial o paralelamente al elemento de área. (7 *CAPÍTULO II ESFUERZO 2.1 ESFUERZOS*, n.d.)

## Bibliografía

7 CAPÍTULO II ESFUERZO 2.1 ESFUERZOS. (n.d.).

Alarcón Castro, J. (2021). *Dialnet-*

*DisenoDeMaterialesEmergentesDesdeUnEnfoqueBasadoEn-8269196.*

Alarcón Castro Jimena. (2021). Diseño de materiales emergentes desde un enfoque

basado en la naturaleza. *Centro de Estudios En Diseño y Comunicación*, 149, 223–  
235.

Alfonso Aranda Usón, & Ignacio Zabalza Bribián. (2010). *Ecodiseño y Análisis de Ciclo de  
Vida.*

A.M. (1957). *La cebada. hojas divulgadoras.* MAPA.

*Aplicaciones de las mallas de refuerzo.* (2021, August 28). Texdelta.

<https://texdelta.com/blog/aplicaciones-de-las-mallas-de-refuerzo/>

Bioeconomía. (2020, April 23). *Artista surcoreano fabrica muebles ecológicos con bioplásticos*. Bioeconomía.

*Caracterización de materiales. Principales técnicas empleadas*. (2020, September 17).

INFINITA Industrial Consulting.

[https://www.infinitiaresearch.com/noticias/caracterizacion-de-materiales-](https://www.infinitiaresearch.com/noticias/caracterizacion-de-materiales-tecnicas/#:~:text=La%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20materiales%20es%20el%20procedimiento%20mediante%20el%20cual,fiabilidad%20o%20sus%20posibles%20aplicaciones)

[tecnicas/#:~:text=La%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20materiales%20es%20el%20procedimiento%20mediante%20el%20cual,fiabilidad%20o%20sus%20posibles%20aplicaciones](https://www.infinitiaresearch.com/noticias/caracterizacion-de-materiales-tecnicas/#:~:text=La%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20materiales%20es%20el%20procedimiento%20mediante%20el%20cual,fiabilidad%20o%20sus%20posibles%20aplicaciones).

0aplicaciones.

Centro Nacional de Meteorología. (n.d.). *Dureza*. CENAM. Retrieved June 6, 2022, from

<https://www.cenam.mx/FYP/Dureza/Dur1.aspx>

Christian, S. J. (2016). Natural fibre-reinforced noncementitious composites

(biocomposites). In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials* (pp. 111–

126). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100038-0.00005-6>

CONADESUCA. (2016). *Fabricación De Azúcar a Partir De Caña De Plásticos*

*Degradables*. 10.

Deniz, D. (2002). *Sustainability and Environmental Issues in Industrial Product Design*.

Dergal, S. B. (n.d.). *Cuarta edición*.

Dogossy, G., & Czigany, T. (2011). Thermoplastic starch composites reinforced by agricultural by-products: Properties, biodegradability, and application. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(21), 1819–1825.

<https://doi.org/10.1177/0731684411429728>

G. Ceschin. (2020). *Design for Sustainability*. [www.routledge.com/](http://www.routledge.com/)

Gobierno de México. (2016). *Las enfermedades zoonóticas en México*.

IFC, corporación financiera internacional. (2007). Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para tableros y productos de madera particulada. *Grupo Del Banco Mundial*, 1–14.

ISABEL RUBIO. (2022). *Organic waste: a new construction material*. Tungsteno.

<https://www.sacyr.com/en/-/basura-organica-un-nuevo-material-para-la-construccion>

MASISA. (2022). *Ficha Técnica MDF*.

Niaounakis, M. (2015). Introduction. In *Biopolymers: Processing and Products* (pp. 1–77).

Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-26698-7.00001-5>

- ONU. (2015a). *Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad*. Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- ONU. (2015b). *Objetivo 12: garantizar modalidades de consumo y producción*. Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- ONU. (2015c). *Objetivo 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos*. Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Future Fibres*. FAO.
- PUCDE. (n.d.). *Fraccionamiento del bagazo cervecero*.
- Ramakrishna, S., & Huang, Z.-M. (2016). Biocomposites. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.00965-6>

Raúl De la Torre. (2019). ¿Es una quimera diseñar, fabricar y consumir muebles sostenibles? *PORTE*, 8–12. <http://www.revistaporte.com/wp-content/uploads/2020/01/REVISTA-PORTE-197-Web.pdf>

RAW Sunshine Coast. (2019, May 9). *Fast Furniture – the devastating social, economic and environmental impact on Australia*.

Real Academia Española. (2023). *Diccionario de la lengua española*. 23.a Ed., [Versión 23.6 En Línea].

Reid, D. A. (n.d.). *Morphology and Anatomy of the Barley Plant*.

Rhim, J.-W., & Kim, Y.-T. (2014). Biopolymer-Based Composite Packaging Materials with Nanoparticles. In *Innovations in Food Packaging* (pp. 413–442). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00017-5>

Seetal Solanki. (2018). *Why Materials Matter* (A. Gitlow, Ed.). Prestel Publishing.

*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials 1*. (n.d.). [www.astm.org](http://www.astm.org),

Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S., & Thakur, V. K.

(2018). Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 68–75.

<https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.013>

*Thermoplastic\_Starch*. (n.d.).

*TIPOS DE ESFUERZOS FÍSICOS INTRODUCCIÓN*. (n.d.).

Villada, H. S., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2008). Investigación de Almidones

Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables. In *Información Tecnológica* (Vol. 19, Issue 2). [www.mater-bi.com](http://www.mater-bi.com)],

Yu, L. (n.d.). *BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS AND COMPOSITES FROM RENEWABLE RESOURCES* Edited by. [www.wiley.com](http://www.wiley.com).



# Figuras

Figura 1: Retomado del diagrama de sistema insular por Ceschin, 2020. ....	24
Figura 2 Metas globales de sostenibilidad.....	26
Figura 3 Ciclo de Vida de un producto, (Aranda Usón, 2010) .....	32
Figura 4 Proceso de fabricación del MDF (Todo Melamina, n.d.) .....	34
Figura 5 Ejemplo de comparación soporte de polietileno de alta densidad y soporte biodegradable de almidón termoplástico (Dogossy, 2011).....	39
Figura 6 Mesa impresa en 3D por Ryu Jong- dae (Bioeconomía, 2020).....	41
Figura 7 (a) enrollamiento helicoidal de la amilosa; (b) estructura química de la amilopectina (Dergal, n.d.) .....	45
Figura 8: Espiguilla de cebada .....	51
Figura 9 Espiga de cebada y Granos de cebada (CEBADA GRANO Mexicana Planeación Agrícola Nacional, 2017). .....	52
Figura 10 Circuito de obtención del bagazo cervecero (PUCDE, n.d.).....	55
Figura 11 Legume (Seetal Solanki, 2018) .....	57
Figura 12 Biopolímeros degradables y no degradables (Bioplastic Materials, 2021). .....	60

Figura 13: Bagazo sobre cartón .....	73
Figura 14: Bagazo dentro del horno a 140 grados °C. ....	74
Figura 15: Bagazo de cebada deshidratado.....	75
Figura 16: A) Diseño de prensa (B) Prensa de tofu (mercado libre, 2022).....	81
Figura 17: Prensa 1 .....	83
Figura 18: Secador de placas vista lateral.....	86
Figura 19: secador de placas .....	87
Figura 20: Vista interna del secador de placas con 4 placas del bio compuesto en proceso de secado.....	88
Figura 21: Vista lateral del bio compuesto húmedo.....	89
Figura 22: vista superior del compuesto húmedo.....	90
Figura 23: Prensa de doble manivela .....	93
Figura 24: Placas en secado de rejilla.....	94
Figura 25: Probetas para pruebas mecánicas.....	100
Figura 26 Diagrama de flexión estática. ....	101
Figura 27 Prueba de Flexión estática, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B).....	103

Figura 28 diagrama de tensión paralela a la superficie. ....	104
Figura 29 Prueba de Tensión paralela a la superficie, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B). ....	105
Figura 30 Resistencias del clavo lateral, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B). ....	107
Figura 31: Prueba de retiro de clavo, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el resultado de ésta (B). ....	108
Figura 32: Prueba de atravesamiento de clavo, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B). ....	109
Figura 33: Prueba de retiro directo del tornillo, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B). ....	110
Figura 34: Diagrama de dureza. ....	111
Figura 35: Prueba de dureza, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B). ....	112
Figura 36: Cortante en el plano del panel, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el resultado de ésta (B). ....	114

Figura 37: Prueba de Compresión paralela a la superficie, comparación visual entre el inicio de la prueba (A) y el término de ésta (B).....	115
Figura 38: Ensayos mecánicos y práctica en laboratorio de pruebas mecánicas, instituto de investigación de materiales. ....	117
Figura 39: Fotografía del microscopio estereoscópico Motic SMZ-161 .....	119
Figura 40: Inicio de pruebas biodegradables.....	123
Figura 41: Inicio de pruebas biodegradables en composta. ....	124
Figura 42: Inicio de prueba de solubilidad .....	125
Figura 43: Primer prototipo con uso textil. ....	134
Figura 44: Placas de 15 x 15 x 1.2 cm seco.....	136
Figura 45: Placa de ATP y bagazo totalmente seco.....	137
Figura 46: Curvas de fuerza vs. Deflexión para un material bio compuesto basado en almidón y bagazo de cebada sometido a flexión en tres puntos. ....	143
Figura 47: Curva esfuerzo vs. Deformación para un material bio compuesto basado en almidón y bagazo de cebada sometido a tensión uniaxial. ....	147
Figura 48: Curva esfuerzo vs. deformación paralela a la superficie ajuste de mínimos cuadrados de la primera probeta.....	149

Figura 49: Curva esfuerzo vs. deformación paralela a la superficie ajuste de mínimos cuadrados de la segunda probeta. ....	151
Figura 50: Curvas de carga máxima de la resistencia del panel a la extracción del clavo paralela a la superficie. ....	155
Figura 51: Curvas de fuerza vs. desplazamiento en extracción de clavo normal a la superficie del panel.....	158
Figura 52: Curvas de fuerza vs. desplazamiento del material en atravesamiento de cabeza de clavo en panel .....	161
Figura 53: Curvas de fuerza vs. desplazamiento en retiro directo de tornillo en panel. ....	164
Figura 54: Curvas de fuerza vs penetración del material en dureza del panel.....	167
Figura 55: Pendiente de la porción recta de la curva fuerza vs penetración de dureza .....	169
Figura 56: Curvas de esfuerzo cortante vs deformación en cortante en el plano del panel. ..	175
Figura 57: Curvas de esfuerzo vs. deformación a compresión paralela a la superficie del panel. ....	179
Figura 58: prueba B1 en descomposición .....	189
Figura 59: probeta B1 en descomposición .....	190
Figura 60: Prueba B2 al día 7.....	191

Figura 61: Prueba B2 al día 7.....	192
Figura 62: Prueba B3, día 7 .....	193
Figura 63: Prueba B3, día 7. ....	194
Figura 64: Prueba S1 de solubilidad, solo agua.....	195
Figura 65: Prueba S1 de solubilidad, solo agua. Después de 7 días. ....	196
Figura 66: Prueba de solubilidad, agua con 50gr de sal. ....	197
Figura 67: Prueba de solubilidad, agua con 50gr de sal. ....	198
Figura 68: Prueba de solubilidad, 100 ml de agua y 100 ml de vinagre .....	199
Figura 69: Prueba de solubilidad, 100 ml de agua y 100 ml de vinagre .....	200
Figura 70: Vista superior del material .....	201
Figura 71: Apreciación de burbuja en el material .....	202
Figura 72: Corte con amoladora.....	203
Figura 73: Vista del corte con segueta .....	204
Figura 74: Foto microscópica de la rebaba .....	205

## Tablas

Tabla 1 Características de algunos almidones (Dergal, n.d.).....	47
--	----

Tabla 2: Relación de dimensión y pesos de los cilindros antes de realizar las pruebas .....	122
Tabla 3: Concentrado de materiales experimentados, solo se publican los iniciales y finales. .....	129
Tabla 4: Costos de materia prima .....	139
Tabla 5: Costos de materia prima por placa.....	139
Tabla 6: Costos de materia prima por placa (Home depot, 2022) .....	141
Tabla 7: Valores obtenidos de la prueba de flexión estática .....	145
Tabla 8: Valores obtenidos del a prueba de tensión paralela a la superficie.....	148
Tabla 9: Valores del ajuste de mínimos cuadrados de la primera probeta de la curva esfuerzo vs. deformación paralela a la superficie .....	150
Tabla 10: Valores del ajuste de mínimos cuadrados de la primera probeta de la curva esfuerzo vs. deformación paralela a la superficie. ....	152
Tabla 11: Módulo de elasticidad de la tensión paralela a la superficie .....	153
Tabla 12: Valores obtenidos del a resistencia al clavo lateral .....	156
Tabla 13: Valores obtenidos de la prueba de extracción de clavo .....	159
Tabla 14: Valores obtenidos de la prueba de atravesamiento de clavo .....	162
Tabla 15: Resultados obtenidos del a prueba de retiro directo de tornillo .....	165

Tabla 16: Valores obtenidos de la prueba de dureza .....	168
Tabla 17: Valores del ajuste de mínimos cuadrados de la primera probeta de la pendiente de la porción recta de la curva fuerza vs penetración de dureza. ....	170
Tabla 18: Valores del ajuste de mínimos cuadrados de la segunda probeta de la pendiente de la porción recta de la curva fuerza vs penetración de dureza. ....	171
Tabla 19: Valores del ajuste de mínimos cuadrados de la tercera probeta de la pendiente de la porción recta de la curva fuerza vs penetración de dureza. ....	172
Tabla 20: Valores obtenidos para el módulo de dureza .....	173
Tabla 21: Valores obtenidos de la prueba de Cortante en el plano del panel .....	177
Tabla 22: Valores obtenidos del a prueba de Compresión paralela a la superficie .....	181
Tabla 23: Valores obtenidos de los ensayos mecánicos del bio compuesto ATP y BC .....	183
Tabla 24: Comparativa de propiedades mecánicas del MDF estándar y el compuesto de ATP y BC. (MASISA, 2022) .....	184
Tabla 25: Comparativa de propiedades mecánicas del MDF estándar y el compuesto de ATP y BC. (MASISA, 2022) .....	185



Tabla 26: Comparativa de propiedades mecánicas del Almidón termoplástico MDF estándar y el compuesto de almidón termoplástico y bagazo de cebada. (Mingfu Huang, 2005)(MASISA, 2022) ..... 186

Tabla 27: Relación de dimensión y pesos de los cilindros después de realizar las pruebas.. 188

## Diagramas

Diagrama 1: Pasos aplicados..... 70

Diagrama 2 Proceso de fabricación a nivel laboratorio ... 91