

Formato de informe final

PUIDI - Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial

(nombre del programa universitario de investigación de la DIGI)

Evaluación del desempeño de las propiedades físicomecánicas de tableros de virutas orientadas OSB fabricados a partir de desechos de laminado de bambú (*Dendrocalamus asper*) cultivado en Guatemala.

nombre del proyecto de investigación

4.8.63.0.54

Partida presupuestaria

DES9-2022

código del proyecto de investigación

Centro de Investigaciones de Ingeniería

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Mauricio Valentino Rivera Tello Coordinador
Vera Lucia Tatuaca Rosales Investigadora

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por DIGI

Guatemala 15 de noviembre del 2022

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año

Contraportada (reverso de la portada)

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Inga. Liuba María Cabrera Ovalle de Villagrán Nombre
Coordinadora del Programa de Investigación

Autores

Nombre del coordinador del proyecto
Mauricio Valentino Rivera Tello

Nombre del investigador
Vera Lucia Tatuaca Rosales

Colaboradores:

Ing. Ing. Fredy Contreras Castañaza
Sección Tecnología de la Madera, Centro de Investigaciones de Ingeniería

Auxiliar: Br. Jesiel Salomón Enríquez
Sección Tecnología de la Madera, Centro de Investigaciones de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (DIGI), 2022. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la DIGI de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.63.0.54 con código DES9-2022 en el Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación



Formato de informe final

1 Índice general

1 Índice general	3
Resumen y palabras claves	6
2 Introducción	7
3 Planteamiento del problema	9
4 Delimitación en tiempo y espacio	10
4.1 Delimitación en tiempo	10
4.2 Delimitación espacial	10
5 Marco teórico	11
6.1 Bambú.....	11
6.4 Usos, ventajas y propiedades	12
6.5 Especies.....	13
6.6 Cultivo de Bambú en Guatemala	14
6.6.1 Guadua Angustifolia	14
6.6.2 Dendrocalamus asper	15
6.6.3 Gigantochloa Verticillata	16
6.7 Viruta.....	16
6.8 Tableros.....	16
6.8.1 Tableros OSB (Oriented strand board)	17
6.8.2 Procesos de producción.....	17
6.9 Adhesión y adhesivos	20
6.9.1 Teoría de la adhesión	20
6.9.2 Resinosidad	20

6.9.3 Adhesivos.....	20
6.9.4 Adhesivo a base de urea formaldehído	21
6 Estado del arte.....	22
7 Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta).....	23
8 Hipótesis (si aplica)	24
9 Materiales y métodos	26
10.1 Enfoque y tipo de investigación	26
10.2 Método:	26
10.3 Recolección de información.....	27
10.4 Técnicas e instrumentos:	28
10.5 Procesamiento y análisis de la información.....	29
10 Resultados y discusión	31
11.1 Resultados.....	31
11 Referencias.....	49
12 Apéndice.....	52
13 Aspectos éticos y legales.....	77
14 Vinculación	77
15 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual	77
16 Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:	78
17 Orden de pago final (incluir únicamente al personal con contrato vigente).....	79
18 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación	79
19 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario.....	79
20 Visado de la Dirección General de Investigación	80

Índice de tablas

Tabla. 1 Principales especies de bambú	13
Tabla. 2 Caracterización de pegamentos	31
Tabla. 3 Códigos de tableros	31
Tabla. 4 Análisis de varianza, analizando el efecto del tipo de pegamento en todas las propiedades físico-mecánicas	41
Tabla. 5 Análisis de varianza, analizando el efecto del grosor en todas las propiedades físico-mecánicas	41

Tabla. 6 Análisis de varianza, analizando el efecto del porcentaje de finos en los tableros en todas las propiedades físicomecánicas	41
Tabla. 7 Análisis de varianza, analizando el efecto de la formulación de pegamentos en los tableros en todas las propiedades físicomecánicas	42

Índice de figuras

Figura 1 <i>Bambú</i>	12
Figura 2 <i>Desechos de laminado de bambú de la especie Dendroclamus asper en la sección Tecnología de la madera del centro de Investigaciones de Ingeniería</i>	15
Figura 3 <i>Prcentage de absorción de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C</i>	34
Figura 4 <i>Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D</i>	34
Figura 5 <i>Densidad en g/cm³ de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C</i>	35
Figura 6 <i>Densidad en g/cm³ de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D</i>	35
Figura 7 <i>Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C</i>	36
Figura 8 <i>Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D</i>	36
Figura 9 <i>Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C</i>	37
Figura 10 <i>Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D</i>	37
Figura 11 <i>Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C</i>	38
Figura 12 <i>Módulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D</i>	38
Figura 13 <i>Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C</i>	39
Figura 14 <i>Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D</i>	39
Figura 15 <i>Fuerza necesaria para la extracción de clavos (kgf) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C</i>	40
Figura 16 <i>Fuerza necesaria para la extracción de clavos (kgf) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D</i>	40

Resumen y palabras claves

Se buscó aprovechar los desechos agroindustriales del laminado de bambú proveniente de cañas de bambú (*Dendrocalamus asper*) para fabricar tableros de virutas orientadas que pueden ser utilizados en las diferentes aplicaciones agroindustriales en Guatemala y sustituir a los tableros comerciales provenientes de especies maderables y utilizarlas como aislantes y soportes para elementos en la construcción.

En el proceso del laminado de bambú se obtienen desperdicios que no se pueden utilizar debido a su tamaño y grosor, pero al someterlos a un proceso de picado se pueden obtener virutas que se puedan emplear en la fabricación de tableros de virutas orientadas aprovechando los desperdicios de ese proceso agroindustrial y obteniendo estructuras con mejores aptitudes que los comerciales dando un valor agregado al bambú.

Se tuvo como objetivo estudiar el comportamiento de estos tableros al variar la forma de fabricación variando estos parámetros y se analizó el comportamiento que tiene sobre las propiedades físicas y mecánicas. El bambú necesario fue el desperdicio del proceso del laminado de bambú y se varió el tipo de adhesivo, el grosor, las formulaciones de virutas y finos, así como la del adhesivo. Los tableros fabricados se sometieron a un secado del pegamento para luego cepillarlos y de esta manera se obtuvo el grosor. Se tomó muestras del producto terminado y se elaboró probetas las cuales fueron analizadas por medio de pruebas físicas y mecánicas. Con los resultados obtenidos, los tableros de virutas orientadas son una alternativa al uso de la madera que pueden ser utilizados en las diferentes aplicaciones agroindustriales.

Palabras clave: residuos, reciclaje, reutilización, medio ambiente, bosques, plantas,

Abstract and keyword

The aim was to take advantage of the agro-industrial waste of laminated bamboo from bamboo canes (*Dendrocalamus asper*) to manufacture oriented strand boards that can be used in different agro-industrial applications in Guatemala and replace commercial boards from timber species and use them as reusable. and supports for construction elements.

In the bamboo laminate process, waste is obtained that cannot be used due to its size and thickness, but by subjecting it to a chopping process, shavings can be obtained that can be used in the manufacture of oriented strand boards, taking advantage of the waste from This agro-industrial process and obtaining structures with better skills than commercial ones, giving added value to bamboo.

The objective was to study the behavior of these boards by varying the way of manufacture by varying these parameters and the behavior that it has on the physical and mechanical properties was analyzed. The required bamboo was the waste from the bamboo lamination process and the type of adhesive, thickness, chip and fines formulations, as well as the adhesive were varied. The manufactured boards were subjected to drying of the glue and then brushed, thus obtaining the necessary thickness. Samples of the finished product were taken and test tubes were made, which were exposed to physical and mechanical tests. With the results obtained, oriented chipboards are an alternative to the use of wood that can be used in different agro-industrial applications.

Keyword: waste, recycling, reuse, environment, forests, plants,

2 Introducción

El bambú es una de las plantas de crecimiento más rápido en el planeta, y ha sido ampliamente distribuida en países tropicales y subtropicales tanto por su utilización artesanal como la fabricación de estructuras destinadas a construcción de viviendas (Nurdiah, 2016), a pesar de la existencia de un aproximado de 1575 especies diferentes de bambú, de las cuales 1200 se consideran bambú maderable (Basumatary et al., 2015; Escamilla and Habert, 2014), únicamente un promedio de 20 a 30 poseen utilidad desde el punto de vista estructural en la construcción, siendo las más importantes bambú moso (*Phyllostachysedulis*), Guadua (*Guadua angustifolia*) y bambú gigante (*Dendrocalamus asper*) (Benton, 2015).

El uso del bambú de manera directa en la construcción presupone una ventaja estructural, sin embargo, posee diversos factores negativos que alejan a los potenciales usuarios, dentro ellos se puede mencionar la dificultad de crear uniones, la poca compactación del material al tratarse de estructuras cilíndricas huecas, y la especificidad del uso de cañas en si misma (López et al.,

2004; Nwoke and Ugwuishiwu, 2011), lo cual abre la posibilidad de emplear al bambú como materia prima para ser transformado en elementos estructurales con mayor aplicabilidad, como lo es la elaboración de paneles de fibras orientadas (OSB por sus siglas en inglés: Oriented Strand Board), los cuales presentan propiedades físicomecánicas iguales o superiores a sus análogos de madera convencional, añadiendo valor agregado por la procedencia y sostenibilidad que ofrece el bambú (Chen et al., 2019).

Considerando el incremento en la demanda de materiales estructurales requeridos por la población guatemalteca surge la necesidad de aprovechar de manera efectiva los recursos disponibles en nuestro territorio. La producción de bambú ha cobrado auge dentro de nuestro entorno por ser considerado un material de numerosas bondades tanto en crecimiento como en resistencia (Mercedes, 2006), el cual ha sido impulsado por entidades gubernamentales e internacionales, tal como se evidencia en el acuerdo ministerial 253-2014 (Ministerio de agricultura y ganadería), que establece como objetivos principales, impulsar la producción local de especies seleccionadas de bambú y promover capacitaciones técnicas respecto al uso del bambú así como fomentar la planificación y ejecución de proyectos referentes a la industrialización del bambú en Guatemala, sin embargo, las aplicaciones prácticas de dicho material aún se encuentran limitadas por la poca experiencia, lo cual evidencia la necesidad de estandarizar procesos de producción adecuados para este material, que permitan rivalizar o superar a materiales semejantes existentes en el mercado, tanto por sus propiedades físico-mecánicas como en aspectos económicos.

La elaboración de paneles estructurales se presenta como una alternativa viable para el manejo de desechos madereros (Flores, y Canchucaja, 2017), pues no es necesario destinar piezas específicas para su fabricación, sin embargo dicho proceso posee diversas variables a considerar, las cuales influyen en las propiedades físicomecánicas del tablero final, entre ellas podemos mencionar, la relación de fibras orientadas y micro partículas de bambú, el tipo de adhesivo a utilizar, el tiempo y fuerza de prensado así como el grosor del tablero. Guatemala posee poca información respecto a la elaboración y caracterización de paneles de fibras

orientadas de bambú, por lo cual previo a estandarizar procesos de producción es importante encontrar formulaciones adecuadas y caracterizar el comportamiento de dichos paneles.

El diseño experimental consistió en un sistema multifactorial con 4 factores y 5 repeticiones evaluando una especie de bambú. El primer factor fue el adhesivo teniendo dos niveles, cola blanca y de secado rápido, el segundo factor fue la formulación de finos esto consistió en realizar 3 formulaciones entre las virutas y materiales finos que sirvieron de amarre al material, en tres niveles, el tercer factor fue el grosor teniendo tres niveles y los grosores fueron los comerciales, el cuarto factor fue la formulación de adhesivo con 3 niveles. Para tener un total de 54 unidades experimentales con 5 repeticiones que dieron un total de 270 tratamientos a los cuales se les realizaron las pruebas físicomecánicas de: contenido de humedad, densidad, contracción volumétrica, absorción, flexión, extracción directa del clavo, dureza, carga estática concentrada, aislamiento térmico, auto ignición y resistencia térmica.

Estos valores se compararon entre sí para poder analizar el efecto de los factores sobre las propiedades, se analizó tres diferentes tableros comerciales OSB y se comparó sus propiedades físicomecánicas y se determinó cuál de los tableros fabricados puede competir con los tableros comerciales.

3 Planteamiento del problema

La elaboración de paneles de virutas orientadas (OSB por sus siglas en inglés:) se ha presentado como una alternativa de gran aceptación en el ámbito de la construcción pues las características físicomecánicas y el precio de mercado suele tener una relación favorable

¿Qué? La búsqueda de nuevos materiales ha cobrado auge de manera actual hecho que se evidencia con políticas nacionales e internacionales respecto a la reutilización de materiales y la apuesta por métodos alternativos con menores gastos energéticos e impacto sobre el ambiente, aprovechando las amplias bondades del bambú como planta de crecimiento rápido y propiedades físicomecánicas superiores a otras especies (propiedades de bambú), se plantea la elaboración de tableros OSB empleando virutas de bambú (*Dendrocalamus asper*) aglomeradas con adhesivos

comerciales, empleando como variables la relación de virutas orientadas y macropartículas de bambú, así como el tipo de adhesivo y grosor de los tableros

¿Por qué? Actualmente Guatemala presenta avances tecnológicos en cuanto a la implementación de técnicas destinadas al procesamiento del bambú que van desde su cultivo, hasta la elaboración de materiales y estructuras, sin embargo, el conocimiento científico y técnico se encuentra en etapas iniciales, lo cual resalta la necesidad de profundizar y encontrar parámetros adecuados de fabricación que sean adecuados y cumplan con normativas propias para estos materiales (ASTM a evaluar)

¿Para qué? El uso estructural de paneles OSB se encuentra ampliamente reportado, tanto es su utilización como elementos individuales, como la elaboración de otros materiales compuestos como paneles aislantes, dado que Guatemala se encuentra en etapas iniciales respecto al aprovechamiento adecuado del bambú como recurso maderero.

4 Delimitación en tiempo y espacio

4.1 Delimitación en tiempo

La investigación tuvo una duración de 11 meses dando inicio el primer día hábil de febrero del 2022 y finalizando el 31 de diciembre del 2022, se entregaron informes mensuales de actividades a la Dirección General de Investigación de acuerdo a los formatos establecidos.

4.2 Delimitación espacial

El lugar de origen de la materia prima fue la costa sur de Guatemala donde se cultiva el bambú (*Dendrocalamus asper*); y se llevó a cabo en el laboratorio multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera, que es una Sección perteneciente al Centro de Investigaciones de Ingeniería y está ubicada en la Ciudad Universitaria zona 12, Universidad de San Carlos de Guatemala, área de prefabricados.

5 Marco teórico

6.1 Bambú

El bambú es considerado uno de los materiales más renovables del planeta. Es un recurso sostenible, también es considerado rentable. Por medio del movimiento sostenible se ha convertido en un material muy popular. Es una alternativa viable muy utilizada en numerosos campos. Los resultados en durabilidad, resistencia y capacidad de renovación superan a cualquier tipo de madera. (C. 2021).

Durante años el bambú fue considerado como árbol, pero, científicamente hablando, no es árbol sino una planta. Es una gramínea (Poaceae) como el maíz, el arroz o el trigo y pertenecen a la subfamilia de las Bambusoideas. Comprende más de 115 géneros y 1,400 especies y tiene un rápido crecimiento. Es perenne, en casi todas sus especies, y, en algunos casos, puede crecer hasta 30 cm por día (C. 2021).

6.2 Origen

Su utilización data aproximadamente del año 5.000 a.C., Neolítico de la Edad de Piedra, en China, donde aparecieron los primeros materiales elaborados en bambú, entre ellos, flechas y materiales de construcción (C. 2021).

6.3 Etimología

La palabra bambú proviene del malayo “Mambu”, idioma de un pueblo que habitaba la península de Malaca (compuesta actualmente por territorios pertenecientes a Myanmar o Birmania, Malasia, Singapur y Tailandia), (C. 2021). Los portugueses introdujeron esta planta en España, en el siglo XVI, con el nombre de “bambú”.

Figura 1 *Bambú*



Fuente: C. (2021). *Bambú: origen, qué es, morfología, usos y zonas donde crece*.

6.4 Usos, ventajas y propiedades

- Catalogada como la planta de acelerado crecimiento en el mundo.
 - Elemento crítico en el balance de O₂ y CO₂ atmosférico (12 ton/ha/año).
 - Suplente para la madera.
 - Recurso versátil con un ciclo de producción corto.
 - Un elemento importante para la riqueza.
 - Recurso natural renovable para la producción agroforestal.
 - El bambú posee una barrera natural controlable.
 - Está ligado con la cultura y el arte.
 - Un recurso natural flexible, resistente y de múltiples usos en:
 - Vivienda: elaboración de muebles, planta ornamental, cocina, recipientes, vestuario, artesanías, juguetes.
 - Industria: medicinas, pulpa para papel, carbón activado, bebidas.
 - Construcción: andamios, pisos, cielorrasos, tejas, vigas, puntales, paneles.
 - Zonas rurales: canales de riego, embalses, cercos, tutores, forraje, cañas de pescar, redes
- (J. 2006).

6.5 Especies

Se estima que en el planeta existen 1,250 especies de Bambú, la mayor parte está distribuida en los continentes americano y asiático. La distribución del bambú en América se extiende desde los 39° - 25° latitud norte, en la parte oriental de los Estados Unidos hasta los 47° latitud sur en Argentina y Chile; y desde el nivel del mar hasta las regiones más altas de los Andes ecuatoriales. Gran porcentaje de las especies de Bambú existentes en América permanecen sin ser clasificadas. (J. 2006).

Las especies que sobresalen por su valor económico y diversas aplicaciones son las especies gigantes. Cabe mencionar otras especies interesantes como, por ejemplo: *Neurolepis aperta* o Chúsque de Colombia; el *Bambusa aculeata* de Centroamérica; *Chusqueasp.* De Centro y Sur América que posee un tallo leñoso y el *Bambusa vulgarun* en el Caribe (J. 2006).

Tabla. 1 Principales especies de bambú

<i>B. vulgaris</i> <i>Scharad ex.</i> <i>Wendl)</i>	Se planta hasta los 800msnm. caña de 10 a 20 m, diámetro de 5 a 15 cm, color verde, entre nudos de 20 a 40 cm., Rizoma paquimorfo, nudos abultados, aprovechable al 3er. Año. Es una especie naturalizada en la República Dominicana	Muy resistente, elaboración de instrumentos agrícolas, tejidos, reforestación, pulpa de papel, artesanía, construcciones, tutores, muebles y otros.
<i>Dendrocalamus</i> <i>latiflorus</i> <i>McClure</i>	Se planta a partir de los 100msnm. caña verde limpia, crece hasta 20 m, diámetro de 5 a 20 cm, entre nudos de 20 a 70 cm., Rizoma paquimorfo. Requiere buena humedad del suelo	Elaboración de instrumentos agrícolas, reforestación, cortinas rompevientos, márgenes de ríos, pulpa de papel, construcciones, balsas de navegación, artesanía, tejidos, tutores, muebles; brote comestible en forma fresca, seca y enlatado, sus hojas se usan para producir alcohol.
<i>Guadua</i> <i>angustifolia</i> ó <i>B.</i> <i>Guadua</i>	Se planta hasta los 700msnm. caña verde, crece hasta 25 m, con diámetro de 15 cm, paredes gruesas, entre nudos de 13 a 35 cm., Rizoma leptomorfo.	Construcción de remos, reforestación, cortinas rompevientos, pulpa de papel, construcciones, artesanía, tejidos, tutores, muebles,
<i>Phyllostachys</i> <i>makinoi</i> Hay	Puede plantarse entre los 500 a 2,000 msnm. caña flexible de 6 a 16 m, con un diámetro de 2 a 10 cm, color verde, entre nudos de 12 a 40 cm., Rizoma leptomorfo, aprovechable al 4to. año.	Muy buena calidad y amplio uso en construcción de artesanía, reforestación; casas, tutores, tejidos, muebles, pulpa de papel, cortinas rompevientos, brote delicioso comestible en forma fresca, seca y enlatado.

Fuente: Guía técnica cultivo del bambú (No. F01-37) año 2006.

6.6 Cultivo de Bambú en Guatemala

Actualmente existen 12 mil hectáreas de cultivo de bambú, principalmente en la región sur, Retalhuleu, Suchitepéquez, Santa Rosa, incluyendo fincas particulares, y se cree que en el área del altiplano, la región de oriente y el Caribe son áreas con potencial para el establecimiento de ese cultivo a futuro. Gándara, (N. 2021)

Mediante un convenio de cooperación el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) de Guatemala y el Gobierno de Taiwán, establecieron 85 nuevas hectáreas del cultivo de bambú, como una fuente de desarrollo para las familias de San Juan Chamelco en Alta Verapaz y en Quetzaltenango. (Info Agro. 2017)

Taiwán ha aportado diferentes tipos de bambú que ha permitido la industrialización y comercio de la planta, al ser una fuente de materia prima con nuevas oportunidades para el sector rural del país, pues su transformación permite la construcción de viviendas, pisos, puertas, entre otros productos. En Guatemala las especies más abundantes en el mercado son: *Guadua Angustifolia*, *Dendrocalamus asper*, *Gigantocloa verticillata*.

6.6.1 *Guadua Angustifolia*

La especie *Guadua* es catalogada como una hierba, es un bambú leñoso perteneciente a la familia de las gramíneas, de las cuales existen aproximadamente 1000 especies, la mitad de ellas presentes en América. De las especies ubicadas en América, 20 constituyen las principales especies de bambú. Colombia posee una de las mejores especies con las mejores propiedades físico-mecánicas del mundo y extraordinaria durabilidad: La *Guadua Angustifolia*, sobresale dentro de este género no solo por sus propiedades físico-mecánicas sino por el tamaño de sus culmos que alcanzan hasta 30 metros de altura y 25 centímetros de diámetro (J. 2006).

Esta especie ha sido seleccionada dentro del ranking de mejores especies de bambú, ocupando la posición número 20, debido a su alta capacidad para absorber energía y

admitir una mayor flexión. Estas características la convierten en un material ideal para construcciones sismo resistentes. La Guadua crece naturalmente en Colombia, Ecuador y Venezuela, pero ha sido introducida a países de Centro América, Isla del Caribe, Hawái y Asia. Reúne dos variedades: *G. Angustifolia* var. *bicolor* y *G. Angustifolia* var. *nigra*, y varias formas: "cebolla", "macana", "castilla" (J. 2006).

6.6.2 *Dendrocalamus asper*

El tallo de ésta especie logran alcanzar aproximadamente entre 20 a 39 m de altura y un diámetro aproximadamente entre 20 a 30 cm. El tallo tipo tubular posee un grosor de 0.5 a 2 cm. Los entre nudos distan de 30 a 45 cm, el rizoma de esta especie es de tipo paquimorfo. (J. 2006). La planta es nativa de la India, Birmania y Tailandia. En Guatemala fue introducida y sembrada en el municipio de Suchitepéquez, a la altura del kilómetro 121.

Esta especie es utilizada en la construcción de viviendas, construcción de puentes rurales, elaboración de cercado, conductos de agua, elaboración de muebles, artesanías y otras industrias. Los tallos de esta especie son ideales para implementar nuevos proyectos, como por ejemplo procesos de laminado, arte de engomar, artículos comprimidos, revestimiento. (J. 2006).



Figura 2 Desechos de laminado de bambú de la especie *Dendroclamus asper* en la sección Tecnología de la madera del centro de Investigaciones de Ingeniería

6.6.3 Gigantochloa Verticillata

Dentro de las características de ésta especie sobresalen las siguientes: los tallos alcanzan una altura de 25 m, diámetros de 10 cm, con entrenudos largos y un grosor aproximadamente de 1 a 2 cm.

La especie fue introducida a Guatemala y sembrada en San Felipe. Su altura corresponde entre los 600 a 1000 m sobre el nivel del mar. Su principal aplicación corresponde a tejidos artesanales y en la elaboración de cemento. (J. 2006).

6.7 Viruta

La definición de viruta corresponde a una lámina de madera cuyo largo es mayor que el ancho (ASTM, 1978). Las virutas empleadas en la elaboración de tableros aglomerados presentan, en condiciones ideales, una relación largo-ancho de 10:1. Las virutas con proporciones predeterminadas son elaboradas en equipos especializados, cuyo corte se efectúa especialmente en dirección del grano, similares a pequeñas piezas de chapas. Las dimensiones de las virutas empleadas para la fabricación de tableros OSB corresponden a un largo entre los valores de 30 a 150 mm; para el ancho, valores entre 5 a 50 mm y espesores entre 0.26 y 0.70 mm (Moeltner, 1981).

6.8 Tableros

Es un elemento largo, ancho y delgado obtenido de la madera por medio de un algún proceso industrial, a veces bastante complejo. Se utilizan para fines estructurales o decorativos, y se distinguen: los de madera contrachapada, los de fibra y los de partículas (V. 1996).

6.8.1 Tableros OSB (Oriented strand board)

La definición corresponde a un tablero de varias capas constituido por virutas de madera de forma y espesor establecido con la adición de un aglomerante. Las virutas de las capas exteriores están alineadas y dispuestas paralelamente a la longitud o anchura del aglomerado. Las propiedades mecánicas de los tableros OSB son similares a las obtenidas con los tableros contrachapados.

El tablero de hojuelas orientadas (Oriented Strand Board, OSB) es un producto derivado de la madera que se obtiene aplicando presión y calor a virutas de madera encoladas. Las virutas tienen forma y espesor variable y se alinean formando capas. Las exteriores están dispuestas en un sentido relativamente longitudinal del tablero y las interiores presentan una orientación perpendicular o longitudinal respecto de la capa exterior. Las virutas se suelen disponer en tres capas (C. 2020).

Los OSB, de acuerdo con sus características y especificaciones, se clasifican en cuatro grupos, reconocidos por sus fabricantes a nivel mundial;

- OSB/1 tableros para uso general y aplicaciones de interiores (incluyendo mobiliario).
- OSB/2 tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- OSB/3 tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- OSB/4 tableros estructurales de alta prestación para ambientes húmedos. (R. 2013).

6.8.2 Procesos de producción

El proceso de producción de tableros OSB lleva 7 pasos que son el viruteado, secado, encolado, manta, pre prensado, prensado, y acabado:

1) Viruteado

Existen básicamente tres tipos de máquinas viruteadoras: de anillo, de tambor y de disco, siendo el método de disco el más común. Actualmente las fábricas cuentan con dos máquinas viruteadoras: una produce virutas destinadas a las capas exteriores y otra, a las capas interiores del tablero. En la industria de los tableros estructurales OSB, existe la posibilidad de utilizar astillas normalizadas o maxi astillas (con longitudes mayores a 50 mm), producidas con viruteadoras de anillos.

2) Secado

El Secado rotatorio es el método más común en la industria del tablero OSB. Inmediatamente después se tamiza para eliminar partículas finas, pasando a continuación a los silos secos. Para lograr un correcto encolado y prensado, el contenido de humedad debe ser notablemente más bajo que el inicial, debiendo secarse el material de capa externa hasta un contenido de 4 humedad aproximado de 8% (5 a 10%) y las de capa media a un 4% (2 a 6%) en promedio.

3) Encolado

Existen diferentes sistemas para el encolado y mezclado, siendo el objetivo principal obtener una distribución pareja y uniforme de las resinas, ceras y otros posibles aditivos sobre las hojuelas. Todos los adhesivos empleados hasta ahora en la fabricación de tableros son termoendurecibles, cuando se calientan aumentan la viscosidad y finalmente se solidifican. En la actualidad las generalidades de las técnicas de encolado utilizan adhesivos líquidos (soluciones coloidales) con contenidos de 30 a 60 % de agua u otros solventes, permitiendo que las soluciones sean capaces de adaptarse a la superficie, introduciéndose en las fisuras, porosidades o accidentes de las partes a unir. En el caso que las virutas externas tengan un contenido de humedad bajo, durante el encolado se debe agregar agua para provocar un gradiente de humedad apropiado; también se debe tratar de agregar más catalizador en las capas medias y un retardante en las capas externas. Considerando esto, el factor promedio de encolado sería de 8%.

4) Formación de la manta

La formación de la manta de virutas en capas, es a través de la proyección sobre una cinta transportadora, con una orientación sensiblemente igual en cada capa. Para lograr esta alineación se utilizan tres tipos de formadoras: de banda peinadora, de rodillos de proyección o de orientación electrostática.

5) Pre-prensado

Es una de las etapas más importantes ya que determina la capacidad de producción de la planta, acorta el tiempo de prensado y evita que las virutas más finas se desplacen hacia abajo. Esta operación se efectúa a temperatura ambiente con presiones de 1.0 y 2.5 N/mm² en períodos de 6 a 20 segundos.

6) Prensado

El prensado en caliente tiene como objetivo densificar los materiales para llegar a las dimensiones finales del tablero, permitiendo el fraguado de la resina mediante transferencia de calor y remoción de la humedad. Este proceso se puede efectuar mediante prensas uní platos, multiplatos o continuas. El tiempo de fraguado ha tenido notables reducciones con técnicas de inyección de vapor a presión, dando mejores resultados para el caso de la urea formaldehído. Algunas veces el fraguado continúa aún después del prensado.

7) Acabado

El acabado es la última fase de la producción, donde se realiza el dimensionado del tablero a las medidas comerciales, el enfriado, apilado para alcanzar un contenido de humedad y temperatura ambiente y finalmente el lijado para mejorar la superficie. Si los tableros no son enfriados antes de apilar, por efecto de la temperatura puede producirse una hidrólisis que daña las uniones, reduciendo la calidad del producto. También se debe tener en cuenta que al lijar se elimina una porción superficial de las caras, extrayendo la parte menos densas de las caras superficiales incrementando la resistencia a la flexión.

6.9 Adhesión y adhesivos

6.9.1 Teoría de la adhesión

Toda materia está constituida por átomos y moléculas que están unidas entre sí por valencias o fuerzas de naturaleza eléctrica. El encolado se basa en este principio y utiliza estas fuerzas para crear una unión entre dos cuerpos sólidos. La tensión superficial representa un papel importante en los adhesivos, a mayor tensión menos superficie de pegado y viceversa. Luego del fraguado, habiéndose eliminado el medio portador de la resina, se tiene como resultado una unión tipo "dedos de cola" en la que se distinguen tres zonas: madera intacta, madera impregnada por el adhesivo y una línea de cola o película donde solo hayamos el adhesivo. En cuanto a las fuerzas desarrolladas y según los conceptos actuales de la teoría de la adhesión, se pueden distinguir entre adhesión específica y mecánica, de esta manera, la primera se refiere a las fuerzas eléctricas de atracción molecular entre el adhesivo y la superficie del adherendo cuando el adhesivo esta fraguado; y la segunda, corresponde a un anclaje mecánico del adhesivo en la madera, debido a la penetración. La disminución de la tensión superficial con reductores de la tensión superficial mejora la unión, hasta una cierta concentración óptima de tenso activo, seguramente por la fluidez y penetración excesiva, teniendo también buenos resultados aumentando la humectabilidad de los adhesivos.

6.9.2 Resinosidad

Resinosidad es el porcentaje de resina sólida por peso de viruta seca que contiene el tablero, sin embargo, dada la gran superficie específica de las virutas, la cantidad de adhesivo que queda sobre la superficie es relativamente pequeña. Todas las propiedades del tablero mejoran proporcionalmente al aumentar el contenido de resinas, especialmente la adherencia interna, pero esto con lleva a elevar los costos de producción.

6.9.3 Adhesivos

Un adhesivo es una sustancia que se usa para unir dos piezas entre sí, generalmente son solubles en agua, en forma coloide, y producen soluciones viscosas en la actualidad los adhesivos usados en la industria de la madera se circunscriben fundamentalmente a 4

grandes áreas: unión de piezas, producción de contrachapados, enchapados y producción de tableros aglomerados. Todos los adhesivos empleados actualmente en la fabricación de tableros son termo-endurecibles, cuando se calientan aumentan su viscosidad y finalmente se solidifican. Prácticamente todos los adhesivos de madera son dispersiones de sustancias poliméricas macromoleculares en agua, así también, cuando la dispersión de un polímero se pone en contacto con la superficie de madera o de la celulosa, se forma un enlace entre los grupos reactivos del polímero y de la madera o celulosa.

6.9.4 Adhesivo a base de urea formaldehido

La urea y el formaldehido son los insumos más importantes para la fabricación de resinas y plásticos amínicos. La urea, también llamada carbamida, por ser la amida del ácido carbónico, se puede preparar por reacción del amoníaco con el fosgeno:



Otra forma de producir urea es con el efecto, Wöhler donde es una isomerización tautomérica donde se transforma en urea por un cambio químico de reagrupamiento interno, en el cual no cambia el número ni la clase de átomos en la molécula, sino su ordenamiento dentro de la misma, partiendo del cianato de amonio. El primer paso de la reacción es la hidrólisis, puesto que están presentes el amoníaco y ácido cianúrico:



Siendo está la fórmula clásica de la urea (Kirk, 1961 b). También resina urea formaldehido, se forma por poli condensación de la urea obtenida por síntesis del nitrógeno atmosférico con formaldehido (N. 2000).

El formaldehido se forma por oxidación de metanol; también se obtiene por oxidación de hidrocarburos, por lo general se usa la solución acuosa comercial de formaldehido, que contiene 37% en peso del aldehído y se conoce con los nombres de formol y formalina. La

acidez y el contenido de metanol del formol comercial influyen notablemente en las resinas de urea. El formol suele ser muy ácido, acidez que se neutraliza hasta obtener el pH conveniente a la forma de la resina (K. 1961 b). La reacción entre urea y formaldehído para producir el adhesivo es bastante compleja. Los factores más importantes en esta reacción son; la proporción molar entre urea y formaldehído, la temperatura a la que se lleva la reacción, y los valores de pH a los cuales se lleva el proceso, los cuales influyen en el incremento del peso molecular de la resina y las características; así mismo, las características de los productos de la reacción difieren considerablemente cuando disminuye o aumentan los estados de condensación, entre estas características (D. 1983).

6 Estado del arte

El bambú visto como elemento estructural ha tenido un incremento en su demanda tanto en la producción de este, como las técnicas asociadas al mismo, tal como deja ver el estudio de Sharma, donde se plantean técnicas y usos estructurales de este tipo de recurso maderero (Sharma, B., & van der Vegte, A. 2020), adaptándolo a las necesidades actuales. Los paneles OSB han sido sujeto de estudio pues presentan propiedades físico-mecánicas apropiadas para utilizarlos como aislantes estructurales tal como lo presentan los estudios de paneles térmicos (Phillips et al., 2021).

La utilización de virutas de bambú también ha sido estudiada recientemente pues el crecimiento de la planta permite tener acceso a una fuente de materia prima constante y sustentable (Manandhar et al., 2019), los procesos de optimización respecto a las variables de fabricación reportados en el 2016 permiten observar su posible aplicación a gran escala (Hamzaçebi, 2016). La utilización de paneles de OSB basados en bambú también ha sido reportada como alternativa ecológica, al ser el bambú un material menos contaminante durante su producción (Ramatia et al., 2021).

La compresión como variable estructural en paneles de bambú ha sido reportada por Maulana como un elemento que aumenta el radio de las propiedades físico-mecánicas (Maulana et al.,

2020), de igual forma Sun, presenta los paneles como elementos de madera compuesta, con parámetros adecuados para su utilización en construcción (Sun et al., 2021), el desempeño mecánico de estructuras basadas en bambú se encuentra reportado por Tan, donde se incluye un análisis numérico de los datos recabados, presentando valores máximos para este tipo de materiales (Tan et al., 2020), además del estudio conducido por Chen, que determina un comportamiento elástico lineal para elementos estructurales elaborados con bambú, además concluye que dichos materiales igualan o superan a sus análogos de madera convencional (Chen et al., 2019), un estudio realizado en 2019 por Maulana y colaboradores presenta una serie de pruebas destructivas y no destructivas a tableros de virutas de bambú orientadas determinando relaciones apropiadas de aditivos y resinas (Maulana et al., 2019).

Además de los estudios sobre los tableros, existen reportes de estructuras secundarias de los mismos como el artículo de revisión respecto a juntas específicas para tableros de virutas de bambú orientadas (Hong et al., 2020).

7 Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta)

General

Evaluar el desempeño de las propiedades físicomecánicas de tableros de virutas orientadas OSB fabricados a partir de desechos de laminado de bambú (*Dendrocalamus asper*) cultivado en Guatemala.

Específicos

1. Evaluar el efecto de la formulación de materiales finos en 10, 20 y 30 por ciento, sobre las propiedades físicomecánicas de tableros de virutas orientadas de desechos de laminado de bambú.
2. Evaluar el efecto del grosor sobre las propiedades físicomecánicas de tableros de virutas orientadas de desechos de laminado de bambú de $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada.

3. Evaluar el efecto del pegamento utilizado, cola blanca y de secado rápido sobre las propiedades físico-mecánicas de tableros de virutas orientadas de desechos de laminado de bambú.
4. Analizar el efecto de la variación de la formulación del pegamento sobre las propiedades físico-mecánicas de tableros de virutas orientadas de desechos de laminado de bambú.
5. Comparar los valores de las propiedades físico-mecánicas de todos los tableros de virutas orientadas fabricados, con 3 diferentes tableros de virutas orientadas comerciales.

8 Hipótesis (si aplica)

Hipótesis conceptual

Se espera que por lo menos uno de los tableros laminados de virutas orientadas OSB fabricados a partir de desechos de laminado de bambú, sea mejor en sus propiedades físico-mecánicas que los tableros de virutas orientadas comerciales.

Hipótesis nula

No existe diferencia significativa sobre las propiedades físico-mecánicas de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú al variar el tipo de pegamento utilizado cola blanca y de secado rápido.

No existe diferencia significativa sobre las propiedades físico-mecánicas de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú al variar la formulación de materiales finos en 10, 20 y 30.

No existe diferencia significativa sobre propiedades físico-mecánicas de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú al variar las formulaciones del pegamento.

No existe diferencia significativa sobre propiedades físico-mecánicas de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú al variar el grosor de los tableros laminados en $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada.

No existe diferencia significativa sobre propiedades físicomecánicas de los tableros OSB fabricados con respecto a los tableros OSB comerciales.

Alterna

Existe diferencia significativa sobre las propiedades físicomecánicas de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú al variar el tipo de pegamento utilizado cola blanca y de secado rápido.

Existe diferencia significativa sobre las propiedades físicomecánicas de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú al variar la formulación de materiales finos en 10, 20 y 30

Existe diferencia significativa sobre propiedades físicomecánicas de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú al variar las formulaciones del pegamento.

Existe diferencia significativa sobre propiedades físicomecánicas de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú al variar el grosor de los tableros laminados en $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada

Existe diferencia significativa sobre propiedades físicomecánicas de los tableros OSB fabricados con respecto a los tableros OSB comerciales.

Hipótesis estadísticas

Al menos uno de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú, presenta una varianza significativa respecto a los tableros comerciales en el contenido de humedad.

Al menos uno de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú, presenta una varianza significativa respecto a los tableros comerciales en la contracción volumétrica.

Al menos uno de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú, presenta una varianza significativa respecto a los tableros comerciales en la carga estática concentrada.

Al menos uno de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú, presenta una varianza significativa respecto a los tableros comerciales en la absorción de agua.

Al menos uno de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú, presenta una varianza significativa respecto a los tableros comerciales en la flexión.

Al menos uno de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú, presenta una varianza significativa respecto a los tableros comerciales en la dureza.

Al menos uno de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú, presenta una varianza significativa respecto a los tableros comerciales en la densidad.

Al menos uno de los tableros OSB fabricados con desechos de laminado de bambú, presenta una varianza significativa respecto a los tableros comerciales en la extracción directa del calvo.

9 Materiales y métodos

A continuación, se describen los materiales y métodos que se utilizaron en la presente investigación.

10.1 Enfoque y tipo de investigación

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo. Recolección y el análisis de datos para responder preguntas de investigación y probar las hipótesis establecidas.

La presente investigación es del tipo investigación aplicada. Aplicación directa a los problemas de la sociedad y el sector productivo.

10.2 Método:

Se analizó una especie de bambú (*Dendrocalamus asper*), debido a las ventajas que proporciona esta especie, es una de las más comercializadas en nuestro país, es ideal para hacer nuevos proyectos, tales como artículos laminados, arte de engomar, revestimiento. La especie de bambú utilizada proporciona mayor conveniencia en la obtención de latillas para el laminado debido a su morfología y tamaño. Los adhesivos que se utilizaron son los más comerciales y económicamente accesibles: adhesivo para maderas (cola blanca) y adhesivo industrial. La fase experimental del proyecto se llevó a cabo en el Laboratorio Multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Se realizó un experimento con un arreglo multifactorial de cuatro factores: formulación de finos, tipo de pegamento, grosor del tablero y formulación del pegamento. Para el factor formulación de finos se evaluaron tres formulaciones para materiales finos: 10, 20 y 30 por ciento. Para el factor tipo de pegamento se analizó dos niveles: pegamento de secado rápido y adhesivo para maderas (cola blanca). Para el factor grosor se evaluaron tres grosores: $3/8$, $1/2$ y $3/4$ de pulgada. Para el factor formulación del pegamento se analizaron tres niveles: 5, 20 y 35 por ciento. Se realizaron cinco repeticiones lo cual proporcionó un experimento con doscientas setenta unidades experimentales.

10.3 Recolección de información

El diseño experimental estuvo conformado por 4 factores: formulación de finos, tipo de pegamento, grosor del tablero y formulación del pegamento. Para el factor formulación de finos se evaluaron tres formulaciones para materiales finos: 10, 20 y 30 por ciento. Para el factor tipo de pegamento se analizaron dos niveles: pegamento de secado rápido y adhesivo para maderas (cola blanca). Para el factor grosor se evaluaron tres grosores: $3/8$, $1/2$ y $3/4$ de pulgada. Para el factor formulación del pegamento se analizaron tres niveles: 5, 20 y 35 por ciento, dando un total de 270 unidades experimentales. Cada tratamiento se repitió 5 veces.

Se fabricó tableros de virutas orientadas de desechos de laminado de bambú de dimensiones de 1 pie cuadrado, de los cuales se elaboraron las probetas correspondientes para realizar los ensayos. De los tableros fabricados se determinaron las propiedades físico mecánicas: porcentaje de humedad, densidad, contracción volumétrica, porcentaje de absorción, resistencia a la flexión, dureza Janka, aislamiento térmico, resistencia térmica, auto ignición, carga estática concentrada y extracción directa del clavo.

Se obtuvo las propiedades físicas y mecánicas de tableros OSB comerciales y se compararon con los tableros de virutas orientadas de desechos de laminado de bambú fabricados y se determinó si compiten con los tableros comerciales.

Se utilizó para la realización de los ensayos las normas ASTM siguientes

Norma	Ensayo
ASTM D2395	Densidad
ASTM D143-94	Contenido de humedad
ASTM D1761	Extracción directa del clavo
ASTM D 198	Flexión
ASTM E661-03	Carga estática concentrada
ASTM D 5516	Auto ignición
ASTM D 1037	Absorción, dureza y contracción volumétrica

Resistencia térmica, aislamiento térmico, se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos por el laboratorio de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

10.4 Técnicas e instrumentos:

Se obtuvo el bambú (*Dendrocalamus asper*) cultivado en el sur de Guatemala y se hizo una caracterización inicial de sus propiedades: contenido de humedad, contenido de lignina, contenido de celulosa y extraíbles. Los culmos fueron sometidos a latillado en el laboratorio multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Para el dimensionamiento de las latillas, éstas fueron cortadas para poder utilizar el desecho del corte del laminado de bambú. Esta materia prima se acondicionó y posteriormente se fabricó los tableros de 1 pie cuadrado. El acondicionamiento de la materia prima consistió en el picado del desecho de laminado para obtener las virutas. Se mezcló con el adhesivo y se colocó en la prensa hidráulica, a una presión constante de 10 toneladas.

Posteriormente en el intervalo de 25 minutos, en el que se da el curado del pegamento, se separó el tablero. El tablero fabricado se introdujo en una cepilladora para ajustar el grosor del tablero. Se realizó un experimento con un arreglo de cuatro factores: formulación de

finos, tipo de pegamento, grosor del tablero y formulación del pegamento. Se realizaron cinco repeticiones lo cual proporcionó un experimento con doscientas setenta unidades experimentales. De cada tablero obtenido se obtuvieron probetas las cuales fueron ensayadas en el laboratorio multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera y se determinaron las propiedades físicomecánicas: porcentaje de humedad, densidad, contracción volumétrica, porcentaje de absorción, resistencia a la flexión, dureza Janka, y extracción directa del clavo.

10.5 Procesamiento y análisis de la información

Para la obtención de los datos se utilizó una medición directa. En la toma de datos se utilizó balanzas para medir masas, balanzas de humedad, vernier electrónico digital, termómetros y cintas métricas. Se realizó cálculos y gráficas utilizando software de hojas de cálculo Microsoft Excel y lenguaje de programación en R.

Para la evaluación estadística se estructuró una base de datos, con las siguientes variables:

- o Formulación.
- o Diámetro de partícula.
- o Humedad: valor obtenido en el ensayo de humedad.
- o Densidad: valor obtenido en el ensayo de densidad.
- o Flexión: valor obtenido en el ensayo de flexión.
- o Dureza: valor obtenido en el ensayo de dureza.
- o Contracción: valor obtenido en el ensayo de contracción.
- o Absorción: valor obtenido en el ensayo de absorción.
- o Extracción directa del clavo: valor obtenido en el ensayo de extracción directa del clavo.

Se realizó el cálculo de la media aritmética y desviación estándar.

Se trasladó los datos a una hoja de cálculo, en la cual se generaron las gráficas.

Se realizó un análisis A nova para comparar las variables de los tableros de virutas orientadas de desechos de laminado de bambú fabricados para luego compararlos con los tableros comerciales.

10 Resultados y discusión

11.1 Resultados

Se presenta la caracterización de la materia prima utilizada en la fabricación de los tableros de virutas orientadas de bambú.

Bambú: residuos del proceso de laminado

Especie: *Dendrocalamus asper*

Edad: 5 años

Humedad: 12 %

Diámetro de fibras: finas pasado tamiz 10, virutas entre 0.1 a 5 milímetros de ancho, largo de 3 a 200 milímetros

Tabla. 2 Caracterización de pegamentos

Propiedad física	Pegamento C	Pegamento D
Sólidos por Volumen (%)	37 ±1	38 ±1
Sólidos por peso (%)	40 ±1	41 ±1
Peso por galón (kg/gal)	3.8 ±0.2	3.9 ±0.2
Viscosidad Brookfield (cPs)	1.01 ±3	1.04 ±3
Humedad máxima de la madera (%)	15 %	15 %

A continuación, se presentan la descripción de los códigos utilizados en las gráficas de todos los tableros fabricados, así como de los tableros comerciales.

Tabla. 3 Códigos de tableros

Código	Descripción
OSB ¾	tablero de virutas orientadas comercial con un grosor de 3/8
OSB1/2	tablero de virutas orientadas comercial con un grosor de 1/2
OSB3/4	tablero de virutas orientadas comercial con un grosor de 3/4
1C1	Tableros de virutas orientadas de bambú con un grosor de 3/8, con fibras de bambú provenientes solo de la cepilladora fabricado con 40 por ciento en peso de pegamento C
1C2	Tableros de virutas orientadas de bambú con un grosor de 3/8, con fibras de bambú provenientes solo de la cepilladora fabricado con 45 por ciento en peso de pegamento C
1C3	Tableros de virutas orientadas de bambú con un grosor de 3/8, con fibras de bambú provenientes solo de la cepilladora fabricado con 50 por ciento en peso de pegamento C

A continuación, en este apartado se presentan los resultados de las pruebas físico mecánicas realizadas a tableros fabricados con virutas orientadas provenientes de la actividad agro industrial del laminado de bambú y tableros de virutas orientadas que se encuentran disponibles en el mercado para su comparación. Se muestran en las gráficas los valores del porcentaje de absorción de los tableros comerciales y tableros fabricados con virutas orientadas, los tableros están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 5) es con cola blanca comercial y (Figura 6) es la del pegamento de secado rápido.

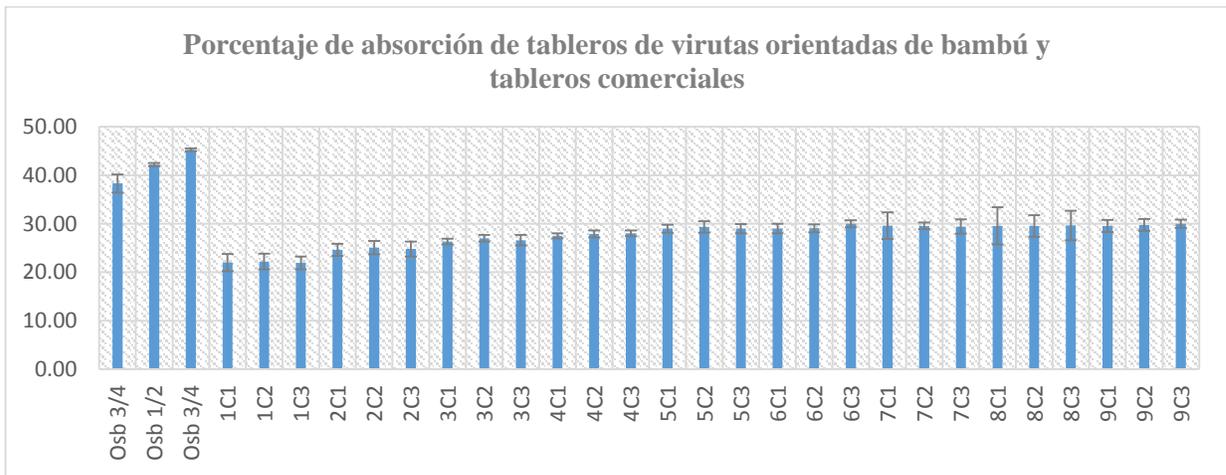


Figura 3 Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C

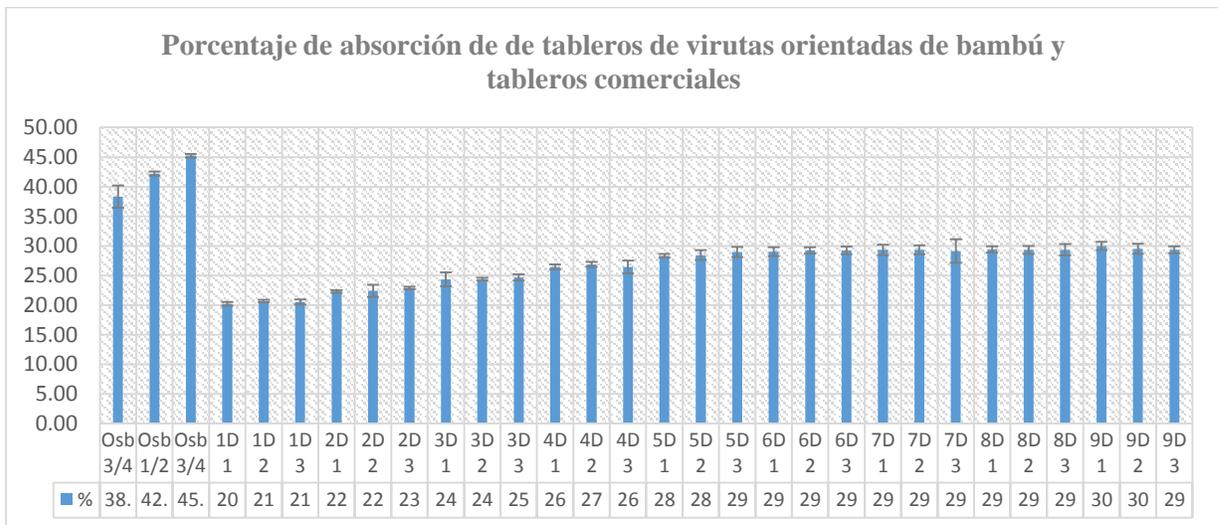


Figura 4 Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D

A continuación, se observan graficados los valores de la Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y tableros fabricados con virutas orientadas de bambú, los tableros están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 5) es con cola blanca comercial y (Figura 6) pegamento de secado rápido.

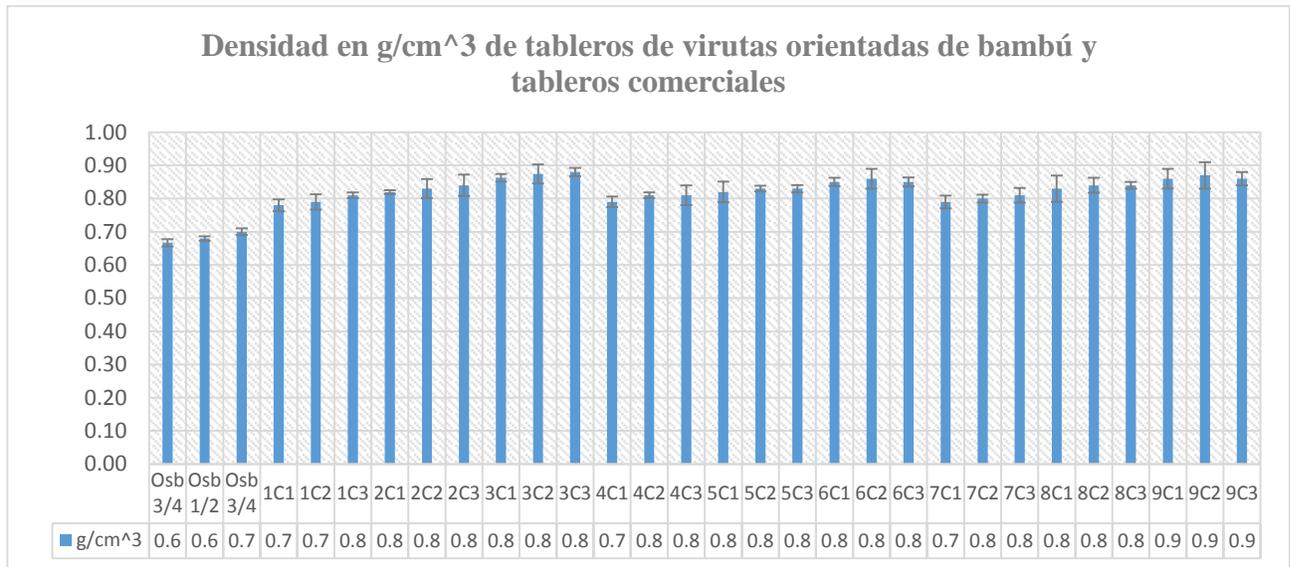


Figura 5 Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C

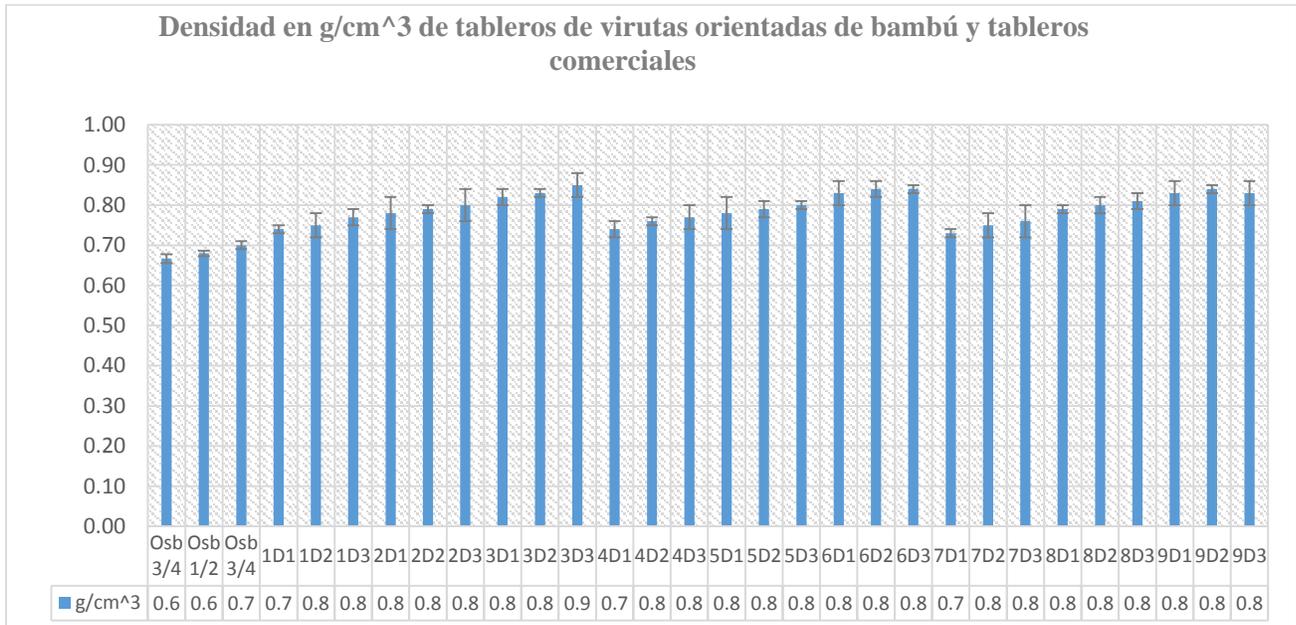


Figura 6 Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Humedad de los tableros comerciales y tableros fabricados con virutas orientadas de bambú, los tableros están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 5) es con cola blanca comercial y (Figura 6) pegamento de secado rápido.

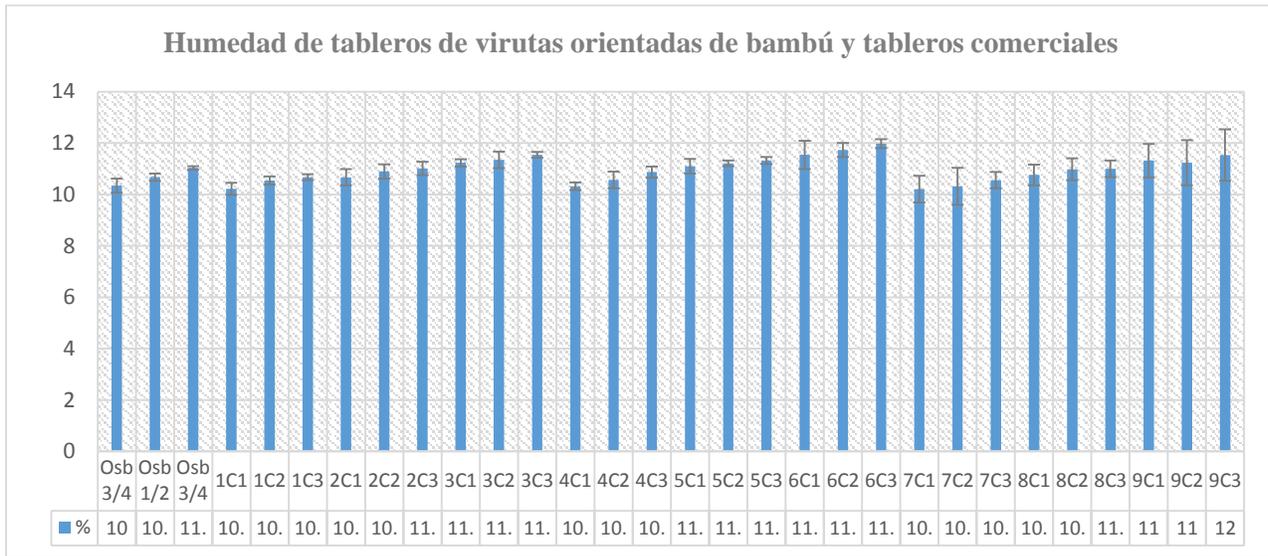


Figura 7 *Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C*

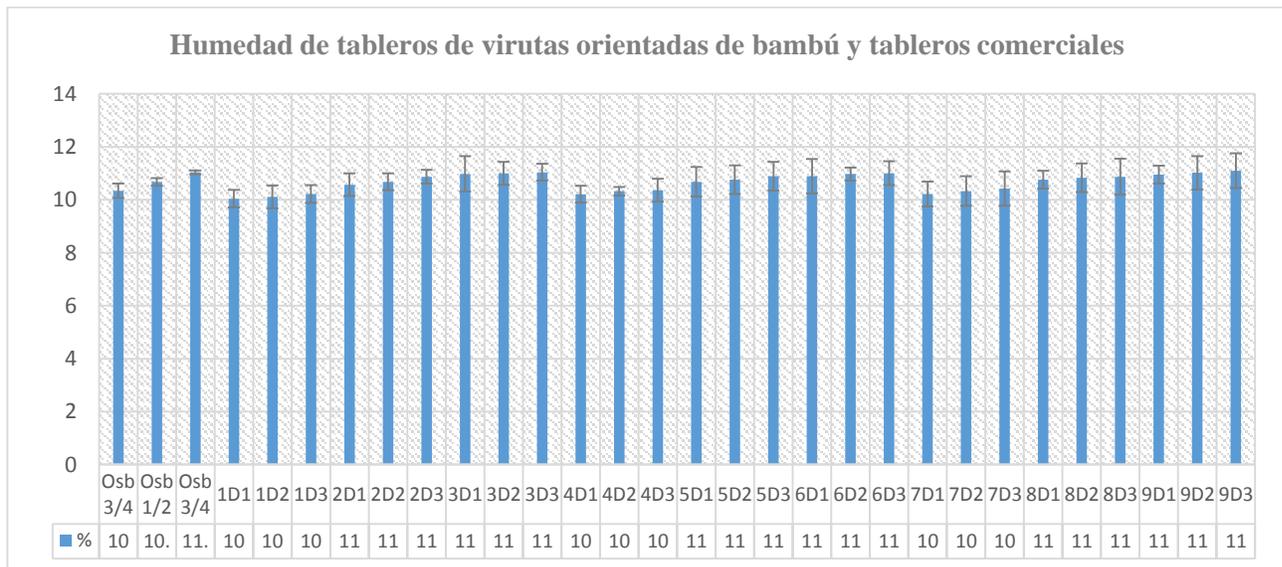


Figura 8 *Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y tableros fabricados con virutas orientadas de bambú, los tableros están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 5) es con cola blanca comercial y (Figura 6) pegamento de secado rápido.

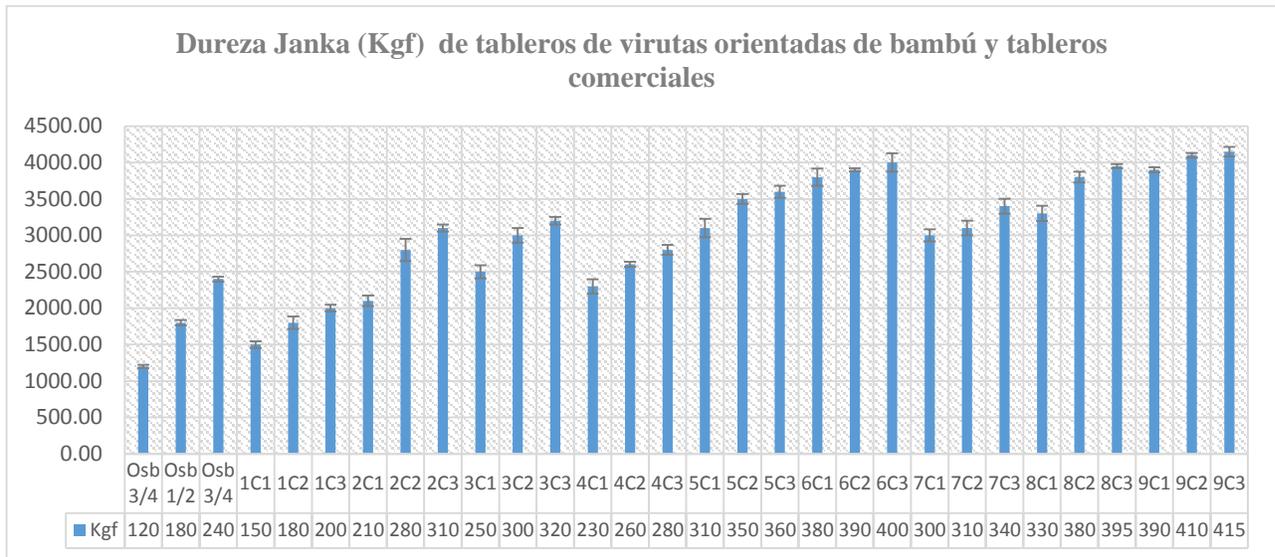


Figura 9 Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C

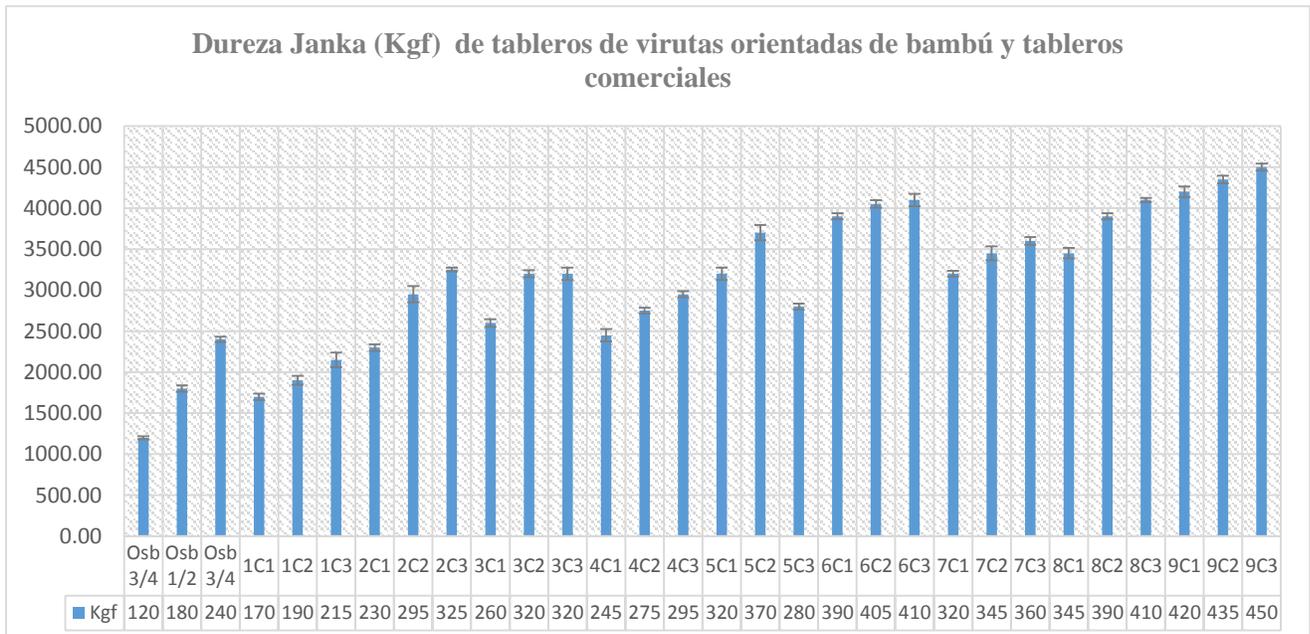


Figura 10 Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D

A continuación, se muestran en las gráficas los valores del Módulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y tableros fabricados con virutas orientadas de bambú, los tableros están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 5) es con cola blanca comercial y (Figura 6) pegamento de secado rápido.

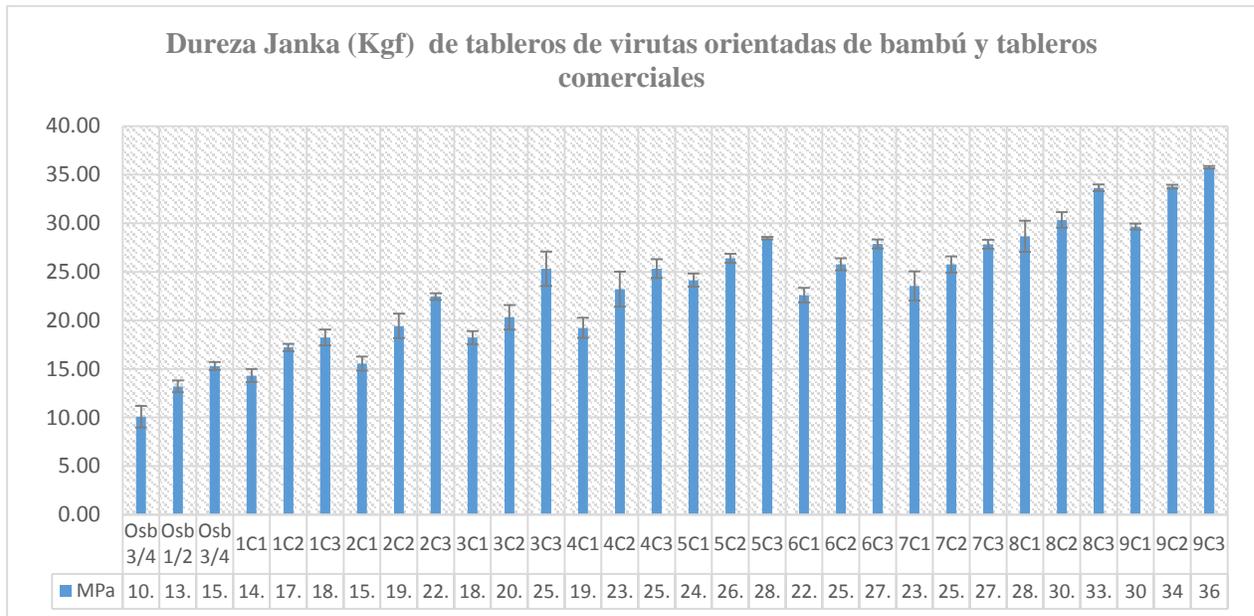


Figura 11 *Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C*

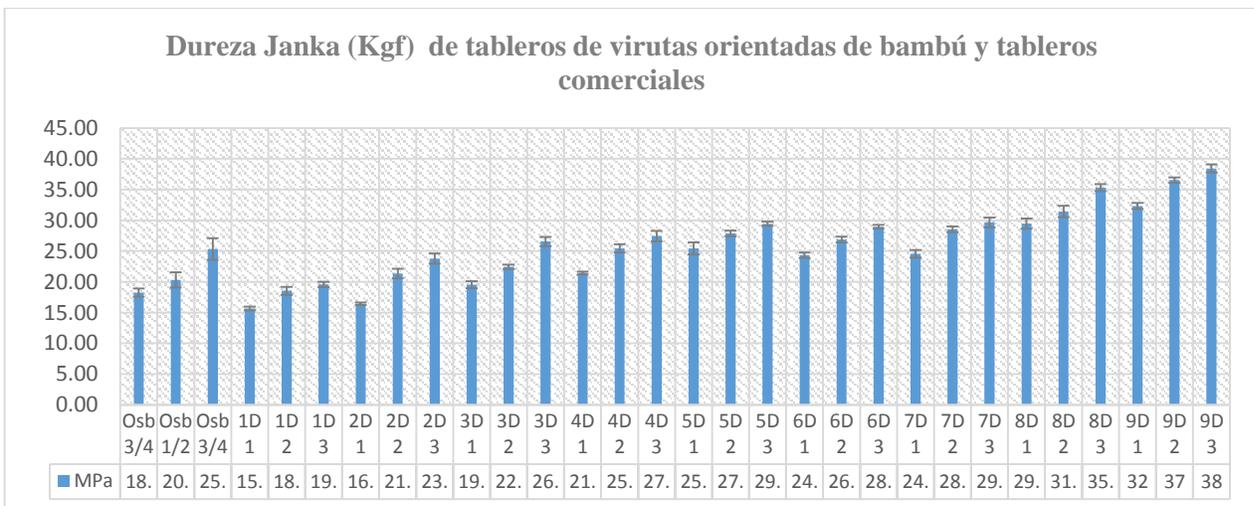


Figura 12 *Módulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores del Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y tableros fabricados con virutas orientadas de bambú, los tableros están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 5) es con cola blanca comercial y (Figura 6) pegamento de secado rápido.

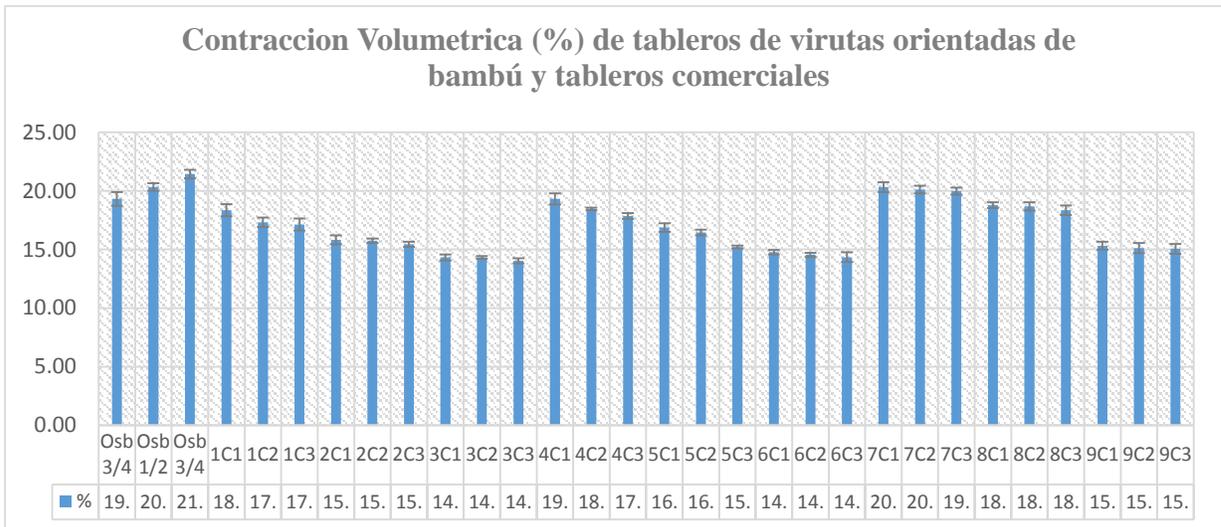


Figura 13 *Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento*
C

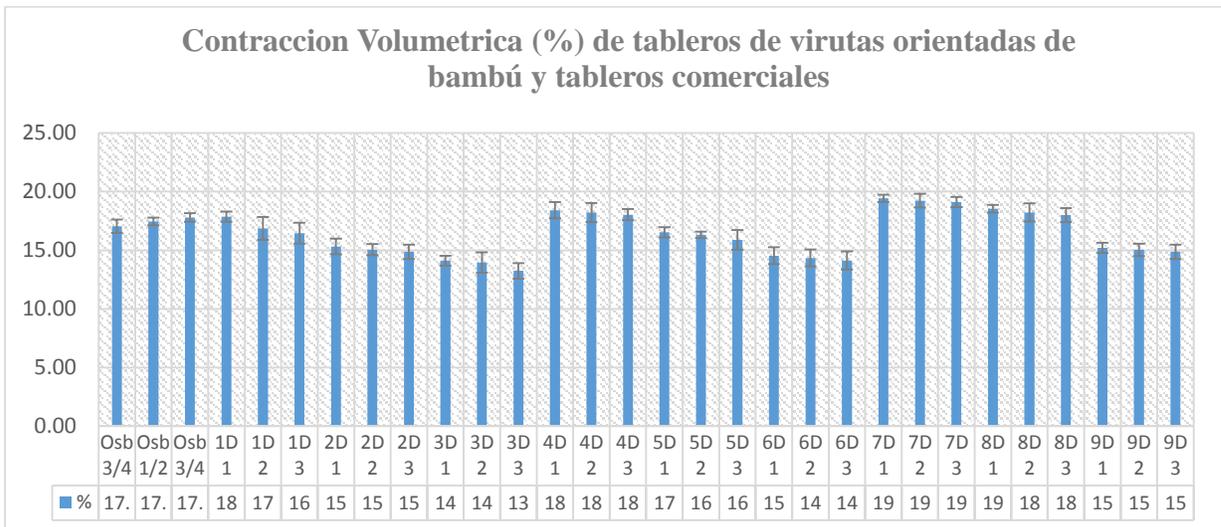


Figura 14 *Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento*
D

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la fuerza requerida para extraer un clavo de 2x24 milímetros, de los tableros comerciales y tableros fabricados con virutas orientadas de bambú, los tableros están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 5) es con cola blanca comercial y (Figura 6) pegamento de secado rápido.

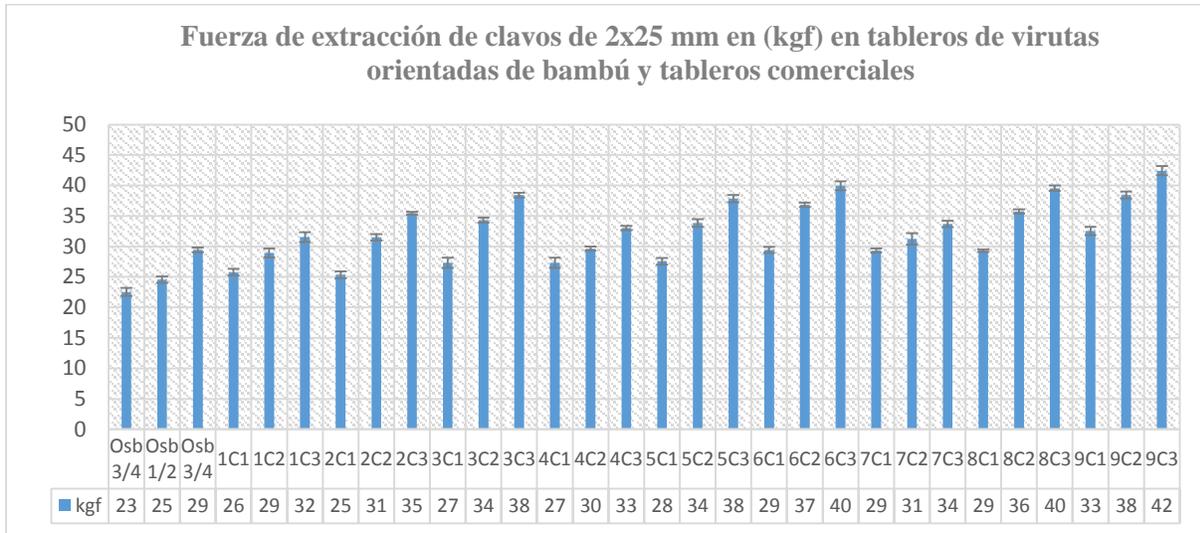


Figura 15 *Fuerza necesaria para la extracción de clavos (kgf) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento C*

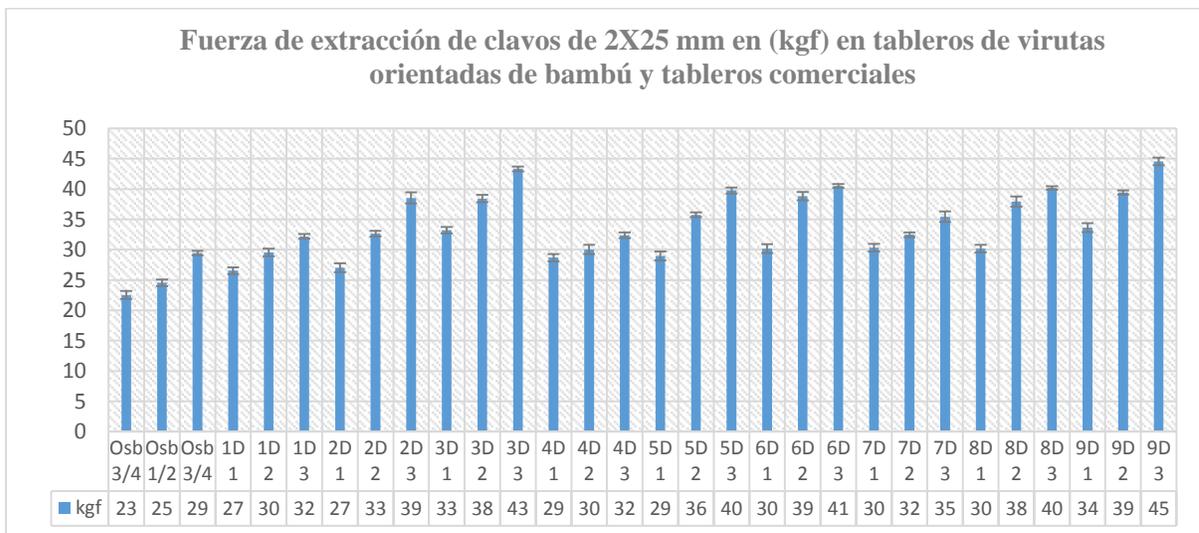


Figura 16 *Fuerza necesaria para la extracción de clavos (kgf) de los tableros comerciales y tableros de virutas orientadas de bambú con diferentes formulaciones de pegamento, fibras y grosores con pegamento D*

A continuación, se presentan los resultados del análisis a nova de las pruebas realizadas a los tableros fabricados con virutas de bambú

Tabla. 4 Análisis de varianza, analizando el efecto del tipo de pegamento en todas las propiedades físico-mecánicas

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	38925.4036	1	38925.4036	8.937459	0.00323251	3.899867
Columnas	479833498	161	2980332.29	684.29856	4.212E-182	1.29697223
Error	701204.892	161	4355.30989			
Total	480573628	323				

Tabla. 5 Análisis de varianza, analizando el efecto del grosor en todas las propiedades físico-mecánicas

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	2064997	2	1032498.5	19.1414634	1.8413E-08	3.03191842
Columnas	478400693	125	3827205.54	70.952466	1.436E-146	1.28313641
Error	13485104	250	53940.4161			
Total	493950794	377				

Tabla. 6 Análisis de varianza, analizando el efecto del porcentaje de finos en los tableros en todas las propiedades físico-mecánicas

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	1630276.26	2	815138.128	18.5527649	3.0712E-08	3.03191842
Columnas	481336493	125	3850691.94	87.642793	1.292E-157	1.28313641
Error	10984051.9	250	43936.2075			
Total	493950821	377				

Tabla. 7 Análisis de varianza, analizando el efecto de la formulación de pegamentos en los tableros en todas las propiedades físico-mecánicas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	1243533.6	2	621766.799	29.3393705	3.5823E-12	3.03191842
Columnas	828763620	125	6630108.96	312.855598	2.191E-225	1.28313641
Error	5298058.44	250	21192.2338			
Total	835305212	377				

11.2 Discusión de resultados

El bambú es una planta gramínea no siendo un árbol lo que hace un material forestal no maderable (Deras, 2005). al realizar el proceso de laminado de bambú lo podemos transformar para que pueda ser un sustituto de la madera tanto para tableros como para otros usos maderables y debido a este proceso se crean residuos en el laminado los cuales pueden ser entre un 10 y 15 por ciento de la masa del laminado, una forma de utilizarlo estos residuos es los aglomerados entre ellos los tableros de virutas orientadas, estos tableros pueden sustituir en el mercado a los producidos por productos de madera, reduciendo sus uso, y al tener valores en sus propiedades físico mecánicas iguales y mayores a los comerciales pueden competir y sustituirlos por completo .

Para la fabricación de los tableros se utilizó varas de bambú de la especie *Dendrocalamus asper* de 4 y 5 años de edad de diámetros de 6 pulgadas y con un largo de 5 metros, con espesores de pared entre 8 y 12 milímetros de grosor, el proceso de laminado comenzó con el corte de trozos de 2 pies de largo, seguidamente se cortaron en latillas perpendiculares con un ancho de una pulgada y un cuarto para que cuando se cepillaran quedaran con un grosor máximo de 1 pulgada.

Se fabricó tableros de virutas orientadas por medio de una prensa hidráulica a presión constante de 10 toneladas y se utilizó los residuos del laminado de bambú, estos residuos se clasificaron en dos: los provenientes de la cepilladora, siendo éstos los que se usaron en mayor proporción y los de la

sierra, éstos son de diámetros pequeños como polvo. Para la elaboración de los tableros se utilizó las formulaciones descritas en la tabla No.3

La fabricación inició con la selección de las fibras naturales de bambú, para los primeros tableros se utilizó la fibra sin ninguna mezcla de finos, utilizando el residuo proveniente de la cepilladora, la segunda mezcla consistió en una formulación de 90 por ciento en peso del residuo de la cepilladora y 10 por ciento de la sierra, la tercera mezcla consistió en 80 por ciento de la cepilladora y 20 por ciento de la sierra, esto debido a que son dos tipos diferentes de residuos.

Luego de realizar las mezclas de fibras se procedió a realizar mezclas con los diferentes pegamentos a analizar con diferentes formulaciones de pegamento teniendo un total de 3 mezclas de pegamento las cuales fueron de 40, 45 y 50 por ciento en peso de la mezcla total.

Otra variable que se utilizó en la fabricación de los tableros fue el grosor de ellos teniendo los 3 grosores comerciales de tableros de virutas orientadas que están disponibles en el mercado nacional, estos grosores son de $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgadas, para lograr el grosor deseado se realizó diferentes pruebas manteniendo la presión constante, se determinó que para la fabricación de tableros de virutas orientadas de bambú y grosor de $\frac{3}{8}$ de pulgada se utilizó una masa de 1.5 libras de fibras totales, para la fabricación de los tableros de virutas orientadas de bambú y grosor de $\frac{1}{2}$ de pulgada se utilizó una masa de 2.5 libras de fibras totales y para la fabricación de los tableros de virutas orientadas de bambú y grosor de $\frac{3}{4}$ de pulgada se utilizó una masa de 3 libras de fibras totales.

Se utilizó dos pegamentos que se encuentran en el mercado con una característica especial, el primero es una cola de madera simple y la segunda es de secado rápido con un contenido mayor de sólidos de secado rápido.

Para cumplir con las hipótesis planteadas se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de los tableros, estas propiedades fueron absorción, densidad, humedad, dureza, módulo de ruptura, contracción volumétrica, fuerza de extracción de clavos. Estas pruebas se realizaron a los 54 tableros elaborados con dimensiones de 1 pie de largo y 1 pie de ancho con los grosores estipulados

comercialmente, se evaluó 3 tableros comerciales con los mismos grosores para comparar los resultados de las pruebas.

La primera prueba que se realizó a todos los tableros fue la absorción que mide el contenido de agua que pueden absorber los tableros, esta prueba nos indica que porcentaje absorbe y nos da cuanto puede pesar saturado un tablero, estos valores se encuentran en las figuras número 3 y 4 se presentan los porcentajes de absorción en 24 horas en agua agrupados por cada variable de fabricación y se observa que los tableros comerciales tienen un porcentaje de absorción mayor que los fabricados con virutas orientadas de bambú.

Al analizar los valores de los tableros fabricados se observa que al aumentar el contenido de fibras finas el contenido aumentó esto debido a que como las fibras son pequeñas se tiene una mayor área superficial del material lo que hace que este tiende a absorber, al aumentar en la formulación de pegamento tenemos una tendencia de disminución en el contenido de agua que absorbe esto es porque al tener más pegamento las fibras están más unidas lo que representa una barrera para que el agua entre al interior de tablero, al aumentar el grosor se incrementa también el contenido de fibras por lo que tiende a aumentar el porcentaje de absorción de los tableros fabricados teniendo los valores más altos de absorción en los tableros de $\frac{3}{4}$ de pulgada y con porcentaje de fibras finas de 20 por ciento alcanzado un valor promedio de 30% .

Al analizar los valores entre pegamentos se observa que el pegamento C tiene los valores más altos de absorción comparado con el pegamento D esto debido a que el pegamento D tiene más contenidos de sólidos y una viscosidad mayor tiende a ser más adhesivo entre las fibras de bambú logrando que los tableros fabricados con este pegamento tengan las fibras más unidas y evitando que absorba más agua.

Los tableros de virutas orientadas comerciales son los que presentan valores más altos en absorción de agua teniendo el valor más alto en los tableros de $\frac{3}{4}$ de pulgada de grosor

Se observa que la densidad al compararla con los tableros comerciales (figura número 5 y 6) presenta valores menores para todos los tableros de virutas orientadas de bambú, al comprarlos entre si se observa que al aumentar el contenido de pegamento y el contenido de finos la densidad aumenta debido a que al tener más pegamento las fibras están más pegadas entre si lo que tiende a disminuir su volumen y teniendo una misma cantidad de masa la densidad tiende a aumentar, al aumentar el contenido de finos se reduce el volumen de las fibras de bambú teniendo un aumento directo en la densidad, teniendo valores más altos de la densidad en los tableros con mayor grosor de $\frac{3}{4}$ de pulgada y una densidad de 0.87 gramos por centímetro cubico.

Al comparar los valores de la densidad de tableros de virutas orientadas de bambú teniendo las variables de grosor, porcentaje de fibras y porcentaje de pegamento y variando el tipo de pegamento entre C y D. se observa que la densidad aumenta al utilizar el pegamento D, debido a que este pegamento tiene un contenido más alto de sólidos y una mayor viscosidad lo que hace que tenga una mejor afinidad a las fibras de bambú logrando una mejor adherencia entre las fibras mejorando así su densidad.

Se observa que el comportamiento de la humedad en los tableros OSB (figura número 7 y 8) se mantiene bastante constante aumentando solo por el grosor, debido al aumento de la cantidad de fibra lo que hace que tenga una mayor absorción de la humedad del ambiente, el bambú tiende a llegar a la humedad de equilibrio lo que hace que con el tiempo no importe la formulación ni el grosor llegan a la humedad de equilibrio, teniendo el valor más alto los tableros fabricados con grosores de $\frac{3}{4}$ y mayor porcentaje de finos debido a que poseen más área superficial.

Al analizar los valores de humedad variando el pegamento vemos que tenemos solo una diferencia en algunos tableros con mayor contenido de fibras debido a que el pegamento D tiene una menor afinidad con las fibras de bambú haciendo que el tablero tenga las fibras más unidas creando una pared tanto para que el agua entre como para que salga.

Otra prueba físico mecánica realizada a los tableros fue la dureza Janka que es una escala utilizada para medir la dureza de las maderas, y consiste en la fuerza que se necesita para incrustar una pelota

de 0,444 pulgadas de acero a la mitad de su diámetro dentro de la madera. Norma Astm D 143 y es utilizada como un estándar en la industria para comparar diferentes maderas y su resistencia al uso cotidiano, en esta prueba deja una huella en la madera ensayada, fue desarrollado por un dendrólogo austriaco, Gabriel Janka (1864-1932).

Los valores de esta prueba se presentan en la figura número 9 y 10. De los tableros comerciales de control y los fabricados, al aumentar el grosor aumenta la dureza debido a que tenemos más material que ofrece resistencia a la penetración de la esfera logrando valores más altos de dureza pero al aumentar también se observa que llegamos a un valor constante de dureza teniendo un valor máximo de 4140 Kgf por lo que sería lo máximo que este material puede llegar a soportar, al analizar los datos entre formulaciones de finos tiende a aumentar debido que los finos proporcionan un amarre, llenando los espacios vacíos entre las virutas dándole mayor rigidez al material, lo mismo sucede al aumentar la cantidad de pegamento tenemos un aumento en la resistencia debido a que las fibras están más unidas entre sí formando un material más duro.

Al observar los valores manteniendo fijo el grosor, la formulación de finos y pegamento y solo variar el tipo de pegamento entre C y D se observa que el pegamento que tiene una mayor afinidad es el D que presenta valores mejores para cada uno de los tableros.

El módulo de ruptura consiste en aplicar cargas crecientes en el centro de la probeta de madera sobre dos extremos hasta que falla, este valor nos dice que tanta fuerza puede soportar el material antes de ceder y como es que va a ser esta falla, en la figura número 11 y 12, se observan los valores del módulo de ruptura ensayados, en ellos se observa que los tableros con mayor resistencia fueron los que tienen mayor porcentaje de finos y mayor pegamento para cada grupo analizado por grosor debido a que al tener menos espacios vacíos y más unidas las fibras de bambú estas presentan una mayor resistencia a la flexión mejorando sus valores, al aumentar el grosor aumenta también la resistencia del material no en forma proporcional pero si mejora debido a que se necesita más fuerza para hacer ceder a una mayor cantidad de material pero esto repercute en que el tablero tiene mayor peso aunque fuera de la misma densidad de uno de menor grueso pero debido al cambio de grosor tenemos un aumento en el peso del material lo que afectaría la estructura de soporte del tablero.

Al observar los valores dejando fijo el grosor, la formulación de finos y pegamento y solo variar el tipo de pegamento entre C y D se observa que el pegamento que tienen una mayor afinidad es el D que presenta valores mejores para cada uno de los tableros.

Los aglomerados y la madera tienen la propiedad de contraerse o hincharse según pierda o gane humedad, al deshidratarse y llegar a su humedad de equilibrio se produce una contracción de sus dimensiones originales lo que representa una disminución en su volumen, por lo que es una propiedad muy importante en los tableros, los resultados se presentan en la figura número 13 y 14. Se observa que los tableros de virutas orientadas de bambú presentan porcentajes de absorción menores a los comerciales y la variación entre ellos fue más afectada por el grosor que por el contenido de fibras teniendo el valor máximo en 20 por ciento para tableros con fibras solo procedentes de la cepilladura, debido a que tiene espacios vacíos que en las otras formulaciones están llenos por materiales finos evitando que se llenen de agua aumentando el porcentaje de absorción de los tableros, aumentando su contracción volumétrica, al aumentar el contenido de pegamento se observa un comportamiento similar al estar más unidas las fibras entre sí, creando una barrera que impide el paso del agua disminuyendo su porcentaje de contracción volumétrica.

Al observar los valores dejando fijo el grosor, la formulación de finos y pegamento y solo variar el tipo de pegamento entre C y D se observa que el pegamento que tienen una mayor afinidad es el D que presenta valores mejores para cada uno de los tableros.

Otra de las propiedades que se pueden evaluar a los tableros es la fuerza que se necesita para extraer un clavo, ya que esta fuerza es la que se necesitaría para que el tablero fuera sometido para perder el clavo que es un medio que se utiliza para el anclaje de dichos tableros a otras unidades estructurales (tableros, vigas, columnas) las maderas duras tienen un valor alto comparado con las blandas en la fuerza requerida para la extracción de clavos no significa que una sea mejor que otra por este valor, solo que se necesita más fuerza para desprender o sacar un clavo de dicho tablero. Al analizar los valores de la fuerza de extracción de clavos (figuras número 15 y 16), se observa que al aumentar el contenido de finos aumenta la fuerza para la extracción de clavos esto es debido a que los finos

llenen los espacios vacíos entre las fibras grandes (virutas) confiriéndole al material una mayor densidad aumentando así la resistencia a la extracción, al aumentar la formulación del pegamento se observa también un aumento en la fuerza requerida para la extracción debido a que las fibras están más unidas y evitando así que el clavo salga fácilmente, al aumentar el grosor también se observa un aumento en la fuerza requerida para extraer un clavo ya que hay más material que le ofrece una resistencia para que salga libremente.

Al observar los valores dejando fijo el grosor, la formulación de finos y pegamento y solo variar el tipo de pegamento entre C y D se observa que el pegamento que tienen una mayor afinidad es el D que presenta valores mejores para cada uno de los tableros.

Al analizar todos los valores conjuntamente se concluyó que los mejores tableros son los que tienen un grosor de $3/8$ y $1/2$ pulgada debido a las formulaciones de finos de 20 por ciento y con formulaciones de pegamento de 45, debido a que presentan una menor densidad del material y aunque no presentan los mejores resultados en las pruebas destructivas sus valores están sobre los comerciales y al tener un 5 por ciento menos de pegamento esto disminuyó significativamente el costo reduciendo el uso de pegamento que es lo más caro en estos tipos de tableros ya que las fibras son de sub productos de otra actividad y normalmente se desechan.

Al comparar los valores de F y F crítico, tablas del 4 a la 7, donde se analizaron el efecto de cada una de las variables de fabricación de los tableros de virutas orientadas, tipo de pegamento, grosor, porcentaje de finos y formulación de pegamento. Y se analizaron las 6 propiedades, adsorción, densidad, humedad, flexión, contracción volumétrica y extracción de clavos.

Los cuatro análisis demuestran un efecto significativo en cada una de las variables, teniendo siempre un valor de f mayor que f crítica con un valor de confianza del 95 por ciento y una significancia del 5 %. Siendo de mayor evidencia el efecto que la formulación de pegamento tiene sobre las propiedades de los tableros, teniendo un valor de F de 29.33, seguida del grosor, porcentaje de finos y finalmente el efecto del pegamento, por lo que se aceptan todas las hipótesis alternas.

11 Referencias

- ASTM D7033-14, Standard Practice for Establishing Design Capacities for Oriented Strand Board (OSB) Wood-Based Structural-Use Panels, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org
- Basumatary, A., S. K. Middha, T. Usha, B. K. Brahma, and A. K. Goyal. “Bamboo, As Potential Sources of Food Security, Economic Prosperity and Ecological Security in North-East India: An Overview”. *Research in Plant Biology*, vol. 5, no. 2, Apr. 2015, <http://updatepublishing.com/journal/index.php/ripb/article/view/2637>.
- Benton, A. (2015). Priority Species of Bamboo. In *Tropical Forestry* (pp. 31–41). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6_2
- Chen, G., Yu, Y., Li, X., & He, B. (2019). Mechanical behavior of laminated bamboo lumber for structural application: an experimental investigation. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78(1), 53–63. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01486-9>
- Clic, Keny. (2021, 8 febrero). Bambú: origen, qué es, morfología, usos y zonas donde crece. *Franquihogar*. <https://franquihogaronline.com/bambu/>.
- Escamilla, E., & Habert, G. (2014). Environmental impacts of bamboo-based construction materials representing global production diversity. *Journal of Cleaner Production*, 69, 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.067>
- Flores, C., y Canchucaja, J. (2017). Elaboración de tableros OSB con residuos de la industria del laminado y dos tipos de adhesivos. *Revista Forestal Del Perú*, 32(1), 26. <https://doi.org/10.21704/rfp.v32i1.1034>
- Gándara, N. (2021, 29 mayo). Bambú en Guatemala: Qué producirá la nueva planta industrial cuyo costo será de Q8 millones. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/economia/bambu-en-guatemala-que-producira-la-nueva-planta-industrial-cuyo-costo-sera-de-q8millones/>
- Garay Moen, R. M., & Damiani Sandoval, F. (2013). Efecto de la densidad del tablero y combinación adhesiva sobre propiedades físico-mecánicas críticas en tableros OSB fabricados con maderas nativas chilenas. *Bosque (Valdivia)*, 34(1), 13-22.
- Hamzaçebi, C. (2016). Optimization of Process Parameters in Oriented Strand Board Manufacturing by Taguchi Method. *BioResources*, 11(3). <https://doi.org/10.15376/biores.11.3.5987-5993>

- Hong, C., Li, H., Xiong, Z., Lorenzo, R., Corbi, I., Corbi, O., Wei, D., Yuan, C., Yang, D., & Zhang, H. (2020). Review of connections for engineered bamboo structures. *Journal of Building Engineering*, 30, 101324. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101324>
- Info Agro. (2017, 5 septiembre). Taiwán fomenta el cultivo de bambú en Guatemala. https://www.infoagro.com/noticias/2017/taiwan_fomenta_el_cultivo_de_bambu_en_guatemala.asp.
https://www.infoagro.com/noticias/2017/taiwan_fomenta_el_cultivo_de_bambu_en_guatemala.asp
- López, M., Bommer, J. and Méndez, P. (2004) ‘The Seismic Performance of Bahareque dwellings in El Salvador’, in 13th World Conference on Earthquake Engineering: The Earthquake Resistance. Recuperado de: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2646.pdf
- Manandhar, R., Kim, J.-H., & Kim, J.-T. (2019). Environmental, social and economic sustainability of bamboo and bamboo-based construction materials in buildings. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 18(2), 49–59. <https://doi.org/10.1080/13467581.2019.1595629>
- Maulana, S., Gumelar, Y., Fatrawana, A., Maulana, M. I., Hidayat, W., Sumardi, I., Wistara, N. J., Lee, S. H., Kim, N. H., &Febrianto, F. (2019). Destructive and Non-destructive Tests of Bamboo Oriented Strand Board under Various Shelling Ratios and Resin Contents. *목재공학*, 47(4), 519–532. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2019.47.4.519>
- Maulana, S., Sumardi, I., Wistara, N. J., Kim, N. H., &Febrianto, F. (2020). Effects of compression ratio on physical and mechanical properties of bamboo oriented strand board. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 935, 012063. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/935/1/012063>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA), Guatemala, Acuerdo ministerial 253-2014
- Mercedes, J. 2006. Guía Técnica Cultivo del Bambú. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF, 2006.
- Nurdiah, E. A. (2016). The Potential of Bamboo as Building Material in Organic Shaped Buildings. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.004>

- Nwoke, O. A., & Ugwuishiwu, B. O. (2011). Local Bamboo and Earth Construction Potential for Provision of Affordable Structures in Nigeria. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 2(2). Recuperado de: <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/IJSCET/article/view/159>
- Phillips, E.-E., Murphy, R., Connors, J., McMullen, K. F., Jacques, E., & Bruhl, J. C. (2021). Experimental evaluation of OSB-faced structural insulated panels subject to blast loads. *Engineering Structures*, 229, 111597. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111597>
- Ramatia, D., Yosrilrafiq, M., & Aranti, A. (2020). OSB (Oriented Strand Board Green Building): Utilization of OSB Betung Bamboo (*Dendrocalamus asper* (Schult. F.) Backer ex Heyne) by Testing Physical and Mechanical Properties to Optimize Eco-Friendly Construction in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 528, 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/528/1/012046>
- Sharma, B., & van der Vegte, A. (2020). Engineered bamboo for structural applications. In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials* (pp. 597–623). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102704-2.00021-4>
- Sun, Y., Yu, W., Wei, X., Ge, L., Guo, Z., & Zhang, Y. (2021). Bamboo strand-based structural composite lumber: Influence of technological parameters on physico-mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 271, 121795. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121795>
- Tan, C., Li, H., Wei, D., Lorenzo, R., & Yuan, C. (2020). Mechanical performance of parallel bamboo strand lumber columns under axial compression: Experimental and numerical investigation. *Construction and Building Materials*, 231, 117168. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117168>
- Pérez Galaz, V. A. (1996). Propiedades físicas y mecánicas de un contrachapado de coigüe fabricado en Chile.
- Reyes Riquelme, C., Vásquez, V., & Hernández, C. (2020). Descripción de las normas y equipos de laboratorio utilizados para la caracterización física y mecánica de los tableros OSB en el mercado de los Estados Unidos.
- Vásquez, L; Elgueta, P. (2017). Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas de Tableros OSB Fabricados en Chile. Instituto Forestal. Chile. Informe Técnico N° 218. P. 82.

12 Apéndice

Fotografías



Tableros de virutas orientadas de bambù con grosor de 3/8 de pulgada.



Corte de probetas para ser ensayadas.



Juego de probetas de tablero de virutas orientadas de bambù.



Perfil de corte de tablero de virutas orientadas de bambù .



Midición de humedad de los tableros de virutas orientadas de bambù.



Perforacion con tornillos punta de broca en tableros de virutas orientadas de bambù.



Pesado del aserrín de bambu para la realización de las mezclas.



Realización de las mezclas de virutas y finos de acuerdo al diseño experimental.



Agregando el pegamento de secado rápido para las diferentes formulaciones de pegamento.



Agregando el pegamento de cola blanca para las diferentes formulaciones de pegamento.



Realización de las mezclas de pegamento con virutas de aserrín de bambù.



Mezcla de virutas de bambù y pegamento para introducirla en el molde para el prensado en caliente.



Colocaciòn del material dentro del molde.



Acomodamiento del material antes de ser presansado en caliente.



Tablero de virutas orientadas fabricado en el Centro de Transformación e Investigación de Bambú, de dimensiones 4x1 pie.



Corte de probetas de tableros de virutas orientadas fabricados.



Probetas cortadas de los tableros de virutas orientadas de bambú con grosores de $\frac{1}{2}$ pulgada de grosor.



Armado de la picadora en el área designada por el centro de Centro de Transformación e Investigación de Bambú.



Bambú utilizado en la fabricación de los tableros OSB.



Volteado de las varas de bambú para su respectivo secado antes de procesarlas en virutas.



Utilización de prensa trial Axial para la fabricación de tableros OSB en el Centro de Trasmformacion e Investigacion del Bambu.



Ensayo de flexión a tableros OSB con 20 % de finos.



Ensayo de flexión a tableros OSB con 10 % de finos.



Lectura en el manómetro de la presión ejercida sobre las probetas ensayadas.



Juego de probetas de tableros OSB para la prueba de dureza Janka.



Ensayo de dureza Janka a tableros OSB de 3/8 de pulgada.



Ensayo de dureza Janka a tableros OSB de 3/4 de pulgada.



Identificación de las probetas para los respectivos ensayos.



Traslado de tablero OSB de $\frac{3}{4}$ pulgadas de grosor.



Colocación de tableros OSB de $\frac{3}{4}$ en la sierra de banco .



Corte de probetas de un pie de largo y 4 pie de grosor para las pruebas de flexión.



Juego de probetas para el ensayo de flexión del tablero comercial de $\frac{3}{4}$ de pulgada.



Corte de probetas para la determinación de dureza de los tableros OSB de $\frac{3}{4}$ de pulgada de grosor.



Juego de probetas utilizadas en el ensayo de densidad de tableros OSB de $\frac{3}{4}$ de pulgada de grosor.



Corte de probetas para la determinación del porcentaje de humedad de tableros OSB de 3/8 de pulgada .



Ensayo de flexión a tablero OSB de 3/4 ,1/2 y 3/8 de pulgada.



Ruptura de tableros OSB ensayados .



Juego de probetas utilizadas en el ensayo de flexión llevadas a la ruptura .



Corte de probetas para la determinación del ensayo de absorción y dureza de los tableros OSB.



Probetas utilizadas para la determinación de la dureza Janka de tableros OSB 3/8 y 1/2 de pulgada.



Juego de probetas para la determinación del ensayo de flexión, adsorción, dureza y densidad de tableros OSB de ½ pulgada.



Prensa Hidraulica utilizada para la fabricacion preliminar de los tableros OSB.



Inicio del corte de probetas.



Laminado de bambú para la recolección de sub productos para la obtención de la materia prima.



Tamizado de los subproductos provenientes del proceso de laminado de bambú.



Virutas retenidas durante el proceso de tamizado.



Corte de virutas de diámetros grandes.



Detalle del corte de virutas grandes.



Pesado de virutas grandes para poder realizar el proceso de mezclado.



Tableros de virutas orientadas de bambù con formulacion de 10 porciento de finos.

13 Aspectos éticos y legales

Por el tipo de investigación no aplica este apartado

14 Vinculación

- Proyecto Industrialización del Bambú de Taiwán, en Guatemala.
- Escuela de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Escuela de Ingeniería Química (INDETEIQ), Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sección de Tecnología de la Madera, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Entidades Gubernamentales que trabajan en el área de bosques y Ambiente como:
 - Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
 - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
 - Ministerio de Desarrollo Social.
 - Instituto Nacional de Bosques.
 - Programa Nacional de Competitividad (PRONACOM).
 - Proyecto de mitigación para reducir el déficit de leña y gases de efecto invernadero (NAMA).
 - Gremial Forestal de Guatemala.

15 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Publicación de los resultados en la revista de Ciencia, Tecnología y Salud de la DIGI a través de un artículo científico.

Publicación de los resultados en la revista del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Realización de talleres en la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigación de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala para dar a conocer los resultados y técnicas utilizadas en la fabricación de los tableros de virutas orientadas.

Publicación en los boletines técnicos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería.

Dar a conocer los resultados en radio Universidad, 92.1, en el programa de Ingeniería para el siglo XXI.

Difusión a través de redes sociales: página oficial del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Dar a conocer los resultados en los congresos estudiantiles de la Facultad de Ingeniería a través de conferencias e invitaciones a los estudiantes interesados en conocer el laboratorio multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera, Facultad de Ingeniería.

16 Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:

Objetivo de desarrollo sostenible No. 1 Fin de la pobreza

La finalidad de este objetivo es erradicar la pobreza en todas sus formas. Esta investigación puede contribuir en este objetivo creando una nueva fuente de trabajo al implementar estos tableros en la agroindustria generando empleos directos e indirectos en el campo y en la industria, además de todos los mecanismos indirectos como: transporte y ventas.

Objetivo de desarrollo sostenible No. 8 Trabajo decente y desarrollo económico.

Este objetivo tiene como principal fin estimular el crecimiento económico sostenible mediante el aumento de los niveles de productividad y la innovación tecnológica. Al desarrollar una nueva forma de la utilización de los desechos se generaría una nueva forma de productividad e innovación utilizando los tableros de virutas orientadas fomentando el desarrollo económico al introducir una nueva forma de poder utilizar tanto el bambú como los desechos.

Objetivo de desarrollo sostenible No. 12 Producción y consumo responsable

Este objetivo tiene como principal fin estimular el crecimiento económico y desarrollo sostenible. Para poder lograr este objetivo es necesario que la industria y los consumidores reciclen y reduzcan sus desechos. Con los objetivos de esta investigación se pretende lograr producir de una forma eficiente utilizando mejor los recursos naturales y tecnológicos para tener un producto de calidad y amigable con el medio ambiente promoviendo un consumo responsable.

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

17 Orden de pago final (incluir únicamente al personal con contrato vigente)

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Mauricio Valentino Rivera Tello	Coordinador	20141714	Si	
Vera Lucia Tatuaca Rosales	Investigadora	20170389	Si	

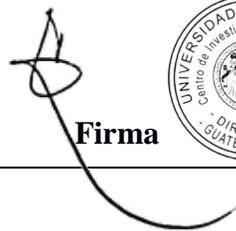
18 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Mauricio Valentino Rivera Tello	 Firma
Fecha: 15/11/2022	

19 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: Director del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Inga. Telma Maricela Cano Morales Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería	 Firma 
Fecha: 15/11/2022	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

20 Visado de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Inga. Liuba María Cabrera Ovalle de Villagrán Coordinadora del Programa Universitario de Investigación	 Firma
Fecha: 15/11/2022	

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación	 Firma Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez Coordinador General de Programas de Investigación DIGI-USAC
Fecha: 15/11/2022	