

Guatemala, 26 de noviembre, 2020



Señor Director
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Adjunto a la presente el informe final **“Evaluación de los parámetros de proceso de laminado de tableros de bambú (*Dendrocalamus asper*) para su aplicación en la agroindustria”** con número de proyecto AP9, coordinado por el Ingeniero Químico Mauricio Valentino Rivera Tello y avalado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Así mismo, el coordinador del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del **informe final y del manuscrito científico**. El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”



Ing. Mauricio Valentino Rivera Tello
Coordinador del proyecto de investigación



Inga. Telma Marcela Cano Morales
Directora Centro de Investigaciones de Ingeniería
Facultad de Ingeniería, USAC



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial

Informe final

Evaluación de los parámetros de proceso de laminado de tableros de bambú (*Dendrocalamus asper*) para su aplicación en la agroindustria

Equipo de investigación
Ing. Mauricio Valentino Rivera Tello
Alejandra María Rebeca Donis

Guatemala, 26 de noviembre de 2020

Unidad de investigación avaladora
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Facultad de Ingeniería, USAC

Contraportada (reverso de la portada)

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación

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

Inga. Liuba María Cabrera Ovalle de Villagrán
Coordinador del Programa de Investigación.

Ing. Mauricio Valentino Rivera Tello
Coordinador del proyecto

Alejandra María Rebeca Donis
Auxiliar de investigación II

Otros colaboradores

Ing. Jorge E. Godínez, Escuela de Ingeniería Química USAC
Ing. Fredy A. Contreras, Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC
Jesiel S. Enríquez, Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.4.41. durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial

Índice

1. <i>Resumen</i>	7
2. <i>Palabras clave</i>	8
3. <i>Abstract and keyword</i>	8
4. <i>Introducción</i>	9
5. <i>Planteamiento del problema</i>	10
6. <i>Preguntas de investigación</i>	11
7. <i>Delimitación en tiempo y espacio</i>	11
8. <i>Marco teórico</i>	12
8.1 <i>Bambú</i>	12
8.2 <i>Taxonomía</i>	14
8.3 <i>Condiciones de cultivo</i>	15
8.4 <i>Culmo</i>	15
8.5 <i>Morfología</i>	16
8.6 <i>Métodos para preservar bambú</i>	17
8.7 <i>El bambú como material de construcción y usos</i>	18
8.8 <i>Pegamento</i>	21
9. <i>Estado del arte</i>	23
10. <i>Objetivo general</i>	25
11. <i>Objetivos específicos</i>	25
12. <i>Hipótesis (si aplica)</i>	25
13. <i>Materiales y métodos</i>	26
14. <i>Vinculación, difusión y divulgación</i>	30
15. <i>Productos, hallazgos, conocimientos o resultados</i>	32
16. <i>Análisis y discusión de resultados:</i>	50
17. <i>Conclusiones</i>	53
18. <i>Impacto esperado</i>	55

19. Referencias	55
20. Apéndice.....	58
21. Fotografías.....	59

Índice de tablas

Tabla. 1 Clasificación taxonómica de la especie <i>Dendrocalamus Asper</i>	14
Tabla. 2 <i>Descripción de los tableros laminados de bambú y tableros comerciales</i>	28
Tabla. 3 <i>Operacionalización de las variables o unidades de análisis</i>	30

Índice de figuras

Figura 1 <i>Partes de una planta de Bambú.</i>	13
Figura 2 <i>caracterización del culmo de bambú</i>	16
Figura 3 <i>Elaboración de tableros de bambú laminado</i>	19
Figura 4 <i>Esquema de proceso de un tablero laminado de Bambú</i>	20
Figura 5 <i>Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada</i>	32
Figura 6 <i>Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados, pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada</i>	32
Figura 7 <i>Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ¾ pulgada</i>	33
Figura 8 <i>Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido ¾ pulgada</i>	33
Figura 9 <i>Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada</i>	34
Figura 10 <i>Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido 1 pulgada</i>	34
Figura 11 <i>Densidad en g/cm³ de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada</i>	35
Figura 12 <i>Densidad en g/cm³ de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada</i>	35
Figura 13 <i>Densidad en g/cm³ de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ¾ pulgada</i>	36
Figura 14 <i>Densidad en g/cm³ de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ¾ pulgada</i>	36
Figura 15 <i>Densidad en g/cm³ de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada</i>	37

Figura 16	Densidad en g/cm ³ de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor 1 pulgada	37
Figura 17	Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada	38
Figura 18	Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada	38
Figura 19	Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ¾ pulgada	39
Figura 20	Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ¾ pulgada	39
Figura 21	Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada	40
Figura 22	Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor 1 pulgada	40
Figura 23	Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada	41
Figura 24	Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada	41
Figura 25	Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ¾ pulgada	42
Figura 26	Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ¾ pulgada	42
Figura 27	Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada	43
Figura 28	Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor 1 pulgada	43
Figura 29	Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada	44
Figura 30	Módulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada	44
Figura 31	Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ¾ pulgada	45
Figura 32	Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ¾ pulgada	45
Figura 33	Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada	46
Figura 34	Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor 1 pulgada	46
Figura 35	Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada	47
Figura 36	Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada	47

Figura 37	Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor $\frac{3}{4}$ pulgada	48
Figura 38	Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor $\frac{3}{4}$ pulgada	48
Figura 39	Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada	49
Figura 40	Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor 1 pulgada	49

Evaluación de los parámetros de proceso de laminado de tableros de bambú (*Dendrocalamus asper*) para su aplicación en la agroindustria

1. Resumen

Se buscó aprovechar las latillas provenientes de las cañas de bambú (*Dendrocalamus asper*) fabricando con éstas tableros que puedan ser utilizados en las diferentes aplicaciones agroindustriales tales como, fabricación de muebles, tabiques, elementos de recubrimiento de techos y pisos,

Al latillar cañas de bambú se obtienen elementos que no presentan una forma geométrica totalmente plana lo que limita los anchos de las piezas que se pueden obtener y por lo tanto la aplicación que se le pueden dar. Al laminar estas piezas se obtienen unidades estructurales con mejores oportunidades de aprovechamiento en las aplicaciones agroindustriales y por lo tanto se le da un valor agregado al bambú.

Al fabricar los tableros, se estudió el efecto de variar, el tipo de pegamento (secado rápido y cola blanca), la configuración de laminado (combinado cara con cara, combinado lateral con lateral y combinado cara con lateral) y el grosor (tres grosores), sobre las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de bambú fabricados. El bambú necesario se someterá a proceso de latillado para luego realizar el laminado de los elementos obtenidos en las configuraciones establecidas. Los tableros formados se someterán a curado del pegamento para luego ser cepillados y lijados para obtener el acabado necesario. Se tomarán muestras del producto terminado y se elaborarán probetas para ser sometidas a las pruebas físicas y mecánicas. Se espera brindar una alternativa al uso de la

madera por medio de un tablero que pueda ser utilizado en las diferentes aplicaciones agroindustriales.

2. Palabras clave

Latillado, agroindustria, material compuesto, madera, tabique.

3. Abstract and keyword

It was sought to take advantage of the ribs from bamboo canes (*Dendrocalamus asper*), manufacturing with these boards that can be used in different agroindustrial applications such as furniture manufacturing, partitions, elements for covering ceilings and floors,

By beating bamboo canes, elements are obtained that do not have a completely flat geometric shape, which limits the widths of the pieces that can be obtained and therefore the application that can be given. By laminating these pieces, structural units are obtained with better opportunities for use in agro-industrial applications and therefore an added value is given to bamboo.

When manufacturing the boards, the effect of varying, the type of glue (fast drying and white glue), the laminate configuration (combined face to face, combined side to side and combined face to side) and thickness (three thicknesses), on the physical and mechanical properties of manufactured bamboo boards. The necessary bamboo will be subjected to a lapping process to later laminate the elements obtained in the established configurations. The formed boards will undergo glue curing and then be brushed and sanded to obtain the necessary finish. Samples of the finished product will be taken and test tubes will be made to be subjected to physical and mechanical tests. It is expected to provide an alternative to the use of wood by means of a board that can be used in different agro-industrial applications

Key Word: Latillado, agribusiness, composite material, wood, partition

4. Introducción

El bambú es una planta con un alto potencial de agroindustrialización ya que presenta propiedades que lo hacen sumamente atractivo. Es una de las plantas de más rápido crecimiento en el planeta, ayuda al alance de oxígeno/dióxido de carbono atmosférico, es un valioso sustituto para la madera tropical, tiene un corto ciclo de producción, es un recurso natural renovable para la producción agroforestal, puede ser usado como una barrera natural controlable, es un recurso natural flexible en cuanto a su aplicación, resistente y de múltiples usos en la vivienda, industria y la construcción, entre otras. (Mercedes, 2006)

En la actualidad Guatemala tiene varios proyectos de incentivo de cultivo de Bambú impulsados por la cooperación taiwanesa en conjunto con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y la Universidad de San Carlos de Guatemala. Dichos proyectos están ubicados en su mayoría en la costa sur del país representando 600 hectáreas de cultivo de bambú, ubicadas en Guatemala, Escuintla, Retalhuleu, Quetzaltenango, Petén entre otras partes del país con condiciones climáticas húmedas. Se planifica impulsar el cultivo de 85 hectáreas más en San Juan Chamelo en Alta Verapaz. Especies como la *guadua angustifolia* producen 35 toneladas de materia seca por cada 12 hectáreas lo que equivale a 1500 varas, siendo este volumen de producción más rentable que los bosques de eucalipto. De acuerdo a lo anterior se posee un potencial de 1750 toneladas de producción anual.

Uno de las desventajas en la utilización del bambú en aplicaciones agroindustriales radica en las características geométricas del mismo. Especies como el *Dendrocalamus asper* y el *guadua angustifolia* son cilindros que llegan a medir hasta más de 20 metros, que presentan diámetros entre 5 y 20 cm y distancias entre nudos de 13 a 70 cm. (Mercedes, 2006). Lo anterior hace que el aprovechamiento del bambú se reduzca a esas dimensiones, limitando el ancho y el largo de las tablillas que se pueden obtener.

Una alternativa técnica viable, y que potencializa la aplicación del bambú no solo a la construcción como elemento de soporte, sino que también a la fabricación de muebles, tabiques, etc., es el proceso de laminado. Esta técnica utiliza las latillas o tiras obtenidas por cortes longitudinales de

los culmos de bambú en diferentes configuraciones, de manera que se pueden obtener tableros de cualquier dimensión y grosor. La fijación de dichas tiras se logra con la aplicación de adhesivos tales como alcohol poli vinílico o pegamentos de secado rápido.

El problema del proceso de laminado radica en la poca información con la que se cuenta sobre las operaciones involucradas. Diferentes adhesivos, diferentes configuraciones de laminado y diferentes grosores de tableros influyen directamente sobre las propiedades físicas y mecánicas de los tableros obtenidos. La resistencia a la tensión paralela a la fibra presenta una variación importante cuando el contenido de humedad se encuentra por debajo del contenido de humedad de equilibrio del material, o por encima del punto de saturación de las fibras (Gonzalez, 2014). Es necesario investigar más sobre los parámetros de proceso para poder fabricar un tablero que proporcione las propiedades necesarias para poder ser competitivas con materiales ya existentes en el mercado tales como el Plywood, Melamina y la madera natural alistonada.

5. Planteamiento del problema

El bambú como material de construcción presenta propiedades tales que pueden hacer que sea una buena alternativa al uso de la madera en la agroindustria. Cabe mencionar que una ventaja adicional es su velocidad de crecimiento debido que permite extraer de 3 a 5 veces más materia prima por hectárea que cualquier especie forestal (Barbaro, 2017). A pesar de esto el aprovechamiento de las cañas de bambú en la agroindustria se centra principalmente en el uso de los culmos, cualquier otra aplicación se ve afectada por la configuración geométrica cilíndrica característica de las cañas de bambú, con diámetros que varían entre 5 y 25 cm y distancias de 10 a 40 cm entre nudos, se limita el ancho y el largo de las tiras o latillas que se pueden obtener. (Takeuchi, 2014)

Una de las alternativas técnicas para poder aprovechar de mejor manera el bambú consiste en el laminado de piezas provenientes de las latillas o tiras obtenidas de los culmos o tallos. Las características y propiedades de los tableros obtenidos van a depender de la configuración en la cual se dispongan dichos elementos (Lopez, 2009).

Otro factor sumamente importante es el tipo de adhesivo que se utilice para unir los elementos (Beraldo, 2003) porque las propiedades fisicomecánicas de los tableros laminados a construir van a depender en gran parte de la interacción entre el pegamento utilizado y la superficie de bambú de la especie a utilizar que en este caso será el *Dendrocalamus asper*.

Como último factor a considerar se tiene el grosor del tablero, puesto que se necesitan diferentes combinaciones de latillas de bambú para poder alcanzar un grosor que pueda competir con los ofrecidos por el mercado.

Los tableros laminados a partir de latillas o tiras de bambú proporcionan una alternativa viable, económica y ambientalmente amigable a la utilización de madera natural. A pesar de lo anterior existe muy poca información sobre los parámetros de proceso que conlleva la fabricación de un tablero funcional, desde el corte de los culmos pasando por el latillado y laminado hasta el acabado final (López, 2009). Otro aspecto que debe ser considerado es si estos tableros laminados pueden ser aplicados a diferentes necesidades de la agroindustria tales como fabricación de muebles, instalación de tabiques en separación de ambientes, pisos, molduras, cielos falsos, entre otros.

6. Preguntas de investigación

- ¿Cómo se puede aprovechar de mejor manera el bambú?
- ¿Cómo influye la configuración del laminado sobre las propiedades de los tableros fabricados?
- ¿Cómo influye el tipo de pegamento sobre las propiedades de los tableros fabricados?
- ¿Cómo influye el grosor sobre las propiedades de los tableros fabricados?
- ¿Los tableros fabricados tienen propiedades físicas y mecánicas que pueden competir con los materiales comerciales existentes en el mercado?

7. Delimitación en tiempo y espacio

Delimitación en tiempo: 10 meses, inicio 3 de febrero de 2020, finalización 30 de noviembre de 2020.

Delimitación espacial: Sección de tecnología de la madera Centro de Investigaciones de Ingeniería Campus Central, Ciudad Universitaria zona 12.

8. Marco teórico

8.1 Bambú

El bambú es un elemento común en el continente americano. Se registran bambúes nativos en todos los países de América con excepción de Canadá. Por su rápido crecimiento, gran versatilidad y resistencia, ha sido de gran utilidad para el hombre a lo largo de su historia y de gran importancia económica, gracias a su rápido crecimiento en regiones tropicales y templadas de Asia y América. Se conocen como las gramíneas más grandes del mundo y se distinguen del resto de ellas por tener el hábito perenne, los rizomas bien desarrollados, los culmos casi siempre lignificados y fuertes, las hojas pecioladas, el embrión pequeño en comparación con el endospermo, los haces vasculares usualmente en cantidades mayores de uno y superpuestos en la nervadura central, y los cuerpos silíceos orientados verticalmente (Hof-landlust, 2019).

El bambú es una gramínea leñosa de porte arbóreo de la que existen 1250 especies agrupadas en 75 géneros. Es la planta de crecimiento más rápido del planeta, crece aproximadamente de 75 a 400 mm por día. El tallo del bambú, que es la parte de la planta más importante desde el punto de vista económico, alcanza más de 40 m en algunas especies en tres o cuatro meses. Se estima que en 35 años una planta de bambú puede producir hasta 15 km de postes aprovechables. Su ligereza y altos módulos de elasticidad (de 9 000 a 10100 N/mm²) y rotura (84 a 126 N/mm²) convierten al bambú en un material ideal para la construcción. La resistencia del bambú a la tracción es mayor que la del acero. Se han documentado más de 1500 usos de esta planta, entre ellas leña, lámparas, aplicaciones medicinales, juguetes y aviación. Más de 1000 millones de personas viven en casas de bambú o que utilizan el bambú como principal elemento para la estructura, el revestimiento exterior o la techumbre (Lucena, 2009).

El bambú ha sido utilizado desde hace siglos en construcciones tradicionales especialmente en países como China y Japón. Esto se debe principalmente a su excelente relación resistencia/peso, alta sostenibilidad debido a su velocidad de crecimiento 3 a 6 años y flexibilidad arquitectónica para la creación de diferentes formas geométricas, además, de poseer ventajas ambientales como la captación de CO₂. En el mundo existen alrededor de 1250 especies de bambú, localizadas

principalmente en América, África y Asia. En América hay cerca de 600 especies diseminadas desde el sur de los Estados Unidos hasta el sur de Chile y Argentina, desde los 0 msnm (metros sobre el nivel del mar) hasta los 3000 msnm. No obstante, la gran diversidad de especies de bambú, solo 20 de estas han sido estudiadas y se consideran aptas para aplicaciones estructurales (Nose ,2999). En Latinoamérica, el bambú no es considerado de importancia para la economía local, existen al menos 11 millones de hectáreas cubiertas con bambú en todo Latinoamérica, la mayoría en Suramérica (Deras, 2005).

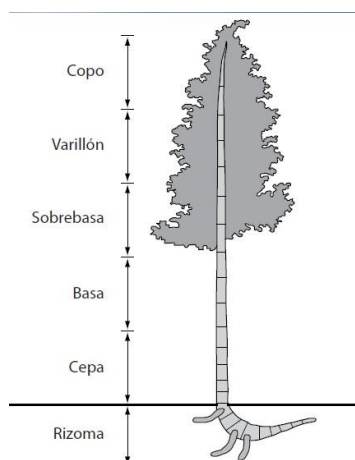


Figura 1 *Partes de una planta de Bambú.*

Fuente: (Calo, 2018)

Por cada 4 cañas maduras se genera una nueva, por lo tanto, se tardan 4 años en renovar la cantidad de cañas, dentro de una planta la producción de cañas varía con la especie. La primera recolección puede empezar cuando la planta llegue a su completa madurez es decir alrededor de los 6 años después de su plantación; Con un periodo de rotación de 3 años se pueden recoger entre 3,000 a 15,000 cañas por hectárea que equivalen a 7.5 a 38 toneladas por hectárea (Barbaro, 2007). Para mejorar el producto de las plantaciones es necesario cosechar regularmente los culmos viejos, ya que la calidad de la madera aumenta del primero al quinto año, se estabiliza del sexto al noveno y empieza a deteriorarse a partir de esta última edad (Marín, 2011).

Las fibras naturales están presentes en el material vegetal fibroso (plantas), como resultado de la fotosíntesis. Existen, además, otras fibras naturales que no son frecuentemente utilizadas en la

ingeniería, como la seda, el pelo, las plumas, etc. Las propiedades mecánicas de las fibras naturales se comenzaron a aprovechar alrededor del año 6000 a.c. en el refuerzo de cerámicas y en procesos de momificación, más tarde, se encontraron aplicaciones en lienzos para pinturas y los textiles de numerosas calidades, empleando la fibra natural en combinación con resinas y mieles con sal, con la finalidad de brindar prolongar las obras realizadas (Mejía, E., 2010).

8.2 Taxonomía

Se entiende por taxonomía a la ciencia que describe, nombra y clasifica los organismos, utilizando la flor como la unidad básica para la identificación. Es importante notar que solo en los últimos 50 años se ha avanzado en el conocimiento taxonómico de los bambúes de América, periodo relativamente corto en comparación con el Viejo continente, en donde se han realizado estudios botánicos desde aproximadamente 150 años, los bambúes se han dividido en dos grandes grupos o supertribus: 1) Los bambúes herbáceos u Olyrodae, y 2) los bambúes leñosos o Bambusoideae. Estas dos categorías no necesariamente reflejan relaciones filogenéticas entre ellas (Hof-landlust, 2019).

Tabla. 1

Clasificación taxonómica de la especie Dendrocalamus Asper

Rango	Taxonomia
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnonoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Cyperales</i>
Familia	<i>Poacea</i>
Sub-familia	<i>Bambusoideae</i>
Tribu	<i>Aolyrodae</i>
Genero	<i>Dendrocalamus</i>
Especie	<i>Asper Schult, & Schult & Schu</i>
Nombre común	Bambú verde o tarro

Fuente: (Calo, 2018)

8.3 Condiciones de cultivo

El cultivo del bambú se puede propagar de dos maneras: sexual y asexual. Los métodos dependen del tipo de especie. La propagación del bambú ocurre a través de rizomas, semillas, ramas laterales enterradas. Se propaga de forma sexual, es decir, por semilla. Este proceso es un poco más complicado debido que se pone a germinar en tabloncitos y luego que tenga una altura ideal de unos 10 centímetros se trasplanta a bolsas de polietileno, que después serán trasplantados al campo después de un año. La preparación del terreno juega un papel muy importante al momento de sembrar el bambú. Existen dos métodos para la preparación que son el de limpieza total y el de fajas paralelas, así mismo una mezcla de ambas que se le conoce como áreas específicas (Calo, 2018).

8.4 Culmo

El culmo de una planta de bambú es un material compuesto natural funcionalmente gradado, ya que la densidad de fibras cerca a la pared externa es mayor que la de la pared interna, donde se encuentran más separadas. En la región internodal las fibras se encuentran alineadas con el eje longitudinal del culmo, mientras que en la zona de los nodos su orientación, El culmo de bambú consta de dos partes principales: los nodos y los internodos las células de estas dos zonas de la guadua se comportan diferente, sobre todo en su dirección, tamaño y cantidad. Así, los internodos contienen células orientadas axialmente, mientras que en los nodos se encuentran en sentido transversal, lo cual facilita el transporte de nutrientes y demás sustancias a través de las membranas nodales (Mejía, 2010).

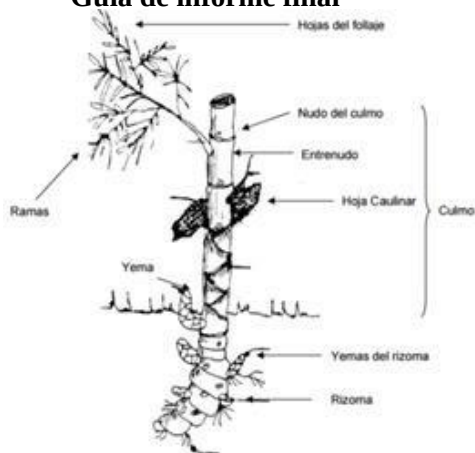


Figura 2 *caracterización del culmo de bambú*

Fuente: (Calo, 2018).

El origen del nombre *Dendrocalamus asper* proviene del griego dendron: árbol; calamus: caña; asper: áspero. La especie es nativa de Asia, en Guatemala fue introducida y sembrada por primera vez, alrededor de 1987 en el municipio de Santa Bárbara, Suchitepéquez, en el kilómetro 121 de la ruta al Pacífico, entre los 200 y 600 metros sobre el nivel del mar; para luego ser propagada en varios municipios de la costa sur tales como: San Miguel Panán, Chicacao, San Pablo Jocopilas en Suchitepéquez; así como en Coyuta y Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla, entre otros. Tiene tallos que pueden alcanzar de 20 a 39 metros de altura y un diámetro de 20 a 30 centímetros. Las paredes del tallo son tipo tubular con un grosor de 0,5 a 2,0 centímetros y su rizoma es de tipo paquimorfo. Este bambú es ideal para la construcción de viviendas, puentes pequeños, cercas, muebles, artesanía, conducción de agua entre otras industrias. Recientemente ha cobrado relevancia en la elaboración de nuevos materiales, como artículos laminados, artículos comprimidos y revestimientos (Calo, 2018).

8.5 Morfología

Está constituido por un culmo, que se compone de un sistema de ejes vegetativos o tallos segmentados por nudos (anillos a lo largo del tallo), entrenudos, rizoma y raíces que se extienden libre y agresivamente por el subsuelo. Su rizoma es de tipo paquimorfo. Estos tabiques o nudos le dan una gran rigidez y al mismo tiempo, flexibilidad y resistencia. Brota del suelo con el diámetro máximo y final que tendrá hasta su madurez, desarrolla su longitud completa durante el periodo invernal, luego brotan las ramas y las hojas en un tiempo de seis años, que es el periodo de

maduración o sazónamiento, en el que se adquiere las características físico-mecánicas de la madera sólida (Calo, 2018).

8.6 Métodos para preservar bambú

Para la preservación de los bambúes se utilizan métodos no químicos o tradicionales y métodos químicos (Hof-landlust, 2019).

8.6.1 Métodos tradicionales

Se utilizan frecuentemente en las áreas rurales sin embargo poco se sabe de su real efectividad. Generalmente requieren poco esfuerzo y pueden ser implementados por los campesinos fácilmente ya que no se requiere de equipos especiales. Algunos son: Curado, Ahumado, Encalado, Inmersión en ríos o mares y Protección por diseño (Hof-landlust, 2019).

8.6.2 Métodos químicos

Estos métodos son generalmente más efectivos que los no químicos, pero no siempre son aplicables y económicos. Los preservantes no deben contener sustancias tóxicas para el hombre ni para los animales. La solución de bórax y ácido bórico en proporción 1:1 es muy efectiva y además es permitida a nivel internacional (Hof-landlust, 2019). El empleo de sales FKR que contienen oxima de cobre y clorpirifós, catalogadas como compatibles con el ambiente, es una excelente forma de preservar la madera frente al azulado que suele presentar las varas de bambú, y proporcionan muy buena protección contra insectos. Sin embargo, las técnicas de preservación son relativamente costosas, aunque, en el balance final, el prolongado tiempo de servicio obtenido por la madera, compensa cualquier inversión destinada a conseguir que la madera sea durable y por lo tanto no se requiera su sustitución en el corto plazo (Encinas, 2005).

El bambú está en la mira de arquitectos modernos, las universidades investigan el comportamiento estructural. Desde tiempos inmemorables el hombre del trópico ha utilizado una gama de diferentes especies locales de bambú, como materia prima para sus casas, balsas, puentes, armas, herramientas y comida. Siendo también una de las plantas típicas del hábitat tropical litoral en África oriental, que conforma la cuna del hombre, se puede asumir que el bambú forma parte del primer Kit de herramientas de la humanidad (Stamm, 2008).

8.7 El bambú como material de construcción y usos

El bambú es uno de los materiales usados desde la más remota antigüedad por el hombre para aumentar su comodidad y bienestar. En el mundo de plástico y acero de hoy, el bambú continúa aportando características únicas, las cuales crecen con cada nuevo estudio y aplicación. Gran parte de la humanidad utiliza a diario el bambú debido a que se representa como una alternativa ante materiales más costosos y tal vez a un futuro su utilización sea de forma masiva, como fuente de energía y reemplazo de madera de árboles por tratarse de un material fácilmente renovable. Más de 1 billón de personas habitan en casas de bambú, alcanzando en algunas regiones del mundo una importancia relevante, este es el caso de Bangladesh donde el 73% de sus habitantes habita en este tipo de viviendas, otro ejemplo es la ciudad de Guayaquil (Rodríguez, 2006).

Los tableros de bambú se fabrican en China desde 1940, a la fecha se han desarrollado 28 productos y más de 100 tipos diferentes. En la actualidad en este país se producen 100 mil metros cúbicos de tableros de bambú. El bambú solo, puede ser utilizado para hacer partes de una casa con excepción del fogón de la chimenea. En la mayoría de los casos, sin embargo, el bambú es combinado con otros materiales de construcción tales como madera, arena, cal, cemento, acero, y hojas de palma, de acuerdo con su relativa eficiencia, disponibilidad y costo, el uso de tallos (o culmos) de bambú en la fabricación de paneles estructurales sustituye actualmente la utilización de un millón de metros cúbicos de madera (Rodríguez, 2006).

La creciente demanda de vivienda a nivel mundial ha obligado a muchas sociedades a buscar nuevas alternativas de subsistencia. Muchas de las soluciones habitacionales propiciadas por los gobiernos y ayudas externas no contemplan la situación real de la comunidad afectada y mucho menos el entorno ambiental donde se desenvuelven. Es así, como las construcciones, principalmente de interés social, representan soluciones parciales para sus habitantes, pues no cubren satisfactoriamente sus necesidades y expectativas reales. Se calcula que más de 600 millones de moradores urbanos y más de 1000 millones de campesinos de Asia, África y Latinoamérica viven en un alojamiento de pobre calidad, con una provisión tan inadecuada de agua e higienización, que su salud y sus vidas están continuamente en riesgo, en 1999, el 64% de las

personas en las áreas rurales en América Latina y el Caribe vivían por debajo de la línea de pobreza, una cifra que ha aumentado en términos absolutos y relativos desde 1980 (Rodríguez, 2006).

8.7.1 Elaboración del material compuesto

El bambú laminado prensado pegado, es un material compuesto conformado por un conjunto de láminas de bambú, prensadas y pegadas entre sí. Para la elaboración de este material, El proceso de fabricación del material compuesto se puede realizar de dos etapas. En la primera etapa se prensan y pegan láminas individuales para formar tableros y en la segunda etapa se prensan tableros para elaborar bloques macizos, de sección mínima de acuerdo a las dimensiones requeridas (Takeuchi, 2014).

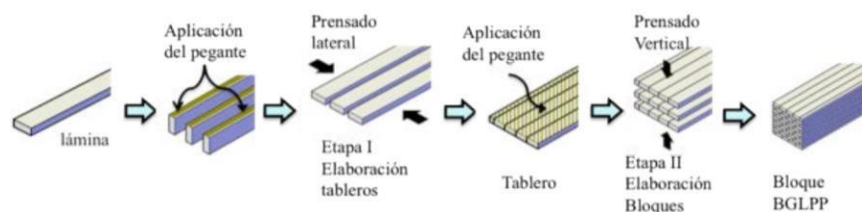


Figura 3 *Elaboración de tableros de bambú laminado*

Fuente: (Takeuchi, 2014).

En el mundo se han realizado muy pocas investigaciones sobre laminados de bambú. La primera investigación, consistió en determinar experimentalmente la resistencia de vigas elaboradas con láminas, proveniente de una plantación del estado de Carolina del Sur en los Estados Unidos. En este estudio se determinó la variación de la resistencia mecánica a flexión de laminados fabricados con diferentes dosificaciones de adhesivo y para diferentes contenidos de humedad. Adicionalmente, se estableció la resistencia al corte del adhesivo, usado en los laminados. se han desarrollado investigaciones de vigas compuestas por capas con diferentes dosificaciones de adhesivo, humedades y densidades (Stamm, 2008).

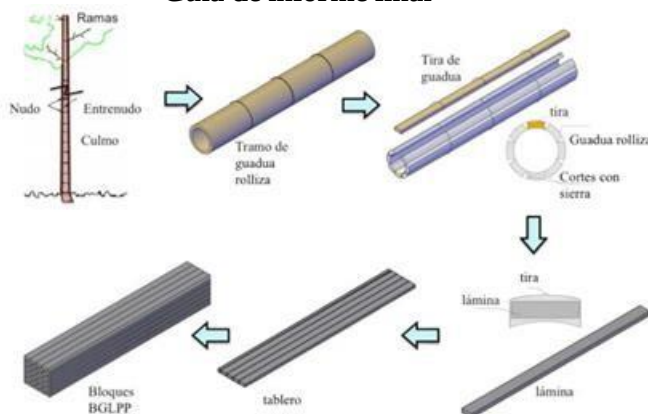


Figura 4 *Esquema de proceso de un tablero laminado de Bambú*

Fuente: (Takeuchi, 2014).

En la figura número cuatro se muestra un esquema del proceso de transformación del bambú hasta obtener el material compuesto bambú laminado pegado prensado, donde se obtienen las tiras de bambú y las tiras se pegan a lo largo de la fibra para conformar el tablero de bambú (Takeuchi, 2014). Se ha encontrado que los laminados de bambú se proyectan como un material alternativo para la construcción de estructuras (López, 2009).

8.7.2 Otros usos

Se puede realizar carbón activado de bambú a temperatura de cuatrocientos grados Celsius el proceso comienza con la carbonización del bambú para eliminar las sustancias volátiles y dejar un residuo carbonoso que se somete a la activación a temperaturas más altas (Velázquez, 2010). Otro uso posible son los tableros estructurales o de cerramiento en cualquiera de los sistemas de cemento Portland, para mortero concreto reforzados con bambú, para ser usados como matriz en paneles de tabillas o esterilla de bambú, cerramiento de puertas y ventanas, losetas para entrepisos. recubrimiento de superficies y cajas de empaque la presencia de la fibra reduce la formación de fisuras ocasionadas por las contracciones del fraguado, tal hecho se puede atribuir a la retención de humedad por parte de la fibra y la orientación aleatoria de este alrededor del gel de cemento crea una condición de confinamiento que inhibe la contracción desarrollada (Arce, 1997).

8.8 Pegamento

Rodríguez, Dill y Bidegaray (2006) propusieron el uso de la especie de bambú *Guadua angustifolia* Kunth como una alternativa sostenible de construcción de viviendas en la zona atlántica de Costa Rica. En este trabajo se estudió las rutinas típicas de las comunidades indígenas del sur del país en cuanto a las costumbres y cultura respecto a las técnicas constructivas de vivienda, entre otros. Se concluyó que el bambú como material de construcción tiene una gran aceptación en las comunidades indígenas además de ser un material de fácil acceso, bajo costo y que no presenta un impacto negativo en el ambiente.

Por otra parte, Rodríguez (2006) investigó los usos del bambú como material de construcción. Destaca en su investigación la alta resistencia con relación a su peso además de sus propiedades antisísmicas, aislante del frío, el calor y el ruido. Por último menciona las ventajas económicas ya que una construcción convencional tiene un costo entre 250 y 350 dólares por metro cuadrado de construido, mientras que una construcción con bambú requiere entre 75 y 100 dólares por metro cuadrado.

El bambú puede ser utilizado de muchas otras formas, no solamente como columnas y vigas de soporte utilizando los culmos en su estado natural, sino también en combinación con otros materiales, ya sea como fibras en mezclas con concreto o con polímeros o también como laminas pegadas en diferentes combinaciones.

Mejía (2010) Investigó las propiedades mecánicas de las fibras de bambú *Guadua angustifolia* para su uso como refuerzo en materiales compuestos. En su investigación concluye que los contenidos de lignina, celulosa y hemicelulosa de varias especies de bambú son similares. También concluye que las fibras de bambú tienen propiedades mecánicas más altas que la mayoría de fibras naturales utilizada para fabricar materiales compuestos.

Arce (1997) Estudió el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del concreto al ser reforzado con fibras de bambú de la especie *Guadua angustifolia*. En esta investigación se concluyó que, al incluir fibra de bambú en los morteros de concreto, se mejora la resistencia mecánica y las

propiedades físicas de absorción de humedad y contracción por secado. Se recomienda mantener la relación de agregado-cemento entre 40 y 50% para evitar grietas en el material resultante.

En cuanto al laminado Takeuchi (2014) Realizó una caracterización mecánica del bambú *Guadua angustifolia* laminado. En esta investigación se estudió las propiedades mecánicas: resistencia a la tensión, la compresión, el cortante y a flexión. Las probetas utilizadas fueron elaboradas a partir del pegado de tiras procurando el paralelo a las fibras. Se utilizó como adhesivo resina de urea melanina formaldehído. Como resultado de la investigación se observó una respuesta estructural frágil cuando se lamina en tiras paralelas a la fibra.

López (2009) Quién recomienda que los elementos del laminado se orienten de tal forma que la carga sea aplicada paralela a la fibra. También recomienda que la sección transversal de los laminados usados como elementos sometidos a la flexión sean dispuestos de tal manera que las líneas de pegado de los cantos queden horizontales y traslapadas (orientación de las láminas tangencial) con el fin de evitar posibles despegados de las uniones de las tiras.

En cuanto a los adhesivos utilizados, Beraldo (2003) Evaluó las características del material laminado de bambú manufacturado utilizando dos especies diferentes de bambú: *Dendrocalamus giganteus* y el *Bambusa vulgaris*. Se evaluaron dos tratamientos a los cuales fueron sometidas las láminas obtenidas a partir de cada una de las especies de bambú investigadas: Lavado por inmersión en agua y lavado químico. Para la unión de las láminas que conforman los tableros laminados utilizó dos pegamentos comerciales: resina a base de urea-formaldehído y resina a base de resorcinol-formaldehído. Se estudió el efecto que tenía tanto la especie de bambú utilizada, el tratamiento de lavado de las láminas, como el tipo de pegamento utilizado, sobre las propiedades físicas y mecánicas tales como resistencia a la flexión estática, resistencia a la compresión, prueba de adhesión, resistencia al impacto, entre otras. Se concluyó que el adhesivo a base de resina de urea-formaldehído proporcionó una mejor estabilidad en las propiedades físicas y mecánicas del tablero laminado fabricado, sin embargo, no se pudo encontrar la mejor combinación de las variables estudiadas: especie de bambú, tipo de lavado y adhesivo que proporcionaran propiedades físicas y mecánicas satisfactorias.

9. Estado del arte

Rodríguez, Dill y Bidegaray (2006) propusieron el uso de la especie de bambú *Guadua angustifolia* Kunth como una alternativa sostenible de construcción de viviendas en la zona atlántica de Costa Rica. En este trabajo se estudió las rutinas típicas de las comunidades indígenas del sur del país en cuanto a las costumbres y cultura respecto a las técnicas constructivas de vivienda, entre otros. Se concluyó que el bambú como material de construcción tiene una gran aceptación en las comunidades indígenas además de ser un material de fácil acceso, bajo costo y que no presenta un impacto negativo en el ambiente.

Por otra parte, Rodríguez (2006) investigó los usos del bambú como material de construcción. Destaca en su investigación la alta resistencia con relación a su peso además de sus propiedades antisísmicas, aislante del frío, el calor y el ruido. Por último menciona las ventajas económicas ya que una construcción convencional tiene un costo entre 250 y 350 dólares por metro cuadrado de construido, mientras que una construcción con bambú requiere entre 75 y 100 dólares por metro cuadrado.

El bambú puede ser utilizado de muchas otras formas, no solamente como columnas y vigas de soporte utilizando los culmos en su estado natural, sino también en combinación con otros materiales, ya sea como fibras en mezclas con concreto o con polímeros o también como laminas pegadas en diferentes combinaciones.

Mejía (2010) Investigó las propiedades mecánicas de las fibras de bambú *Guadua angustifolia* para su uso como refuerzo en materiales compuestos. En su investigación concluye que los contenidos de lignina, celulosa y hemicelulosa de varias especies de bambú son similares. También concluye que las fibras de bambú tienen propiedades mecánicas más altas que la mayoría de fibras naturales utilizada para fabricar materiales compuestos.

Arce (1997) Estudió el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del concreto al ser reforzado con fibras de bambú de la especie *Guadua angustifolia*. En esta investigación se concluyó que, al incluir fibra de bambú en los morteros de concreto, se mejora la resistencia

mecánica y las propiedades físicas de absorción de humedad y contracción por secado. Se recomienda mantener la relación de agregado-cemento entre 40 y 50% para evitar grietas en el material resultante.

En cuanto al laminado Takeuchi (2014) Realizó una caracterización mecánica del bambú *Guadua angustifolia* laminado. En esta investigación se estudió las propiedades mecánicas: resistencia a la tensión, la compresión, el cortante y a flexión. Las probetas utilizadas fueron elaboradas a partir del pegado de tiras procurando el paralelo a las fibras. Se utilizó como adhesivo resina de urea melanina formaldehído. Como resultado de la investigación se observó una respuesta estructural frágil cuando se lamina en tiras paralelas a la fibra.

López (2009) Quién recomienda que los elementos del laminado se orienten de tal forma que la carga sea aplicada paralela a la fibra. También recomienda que la sección transversal de los laminados usados como elementos sometidos a la flexión sean dispuestos de tal manera que las líneas de pegado de los cantos queden horizontales y traslapadas (orientación de las láminas tangencial) con el fin de evitar posibles despegados de las uniones de las tiras.

En cuanto a los adhesivos utilizados, Beraldo (2003) Evaluó las características del material laminado de bambú manufacturado utilizando dos especies diferentes de bambú: *Dendrocalamus giganteus* y el *Bambusa vulgaris*. Se evaluaron dos tratamientos a los cuales fueron sometidas las láminas obtenidas a partir de cada una de las especies de bambú investigadas: Lavado por inmersión en agua y lavado químico. Para la unión de las láminas que conforman los tableros laminados utilizó dos pegamentos comerciales: resina a base de urea-formaldehído y resina a base de resorcinol-formaldehído. Se estudió el efecto que tenía tanto la especie de bambú utilizada, el tratamiento de lavado de las láminas, como el tipo de pegamento utilizado, sobre las propiedades físicas y mecánicas tales como resistencia a la flexión estática, resistencia a la compresión, prueba de adhesión, resistencia al impacto, entre otras. Se concluyó que el adhesivo a base de resina de urea-formaldehído proporcionó una mejor estabilidad en las propiedades físicas y mecánicas del tablero laminado fabricado, sin embargo, no se pudo encontrar la mejor combinación de las variables estudiadas: especie de bambú, tipo de lavado y adhesivo que proporcionaran propiedades físicas y mecánicas satisfactorias.

10. Objetivo general.

Evaluar los parámetros de proceso de laminado de tableros de bambú (*Dendrocalamus asper*) para su aplicación en la agroindustria

11. Objetivos específicos

- 11.1 Evaluar el efecto de la variación del tipo de pegamento utilizado sobre las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de bambú fabricados.
- 11.2 Evaluar el efecto de la configuración del laminado sobre las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de bambú fabricados.
- 11.3 Evaluar el efecto de la variación en el grosor sobre las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de bambú fabricados.
- 11.4 Analizar comparativamente las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de bambú fabricados y tableros de madera dura, blanda, plywood y melanina

12. Hipótesis (si aplica).

Las propiedades físicas y mecánicas de los tableros fabricados a partir de laminado de bambú son mejores que las de tableros comerciales.

13. Materiales y métodos

13.1 Enfoque y tipo de investigación:

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo y es tipo investigación aplicada.

13.2 Recolección de información:

Se estudió una sola especie de bambú (*Dendrocalamus asper*) debido a las ventajas que proporciona su tallo más grueso y resistente, la demanda que actualmente tiene en el mercado y a su rentabilidad económica lo que la hace una de las especies más comerciales y cuyo cultivo se busca incentivar por parte de la Universidad de San Carlos y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Esta especie de bambú ofrece mayor conveniencia en la obtención de latillas para el laminado debido a su morfología y tamaño. Los pegamentos utilizados son los más comerciales y económicamente accesibles. 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.

13.3 Para investigación cuantitativa:

Se realizó un experimento completamente al azar con un arreglo multifactorial de tres factores: tipo de pegamento, configuración de laminado y grosor del tablero. Para el factor tipo de pegamento se analizaron dos niveles: pegamento de secado rápido y cola blanca estándar. Para el factor configuración de laminado se evaluaron tres niveles: combinación cara con cara, combinación lateral con lateral, combinación cara con lateral. Para el nivel grosor se evaluaron tres grosores: $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada. Se realizaron cinco repeticiones lo cual proporciona un experimento con noventa unidades experimentales.

13.4 Técnicas e instrumentos:

Al obtener el bambú (*Dendrocalamus asper*) se le hizo una caracterización inicial de sus propiedades. Los culmos fueron sometidos al latillado en el laboratorio multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Las tiras o latillas obtenidas se cortaron para formar tableros de 2x8 pies variando la combinación de la siguiente manera: combinación cara con cara, combinación lateral con lateral y combinación cara con lateral. Los tableros con las configuraciones indicadas se laminaron sobre una mesa de trabajo e inmovilizados con sargentos, prensas tipo C, prensas de apriete rápido y prensas de tubo, mientras que se curaban los adhesivos. Una vez curado el adhesivo los tableros obtenidos fueron cepillados y luego lijados. De cada tablero obtenido se sacaron probetas las cuales se ensayaron en el Centro de Investigaciones de Ingeniería y así se pudo determinar las propiedades fisicomecánicas, porcentaje de humedad, densidad, contracción volumétrica, porcentaje de absorción, resistencia a la flexión, prueba de adhesión y dureza Janka.

La unidad de análisis fueron tableros comerciales de melanina plywood, madera laminada y laminados de bambú en tres configuraciones diferentes y tres grosores y dos pegamentos diferentes uno de secado rápido y pegamento de madera.

Tabla. 2

Descripción de los tableros laminados de bambú y tableros comerciales

tablero	Descripción	Grososres de los tableros
Melamina	Es un tablero de aglomerado cubierto por ambos lados o caras con láminas impregnadas con resinas melamínicas teniendo una superficie libre de poros en dimensiones de 6x8 pies .	Melamina ½ pulgada Melamina ¾ pulgada Melamina 1 pulgada
Plywood	Es un tablero laminado fabricado con capas delgadas de chapa de madera que están pegadas entre sí con capas adyacentes con orientaciones diferentes dimensiones de 4x8 pies	Plywood ½ pulgada Plywood ¾ pulgada Plywood 1 pulgada
Madera	Es un tablero laminado de reglas de maderas pegados para formar un tablero más grande dimensiones de 4x6 pies	Madera ¾ pulgada Madera dura ¾ pulgada Madera dura 1 pulgada
Tablero laminado pegado perpendicular a las fibras	Tablero laminado con latillas de bambú pegadas a lo ancho de las latillas, con varias capas hasta llegar al grosor requerido utilizando dos pegamentos diferentes pegado rápido B y pegamento para madera R	1C1R ½ pulgada 2C1R ¾ pulgada 3C1R 1 pulgada 1C1B ½ pulgada 2C1B ¾ pulgada 3C1B 1 pulgada
Tablero laminado pegado en paralelos a las fibras	Tablero laminado con latillas de bambú pegadas por el grosor de las latillas perpendicular, con varias capas hasta llegar al grosor requerido utilizando dos pegamentos diferentes pegado rápido B y pegamento para madera R.	1C1R ½ pulgada 2C1R ¾ pulgada 3C1R 1 pulgada 1C1B ½ pulgada 2C1B ¾ pulgada 3C1B 1 pulgada
Tablero laminado pegado compuesto	Tablero laminado con latillas de bambú pegadas a lo ancho de las latillas y la segunda capa con latillas de bambú pegadas por el grosor de las latillas perpendicular, con varias capas intercaladas entre si hasta llegar al grosor requerido utilizando dos pegamentos diferentes pegado rápido B y pegamento para madera R.	1C1R ½ pulgada 2C1R ¾ pulgada 3C1R 1 pulgada 1C1B ½ pulgada 2C1B ¾ pulgada 3C1B 1 pulgada

- 13.5 Operacionalización de las variables o unidades de análisis: A continuación se describen las variables por objetivo y la forma en que se midieron, la clasificación más convencional de las escalas de medida las divide en cuatro grupos denominados: Nominal, Ordinal, Intervalo y Razón; de donde usamos 3 de las cuatro; La Nominal se usó para las variables numéricas cuyos valores representan una categoría o identifican un grupo de pertenencia, como el tipo de pegamento que se usó; La de Intervalos son variables numéricas cuyos valores representan magnitudes y la distancia entre los números de su escala es igual. Con este tipo de variables se pudo realizar comparaciones de igualdad/desigualdad, establecer un orden dentro de sus valores y medir la distancia existente entre cada valor de la escala, y por último la de Razón que poseen las mismas características de las variables de intervalo, con la diferencia que cuentan con un cero absoluto; es decir, el valor cero (0) representa la ausencia total de medida como la Humedad.
- 13.6 Normas utilizadas para los ensayos: Densidad ASTM D2395, Contenido de humedad ASTM D 143-94, Corte en línea de adhesivo ASTM D 905, Tracción paralela a las fibras ASTM D 3500-90, Compresión paralela a las fibras ASTM D 143-94, Flexión ASTM D 198; los ensayos de dureza, contracción volumétrica y adsorción se realizaran 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.

Tabla. 3

Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Objetivos específicos	Variables o unidades de análisis que serán consideradas	Forma en que se medirán, clasificarán o cualificarán
1	Humedad (%)	Razón
	Secado (rápido y normal)	Nominal
	Sólidos disueltos (ppmm)	Razón
	Dureza total (ppmm)	Razón
	Densidad (g/cm ³)	Intervalo
	Flexión (kg/cm ²)	Intervalo
	Dureza Janka (N)	Intervalo
	Contracción volumétrica (%)	Razón
	Absorción (%)	Razón
2	Forma del laminado	Nominal
	Humedad (%)	Razón
	Densidad (g/cm ³)	Intervalo
	Flexión (kg/cm ²)	Intervalo
	Dureza Janka (N)	Intervalo
	Contracción volumétrica (%)	Razón
	Absorción (%)	Razón
3	Humedad	Razón
	Espesor	Razón
	Densidad (g/cm ³)	intervalo
	Flexión (kg/cm ²)	intervalo
	Dureza Janka (N)	intervalo
	Contracción volumétrica (%)	Razón
	Absorción (%)	Razón
4	Humedad (%)	Razón
	Densidad (g/cm ³)	intervalo
	Flexión (kg/cm ²)	intervalo
	Dureza Janka (N)	intervalo
	Contracción volumétrica (%)	Razón
	Absorción (%)	Razón

14. Vinculación, difusión y divulgación

- 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.

- Centro de Investigaciones de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.
- 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)
- 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 laminados.
- 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 de la Sección de Tecnología de la Madera, 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.

15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados:

En este apartado se presentan los resultados de las pruebas físico mecánicas realizadas a los tableros comerciales y a los laminados de bambú para su comparación. A continuación, se muestran en las gráficas los valores del porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados de bambú, los tableros están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 5) es con el pegamento de madera y (Figura 6) es la del pegamento de secado rápido, con grosores de ½ de pulgada

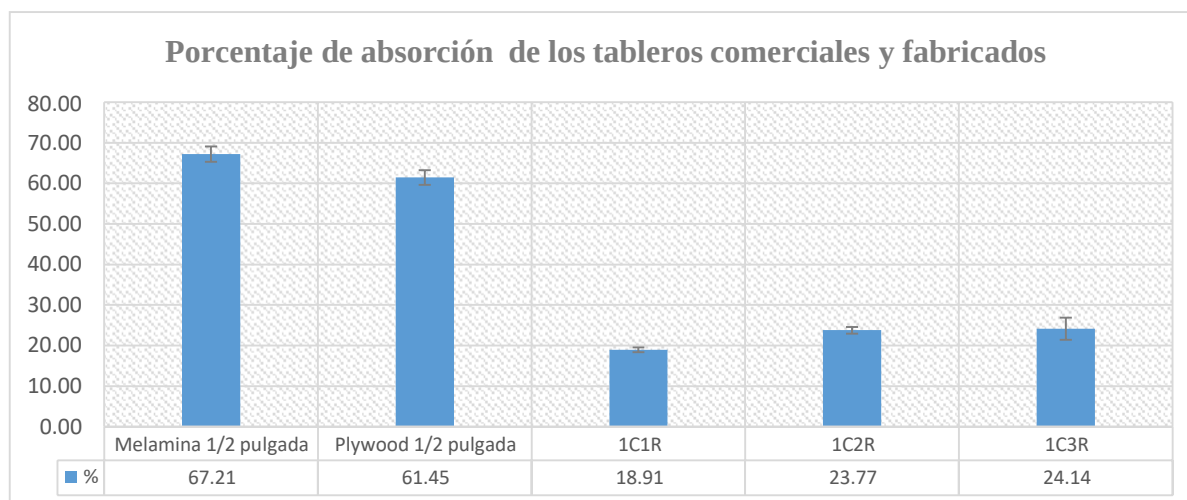


Figura 5 *Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada*

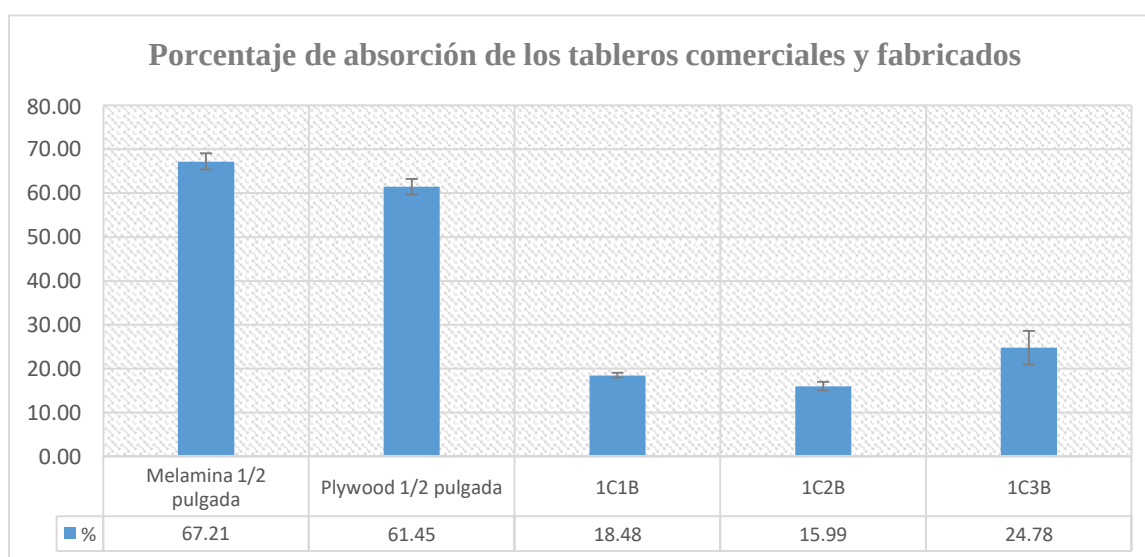


Figura 6 *Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados, pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores del porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados de bambú los tableros están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 7) es con el pegamento de madera y (Figura 8) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de $\frac{3}{4}$ de pulgada

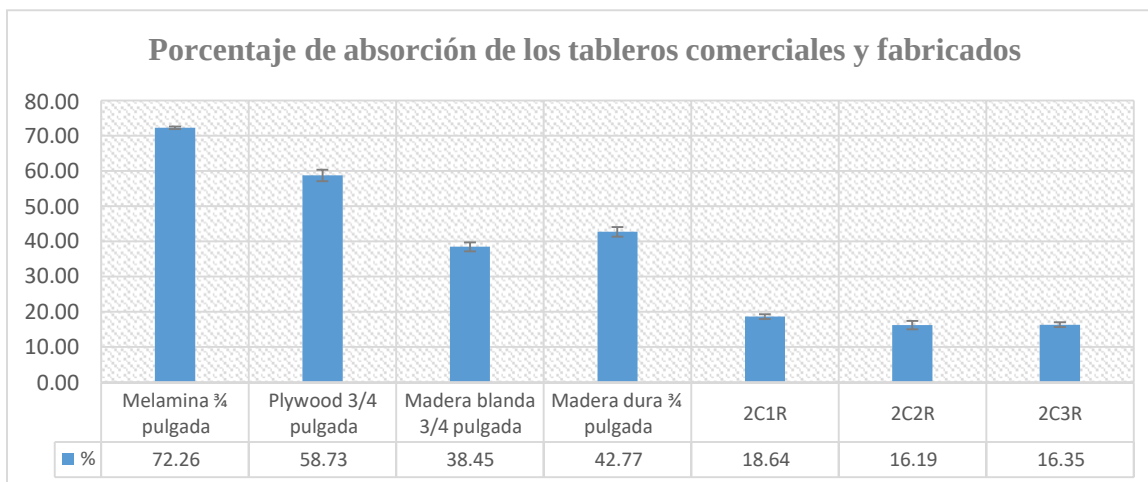


Figura 7 *Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor $\frac{3}{4}$ pulgada*

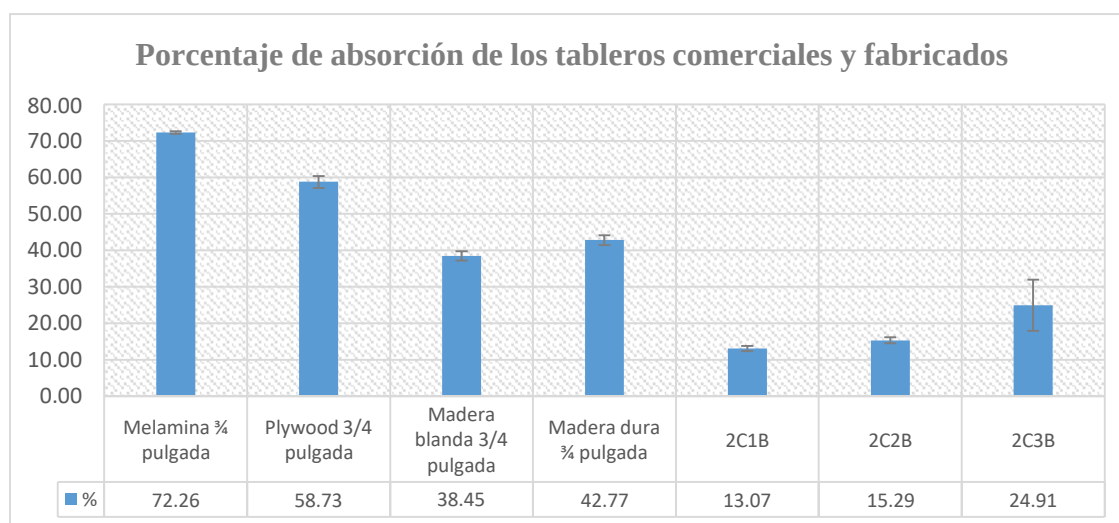


Figura 8 *Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido $\frac{3}{4}$ pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores del porcentaje de absorción de los tableros comerciales y tableros laminados de bambú, los tableros están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 9) es con el pegamento de madera y (Figura 10) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de 1 de pulgada

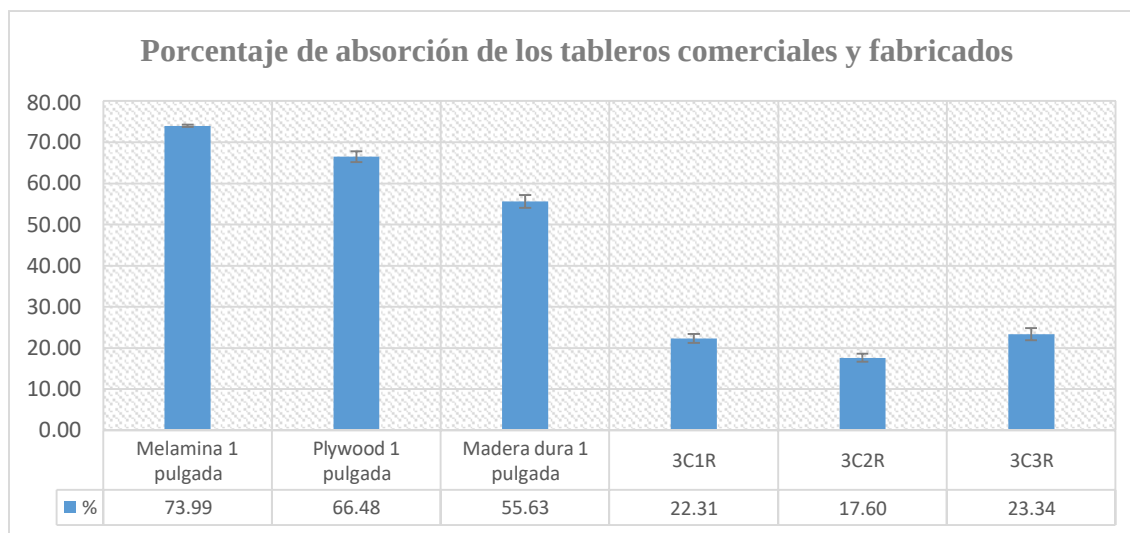


Figura 9 *Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada*

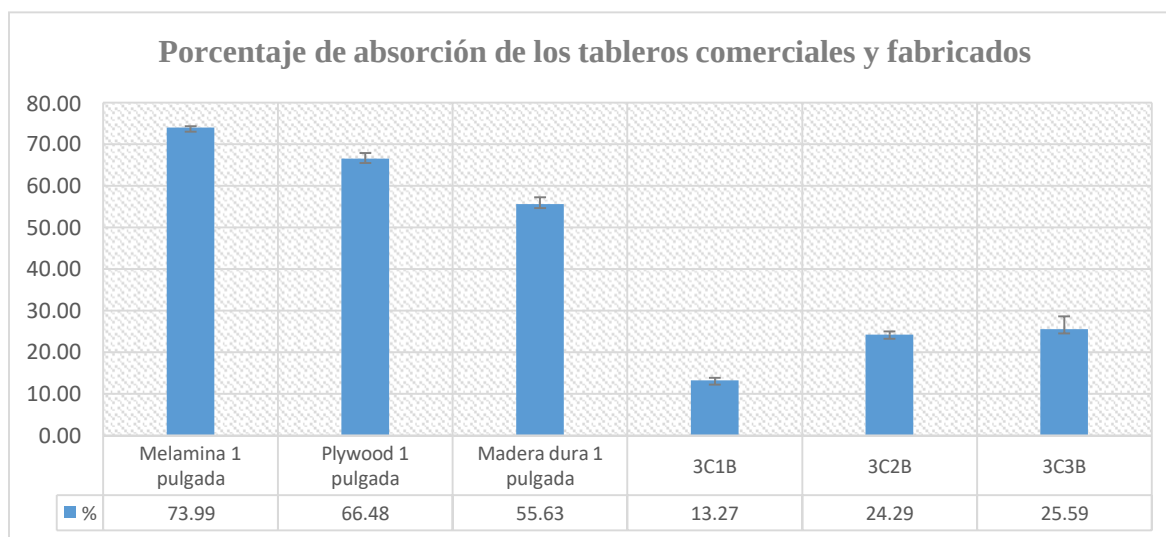


Figura 10 *Porcentaje de absorción de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido 1 pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 11) es con el pegamento de madera y (Figura 12) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de $\frac{1}{2}$ de pulgada

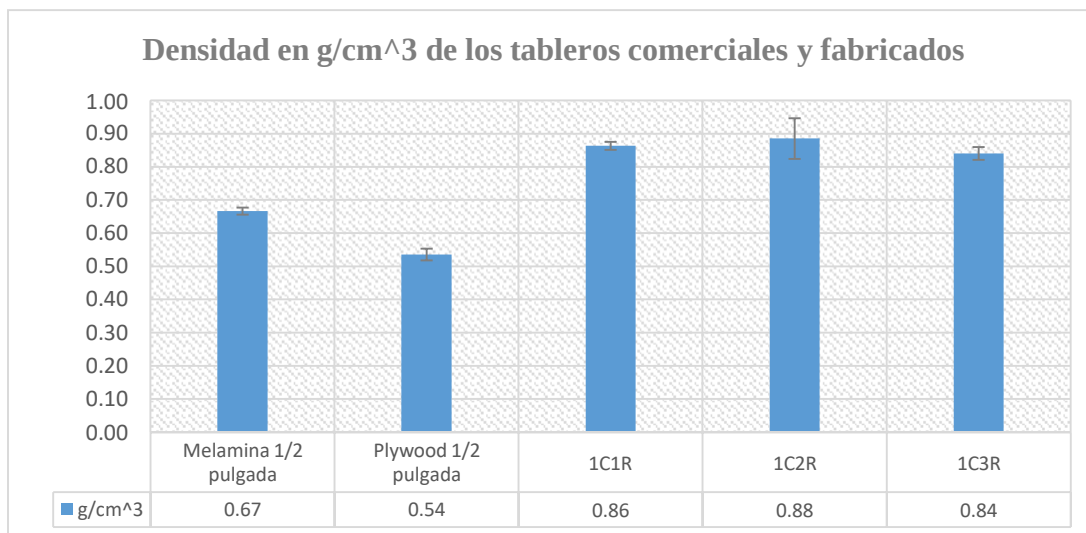


Figura 11 *Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor $\frac{1}{2}$ pulgada*

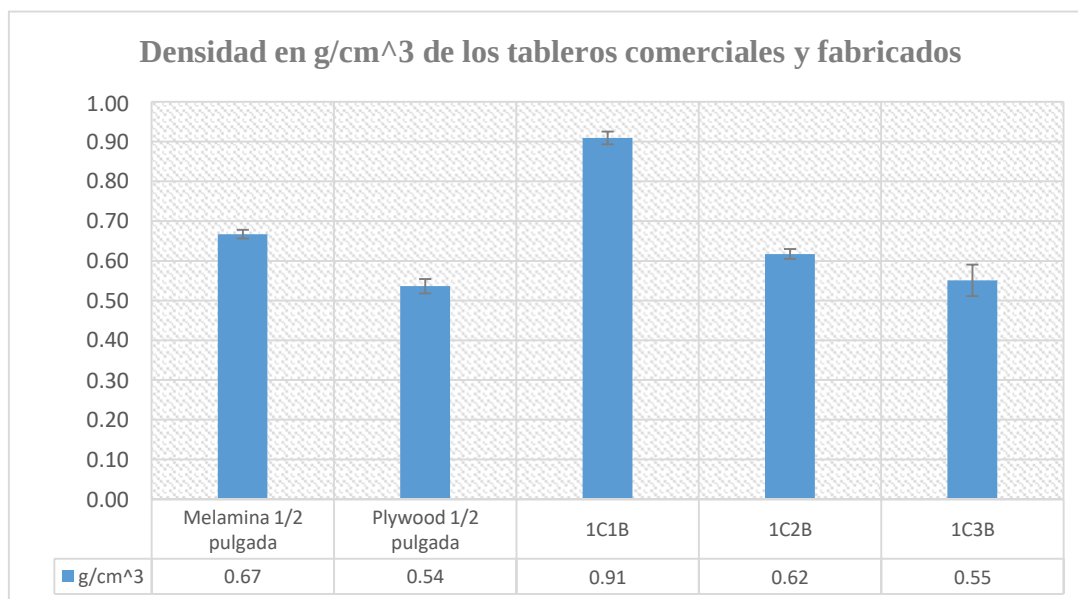


Figura 12 *Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor $\frac{1}{2}$ pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 13) es con el pegamento de madera y (Figura 14) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de $\frac{3}{4}$ de pulgada

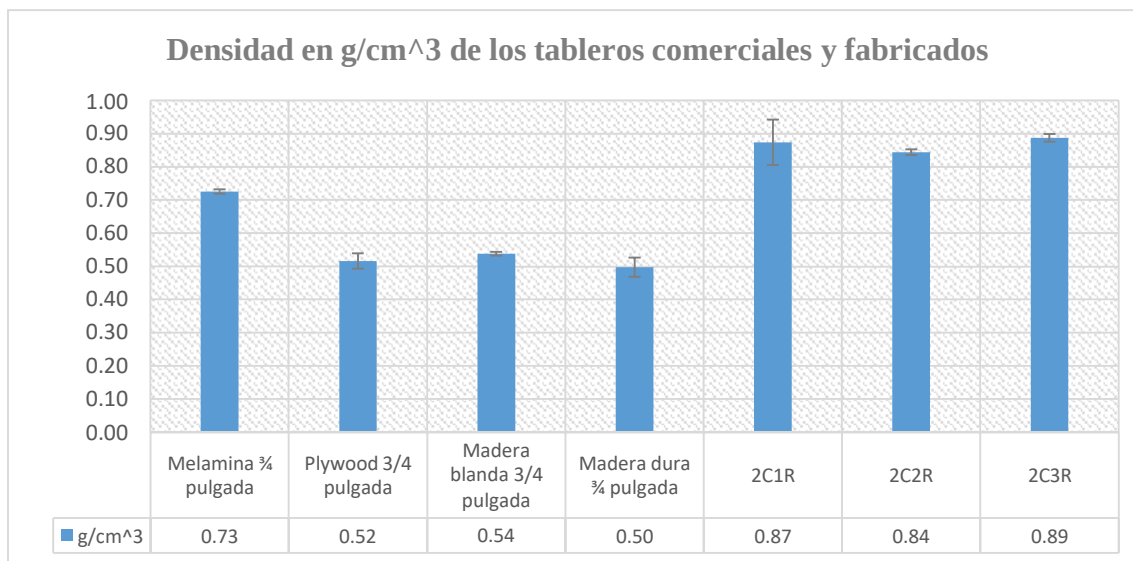


Figura 13 Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor $\frac{3}{4}$ pulgada

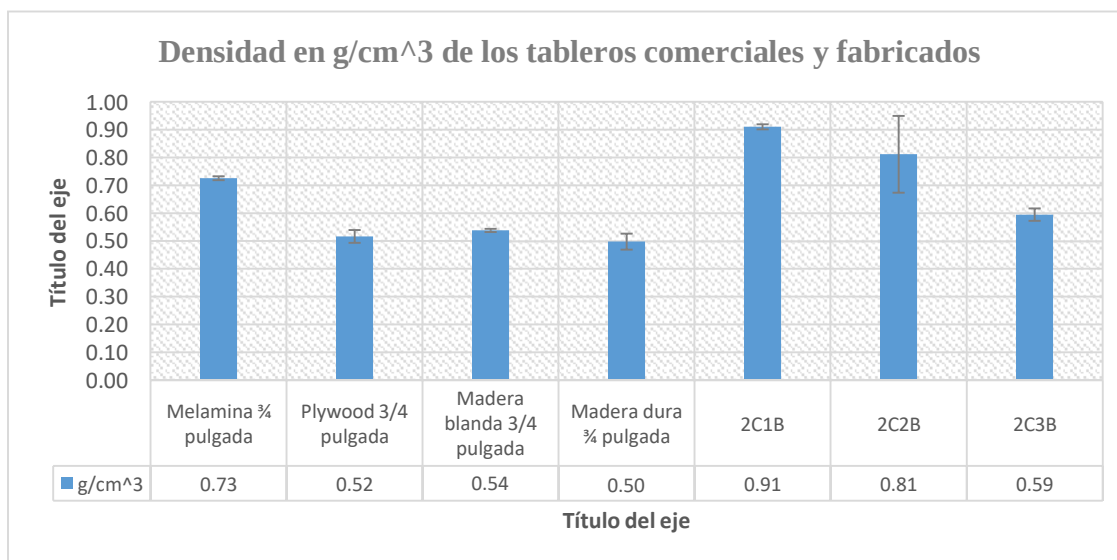


Figura 14 Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor $\frac{3}{4}$ pulgada

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 15) es con el pegamento de madera y (Figura 16) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de 1 de pulgada

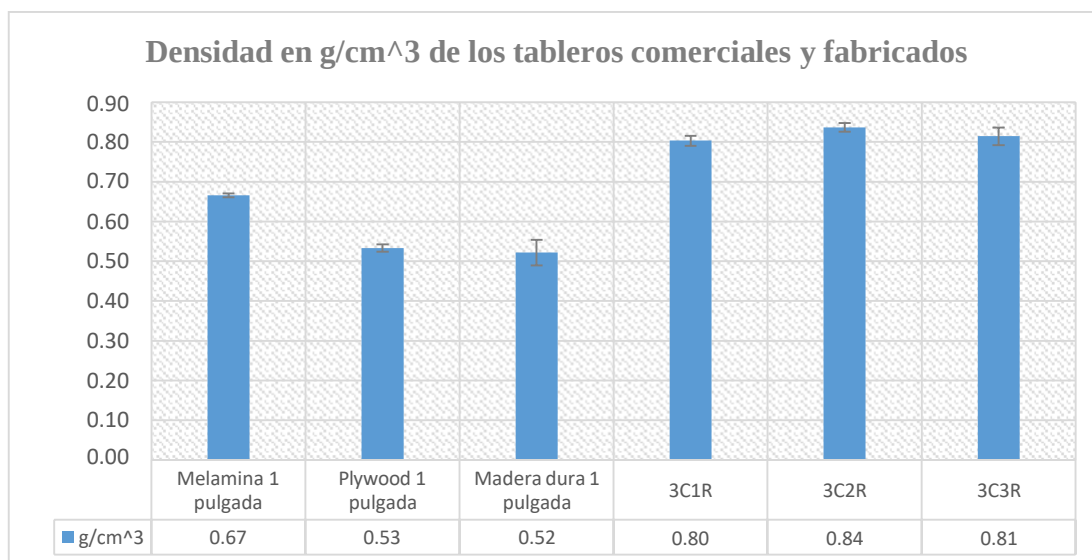


Figura 15 *Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada*

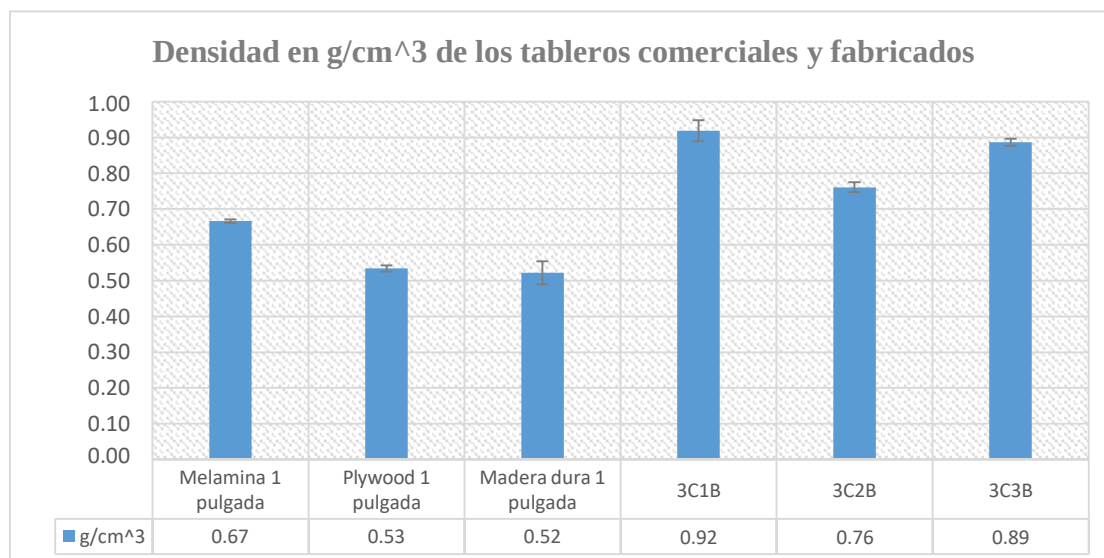


Figura 16 *Densidad en g/cm^3 de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor 1 pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Humedad en porcentaje de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 17) es con el pegamento de madera y (Figura 18) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de ½ de pulgada

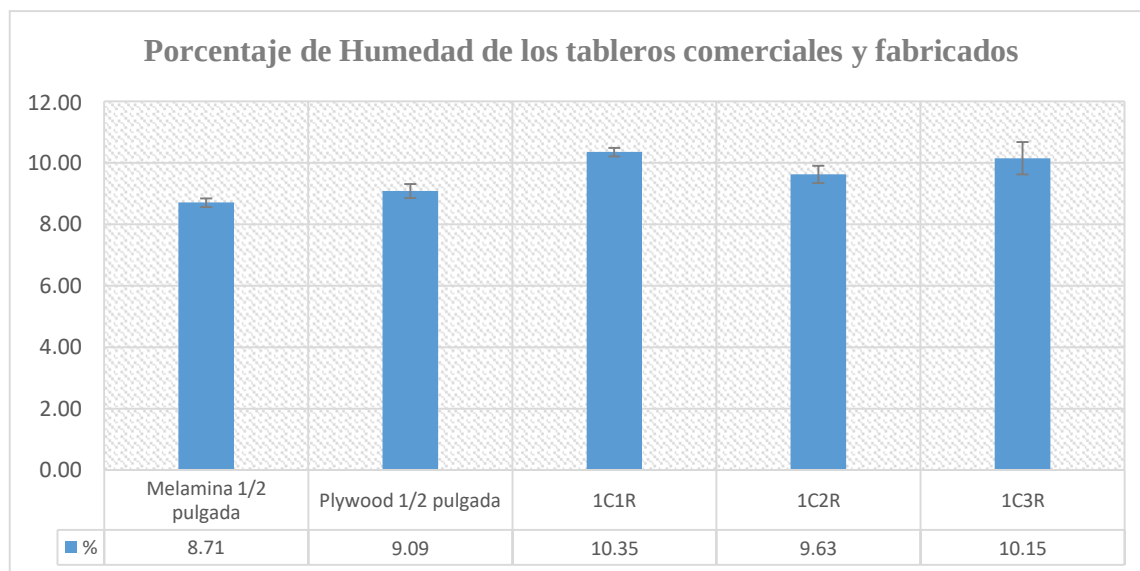


Figura 17 *Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada*

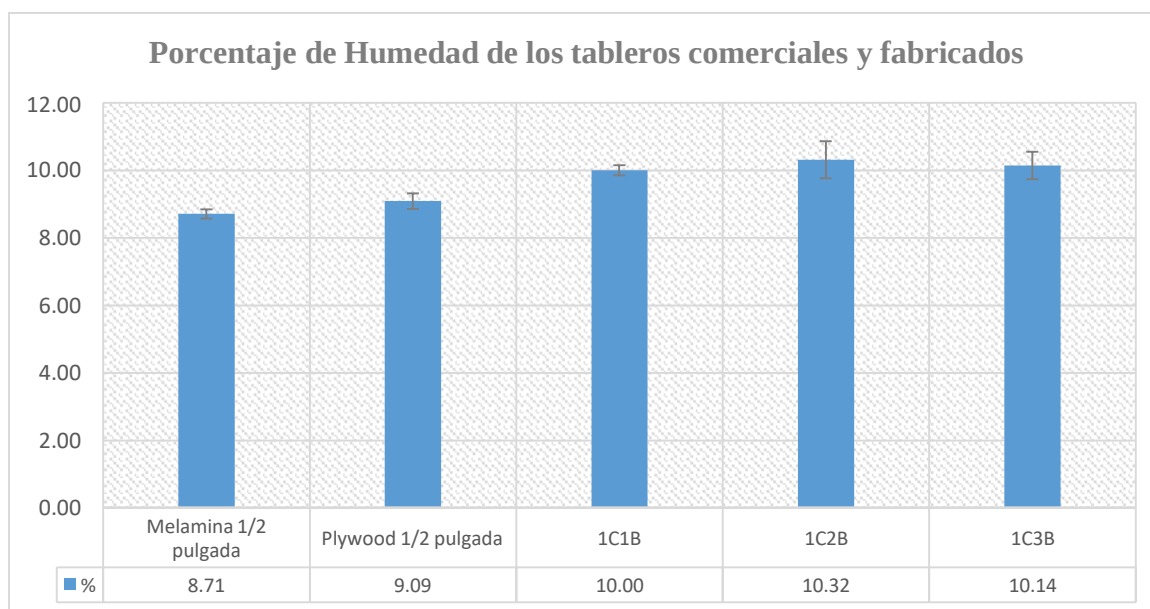


Figura 18 *Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Humedad en porcentaje de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 19) es con el pegamento de madera y (Figura 20) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de $\frac{3}{4}$ de pulgada

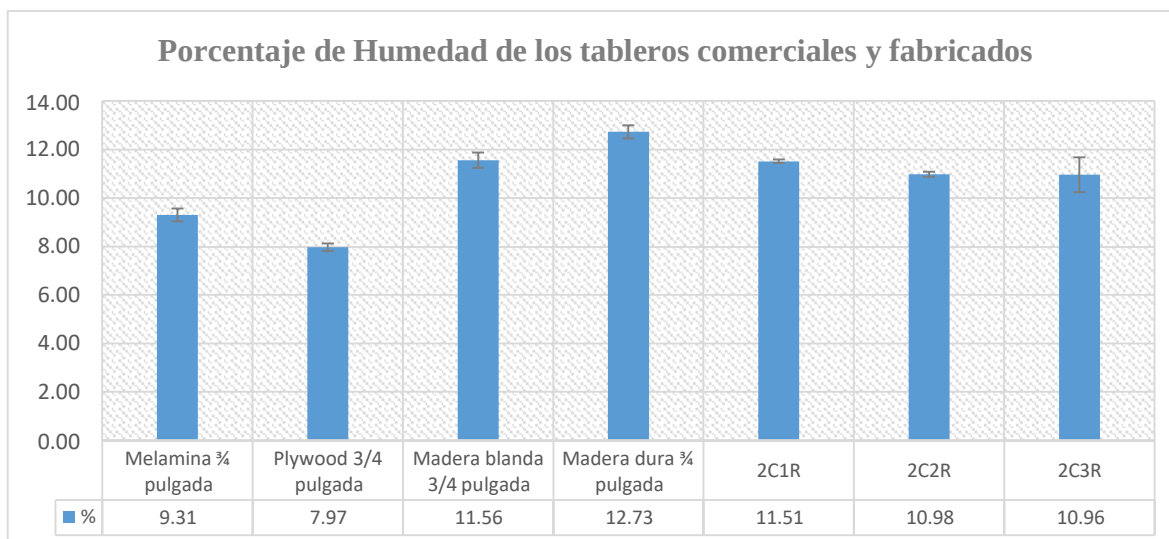


Figura 19 *Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor $\frac{3}{4}$ pulgada*

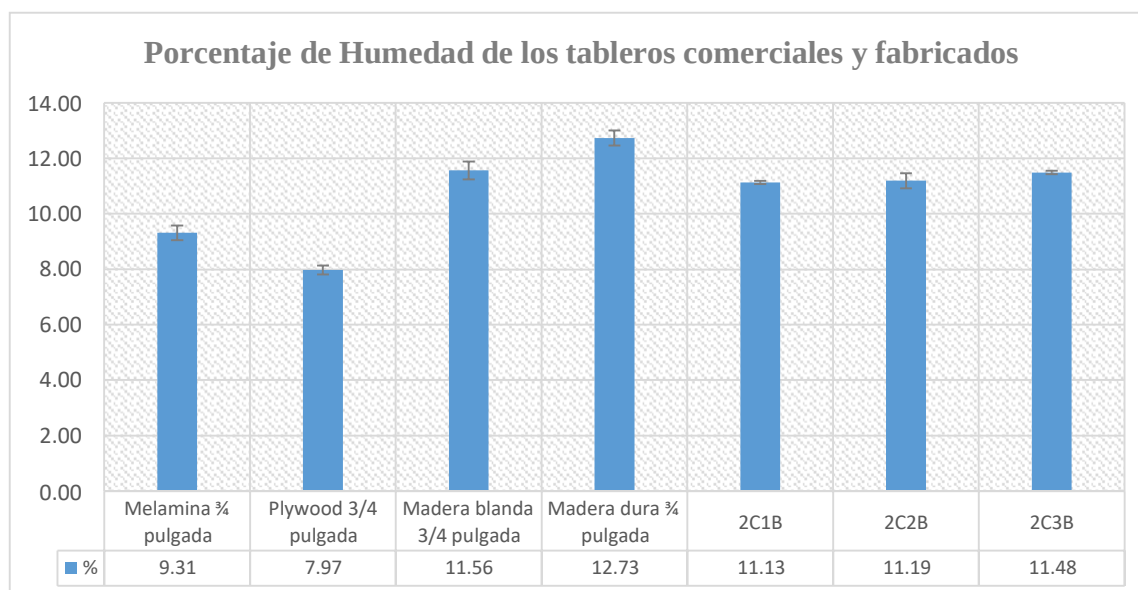


Figura 20 *Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor $\frac{3}{4}$ pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Humedad en porcentaje de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 21) es con el pegamento de madera y (Figura 22) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de 1 de pulgada

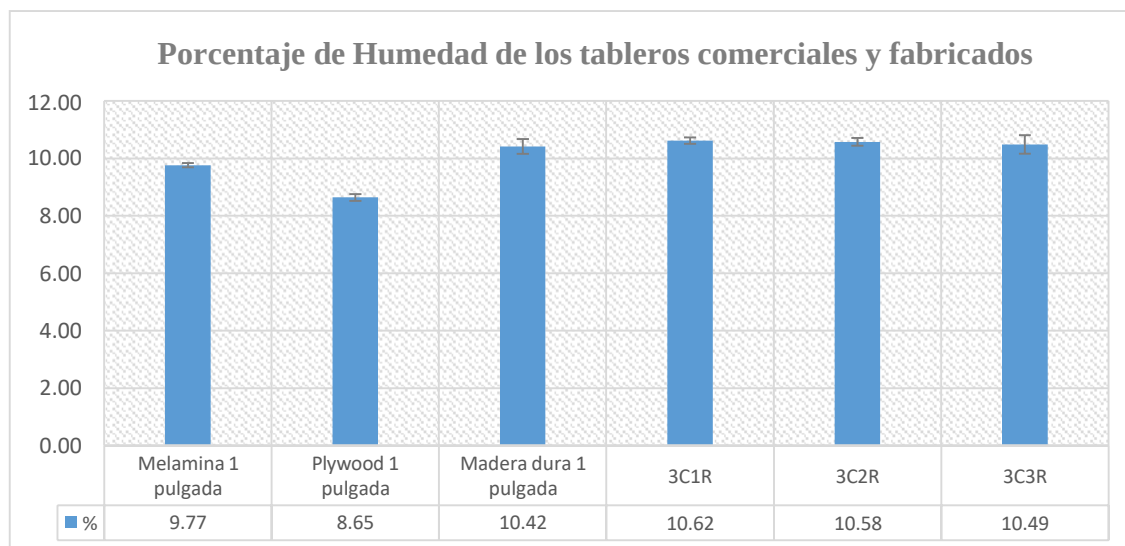


Figura 21 *Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada*

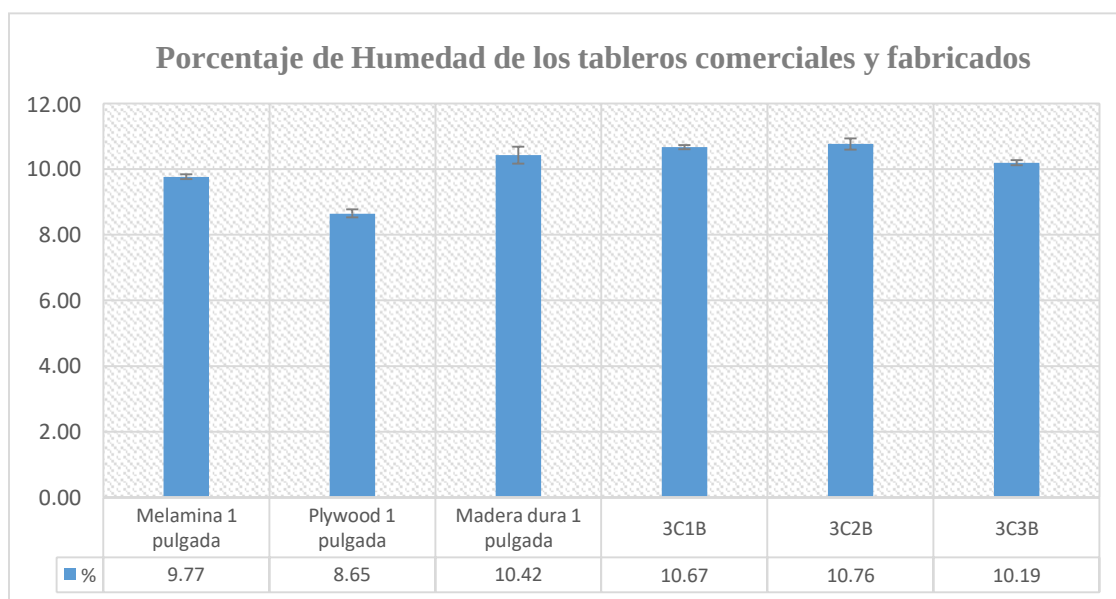


Figura 22 *Porcentaje de Humedad de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor 1 pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 23) es con el pegamento de madera y (Figura 24) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de ½ de pulgada

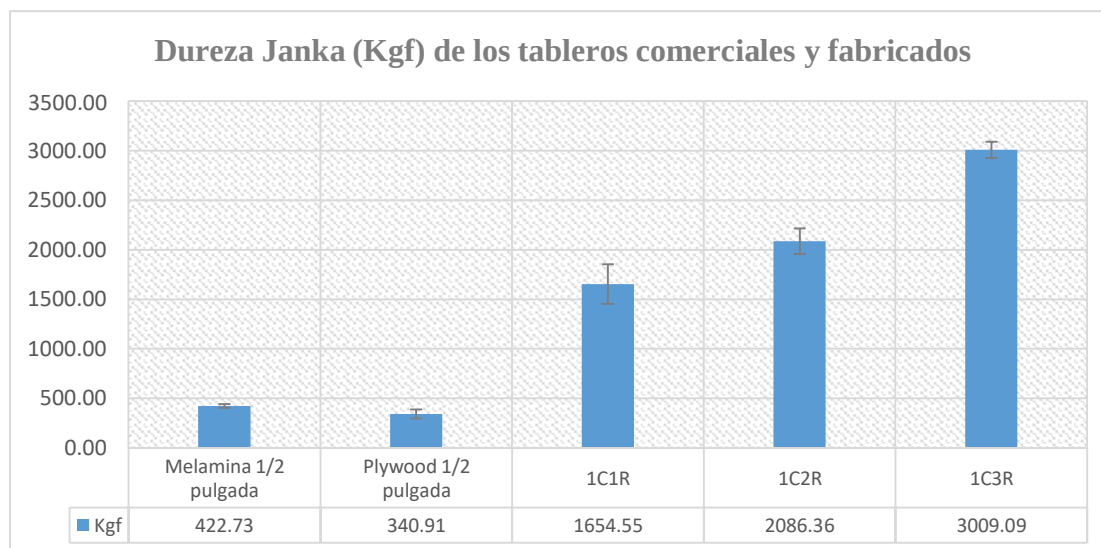


Figura 23 Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada

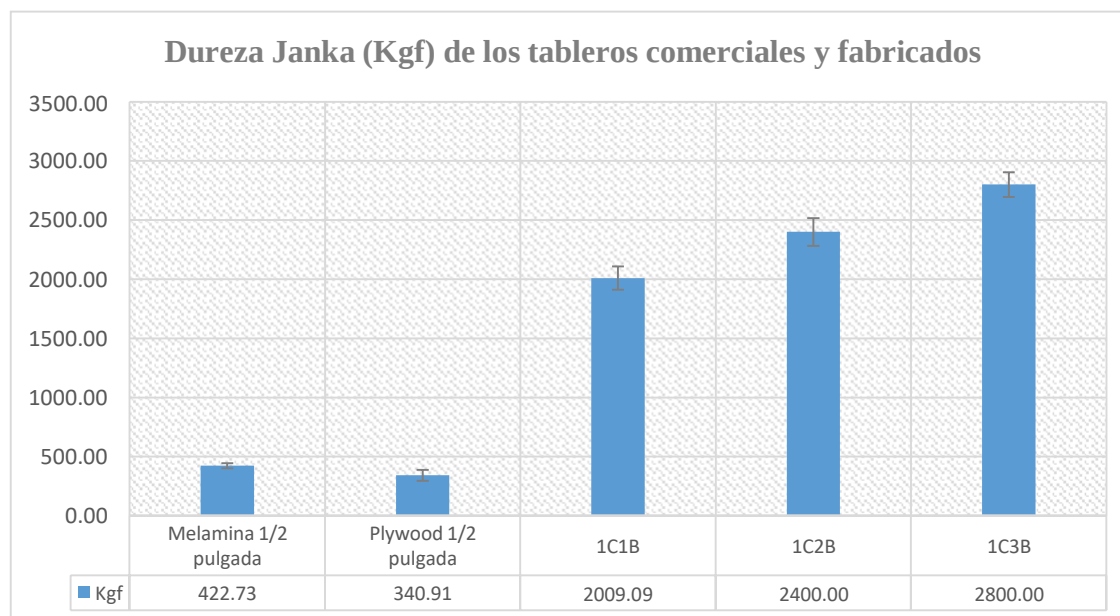


Figura 24 Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 25) es con el pegamento de madera y (Figura 26) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de $\frac{3}{4}$ de pulgada

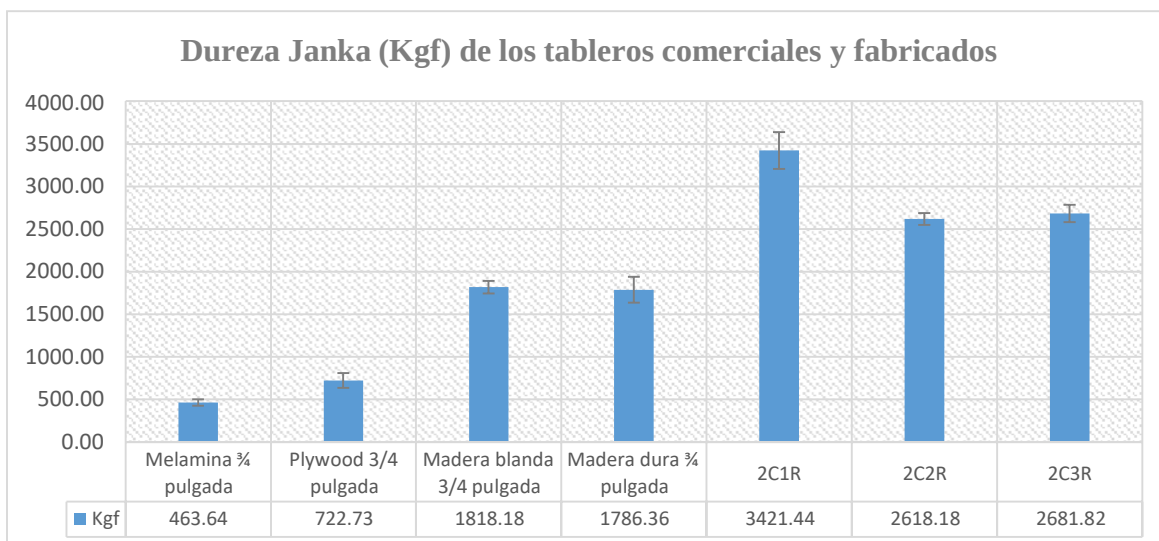


Figura 25 *Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor $\frac{3}{4}$ pulgada*

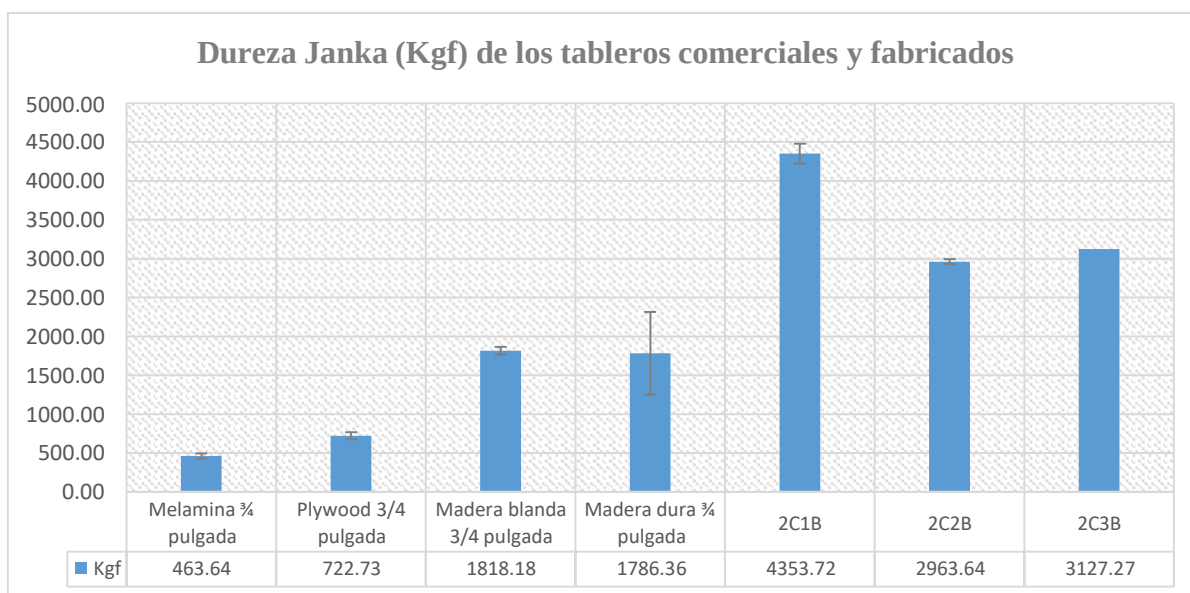


Figura 26 *Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor $\frac{3}{4}$ pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores de la Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 27) es con el pegamento de madera y (Figura 28) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de 1 de pulgada

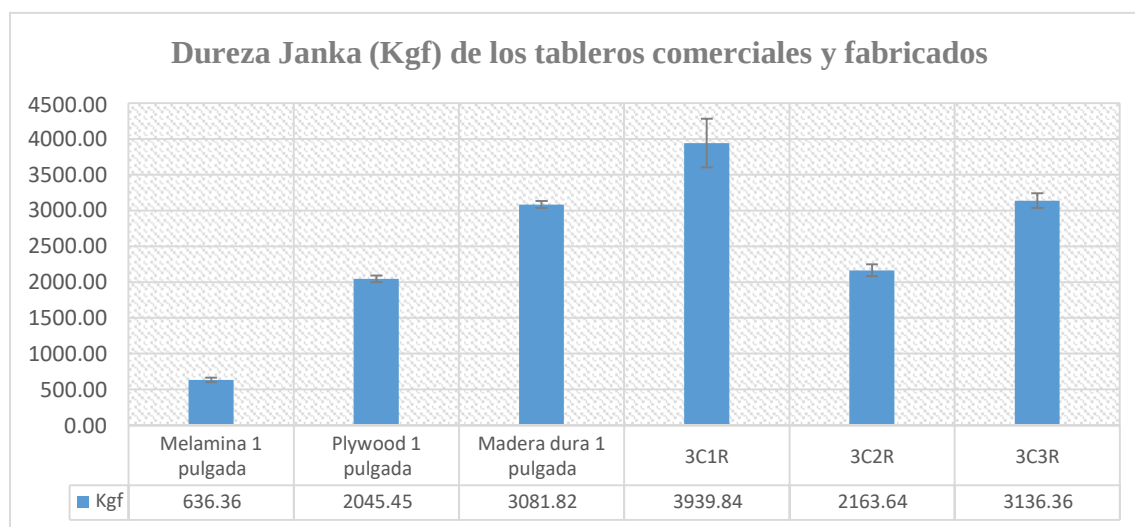


Figura 27 *Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada*

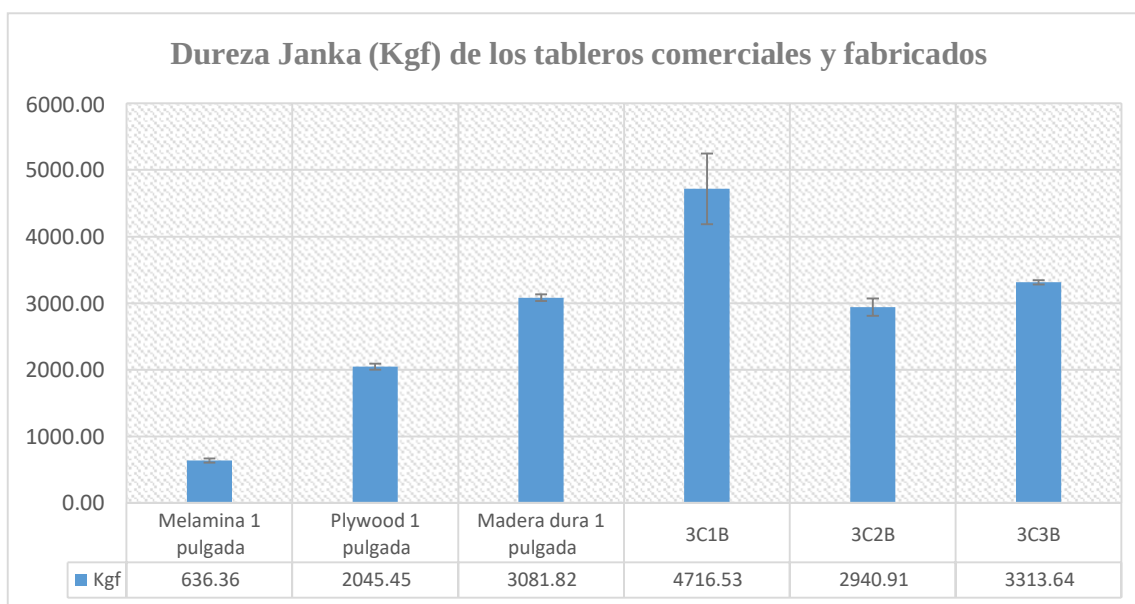


Figura 28 *Dureza Janka (Kgf) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor 1 pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores del Módulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 29) es con el pegamento de madera y (Figura 30) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de ½ de pulgada

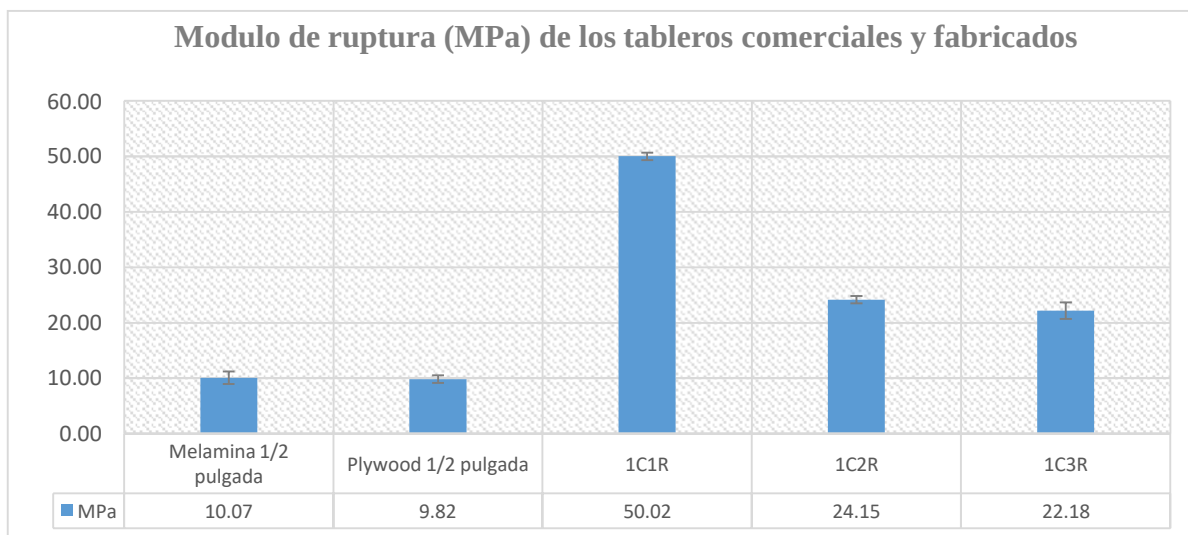


Figura 29 *Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada*

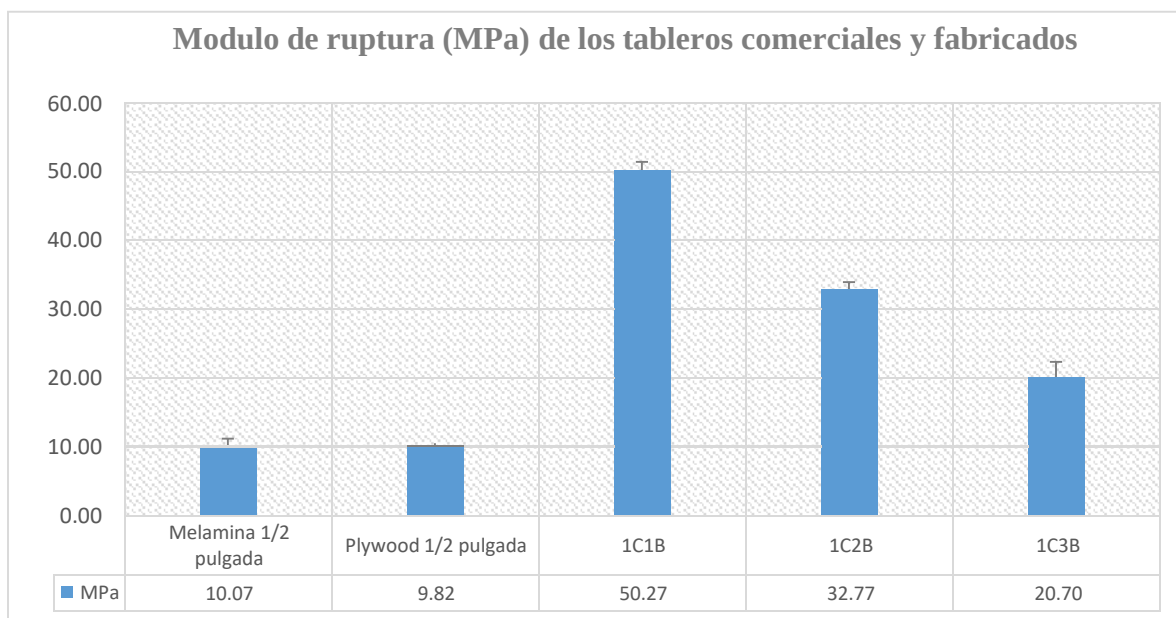


Figura 30 *Módulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores del Módulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 31) es con el pegamento de madera y (Figura 32) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de $\frac{3}{4}$ de pulgada

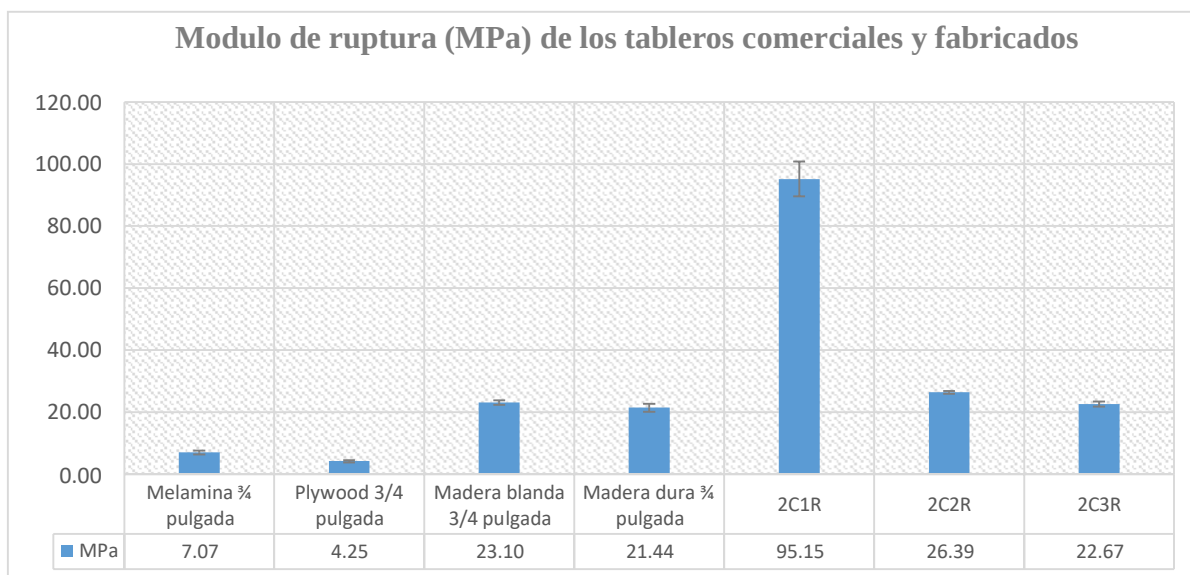


Figura 31 *Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor $\frac{3}{4}$ pulgada*

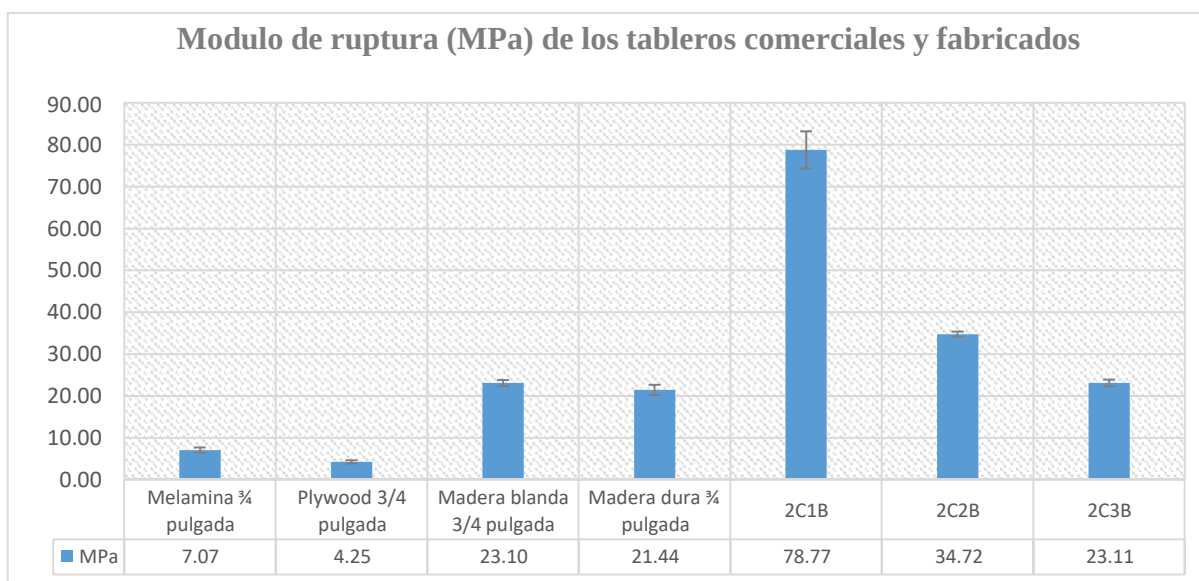


Figura 32 *Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor $\frac{3}{4}$ pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores del Módulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 33) es con el pegamento de madera y (Figura 34) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de 1 de pulgada

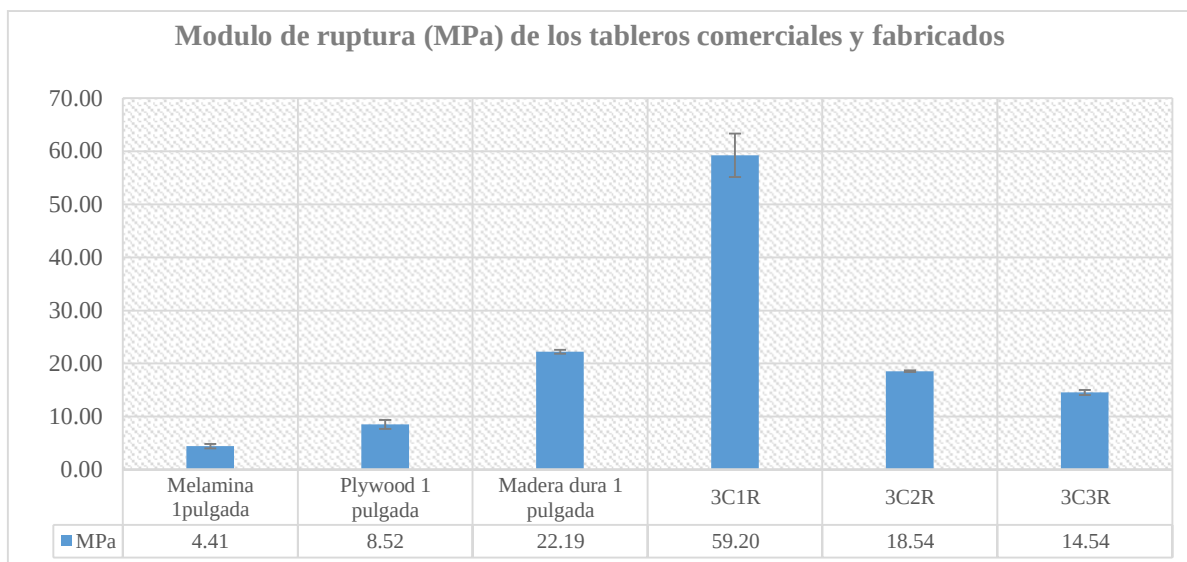


Figura 33 *Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada*

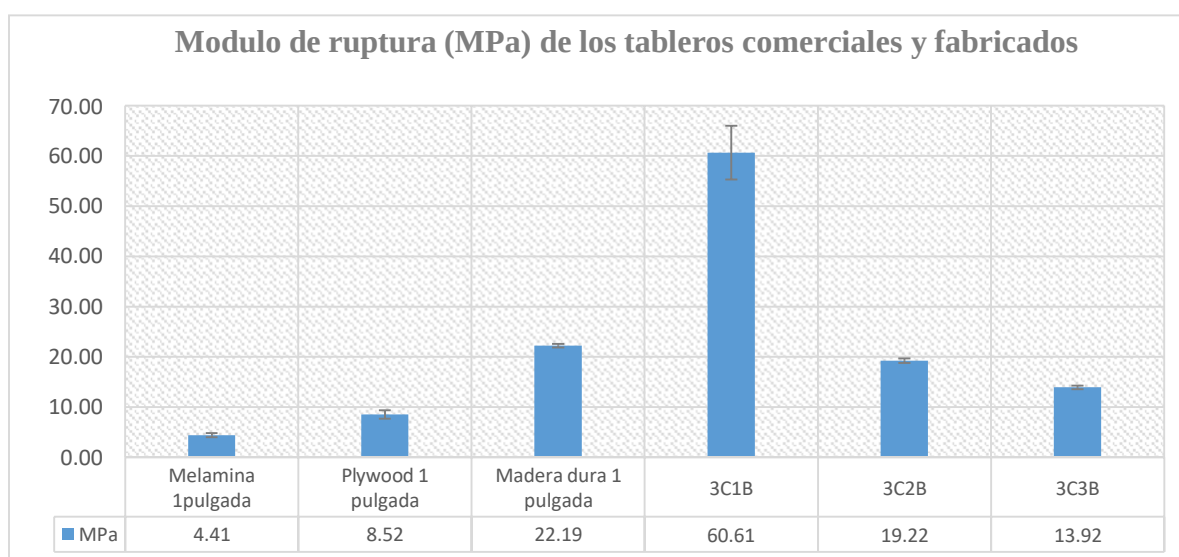


Figura 34 *Modulo de ruptura (MPa) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor 1 pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores del Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 35) es con el pegamento de madera y (Figura 36) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de ½ de pulgada

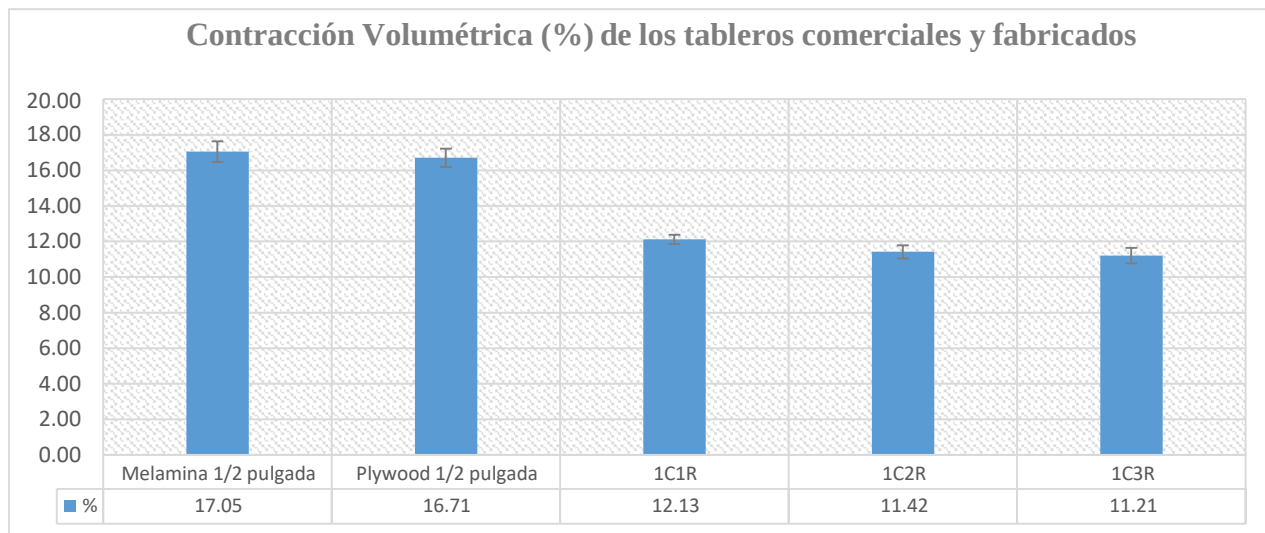


Figura 35 *Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor ½ pulgada*

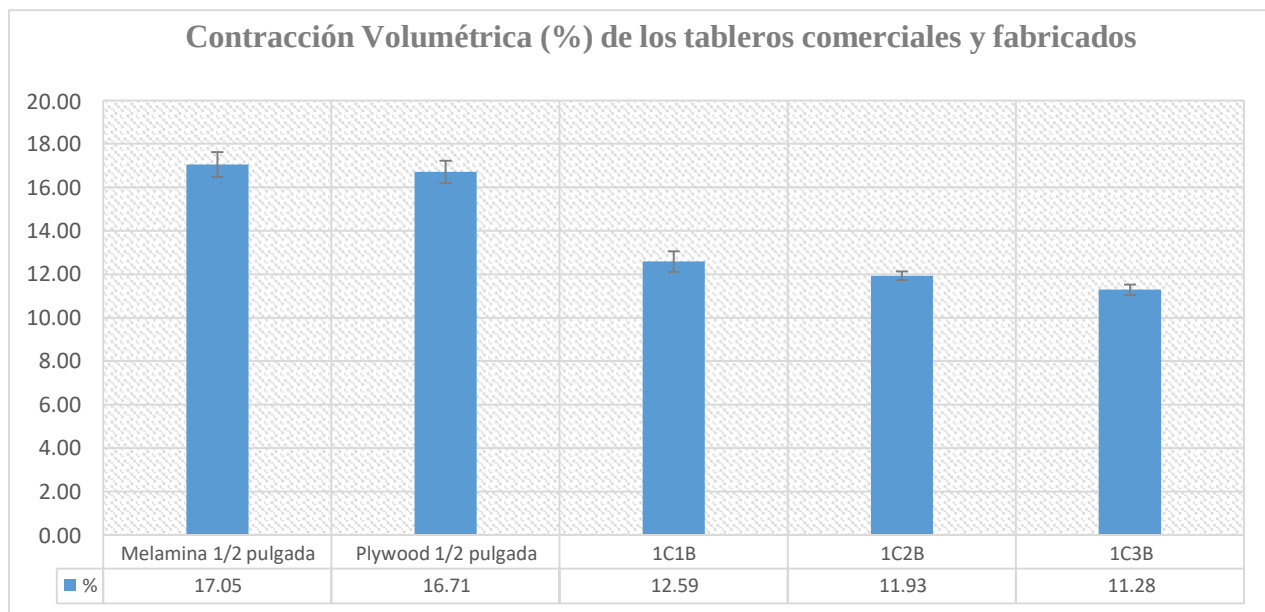


Figura 36 *Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor ½ pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores del Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 37) es con el pegamento de madera y (Figura 38) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de $\frac{3}{4}$ de pulgada

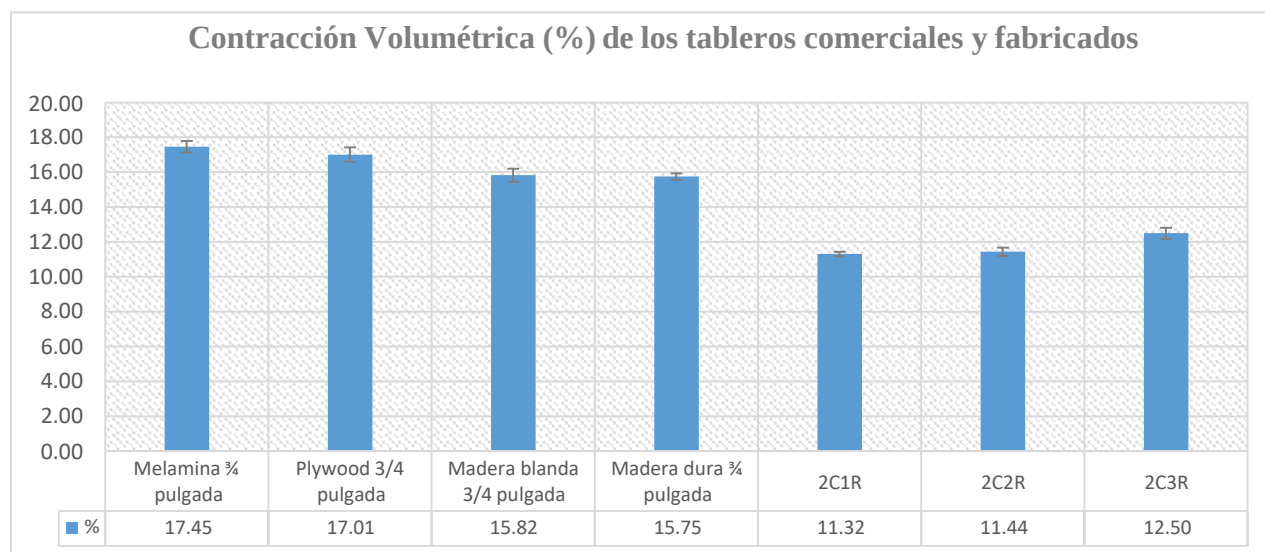


Figura 37 *Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor $\frac{3}{4}$ pulgada*

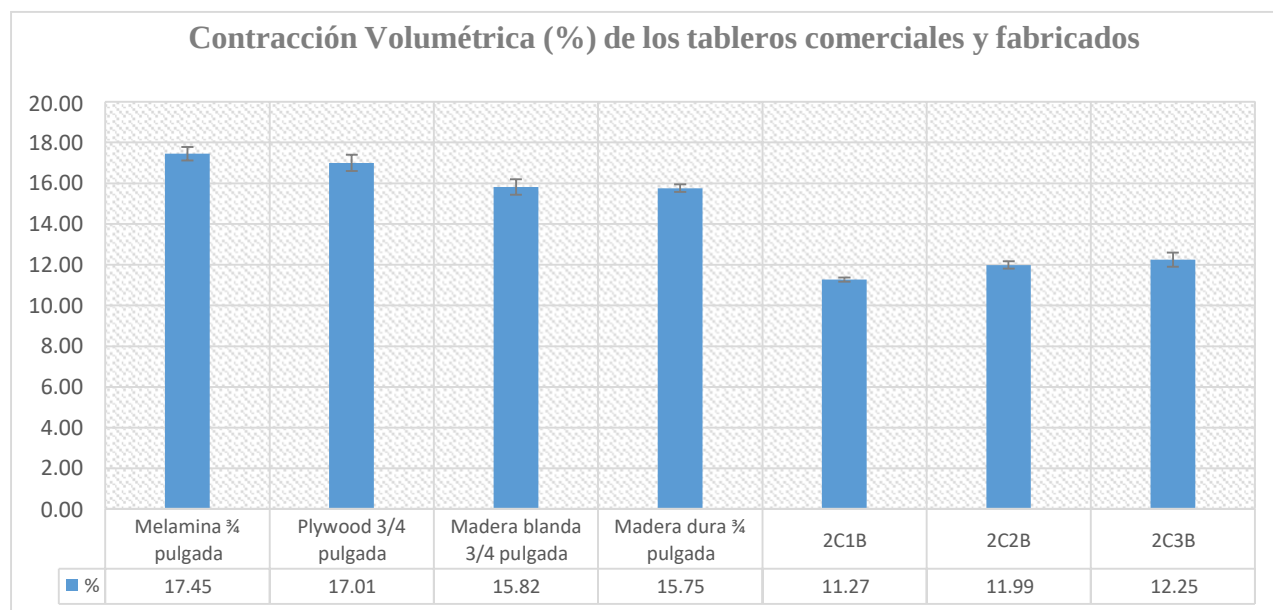


Figura 38 *Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor $\frac{3}{4}$ pulgada*

A continuación, se muestran en las gráficas los valores del Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados de bambú, están divididos en dos gráficas para la comparación (Figura 39) es con el pegamento de madera y (Figura 40) es la del pegamento de secado rápido. con grosores de 1de pulgada

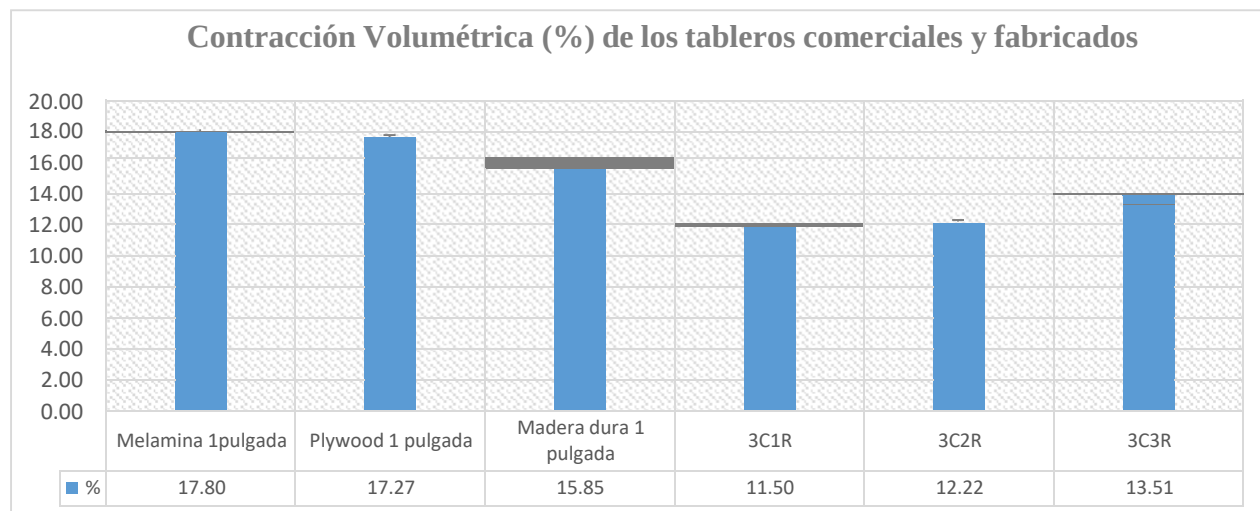


Figura 39 Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de madera grosor 1 pulgada

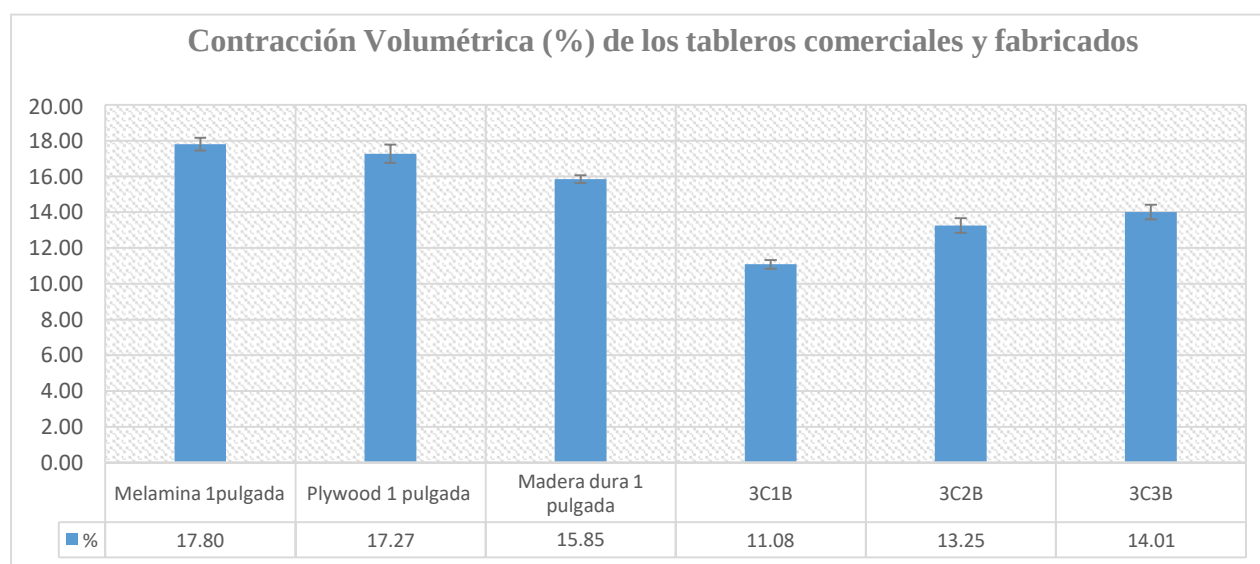


Figura 40 Contracción Volumétrica (%) de los tableros comerciales y laminados pegamento de secado rápido grosor 1 pulgada

16. Análisis y discusión de resultados:

El bambú es reconocido como un producto forestal no maderable y con productos (Deras, 2005). al laminar el bambú lo podemos transformar para que pueda ser un sustituto de la madera tanto para tableros como para otros usos maderables.

Se utilizaron varas de bambú de la especie *Dendrocalamos 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, estos trozos luego se cortaron en latillas perpendiculares con un ancho de una pulgada y un cuarto para que cuando se cepillaran quedaron con un grosor máximo de 1 pulgada.

Se utilizaron dos pegamentos que se encuentran en el mercado con una característica especial el primero es de secado rápido y el otro es de uso en madera, las latillas cortadas se procedieron a laminarlas este proceso consistió en cepillarlas para quitarles su concavidad y dejarlas a escuadra estas se cortaron de acuerdo a la configuración de armado de los tableros, tabla No.2.

Para cumplir con la hipótesis planteada se evaluaron las propiedades físico mecánicas de los tableros, estas propiedades fueron absorción, densidad, humedad, dureza, módulo de ruptura, contracción volumétrica, estas pruebas se realizaron a los 18 tableros realizados con dimensiones de 2 pies de largo y 1 pie de largo a los grosores determinados, y a 9 tableros diferentes comerciales con los mismos grosores para comparar los resultados de las pruebas.

La absorción es el contenido de agua que pueden absorber los tableros, en la figura número 5 a la 10 se presentan los porcentajes de absorción en 20 horas en agua agrupados por pegamento y morfología y los tableros comerciales son los que presentan valores más altos en absorción de agua teniendo el valor más alto la melanina para los tres grosores a analizar $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y una pulgada

Al analizar los valores de los tableros laminados se observa que su valores son menores que los comerciales para los 18 tableros y no hay una influencia directa en la morfología y el porcentaje

de absorción presentando valores más altos los tableros de la configuración C3 debido a que esta configuración presenta uniones paralelas y perpendiculares en las latillas crea espacio donde se aloja agua aumentando el contenido de absorción en los tableros y la configuración C1 debido a que las latillas se unieron a lo ancho y esta unión presenta una absorción menor que las pegadas por el grosor de las latillas perpendiculares

Se observa que la densidad al compararla con los tableros comerciales figura número 11 a la 16 presenta valores mayores para todas las configuraciones, pegamento y grosor respecto a sus respectivos tableros comerciales, de los tableros laminados se observa los que presentan mayores valores en la densidad son los de la configuración C1 y los que tienen valores menores en la densidad son los de la configuración C3 los que absorbieron más agua esta cualidad de tener espacio entre las latillas hace que sea menos denso que las otras configuraciones el pegamento de secado rápido presenta valores más altos en la densidad debido que al pegarlos y aplicarles presión para la unión el pegamento se seca rápido dejando menos deformación en el tiempo de prensado mientras se seca el pegamento lo que eleva más el tiempo de prensado para que no exista deformación al quitarlos apoyos y sargentos en los tableros laminados.

Se observa que el comportamiento de la humedad en los tableros figura número 17 a la 22 se mantiene bastante uniforme independiente de el pegamento utilizado y el grosor, las fibras de madera y bambú tienden a llegar a una humedad de equilibrio determinada por el ambiente, teniendo un aumento solo por configuración, siendo el grosor de 3/4 el que presenta mayor valor o susceptibilidad a la humedad y al comparar la humedad de los tableros comerciales la muestra de madera dura, de grosor 3/4 presenta los mayores valores de humedad debido al grosor, esto permite un mayor desplazamiento de humedad por capilaridad debido a la relación masa volumen se puede concluir que el efecto del grosor es significativo para ambos grupos grosor $\frac{3}{4}$.

La dureza Janka 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. Y es utilizado 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 23 a la 28. De los tableros comerciales de control, se observa que quien presenta la mayor dureza son los de madera de 1 pulgada, debido a que tiene una mayor cantidad de fibras debido a su mayor espesor y que presenta mayor resistencia a la indentación; El grupo melamina es el que presenta la menor de las durezas debido a que es un material aglomerado independientemente de su grosor, registra los valores más bajos y al comprar los valores de dureza con los tableros laminados de bambú, se observa que tienen valores de dureza mucho mayores a los comerciales debido a que las latillas al estar unidas y pegadas forman una matriz muy homogénea y resistente siendo la parte más débil la unión entre las latillas por lo que a grosores menores el efecto del pegamento es más visible teniendo valores de dureza menores que sus respectivas configuraciones con valores más gruesos

Se observa que la mayor de las durezas es registrada en los tableros de configuración vertical para el espesor de 1 pulgada y pegamento blanco "vertical", es el que presenta mayor resistencia a la flexión para esta morfología el espesor de 3/4 es el que presenta un mayor Modulo de Ruptura siendo considerablemente más alto, debido a que presenta la mayor rigidez, para ambos pegamentos. Se observa que el tablero más rígido es el de 3/4" para el bambú, esto debido a que presenta una mejor adhesión entre elementos verticales en los que la curvatura de las latillas de bambú no es crítica, contrario a los tableros de 1" en los que la curvatura de las tablillas ejerce esfuerzos internos que se incrementan con la flexión al momento de aplicación de carga, produciéndose fallas por el pegamento. Todos los tableros laminados presentaron dureza mayor que los tableros comerciales en sus respectivos grosores.

El módulo de ruptura consiste en aplicar cargas crecientes en el centro de la probeta de madera sobre dos extremos hasta que falla, en la figura número 29 a la 34 se observan los valores del módulo de ruptura ensayados, en ellos se observa que la menor resistencia en tableros de bambú es la presentada por la configuración combinada C3, esto debido a que el entramado de las latillas magnifica los esfuerzos a flexión al producirse fuerzas tanto en sentido transversal como longitudinal en el mismo tablero, dejando que el pegamento sea el que presente la mayor resistencia mecánica y no las fibras de las latillas, provocando que el fallo se a valores bajos comprados con la configuraciones C1 y C3 para todos los grosores,

Al comprar los valores del módulo de ruptura con el de los tableros comerciales en sus respectivos grosores todos los tableros laminados tienen valores más altos que los de melanina y plywood y llegando a tener valores parecidos a la madera dura en las configuraciones C2 y C3, y teniendo la configuración C1 valores más altos que la madera dura.

La madera posee la propiedad de contraerse o hincharse según pierda o gane humedad. Al secar la madera hasta su humedad en equilibrio se produce una considerable disminución de las dimensiones originales lo que representa una disminución en su volumen, las maderas más duras presentan mayores valores de contracción que las maderas menos densas.

Los resultados se presentan en la figura número 35 a la 40. Se observa que los tableros laminados la configuración tuvo influencia sobre la contracción teniendo los valores más altos la configuración C3 y al aumentar el grosor el valor tiende a subir para todas las configuraciones. El pegamento no tuvo influencia sobre la contracción pero al estar demasiado tiempo sumergido y ser soluble en agua presentó un lavado en las uniones más externas deformando la probetas pero no por el hinchamiento de las fibras sino por la separación entre las latillas. Todos los tableros presentaron valores menores que los tableros comerciales teniendo mejores valores.

17. Conclusiones

de los tableros elaborados se observa que la menor absorción la presenta la configuración 2C1B que corresponde a los tableros de dimensión 3/4 en configuración vertical y pegamento blanco.

Se observa que la densidad posee un comportamiento bastante normal tanto entre grupos como en configuraciones, presentando mayor densidad en las configuraciones elaboradas con pegamento blanco, en la combinación para los 3 grosores elaborados.

la menor densidad es presentada por la configuración "tipo galleta", pese a poseer los mismos grosores en tablero terminado, se produce un tipo de espacio intersticial artificial debido al traslape de los elementos que conforman el tablero, pudiendo quedar, según lo observado, vacíos efecto de la concentración de esfuerzos al momento del prensado.

Se observa que el comportamiento de la humedad en los tableros se mantiene bastante uniforme independiente de el pegamento utilizado, se nota una leve influencia en la configuración, siendo el grosor de 3/4 el que presenta mayor valor o susceptibilidad a la humedad

En el caso del grupo control, la muestra de madera dura, de grosor 3/4 presenta los mayores valores de humedad debido el grosor permite un mayor desplazamiento de humedad por capilaridad debido a la relación masa volumen se puede concluir que el efecto del grosor es significativo para ambos grupos.

De los tableros comerciales de control, se observa que quien presenta la mayor dureza son los de madera de 1 pulgada, debido a que es el mayor espesor y que presenta mayor resistencia a la indentación; El grupo melamina es el que presenta la menor de las durezas debido a que es un material aglomerado independientemente de su grosor, registra los valores más bajos

el tablero laminado se observa que tienen valores de dureza mucho mayores a los comerciales debido a que las latillas al estar unidas y pegadas forman una matriz muy homogénea siendo la parte más débil la unión entre las latillas por lo que a grosores menores el efecto del pegamento es más visible teniendo valores de dureza menores que sus respectivas configuraciones con valores más gruesos

Se observa que la mayor de las durezas es registrada en los tableros de configuración vertical para el espesor de 1 pulgada y pegamento blanco "vertical", es el que presenta mayor resistencia a la flexión para esta morfología el espesor de 3/4 es el que presenta un mayor Modulo de Ruptura siendo considerablemente más alto, debido a que resenta la mayor rigidez, para ambos pegamentos. Se observa que el tablero más rígido es el de 3/4" para el bambú, esto debido a que presenta una mejor adhesión entre elementos verticales en los que la curvatura de las latillas de bambú no es crítica, contrario a los tableros de 1" en los que la curvatura de las tablillas ejerce esfuerzos internos que se incrementan con la flexión al momento de aplicación de carga, produciéndose fallas por el pegamento

Se observa que la menor resistencia en tableros de bambú es la presentada por la configuración "galleta" esto debido a que el entramado de las latillas magnifica los esfuerzos a flexión al producirse fuerzas tanto en sentido transversal como longitudinal, dejando que el pegamento sea el que presente la mayor resistencia mecánica

18. Impacto esperado

Se obtuvo una serie de tableros laminados que pueden competir con los comerciales en sus propiedades físicas y mecánicas, ahora se dispone de un nuevo material que permitiría la reducción de demanda de la madera en el mercado. La ventaja de un rápido crecimiento del bambú y la realización de estos productos proponen una forma de utilizarlo y puede generar una motivación a su cultivo; esto implica la generación de fuentes de empleo en el cultivo y otras maneras de transformación del bambú en la agroindustria.

El utilizar la materia prima del bambú en la industria agroforestal, tiene un gran beneficio ambiental, puesto que no tarda décadas en su crecimiento como pasa con la mayoría de los árboles maderables, sino solo le lleva una fracción de este tiempo. Por lo tanto, el lento crecimiento de la madera es un factor limitante que condiciona el uso de la madera como material de construcción. Otro aspecto importante de esta investigación es que generó información en las propiedades físicas y mecánicas que ayudan a la utilización de materiales renovables para la construcción y generar normas para su uso.

19. Referencias

- Arce, A. (1997). Morteros reforzados con fibras de bambú. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 50(2), 131-152.
- Barbaro, G. (2007). Transformación e industrialización del bambú. *Brico Jardinería y Paisajismo*, (155), 8-15.
- Beraldo, A. L., & Rivero, L. A. (2003). Bambú laminado colado (BLC). *Floresta e Ambiente*, 10(2), 36-46.
- Calo, R. (2018). *Caracterización física y mecánica de tres especies de bambú aptas para La construcción en Guatemala* (Tesis de Licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala.

- Deras, J., Stoian, D., & Morales, D. (2005). La cadena productiva del bambú en Costa Rica Potencial de desarrollo de un recurso subutilizado en América Latina. *Recursos Naturales y Ambiente*, (46-47), 127-136.
- Encinas, O. (2005). Preservación de bambú y madera de plantaciones mediante desplazamiento de savia forzado. *Revista Forestal Venezolana*, 49(2), 153-162.
- Gonzalez, M., & Tam, C. (2014). Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú *Guadua Angustifolia* Kunth. *Scientia et Technica*, 19(3), 245-250.
- Hof-landlust. (2019). Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del nuevo mundo. Recuperado de <http://hof-landlust.de/scb/taller.html>
- López, L., & Correal, J. (2009). Estudio exploratorio de los laminados de bambú *Guadua angustifolia* como material estructural. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 11(3), 171-182.
- Lucena, M., Suarez, A., & Zamudio, I. (2009). Desarrollo de un material compuesto a base de fibras de bambú para aplicaciones aeronáuticas. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, (sup 1,3), 1107-1114.
- Marín, D., Guedez, Y., & de Hernández, L. (2011). Las plantaciones de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) y bambú (*Bambusa vulgaris* Schrad.) de San Javier, estado Yaracuy, Venezuela. III. Estructura de las plantaciones y balance de nutrimentos. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 28(4), 441-459.
- Mercedes, J. (2006). *Guía técnica cultivo del bambú*. Santo Domingo, República Dominicana: Centro agropecuario y forestal.
- Mejía, E. (2010). *Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos* (Tesis de doctorado), Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. Bogotá.
- Rodríguez, J. (2006). El bambú como material de construcción. *Conciencia Tecnológica*, (31), 67-69.
- Rodríguez, N., Dill, W., Bidegaray, P., & Botero, R. (2006). Utilización del Bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) (Bambusoideae: gramineae), como una Alternativo Sostenible de Construcción de Viviendas en la Zona Atlántica de Costa Rica. *Revista Tierra Tropical*, 2(1), 77-85.

- Stamm, J. (marzo 2008). *La evolución de los métodos constructivos en bambú*. Trabajo presentado en el Segundo Congreso Mexicano del Bambú, Puebla, México.
- Takeuchi, C. (2014). *Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural* (Tesis de doctorado), Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogotá.
- Velázquez, A., Bolaños, E., & Pliego, Y. (2010). Optimización de la producción de carbón activado a partir de bambú. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9(3), 359-366.

20. Apéndice

Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)

Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	Firma

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago		Firma
			SI	NO	
Mauricio Valentino Rivera Tello	Coordinador	20141714	X		
Alejandra María Rebeca Donis	Auxiliar de Investigación II	20171036	X		

Guatemala 26 de noviembre 2020



Mauricio Valentino Rivera Tello)
Coordinador Proyecto de Investigación



Inga. Liuba María Cabrera Ovalle de Villagrán
Coordinadora Programa Universitario
de Investigación Desarrollo Industrial



Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas
Digi USAC

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

21. Fotografías



Prensas de apreté rápido



Tableros de Madera lamiada Melanina y Plywod



Sargentos tipo C de diferentes medidas



Adhesivos de secado rápido y normal



Corte de probetas de dureza





Reducción de los tableros de 6X8 y 4X8 pies a tamaños manejables para cortes de probetas de ensayos



Probetas cortadas de ensayo de flexión, humedad y dureza



Ensayo de Humedad



Entrando el bambú a la Universidad



Descargando el Bambú



Ensayo de Dureza



Pruebas de Flexión



Probetas ensayadas dureza ya ensayadas



Corte de bambú verde



Moviendo el bambú al laboratorio para cortes



Tablero de madera blanda laminada fallada, prueba de flexión



Tablero de madera laminada dura fallada, prueba de flexión



Ensayo de flexión



Probetas ensayadas en flexión de melanina



Recolección de aserrín de bambú para determinar su humedad



Corte de latillas manual de bambú para empezar a laminar



Bambú cortado a la mitad y marcado para cortar las latillas



Cortando latillas de bambú



Latillas de bambú ya sin nudos antes de ser cepilladas



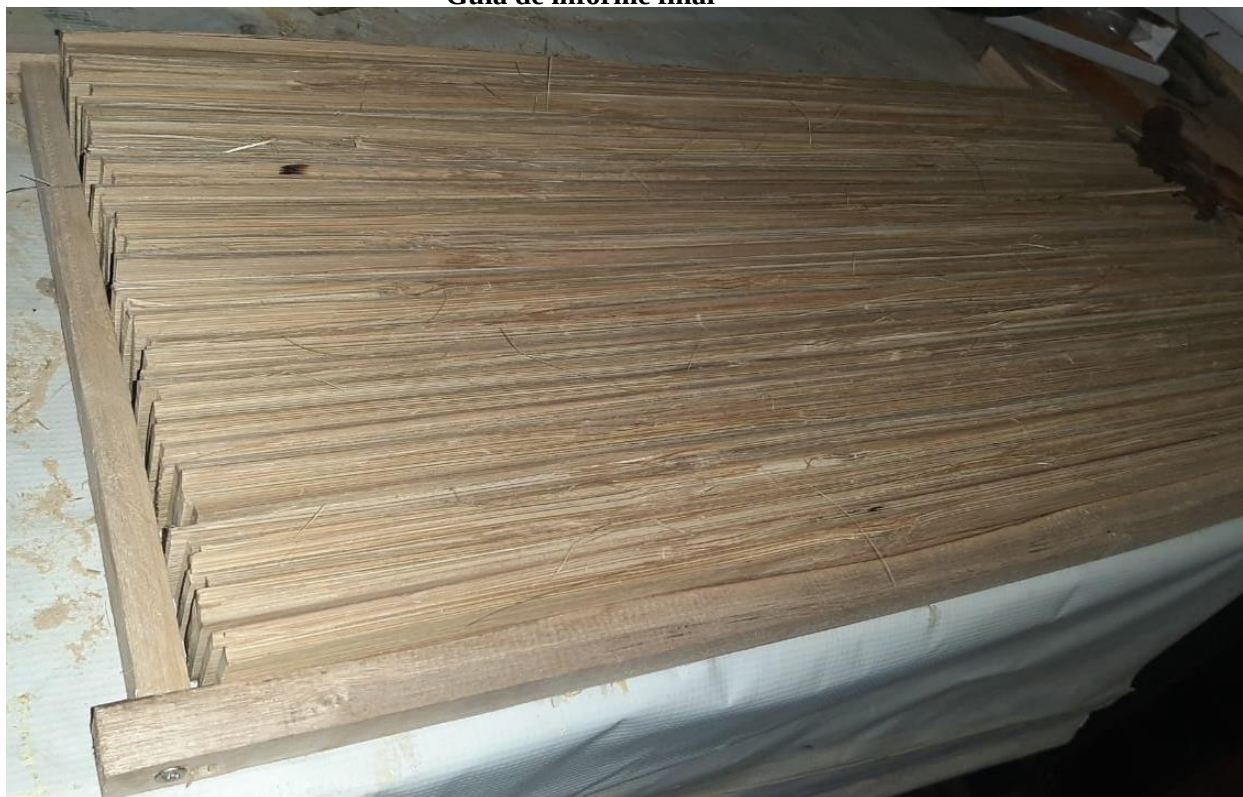
Midiendo grosores de pared de bambú



Cepillando latillas de bambú a diferentes tamaños



Pegando latillas



Armando tableros a configuración y grosores establecidos



Utilizando diferentes sargentos para mantener las latillas juntas y a escuadra para conformar el tablero

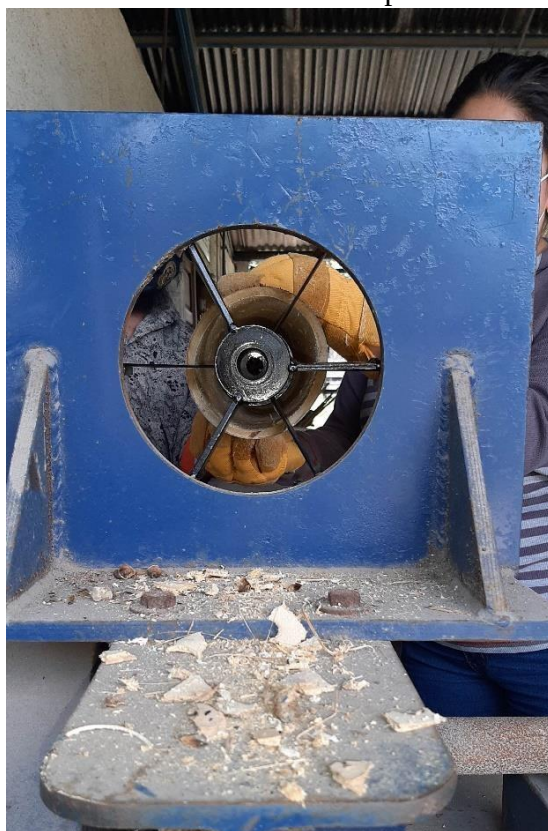


Cepillado del tablero ya pegado





Colocación de las cuchillas para latillar



Latillando bambú



Bambú ya en latillas



Utilizando diferentes sargentos para mantener las latillas juntas y a escuadra para conformar tableros



Tableros armados con sargentos para que se peguen adecuadamente



Tablero pegado de forma incorrecta



Tableros laminados ya cepillados



Tableros con la configuración C2



Tableros con la configuración C1



Corte de tableros laminados



Probetas para el ensayo de flexión de los tableros laminados



Corte de probetas para medir la densidad



Pesado de probetas de los tableros laminados



Lijado de probetas



Determinación de las dimensiones de probetas para determinar sus volúmenes



Secado de probetas de tableros laminados de bambú



Probeta de tablero laminado fallado a flexión



Probetas sumergidas 24 horas en agua