

Evaluación del tratamiento térmico en rolas de madera de *Stryphnodendron polystachyum* (Yigüire), sobre las propiedades físico-mecánicas de tableros contrachapados de tres chapas

Evaluation of the thermal treatment in wood roles of *Stryphnodendron polystachyum* (Yigüire), on the physical-mechanical properties of three-plated plywood boards

Luisana Delgado-Villarreal¹, Ananda Bastidas-Romero²,
Shakespeare SimónTrejo-Puentes³, Elexide Jesús Márquez⁴,
José Orangel Albornoz-Puentes⁵, Styles Will Valero⁶

Delgado-Villarreal, L; Bastidas-Romero, A; Trejos-Puentes, S.S; Márquez, E.J; Albornoz-Puentes, J.O; Valero, S.W. Evaluación del tratamiento térmico en rolas de madera de *Stryphnodendron polystachyum* (Yigüire), sobre las propiedades físico-mecánicas de tableros contrachapados de tres chapas. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35, Nº 4. Octubre-Diciembre, 2022. Pág. 149-161.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v35i4.6399>

- 1 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Venezuela. Correo electrónico: luisana.delgado41@gmail.com
- 2 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Venezuela. Correo electrónico: ananda.zuhe@gmail.com
- 3 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Venezuela. Correo electrónico: shakespeare@ula.ve
- 4 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Venezuela. Correo electrónico: elexidemarquez@hotmail.com
- 5 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Venezuela. Correo electrónico: joseorangelalbornozpuentes@gmail.com
- 6 Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Venezuela. Correo electrónico: styles@ula.ve

Palabras clave

Tratamiento térmico; *Stryphnodendron polystachyum*; tableros contrachapados; cizallamiento.

Resumen

La especie *Stryphnodendron polystachyum* (Yigüire), tiene una presencia importante en la Reserva Forestal de Imataca en el estado Bolívar, Venezuela. La madera es relativamente dura y pesada, tiene grano entrecruzado y es difícil de cortar en el torno. El objetivo del presente estudio consistió en la evaluación del tratamiento térmico en rolas de madera de *Stryphnodendron polystachyum* sobre algunas propiedades físico-mecánicas de tableros contrachapados de tres chapas. Para su procesamiento se utilizaron dos tiempos de calentamiento de las rolas (72 h y 96 h), posteriormente, se realizó el corte rotatorio de las rolas para la producción de chapas y la elaboración de los tableros contrachapados. Finalmente, se evaluaron las propiedades físicas (densidad, contenido de humedad) y mecánicas (cizallamiento, dureza, extracción de clavos y de tornillos) de los tableros contrachapados, siguiendo las estipulaciones de las normas Venezolana COVENIN 2718-90 y Americana ASTM D 906-64, D 1037-99, D 2395-02, D 4442-92. Los resultados obtenidos en las propiedades mecánicas de los tableros contrachapados, permiten inferir que pueden ser utilizados en la producción de paletas de carga y embalaje en ambientes interiores, debido a la alta densidad y dureza de la madera.

Keywords

Heat treatment; *Stryphnodendron polystachyum*; plywood boards; shearing.

Abstract

The species *Stryphnodendron polystachyum* (Yigüire), has an important presence in the Forest Reserve of Imataca in the state of Bolívar, Venezuela. The wood is relatively hard and heavy, has crisscrossed grain and is difficult to cut on the lathe. The objective of the present study consisted in the evaluation of the thermal treatment in wooden rods of *Stryphnodendron polystachyum* on some physical-mechanical properties of three-ply veneered boards. For its processing, two heating times of the logs were used (72 h and 96 h), later, the rotary cutting of the logs was carried out for the production of sheets and the manufacture of the plywood boards. Finally, the physical properties (density, moisture content) and mechanical properties (shear, hardness, nail and screw extraction) of the plywood panels were evaluated, following the stipulations of Venezuelan COVENIN 2718-90 and American ASTM D 906-64, D 1037-99, D 2395-02, D 4442-92 standards. The results obtained in the mechanical properties of the plywood panels, allow to infer that they can be used in the production of pallets of load and packaging in interior environments, due to the high density and hardness of the wood.

Introducción

La especie *Stryphnodendron polystachyum* ha sido utilizada en Venezuela para durmientes de ferrocarril, mueblería, ebanistería y en algunas ocasiones para contrachapado de uso general. Sin embargo, esta madera es moderadamente dura y pesada, con grano entrecruzado, posee resistencia al corte y es difícil de cortar en el torno, características que la condicionan como una madera difícil de cortar. A pesar de las características desfavorables que presenta la madera de *Stryphnodendron polystachyum*, esta especie posee una moderada abundancia en la Reserva Forestal de Imataca (Venezuela), y presenta fustes de tamaño y forma adecuados para la producción de chapas. Por otra parte, la escasez de la materia prima utilizada

convencionalmente en la industria de la madera, hace necesario la incorporación de otras especies al sistema productivo nacional que redunden en la reactivación de empresas que se dedicaban a la producción de tableros contrachapados.

La industria de tableros y chapas es una de las más importantes de la actividad forestal en el mundo. Su desarrollo ha sido muy rápido, particularmente en las últimas décadas con la introducción de grandes avances tecnológicos que le han permitido diversificar el mix de productos y aumentar la calidad de los mismos, al punto en que muchas veces los tableros compiten con la madera sólida en diversas aplicaciones [1]; es por ello, que el contrachapado es un ejemplo de panel de madera que puede utilizarse tanto en la producción de muebles como en la construcción civil, ya que tiene uso estructural y al poseer características estructurales, es utilizado en sistemas constructivos como cielos rasos, pisos y paredes [2].

En este sentido, entre la diversidad de los aspectos tecnológicos que se requiere conocer para la evaluación de la calidad de las chapas producidas, se tiene la compactación o resistencia al agrietamiento. Uno de los factores que más afecta este, es el calentamiento de la madera, cuyo efecto obvio es de hacer posible el corte de chapas con menos rajaduras y menos agrietamientos. Temperaturas altas o bajas y tiempos de calentamientos excesivos o insuficientes, a menudo producen chapas de pobre calidad y bajo rendimiento, desgarramientos de las fibras y chapas con superficies vellosas [3]. Debido a estos problemas, surgen nuevas técnicas y procesos para modificar y mejorar las propiedades de la madera e incentivar el uso de este material con la mejor calidad posible [4].

Aunque el procesamiento de las maderas para la producción de chapas está bien documentado, particularmente en lo que se refiere al efecto que produce el calentamiento de la madera antes de cortar la chapa, aún no se cuenta con suficiente información tecnológica sobre las posibilidades de producir chapa a partir de la especie *Stryphnodendron polystachyum* con respecto a las variables temperatura y tiempo de calentamiento de la madera al momento de cortar la chapa.

En consecuencia, el objetivo del presente estudio consistió en la evaluación del tratamiento térmico en rolas de madera de *Stryphnodendron polystachyum*, sobre algunas propiedades físico-mecánicas de tableros contrachapados de tres chapas. Los resultados obtenidos permitirán determinar si el tratamiento térmico tiene influencia en el procesamiento de esta especie, debido a su alta densidad y dureza.

Materiales y métodos

Materiales

Para la elaboración de los tableros contrachapados se utilizó madera de *Stryphnodendron polystachyum*, que es una especie forestal con alturas entre 15 y 25 metros, con fuste recto, corteza marrón con un ritidoma fisurado, corteza interna blanca, con olor agradable [5]. Madera con albura amarilla y duramen marrón. Lustre mediano. Grano recto a inclinado, hasta entrecruzado. Textura fina. Blanda y liviana a moderadamente dura y pesada [6]. Posee una densidad seca al aire (12% C.H.) $0,786 \text{ g/cm}^3$. Presenta resistencia al corte moderada, aserrado relativamente fácil y difícil de cortar en el torno. Madera de secado rápido [7]. Por otra parte, se utilizó resina a base de Urea-formaldehído (UF) con un 53% de contenido de sólidos. Como extendedor se empleó harina de trigo, la cual posee cierta capacidad adhesiva que disminuye la cantidad de componente básico usado en la superficie de la junta. Finalmente, se utilizó agua potable como disolvente y sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ al 30% de concentración como catalizador.

Metodología

El estudio se realizó con madera de *Stryphnodendron polystachyum*, proveniente de la Reserva Forestal IMATACA, ubicada entre los estados Bolívar y Delta Amacuro, la cual fue trasladada al Laboratorio Nacional de Productos Forestales, adscrito a la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela y al Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo. Luego las rolas de *Stryphnodendron polystachyum* fueron cortadas con una motosierra en trozas de 1,20 m de longitud, con la finalidad de obtener la longitud permitida para su corte en el torno rotatorio.

Posteriormente, se llevó a cabo el calentamiento de la madera (tratamiento térmico) que consiste en el calentamiento de la madera en cámaras de vapor (vaporizadores), o bien en baños de agua caliente (cocederos). El objetivo principal del cocido o vaporizado, es ablandar la madera saturada de agua para lograr un corte suave y una disminución en el consumo de energía y desgaste de las cuchillas en el proceso de debobinado [8]. El calentamiento de la madera se realizó en un tanque de cocción metálico de unos 3 m³ de capacidad, sumergiendo las trozas de madera en su totalidad dentro de un baño de agua caliente con soda caustica al 0,13% de concentración. La temperatura del tanque fue fijada en unos 90 °C para calentar la rola N° 2 a 85 °C durante 72 horas, por su parte, la rola N° 1 fue sometida a 96 horas de calentamiento bajo las mismas condiciones de temperatura.

Para la obtención de chapas de madera se utilizó el torno rotatorio o debobinadora marca Ritter Fleck Roller (RFR), con un motor de 25 HP, estableciéndose los siguientes parámetros de corte (cuadro 1):

Cuadro 1. Parámetros de corte en la obtención de chapas.

Parámetros de corte	Valores
Abertura vertical de la barra de presión	0,20 mm
Abertura horizontal	0,63 mm
Ángulo de afilado de la cuchilla	21°
Ángulo de ajuste de la cuchilla	90°
Compresión de la barra	20%
Espesor nominal de la chapa	2,0 mm
Velocidad de corte	40 m/min

Las chapas obtenidas del debobinado, fueron guillotinas en principio en secciones de 100 cm de longitud y 100 cm de ancho, y posteriormente, fueron cortadas en dimensiones de 20 cm x 20 cm a través de una guillotina accionada por aire comprimido.

El secado de las chapas se realizó inmediatamente después de seccionadas las muestras, en la cual se utilizó una secadora semi-industrial marca Nisso-Hildebrand de 3 metros de longitud, provista de dos plataformas de secado. En ésta secadora, las chapas fueron sometidas a la acción de chorros de aire caliente que incidieron sobre ambas caras de la chapa a medida que fueron transportadas por mallas metálicas a través de la secadora, con un tiempo de secado de 8 min a 130 °C. La dosis de cola o gramajes que se utilizaron en la presente investigación fueron de 200 y 250 g/m² respectivamente, los cuales fueron pesados en una balanza analítica digital marca And. EK-1200 A (0 g - 1200 g). La formulación de cola a base de Urea-formaldehído, para la elaboración de tableros contrachapados con dos dosis de cola se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 2. Formulación de cola a base de Urea-formaldehído para la elaboración de tableros contrachapados con dos dosis de cola.

Gramaje (g/m ²)	Componentes	Partes por peso (ppp)	Porcentaje (%)	% Sólidos totales en la formulación
200 250	Resina UF (Cs= 53%)	100	64,10	33,97
	Extendedor (harina de trigo)	27	17,31	
	Agua	24	15,38	
	Catalizador (sulfato de amonio al 30% de concentración)	5	3,21	
	Total	156	100	

Para la conformación de los tableros contrachapados se utilizaron muestras de 20 cm x 20 cm, seleccionándose 3 chapas por tablero con dos tipos de gramaje y dos tiempos de calentamiento de rolas de madera. En este sentido, se elaboraron 10 tableros por cada condición, teniendo así, la selección de 120 chapas en total para la realización de éste estudio.

Para el encolado de chapas, se utilizó un adhesivo tipo termoestable a base de Urea-formaldehído. La operación de encolado de las chapas se realizó de forma manual utilizando una espátula para aplicar el adhesivo en el lado flojo de la chapa distribuyéndolo uniformemente sobre toda la superficie. Los tableros fueron formados por tres chapas de madera y se armaron de forma manual, alternando la orientación de las fibras de cada chapa perpendicularmente, con un tiempo de ensamblado cerrado de 2 minutos. Posteriormente, fueron llevados a la prensa para la consolidación del tablero.

En el prensado del tablero, se utilizó una prensa hidráulica de laboratorio marca Carver, modelo M, de dos platos, con temperatura y carga máxima de 500 °C y 3.515 kg/cm² respectivamente. Los parámetros de prensado que se establecieron para la consolidación de los tableros contrachapados se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Parámetros de prensado de los tableros contrachapados.

Parámetros de prensado	Valores
Presión manométrica de la prensa	8 kg/cm ²
Temperatura de prensado	120 °C
Tiempo de prensado	4 min

Una vez consolidados los tableros durante el proceso de prensado, estos se colocaron en un cuarto de acondicionamiento a una temperatura de 20 ± 1 °C y una humedad relativa del 65 ± 2 %. Los tableros permanecieron bajo estas condiciones durante una semana con la finalidad de alcanzar un contenido de humedad entre el 10 y 12% aproximadamente. Una vez estabilizados los tableros, sus bordes fueron cortados con una sierra de disco para obtener dimensiones finales de 19,0 cm de longitud y 19,0 cm de ancho, con el propósito de eliminar los defectos en los bordes.

Luego se obtuvieron 6 probetas por cada tablero para realizar los ensayos físico-mecánicos. Estos ensayos se realizaron tomando como referencia las normas Venezolana COVENIN 2718-90 [9] y Americana ASTM D 906-64 [10], D 1037-99 [11], D 2395-02 [12], D 4442-92 [13].

Determinación de las propiedades físicas

Densidad

El ensayo se realizó según la norma ASTM D 2395-02 [12], con modificaciones en las dimensiones de las probetas. Se emplearon 10 probetas de 2,5 cm x 2,5 cm x 0,6 cm por cada tablero ensayado. Con los datos obtenidos se calculó la densidad utilizando la ecuación 1.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Donde:

ρ : densidad (g/cm³).

m : masa (g).

v : volumen (cm³).

Contenido de humedad

Se realizó siguiendo lo estipulado por la norma ASTM D 4442-92 [13] con algunas variaciones en las dimensiones de las probetas. Se utilizaron 10 probetas de 2,5 cm x 2,5 cm x 0,6 cm por cada tablero. Con los datos obtenidos se calculó el contenido de humedad utilizando la ecuación 2.

$$CH(\%) = \frac{(Pv - Psh)}{(Psh)} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

CH : contenido de humedad en porcentaje.

Pv : peso verde de la muestra (g).

Psh : peso seco al horno de la muestra (g).

Determinación de propiedades mecánicas

Cizallamiento

Este ensayo fue realizado en la máquina para cizallamiento marca Riehle, con capacidad de 450 kg y velocidad de aplicación de carga de 4,6 kg/seg, siguiendo lo estipulado en la norma Americana ASTM D 906-64 [10]. Por cada tablero se ensayaron 6 probetas con dimensiones de 8,52 cm x 2,54 cm x 0,6 cm respectivamente. Con los datos obtenidos se calculó el cizallamiento utilizando la ecuación 3.

$$R = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Donde:

R : resistencia al cizallamiento en kg/cm².

P : carga máxima en kg.

A : sección de rotura en cm²

Dureza

El ensayo de resistencia a la dureza se realizó en la Máquina Universal Testing Machine Wolpert con una capacidad de 5.000 kg, siguiendo las especificaciones de la norma Americana ASTM D 1037-99 [11]. Se utilizaron 6 probetas de 4 cm x 5 cm x 0,6 cm por cada tablero. Con los datos obtenidos se calculó la dureza utilizando la ecuación 4.

$$Dz = \frac{Dz1 + Dz2 + Dz3 + Dz4 + Dz5 + Dz6}{6} = (kg) \quad (4)$$

Donde:

Dz: resistencia a la dureza.

Dz1: carga máxima (kg).

Dz2: carga máxima (kg).

Dz3: carga máxima (kg).

Dz4: carga máxima (kg).

Dz5: carga máxima (kg).

Dz6: carga máxima (kg).

Extracción de clavos y tornillos

Ensayos que se llevaron a cabo en una Máquina Universal Testing Machine Wolpert con una capacidad de 5.000 kg, tomando como referencia la norma Americana ASTM D 1037-99 [11]. Se utilizaron 6 probetas de 4 cm x 5 cm x 0,6 cm por cada tablero. Los valores de extracción de clavos y tornillos se obtuvieron a través de las ecuaciones 5 y 6.

$$Cl = \frac{Cl1 + Cl2 + Cl3 + Cl4 + Cl5 + Cl6}{6} = (kg) \quad (5)$$

$$Tn = \frac{Tn1 + Tn2 + Tn3 + Tn4 + Tn5 + Tn6}{6} = (kg) \quad (6)$$

Donde:

Cl: resistencia a la extracción de clavos (kg).

Cl1: resistencia máxima (kg).

Cl2: resistencia máxima (kg).

Cl3: resistencia máxima (kg).

Cl4: resistencia máxima (kg).

Cl5: resistencia máxima (kg).

Cl6: resistencia máxima (kg).

Tn: resistencia a la extracción de tornillos (kg).

Tn1: resistencia máxima (kg).

Tn2: resistencia máxima (kg).

Tn3: resistencia máxima (kg).

Tn4: resistencia máxima (kg).

Tn5: resistencia máxima (kg).

Tn6: resistencia máxima (kg).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial 2^2 considerando los factores en dos niveles: tiempo de cocción de las rolas de madera (72 horas y 96 horas) y dosis de cola (200 g/m² y 250 g/m²). Para evaluar el efecto de los factores sobre las variables respuestas correspondientes a los ensayos físicos - mecánicos como: densidad, contenido de humedad, cizallamiento, dureza, extracción de clavos y extracción de tornillos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza $\alpha = 0,05$ utilizando el programa estadístico Minitab versión 19.

Resultados

Densidad en condición seca al aire de la especie

El valor promedio de densidad de la madera de *Stryphnodendron polystachyum* para la fabricación de tableros contrachapados, se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Valores promedio de densidad de la madera de *Stryphnodendron polystachyum* para la fabricación de tableros contrachapados.

Densidad	Valor de la propiedad (g/cm ³)	Coefficiente de variación (%)	Contenido de humedad (%)
Condición seca al aire	0,793	6,663	12

Como se puede apreciar en cuadro 4, el valor promedio de la densidad de la madera de *Stryphnodendron polystachyum* fue de 0,793 g/cm³, clasificándola dentro del grupo estructural "B" de acuerdo con la Clasificación de Esfuerzos de Diseño para Maderas Venezolanas [14]. Por su parte, Bastidas y Pico [7], reportan valores promedio de densidad para la especie *S. polystachyum* de 0,755 g/cm³ al 12% de contenido de humedad.

Propiedades físicas de los tableros contrachapados

El cuadro 5, muestra los valores-*p* obtenidos en el ANOVA, los que indican que factores e interacciones son o no significativos para las variables respuesta.

Cuadro 5. ANOVA y valor-*p* para las variables respuestas densidad y contenido de humedad de los tableros contrachapados.

Factor	Valor- <i>p</i> * $\alpha=0.05$	
	Densidad (g/cm ³)	Contenido de humedad (%)
Tiempo de calentamiento madera	0,154	0,007
Gramaje	0,218	0,252
Interacción	0,398	0,001

*Valor-*p* < 0,05 indica que los términos de las variables respuesta son significativos; Valor-*p* > 0,05 indica que los términos de las variables respuesta no son significativos.

Densidad de los tableros

Los resultados del análisis de varianza (cuadro 5), mostraron que los factores tiempo de calentamiento de las rolas de madera y gramaje de cola, así como también, su interacción, no son estadísticamente significativos. Para el gramaje de 200 g/m² con calentamiento de las rolas de 72h y 96h, los valores promedios de densidad se ubicaron en 1,909 g/cm³ y 1,892 g/cm³. Para el gramaje de 250 g/m² los valores de densidad se ubicaron en 1,898 g/cm³ y 1,834 g/cm³ para el calentamiento de las rolas de 72 y 96 horas respectivamente pudiéndose observar que los mayores resultados de densidad, se obtuvieron con el tiempo de calentamiento de la rola de 72 horas en ambos gramajes. Los resultados obtenidos en cuanto a la densidad de los tableros contrachapados de tres chapas eran de esperarse, debido a que se utilizó una madera de alta densidad, la cual originó que el producto obtenido fuese de alta densidad.

Contenido de humedad de los tableros

El análisis de varianza (cuadro 5), indica que el factor tiempo de calentamiento y la interacción entre ambos factores es significativa. El contenido de humedad promedio de los tableros para el momento de los ensayos físicos - mecánicos se situaron en 8,80% y 8,66% para el gramaje de 200 g/m² con tiempos de calentamiento de las rolas de 72 y 96 horas, y entre el 8,40% y 9,42% para el gramaje de 250 g/m² y tiempo de calentamiento de las rolas de 72 y 96 horas respectivamente. Estos resultados son similares a los presentados por López [15], en su estudio de propiedades físico-mecánicas de 9 tableros contrachapados de *Pinus* sp. utilizando adhesivo urea formaldehído, encontrando valores para la prueba de contenido de humedad entre 9,15 y 9,64 % en tableros de 6 mm de espesor. Por su parte, Nazmul [16], obtuvieron valores de contenido de humedad en tableros contrachapados elaborados con *Eucalyptus camaldulensis* del 7,4%, afirmando que la estabilidad dimensional de los materiales lignocelulósicos están relacionados con el contenido de humedad.

Propiedades mecánicas de los tableros contrachapados

El cuadro 6, muestra los valores-*p* obtenidos en el ANOVA, los que indican que factores e interacciones son o no significativos para las variables respuesta.

Cuadro 6. ANOVA y valor-*p* para las variables respuestas cizallamiento, dureza, extracción de clavos y extracción de tornillos de los tableros contrachapados.

Factor	Valor- <i>p</i> * $\alpha=0.05$			
	Cizallamiento (kg/cm ²)	Dureza (kg)	Extracción de clavos (kg)	Extracción de tornillos (kg)
Tiempo de calentamiento madera	0,643	0,231	0,555	0,718
Gramaje	0,029	0,455	0,188	0,609
Interacción	0,055	0,931	0,145	0,011

*Valor-*p* < 0,05 indica que los términos de las variables respuesta son significativos; Valor-*p* > 0,05 indica que los términos de las variables respuesta no son significativos.

Cizallamiento

Los resultados del análisis de varianza (cuadro 6), muestran que el factor gramaje de cola es significativo, indicándonos el efecto de este factor sobre la variable respuesta, es decir, que el tipo de gramaje de cola afecta la resistencia al cizalle, sin embargo, la interacción entre los

factores no es significativo, a un nivel de confianza del 95%. El valor promedio para el ensayo de cizallamiento en tableros con gramaje de 200 g/m² y tiempos de calentamiento de las rolas de madera de 72 h y 96 h, se ubicaron en 35,51 kg/cm² y 37,20 kg/cm² respectivamente. Para los tableros con gramajes de 250 g/m² oscilaron entre 40,26 kg/cm² y 37,52 kg/cm² con tiempos de calentamiento de las rolas de 72 y 96 horas. Comparando los valores obtenidos con los valores mínimos de 20 kg/cm² estipulados por la norma Americana ASTM D 906-64 [10] para tableros contrachapados, se puede observar que los tableros con gramaje de cola de 200 g/m² y 250 g/m² y dos tiempos de calentamiento de las rolas 72 y 96 horas respectivamente, se ubicaron por encima del valor mínimo exigido por la Norma cumpliendo con la misma.

Resultados similares fueron reportados por Londoño [17], en donde obtuvo valores promedios de resistencia al cizallamiento de 34,3 kg/cm² en tableros contrachapados elaborados con madera de *Pouetria reticulata* calentada a 80 °C y compresión de la barra del 20%. De igual forma, Castagne [18], reportó valores promedios de cizallamiento de 38,2 kg/cm², en tableros contrachapados elaborados con la especie *Terminalia amazonia*, con una temperatura de cocción de las rolas de 80 °C y compresión de la barra de la debobinadora del 20%.

Por otra parte, Maragaño [19] determinó que todos los valores obtenidos del ensayo mecánico realizado para la resistencia al cizalle cumplieron con la exigencia de la norma EN 314 - 2, la cual establece como requisito un esfuerzo de cizalle mayor a 1 N/mm² (10,20 kg/cm²), cumpliendo de esta forma todas las probetas, las cuales presentaron un esfuerzo al cizalle promedio de 1.89 N/mm² (19,27 kg/cm²), en un estudio realizado en tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*, sobre el efecto de las diferentes dosificaciones de adhesivo en las propiedades físico-mecánicas. Finalmente, Vasileiou [20], encontraron valores de cizallamiento en tableros contrachapados de 3 chapas de 3 mm de espesor, con la especie *Ailanthu saltissima* y resina UF de 2.17 N/mm² (22,13 kg/cm²), cumpliendo con la norma.

Dureza

Los resultados del análisis de varianza (cuadro 6), muestran que el valor “p” es mayor que 0,05 tanto para sus factores de forma individual, como su interacción, lo que indica que no es significativo. Los resultados promedios obtenidos para la prueba de dureza en los tableros con gramaje de 200 g/m² y tiempos de calentamiento de 72 h y 96 h, oscilaron entre 635,00 kg y 646,83 kg. Por su parte, los tableros con gramaje de 250 g/m² y tiempos de calentamiento de las rolas de 72 h y 96 h, se ubicaron en 626,17 kg y 639,83 kg respectivamente. Se puede apreciar que en el tiempo de calentamiento de las rolas de 96 horas, se obtuvieron los mayores resultados de dureza en los tableros contrachapados, por el contrario, en el mayor gramaje de 250 g/m², se obtuvieron los menores resultados.

En este sentido, los valores obtenidos de dureza duplican a los valores encontrados por Tenorio [21], en tableros contrachapados de *Tectona grandis* con 12 mm de espesor y resina U F de 326,77 kg, así como también, a los valores reportados por Benites y Lussich [22], en donde obtuvieron valores de dureza en tableros de madera contrachapada fenólica de *Pinus* sp. de 12 mm de espesor, compuestos por 5 láminas de 3,9 kN (397,96 kg) y en tableros de madera contrachapada fenólica de *Pinus* sp. de 15 mm de espesor, compuestos por 7 láminas de 3,3 kN (336,73 kg). Esto pudo deberse entre otras variables, a la alta densidad de la madera de *Stryphnodendron polystachyum* en comparación con la baja densidad de la madera de *Tectona grandis* y *Pinus* sp.

Extracción de clavos

Los resultados del análisis de varianza (cuadro 6), muestran que el valor “p” es mayor que 0,05 tanto para sus factores, como su interacción, lo que indica que no es significativo. El valor promedio para la extracción de clavos en tableros con gramaje de cola de 200 g/m² y tiempo de calentamiento de las rolas de 72 h se ubicó en 18,92 kg y con calentamiento de 96 h en 20,08 kg. Para los tableros contrachapados de 250 g/m² los valores promedios se ubicaron en 19,00 kg y 18,50 kg para los tiempos de calentamiento de las rolas de 72 y 96 horas respectivamente.

Los resultados promedios obtenidos en el ensayo de extracción de clavos en tableros contrachapados, están ligeramente por encima de los valores encontrados por Tenorio [21] de 16,70 kg y 14,66 kg respectivamente, en tableros contrachapados de *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* con 12 mm de espesor y resina U F. Por el contrario, Benites y Lussich [22], obtuvieron valores superiores de extracción de clavos en tableros de madera contrachapada fenólica de *Pinus* sp. de 12 mm de espesor, compuestos por 5 láminas de 0,25 kN (25,51 kg) y en tableros de madera contrachapada fenólica de *Pinus* sp. de 15 mm de espesor, compuestos por 7 láminas de 0,51 kN (52,04 kg). Estos resultados pudieron deberse a la influencia que tiene la densidad de la madera y la resina fenólica en las propiedades mecánicas del tablero.

Extracción de tornillos

Los resultados del análisis de varianza (cuadro 6), muestran que los factores individuales (tiempo de calentamiento de las rolas y tipo de gramaje), no son significativos, sin embargo, la interacción entre ambos factores es significativo, con un nivel de confianza del 95%. Los resultados promedios obtenidos para el ensayo de extracción de tornillos en los tableros con gramaje de 200 g/m² y tiempos de calentamiento de 72 h y 96 h, oscilaron entre 96,50 kg y 102,83 kg. Por su parte, los tableros con gramaje de 250 g/m² y tiempos de calentamiento de las rolas de 72 h y 96 h, se ubicaron en 105,25 kg y 96,92 kg respectivamente. Comparando los resultados obtenidos en la prueba de extracción de tornillos con los valores reportados por Tenorio [21] de 187,27 kg en tableros contrachapados de *Tectona grandis* con 12 mm de espesor y resina UF, se puede evidenciar, que estos valores son más bajos, corroborando lo afirmado por Poblete [23], que la resistencia a la extracción de tornillos depende principalmente de la densidad.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos en cuanto a la densidad del tablero contrachapado con respecto al tiempo de calentamiento de las rolas y el tipo de gramaje, reportaron que no hubo diferencia significativa. Por el contrario, los resultados obtenidos del contenido de humedad del tablero indicaron que si hubo diferencia significativa.

En cuanto a la propiedad mecánica de cizallamiento de los tableros contrachapados, los resultados determinaron que el factor gramaje de cola es significativo, indicándonos que el tipo de gramaje de cola afectan la resistencia al cizalle. Así mismo, los resultados obtenidos en cizallamiento para todas las condiciones, se situaron por encima del valor mínimo de 20 kg/cm² estipulado por la norma Americana ASTM D 906-64 [10] para tableros contrachapados, cumpliendo con la misma.

Los mayores resultados de dureza y extracción de clavos en los tableros contrachapados, se obtuvieron en el tiempo de calentamiento de las rolas de 96 horas, por el contrario, los mayores valores de resistencia a la extracción de tornillos se encontraron en el tiempo de calentamiento de las rolas de 72 horas.

Finalmente, las chapas obtenidas de la madera de *Stryphnodendron polystachyum*, pueden ser utilizadas para uso general y centro del tablero, recomendando el uso de estos tableros para la producción de paletas de carga y embalaje en ambientes interiores, debido a la alta densidad y dureza de la madera.

Referencias

- [1] Soto, D. (2017). La industria de tableros y chapas. (Boletín Estadístico N° 158). Recuperado de <http://biblioteca.infor.cl/DataFiles/32094.pdf>
- [2] Ferreira, B., Campos, C., y Rangel, E. (2018). Efeito da termorretificação na qualidade de colagem de lâminas de madeira para a produção de compensado. *Ciência Florestal*, 28(1), 274-282.
- [3] Lutz, J. (1974). Techniques for peeling, slicing and drying veneer. FPL 228. Madison.
- [4] Kocaefe, D., Huang, X., and Kocaefe, Y. (2015). Dimensional Stabilization of Wood. *Current Forestry Reports*, 1(3), 151-161.
- [5] Ampuero, P. (2013). *Identificación botánica y dendrológica de especies de árboles aprovechables de un censo forestal en la comunidad nativa Santa Mercedes, Río Putumayo* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Formación Profesional de Ecología de Bosques Tropicales.
- [6] León, W. (2008). Anatomía de la madera en 31 especies de la subfamilia mimosoidae (leguminosae) en Venezuela. *Revista Colombiana Forestal*, 11, 113-135.
- [7] Bastidas, N., y Pico, N. (1995). *Estudio de Algunas Propiedades Mecánicas de Cinco Especies de Las Concesiones Forestales Del Estado Bolívar* (Tesis de Pregrado). Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela.
- [8] Flores, V. (2007). *Evaluación del proceso de tratamiento térmico de trozas de madera de la industria de contrachapados* (Tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile. Escuela de Ingeniería Mecánica. Valdivia, Chile.
- [9] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN. 1990. Norma venezolana para tableros contrachapados. COVENIN-2718-90. Ministerio de Fomento. Caracas-Venezuela.
- [10] American Society for Testing and Materials. (1973) Standard method of test for strength properties of adhesives in shear by tension loading. ASTM D 906-64 (1970). Part 16, 1973. Annual book of ASTM standards pp 255-258.
- [11] American Society for Testing and Materials. (1999). Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM D 1037-99 Philadelphia, 1999. Annual Book of ASTM standards, Vol 04.10.
- [12] American Society for Testing and Materials. (2002). Standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials. ASTM D 2395-02 Philadelphia, 2002. Annual Book of ASTM standards, Vol 04.10.
- [13] American Society for Testing and Materials. (1992). Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials. ASTM D 4442-92 Philadelphia, 2003. Annual Book of ASTM standards, Vol 04.10.
- [14] Centeno, J. (1983). *Esfuerzos de Diseño para Maderas Venezolanas*. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida, Venezuela. 34 p.
- [15] López, E. (2000). *Propiedades físico-mecánicas de nueve tableros contrachapados de pino, de tres fabricantes nacionales* (Tesis de Pregrado). División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, México.
- [16] Nazmul, D., Nazrul, Md., Khandkar-Siddikur, R., and Rabiul, Md. (2012). Comparative study on physical and mechanical properties of plywood produced from Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) and Simul (*Bombaxceiba* L.) veneers. *Research Journal of Recent Sciences*, 1(9), 54-58.
- [17] Londoño, A. (1970). *Adaptabilidad del chupón (Pouteria aff. Pouteria anibifolia), para la producción de chapa por corte rotatorio* (Tesis de Maestría). Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Centro de Estudios Forestales de Postgrados, Departamento de Productos Forestales, Mérida, Venezuela.
- [18] Castagne, C. (1980). *Influencia de la compresión de la barra, ángulo de la cuchilla y temperatura de calentamiento de las rolas en la calidad de la chapa de la especie Terminalia amazonia (Gmel) Exell producida por corte rotatorio* (Tesis de Maestría). Centro de Estudio Forestales de Postgrado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

- [19] Maragaño, L. (2005). *Tableros de Contrachapados de Eucalyptus nitens: Efecto de las diferentes dosificaciones de adhesivo en las propiedades físico-mecánicas* (Tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile.
- [20] Vasileiou, V., Barboutis, I., and Kamperidou, V. (2011). Properties of thin 3-ply plywood constructed with tree-of-heaven and poplar wood. In *International Conference "Wood Science and Engineering in the Third Millennium"* (ICWSE 2011), 8th edition, 03-05 November, Brasov, Romania.
- [21] Tenorio, C., Moya, R., y Camacho, D. (2012). Propiedades físico-mecánicas de tableros terciados construidos con especies tropicales de plantaciones para uso estructural. *Cerne*, 18(2), 317-325.
- [22] Benites, L., y Lussich, F. (2003). Propiedades físicas y mecánicas de tableros derivados de la madera. Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales LATU-JICA (1998-2003). Informe de Investigación N° 13. Montevideo, Uruguay.
- [23] Poblete, H., Peredo, M., y Inzunza, L. (1994). Resistencia a la extracción de tornillos en tableros de partículas fabricados con desechos de especies nativas. *Revista Bosque* 15(2), 77-80.