

Factibilidad de uso de la Guadua (*Guadua angustifolia*) provenientes de los llanos occidentales de Venezuela, en la fabricación de tableros de lana de madera y cemento para la construcción

Feasibility of use of the Guadua (*Guadua angustifolia*) from the western plans of Venezuela, in the manufacture of wood wool and cement boards for construction

Trejo, Shakespeare ^{1*}; Valero Styles, Will ¹; Moreno, Pablo²; Durán, Jorge¹; Garay, Darío ¹

¹Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Mérida, Venezuela.

²Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería en Madera. Centro de Biomateriales y Nanotecnología. Concepción, Chile.

*shakespeare@ula.ve

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue utilizar los tallos de *Guadua angustifolia* como material de refuerzo en la fabricación de tableros de lana de madera y cemento, a dos niveles de densidad teórica de 500 kg/m³ y 750 kg/m³ y dos proporciones de cemento:madera de (2:1 y 1:1). Los tableros de lana de madera y cemento fueron fabricados según procedimientos estandarizados en la Sección de Aglomerados del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (L.N.P.F), Mérida, Venezuela. Se evaluaron las propiedades físicas como absorción de agua y variación de espesor promedio a 2 y 24 horas de inmersión y mecánicas como módulo de ruptura (MOR) en flexión estática y compresión. Concluyendo que la lana de madera de *Guadua angustifolia* presenta características tecnológicas adecuadas para la fabricación de tableros de lana de madera y cemento con densidad media.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*, material de refuerzo, tableros de pajilla cemento.

Abstract

The aim of the present investigation was to use the stems of *Guadua angustifolia* as reinforcement material in the manufacture of wood wool boards and cement, two theoretical density levels of 500 kg/m³ and 750 kg/m³ and two proportions of cement:wood of (2:1 and 1:1). The wood wool and cement boards were manufactured according to standardized procedures in the Agglomerate Section of the National Forest Products Laboratory (L.N.P.F), Mérida, Venezuela. Physical properties such as water absorption and average thickness variation at 2 and 24 hours of immersion and mechanical properties as modulus of rupture (MOR) in static flexion and compression were evaluated. Concluding that *Guadua angustifolia* wood wool has technological characteristics suitable for the manufacture of wood wool and cement boards with medium density.

Keywords: *Guadua angustifolia*, reinforcing material, wood wool and cement boards.

1 Introducción

La industria de tableros aglomerados en Venezuela, ha presentado muchas restricciones, vinculadas directamente con la tecnología existente, la cual ha permitido solamente el procesamiento de aquellas especies forestales cuyas características sean las adecuadas para ser procesadas por las industrias de tableros en el país. Esta situación condujo a que la explotación forestal en el país se concentrara en un número reducido de especies, relegando cerca del 90% de las especies del bosque tropical, que en alguna medida ya han sido estudiadas y cuyas maderas presentan características adecuadas para su incorporación al mercado (Moreno y col., 2010). Estas especies son las mal llamadas marginales, no comerciales y en el mejor de los términos no tradicionales.

Los compuestos de madera unidos con elementos inorgánicos, generalmente se hacen con una mezcla de partículas de madera, aglomerante mineral, aditivos y agua. El componente mineral más común es el cemento y el proceso de fraguado resulta de la liberación de calor debido a la hidratación del cemento en presencia de agua (Iwakiri y col., 2008, Araujo y col., 2011).

Recientemente existe un interés en varios países en la fabricación comercial de compuestos aglutinados con cemento, los cuales utilizan residuos agrícolas y de madera u otro material lignocelulósico. Por esta razón, estos paneles ocupan un lugar especial en la nueva economía ecológica, ya que proporcionan ahorro de energía, conservación de los recursos naturales y reducción de la contaminación ambiental (Sudin y col., 2006, Araujo y col., 2011). Estos tableros pueden ser utilizados en obras internas y externas como pisos, paredes, cercas, techos, muros prefabricados, encofrados, tableros para aislamiento, entre otros. Poseen una alta resistencia al fuego, a la intemperie y a los agentes de biodegradación, buena estabilidad dimensional, tienen una alta durabilidad y bajo mantenimiento, buenas características acústicas y aislamiento térmico, así como bajo costos de fabricación (De Souza y col., 1997, Moslemi, 1974, Wei y col., 2000, Bederina y col., 2007, Frybort y col., 2008, Krüger y col., 2009, Araujo y col., 2011, Doudart y col., 2014, Botterman y col., 2016, Gomes y col., 2017, Iwakiri y col., 2017).

El aumento de la demanda de materia prima para fabricar compuestos de madera, celulosa y papel ha motivado muchas investigaciones sobre los posibles sustitutos o complementos para la madera de bosques plantados y nativos (Papadopoulos y col., 2006). Los bambúes presentan una alta tasa de producción de biomasa y renovabilidad a nivel del mundo, especialmente en las zonas tropicales y subtropicales de Asia y algunos países

de América Latina (Beraldo y col., 2003, Sudin y col., 2006, Araujo y col., 2011).

De la familia de la Bambusaceae, la *Guadua angustifolia* ha tomado importancia comercial debido a su rápido crecimiento, a su capacidad de rebrote, a su sencillo manejo, a la variedad de usos, además de los beneficios ambientales que se obtienen mediante el establecimiento de plantaciones a gran escala para el control de la erosión y captura de carbono. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue utilizar los tallos de *Guadua angustifolia* para examinar la compatibilidad de las partículas como material de refuerzo aglutinadas con cemento portland, para fabricar tableros de lana de madera a dos niveles de densidad teórica de 500 kg/m³ y 750 kg/m³ respectivamente, con dos proporciones de cemento: madera (2:1 y 1:1).

2 Materiales y Métodos

Como materia prima, se utilizó lana de madera obtenida de los tallos adultos de *Guadua angustifolia* de aproximadamente 9,70 cm de diámetro, provenientes de una plantación de aproximadamente 6 años de edad, ubicada en el Sector Palma Sola, Municipio Pedraza, Estado Barinas, Venezuela. La elaboración de los tableros, la preparación de probetas y la ejecución de los ensayos se realizaron en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales: Sección Tableros Aglomerados y Ensayos de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

2.1 Determinación de la densidad y contenido de humedad

Se seleccionaron tallos con un diámetro aproximado de 9 cm y se cortaron segmentos de 18 cm de longitud, de cada tallo y de forma aleatoria se eligieron segmentos, se prepararon 30 probetas con dimensiones de 30 mm x 30 mm x 100 mm para la determinación de la densidad y humedad en las condiciones verde, seca al aire y seca al horno, según la norma DIN (1976). El cálculo del contenido de humedad se realizó con la siguiente ecuación:

$$CH = \left(\frac{P_i - P_o}{P_o} \right) \times 100 \quad (1)$$

Dónde: CH: contenido de humedad (%), P_i: Masa inicial de la muestra (g), P_o: Masa anhidra de la muestra (g).

2.2 Elaboración, mineralización y secado de la lana de madera de *G. angustifolia*

Se utilizó una maquina lanera, marca Rehau Bayern, y se obtuvo la lana con una dimensión promedio de 500 mm de

longitud, 0,25 mm de espesor y 3,5 mm de ancho. La lana fue sumergida en una solución saturada al 4% de cloruro de calcio (CaCl_2) por un tiempo de 48 horas y se escurrió por 5 minutos. Seguidamente, fue colocada en la secadora de suspensión Marca Freas, Modelo 645, y fueron secadas a un contenido de humedad final de 7 %.

2.3 Componentes para la fabricación de los tableros

Lana de *G. angustifolia* al 7 % de contenido de humedad, cemento Portland Tipo I y agua potable. Se fabricaron 5 tableros homogéneos para dos niveles de densidad teórica de 500 kg/m^3 y 750 kg/m^3 y dos proporciones en peso de cemento: madera (2:1 y 1:1).

2.4 Mezclado, formación del colchón y prensado de los tableros

La lana de *G. angustifolia* se incorporó en un mezclador junto al cemento y agua por un tiempo de 5 minutos. Obtenida una mezcla homogénea, se distribuyó manualmente dentro de un encofrado de acero y madera, previamente impregnado con aceite en su interior para permitir un desmoldado rápido y sencillo. Estos encofrados se colocaron en una prensa hidráulica marca Riehle a temperatura ambiente durante 24 horas, tiempo que es considerado adecuado para que el cemento fragüe satisfactoriamente y mantener las dimensiones de los tableros. Las dimensiones teóricas estipuladas de los tableros producidos fueron de 550 mm x 550 mm x 50 mm. Finalmente, para obtener los dos niveles de densidad en los tableros de pajilla-cemento se aplicaron los siguientes parámetros de prensado (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros del proceso de prensado

Parámetros de Prensado	P C:M 2:1		P C:M 1:1	
	Densidad Teórica 500 kg/m^3	Densidad Teórica 750 kg/m^3	Densidad Teórica 500 kg/m^3	Densidad Teórica 750 kg/m^3
Presión manométrica de la prensa (MPa)	226	1412	1147	5472
Presión específica sobre el tablero (MPa)	5	31	25,38	121
Temperatura de prensado ($^{\circ}\text{C}$)	21	21	21	21
Tiempo de prensado (Horas)	24	24	24	24

P C:M: proporción cemento madera

2.5 Desmoldado, fraguado, dimensionado y acondicionamiento de los tableros

Terminado el tiempo de prensado de 24 horas, los tableros se desmoldaron y se dejaron fraguar por 28 días, sin apilarlos y bajo sombra, evitando exponerlos al sol directo para evitar la evaporación del agua, facilitando así el curado. El curado se realizó durante los 28 días que se dejó fraguar los tableros, durante ese tiempo se efectuaron riegos continuos para mantener húmeda la superficie. Al final de los 28 días de fraguado se dejó secar los tableros.

Los tableros secos fueron cortados por los extremos, para eliminar los defectos en los bordes (20 mm en cada lado del tablero) y reducir sus dimensiones finales a través de una sierra circular con escuadría de 548 mm x 548 mm, conservando el espesor de prensado de 50 mm, para luego almacenarlos durante 15 días en un cuarto de acondicionamiento a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $65\% \pm 2\%$, hasta alcanzar un contenido de humedad de equilibrio de 12 % aproximadamente.

2.6 Ensayos físicos y mecánicos de los tableros

Se obtuvieron 10 probetas para cada ensayo físico y 4 probetas para los ensayos mecánicos. Los ensayos físicos fueron: densidad del tablero, contenido de humedad, absorción de agua a 2 y 24 horas de inmersión y variación de espesor a 2 y 24 horas de inmersión en agua. Los ensayos mecánicos fueron: resistencia a la flexión estática (módulo de ruptura MOR) y compresión perpendicular, utilizando una máquina universal Wolpert con una capacidad de 5000 Kg y una velocidad de ensayo de 10 mm/min para ambos ensayos. La evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los tableros se realizó según lo estipulado por la norma alemana DIN 52182, 52361, 52364, 1101, utilizadas para tableros de maderacemento.

2.7 Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial 2^k (2^2) con 2 niveles (densidad y proporción cemento:madera) para evaluar el efecto sobre las variables respuestas (densidad, contenido de humedad, absorción de agua a 2 h y 24 h, variación de espesor o hinchamiento a 2 h y 24 h, módulo de ruptura en flexión estática y compresión perpendicular). El análisis de varianza (ANOVA) se realizó con un nivel de confianza $\alpha = 0,05$ y con el software estadístico Design Expert® V 8.0. De igual manera, se utilizó el Software de análisis estadístico STATGRAPHICS Centurion, para realizar las separaciones de medias cuando la interacción de los factores fue estadísticamente significativa.

3 Resultados y Discusión

3.1 Análisis de varianza (ANOVA)

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 2), mostraron que el valor “p” < 0.05 para el modelo, lo que indica que es significativo. De igual forma los factores densidad, proporción cemento:madera y su interacción son significativos para las variables respuestas : densidad, contenido de humedad, absorción de agua a 2 y 24 de inmersión, variación de espesor a 2 y 24 horas de inmersión en agua y flexión estática. El análisis de residuales indica que los datos satisfacen los supuestos de normalidad y varianza constante y no se reportan datos atípicos. La proporción de variabilidad de la variable respuesta es explicada por el modelo estadístico mediante el valor de R^2 . Por otra parte, el valor R^2 ajustado indica que el número de factores presentes en el modelo es adecuado, por lo tanto, ambos confirman la validez del ANOVA.

Tabla 2. Valor -p para las variables respuestas

	Valor-p* $\alpha = 0.05$							
	Densidad (kg/m ³)	CH (%)	Absorción Agua (%)		Variación Espesor (%)		Flexión Estática (MOR) (MPa)	Compresión Perpendicular (%)
			2 H	24 H	2 H	24 H		
Modelo	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Densidad (A)	< 0,0001	0,5985	< 0,0001	< 0,0001	0,0062	0,0028	< 0,0001	0,0145
Prop. C:M (B)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Int. AB	< 0,0001	< 0,0001	0,9738	0,3782	0,261	0,1851	0,0071	0,8116
Desv. Std.	5,87	1,27	12,36	11,21	4,93	5,28	6,39	0,91
C.V. (%)	0,91	12,56	18,4	15,51	38,75	36,51	47,06	67,8
R ²	0,9977	0,2891	0,7575	0,7991	0,8123	0,8321	0,6922	0,3192
R ² ajustado	0,9977	0,2782	0,7538	0,796	0,8094	0,8295	0,6801	0,2923
R ² pred	0,9976	0,2598	0,7475	0,7908	0,8045	0,8252	0,6589	0,2456
Adeq Precisor	311,028	12,582	33,878	38,22	31,731	34,022	18,07	7,917

Fuente: software estadístico Design Expert® V 8.0

Proporción C:M: proporción cemento/madera; Desv. St.: desviación estándar; C.V. (%): coeficiente de variación; CH (%): contenido de humedad; MOR (MPa): módulo de ruptura en flexión estática.

* Valor-p < 0,05 indica que los términos del modelo son significativos.

* Valor-p > 0,05 indica que los términos del modelo no son significativos.

3.2 Densidad de los tallos de *G. angustifolia*

Los valores promedios de densidad de los tallos de *Guadua angustifolia* fueron: Densidad en condición verde 1021 kg/m³ con 164,96% de CH, densidad en condición seca al aire de 510 kg/m³ con 14,649 % CH y densidad seca al horno de 476 kg/m³.

La densidad básica media de los tallos de *Guadua angustifolia* fue de 510 kg/m³, puede ser considerada de media a baja densidad, conforme a la clasificación presentada por Méndez y col., 2001. En este sentido, la *Guadua angustifolia* es una especie no maderable con mejor densidad en comparación con la madera de Pino con densidad media de 450 kg/m³ (Trianoski y col., 2013).

3.3 Densidad de los tableros

En la Figura 1, se presentan los valores promedios de densidad de los tableros de *Guadua angustifolia* a dos niveles de densidad teórica de 500 kg/m³ y 750 kg/m³ y dos proporciones de cemento:madera (2:1 y 1:1) en partes por peso.

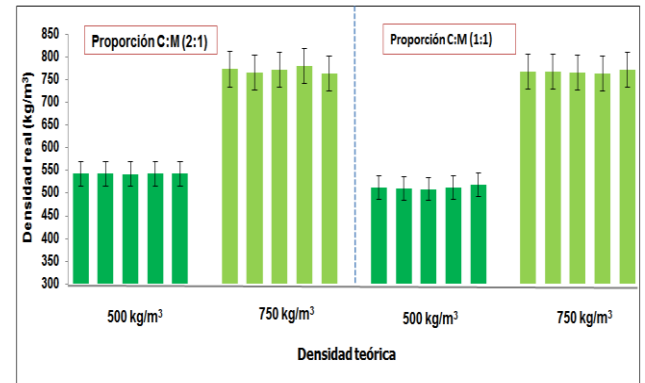


Fig. 1. Valores promedios de densidad.

La densidad de los tableros disminuyó con el aumento de la proporción de las fibras dentro de la mezcla, debido a la menor densidad de la lana de madera, en este sentido, Espinoza 2010 afirma que una fuente importante de variabilidad para determinar la densidad y que también va a afectar a la determinación de las demás propiedades mecánicas es la homogeneidad de la mezcla, debido a deficiencias en la preparación de la pasta de cemento o en la mezcla final con las fibras, siendo esta situación respaldada por Zhiyong y col., 2007, quienes expresan que los tableros compuestos con aglutinantes inorgánicos, presentan propiedades aceptables solo cuando las fibras se distribuyen de forma homogénea.

Generalmente cuanto mayor es la cantidad de partículas o lana de madera, menor es la densidad de la matriz. Esto es una observación común en la matriz de fibra de madera ya que las partículas de madera en general, tienden a tener densidades aparentes inferiores que el cemento (Mahzabin y col., 2013). Como se muestra en la figura 1, los tableros producidos con proporciones de cemento:madera (2:1) son tableros relativamente más densos que los tableros con proporciones cemento:madera (1:1), comprobando lo manifestado por el autor antes mencionado.

3.4 Contenido de humedad

En la Figura 2, se presentan los valores promedios de contenido de humedad para los tableros de *Guadua angustifolia*.

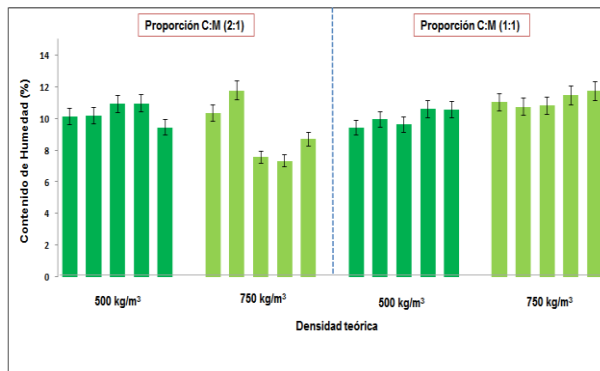


Fig. 2. Valores promedio de contenido de humedad.

Los resultados de humedad son similares a los obtenidos por Ranjan y col., 2016, quienes realizaron un estudio sobre el efecto de las relaciones cemento:partículas de bambú en las propiedades físicas y mecánicas de tableros de partículas aglomeradas con cemento, encontrando también un valor bajo de contenido de humedad del 12,45%, en tableros con proporciones de cemento:madera (2:1).

3.5 Absorción de agua a 2 y 24 horas de inmersión

En las figuras 3 y 4, se presentan los valores promedio de absorción de agua a 2 y 24 horas de inmersión. Los tableros con densidades teóricas de 500 kg/m³ y 750 kg/m³ y en proporciones de cemento:madera (2:1) y (1:1) respectivamente, no cumplen con lo solicitado por la norma DIN 52364, ya que excedieron el valor máximo estipulado de 25% para la absorción de agua a 2 horas de inmersión (Figura 3).

Para la absorción de agua a 24 horas de inmersión, los tableros de densidad 500 kg/m³ en ambas proporciones de cemento:madera (2:1 y 1:1) y los tableros con densidades de 750 kg/m³ con proporción de cemento:madera 1:1, no cumplen con lo solicitado por la norma DIN 52364, que solicita 60% a 24 horas de inmersión, sin embargo, los tableros de densidad 750 kg/m³ y en proporciones de cemento:madera (2:1), cumplen con las especificaciones de la norma (Figura 4).

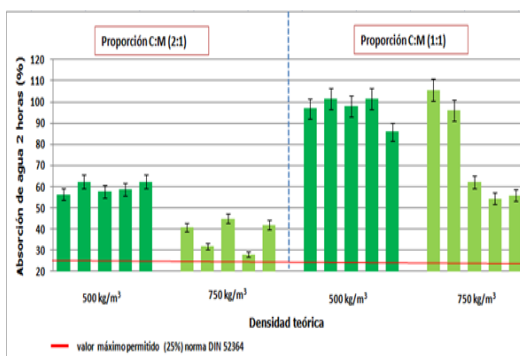


Fig.3. Valores promedio de absorción de agua a 2 horas de inmersión.

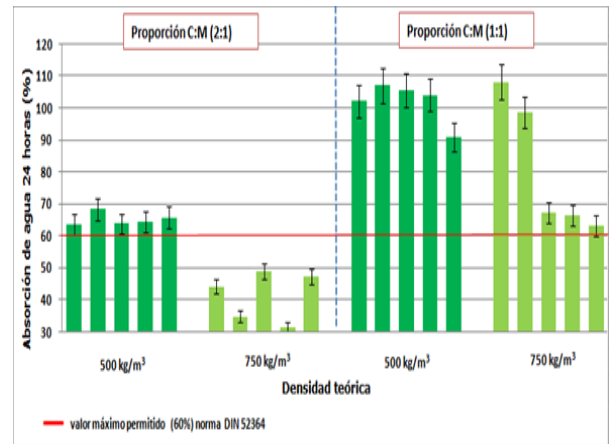


Fig.4. Valores promedio de absorción de agua a 24 horas de inmersión.

Los tableros producidos utilizando una proporción de cemento:madera (1:1) mostraron la mayor absorción de agua tanto a 2 y 24 horas de inmersión y en ambas densidades teóricas. Esto podría atribuirse a la gran cantidad de partículas en partes por peso de lana de Guadua que fueron utilizadas en su fabricación y por lo tanto hubo una mayor porosidad en el tablero. Por el contrario, los tableros de pajilla-cemento que fueron fabricados con una proporción de cemento:madera (2:1) generalmente absorbieron menor agua tanto a 2 y 24 horas de inmersión respectivamente, esto probablemente debido a la mayor cantidad de aglomerante añadido, en el cual originaron mejores enlaces para las uniones entre cemento-partícula-cemento.

En este sentido, Ashori y col., 2012, corroboraron que los tableros de madera-cemento de baja densidad tienen más espacios vacíos que los densos, de modo que puede absorber mayor cantidad de agua. Por otra parte, la *Guadua angustifolia* presenta una alta presencia de tejido parenquimático envolviendo los haces vasculares, permitiendo inferir que la tasa de absorción de agua sea bastante alta y acelerada en el parénquima, y ésta podría ser otra de las razones para que los tableros a 2 y 24 horas de inmersión excedieran el valor máximo permitido por la Norma (Moreno y col., 2010).

3.6 Variación de espesor a 2 y 24 horas de inmersión en agua

En las Figuras 5 y 6, se muestran los valores promedio de variación de espesor a 2 y 24 horas de inmersión. Los tableros con proporciones de cemento:madera (2:1) y para ambas densidades, cumplen con las especificaciones de la norma DIN 52364, que solicita una variación no mayor a 6% y 15% a 2 horas y 24 horas de inmersión en agua, respectivamente. Por el contrario, los tableros con proporciones de cemento:madera (1:1) y para ambas densidades, no cumplen con lo solicitado por la norma.

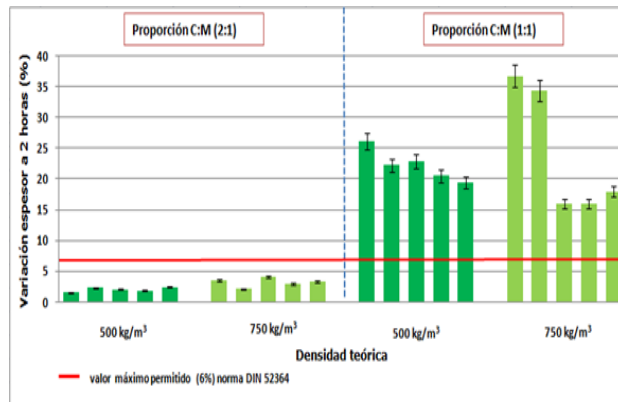


Fig. 5. Valores promedios de variación de espesor a 2 horas de inmersión en agua.

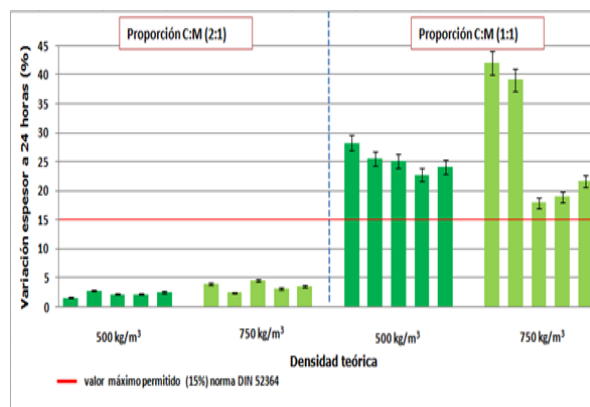


Fig. 6. Valores promedios de variación de espesor a 24 horas de inmersión en agua.

Los resultados muestran una tendencia de disminuir la variación del espesor o el hinchamiento con la disminución de la cantidad de lana de guadua en los tableros, esto puede ser explicado por el aumento de la cantidad de cemento, por lo tanto, la mezcla se vuelve menos higroscópica y el hinchamiento disminuye; sumado, también al mayor cubrimiento del cemento sobre la partícula.

Resultados similares fueron encontrados por El-Juhany y col., 2003, en la variación de espesor a 2 y 24 horas de inmersión en agua menores al 5% para tableros de maderacemento, utilizando fibras de residuos agrícolas y una proporción de cemento:madera de (2:1). Los resultados obtenidos en este estudio también presentan similitud con los encontrados por Ranjan y col., 2016, quienes utilizaron partículas de bambú de *Dendrocalamus strictus* y elaboraron tableros de cemento:madera con proporciones (2:1), obteniendo valores promedios en variación de espesor de 4,2%.

3.7 Flexión estática (MOR)

En la Figura 7 se presentan los valores promedios de flexión estática (MOR). Los tableros con densidad teórica

de 500 kg/m³ y 750 kg/m³ con proporciones de cemento:madera (2:1) y los tableros de densidad teórica de 750 kg/m³ con proporciones de cemento:madera (1:1), superan en 135%, 469% y 131%, respectivamente al valor mínimo de 0,49 MPa establecido por la norma DIN 1101 para tableros de 50 mm de espesor. Por el contrario, los tableros con densidad teórica de 500 kg/m³ y proporciones de cemento:madera (1:1) no cumplen con lo solicitado por la norma.

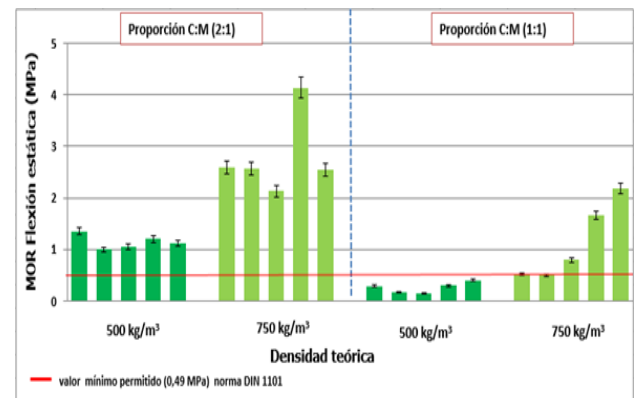


Fig. 7. Valores promedios de flexión estática.

Los resultados obtenidos en flexión estática (MOR) para los tableros de densidad teórica de 500 kg/m³ y 750 kg/m³ en proporciones de cemento:madera (2:1) (Figura 7), son similares a los encontrados por Albornoz 2002, Ziegler 2002, Garay y col., 2004, Ranjan y col., 2016, los cuales se situaron por encima del valor mínimo estipulado, cumpliendo con la norma.

3.8 Compresión perpendicular

En la Figura 8 se presentan los valores obtenidos de compresión perpendicular. Los tableros con densidad teórica de 500 kg/m³ y 750 kg/m³ y en ambas proporciones de cemento:madera (2:1 y 1:1) respectivamente, se encuentran muy por debajo al valor máximo de 20% para tableros de 50 mm de espesor solicitado por la norma DIN 1101, cumpliendo satisfactoriamente con la misma.

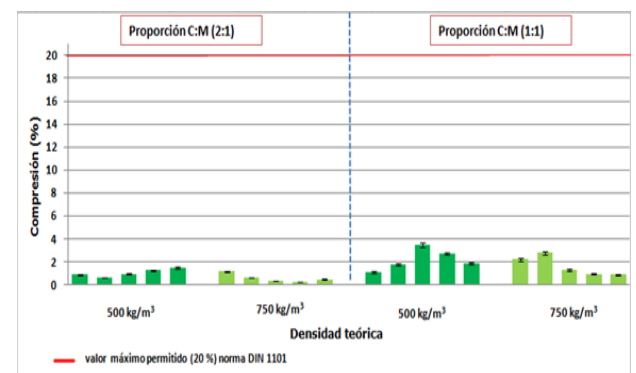


Fig. 8. Valores promedios de compresión perpendicular.

Se aprecia que a mayor densidad disminuye la compresión en los tableros, esto puede atribuirse a que la lana de madera es un material mucho más flexible que el cemento y absorbe la energía ejercida soportando la presión sin fallar. Resultados similares fueron encontrados por Edyazuan y col., 2015, en tableros de madera-cemento con densidades entre 300 kg/m³ y 900 kg/m³ y espesores de 40 mm. De igual manera Espinoza 2010, fabricó tableros de fibrocemento con *Guadua angustifolia* de 25 mm de espesor, encontrando valores promedios de compresión menores al 2%, en donde la reducción máxima permitida por la norma DIN 1101 es de 15%.

4 Conclusiones

La densidad del tablero, así como la proporción de cemento:madera son factores que influyen de manera directa sobre las propiedades físico-mecánicas de un tablero aglomerado de lana de madera y cemento.

Los tableros de lana de madera de *Guadua angustifolia* y cemento portland, con densidades de 500 kg/m³ y 750 kg/m³, y proporción cemento:madera de (2:1), presentaron las mejores características en cuanto a propiedades mecánicas de flexión estática (MOR), compresión perpendicular y mejor comportamiento en la absorción de agua y variación de espesor a 2 y 24 horas.

El aprovechamiento de lana de madera de los tallos de *Guadua angustifolia*, mostró buenos resultados y propiedades tecnológicas adecuadas para su transformación en un producto de ingeniería como el tablero homogéneo de lana y cemento con densidad media y con proporción de cemento:madera de (2:1)

Los tableros fabricados poseen resistencia mecánica aceptada por la norma, permitiendo indicar, que estos tableros pueden ser utilizados en la industria de la construcción y sustituir otros elementos constructivos formando parte como paneles de cerramientos internos y externos.

Agradecimiento

Esta investigación ha sido financiada por el Proyecto F0-740-15-01-B año 2015. Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico (CDCHT). Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Referencias

Albornoz J, 2002., Producción de tableros aglomerados y su utilización como material de construcción de bajo costo, utilizando desechos de Palma africana (*Elaeis guineensis Jacq*) (Tesis de Pregrado). Universidad de los Andes,

Facultad de Arquitectura y Arte, Escuela de Arquitectura, Mérida, Venezuela.

Araujo P, Arruda L, Menezzi Cl, Texeira D, Souza M, 2011, Lignocellulosic composites from Brazilian giant bamboo (*Guadua magna*). Parte 2. Properties of cement and gypsum bonded particleboards. Maderas. Ciencia y Tecnología 13(3):297-306

Ashori A, Tabarsa T, Sepahvand , 2012, Cement-bonded composite boards made from poplar strands. Construction and Building Materials, 26: 131–134.

Bederina M, Marmoret L, Mezreb K, Khenfer M, Bali A, 2007, Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes: experimental study and modeling. Construction and Building Materials 21: 662–668.

Beraldo AL, Rivero LA, 2003, Bambu laminado Colado (BLC). Floresta e Ambiente 10 (2): 36 – 46.

Botterman B, Hornikx M, Doudart G, Yu Q, Brouwers J, 2016, Characterizing and modelling the sound absorption of wood wool cement boards (WWCB). Proceedings of the 23rd International Congress on Sound and Vibration, Athens, Greece, 10-14 Julio.

De Souza M, Geimer R, Moslemi A, 1997, Degradation of conventional and CO₂ –Injected cement bonded particleboard by exposure to Fungi and Termites. Journal of Tropical Forest Product 3(1): 63-69.

Deutsches Institut fur Normung, DIN. 1976, Testing of wood; determination of density. German National Standard. DIN 52182. 3p

Doudart G, Yu Q, Brouwers J, 2014, Wood-wool cement board: potential and challenges. Proceedings of the International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference, Da Nang, Vietnam, 15-19 September

Edyazuan M, Sukri A, Lofflad H, Noorain S, 2015, Feasibility study on empty fruit bunch (EFB) cement board, Proceedings of ISER 9th International Conference, Berlin, Germany, 30th October.

El-Juhany L, Aref I, El-Wakeel A, 2003, Evaluation of using some available lignocellulosic agricultural residues in manufacturing wood-cement boards in Saudi Arabia. In: the Proceedings of the International Conference on Date Palm, pp 281-291, held at College of Agriculture and Veterinary Medicine, King Saud University (Qaseem Branch), Buraidah, Saudi Arabia, September.

Espinoza A, 2010, Aptitud de *Guadua angustifolia* Kunth en la elaboración de tableros aglomerados con cemento. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales. Lima, Peru.

Frybort S, Mauritz R, Teischinger A, Muller U, 2008, Cement bonded composites – A mechanical review. Bioresources 3(2): 602–623.

Garay D, Moreno P, Durán J, Valero S, Trejo S, 2004, Factibilidad de uso de la madera Hevea Brasiliensis (caucho) en la fabricación de tableros con pajilla y cemento. Revista Forestal Latinoamericana 36: 45-58.

- Gomes V, Azambuja R, Bila N, Alice P, Sasaki G, Iwakiri S, 2017, Correlation between chemical composition of tropical hardwoods and wood–cement compatibility. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 0: 1-7.
- Iwakiri S, Prata JG, 2008, Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis de cimento-madeira. *Cerne* 14(1): 68-74
- Iwakiri S, Trianoski Weber A, Bonfatti E, Ferreira G, Bueno J, Cechin L, Zunta R, 2017, Efeitos do tratamento de partículas e aceleradores de endurecimento na produção de painéis cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. *Floresta* 47(3): 289 – 296.
- Mendes L, Silva J, Trugilho P, Lima J, 2001, Densidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede no sentido longitudinal dos caules. *Cerne* 5(1): 105-111.
- Moreno L, Trujillo E, Osorio L, 2007, Estudio de las características físicas de haces de fibra de *Guadua angustifolia*. *Scientia et Technica* (34): 613-617.
- Moreno P, Garay D, Durán J, Valero S, Trejo S, 2010, Utilización de tallos de *Guadua angustifolia* en la fabricación de tableros de partículas. *Forest Systems* 19(2): 241-248.
- Papadopoulos, A.; Ntalos, G.; Kakaras, I. 2006. Mechanical and physical properties of cement-bonded OSB. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64: 517–518.
- Sudin R, Swamy N, 2006, Bamboo and wood fiber cement composites for sustainable infrastructure regeneration. *Journal of Materials Science* 41(21): 6917-6924.
- Trianoski R, Matos J, Iwakiri S, Prata J, 2013, Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de pinus. *Floresta e Ambiente* 20(3): 398-406.
- Valenzuela W, Cruz T, 1982, Aptitud de la madera de cinco especies forestales para fabricar tableros de fibro-cemento. *Revista Forestal del Perú* 11(1-2): 1-17.
- Zhiyong C, Ross R, 2007, Mechanical Properties of Wood-Based Composite Materials. General Technical Report FPL–GTR–190. Chapter 12.
- Ziegler J, 2002, Diseño y producción de un sistema de cerramiento aplicado a viviendas de bajo costo a partir de la utilización de desechos de la agroindustria *Palma Aceitera Africana* (Tesis de Pregrado). Universidad de los Andes, Facultad de Arquitectura y Arte, Escuela de Arquitectura, Mérida, Venezuela.
- Valero Styles, Will:** *Ingeniero Forestal Universidad de Los Andes, Venezuela (1991). Maestría en Tecnología de Productos Forestales, Universidad de Los Andes (2001). Es docente de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes. Correo electrónico: styles@ula.ve*
- Moreno, Pablo:** *Ingeniero Forestal Universidad de Los Andes Venezuela (1994). Maestría en Tecnología de Productos Forestales, Universidad de Los Andes (2001). Doctor en Ciencias e Industria de la Madera, Universidad del Bío-Bío. Es investigador de la Facultad de Ingeniería, Carrera Ingeniería Civil en Maderas, Universidad del Bío-Bío, Chile. Correo electrónico: pmoreno@ubiobio.cl*
- Durán, Jorge :** *B.S. in Chemistry, State University of New York, Syracuse (1971). Ph. D, Wood Chemistry (1975). Es docente de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes. Correo electrónico: jorduran@ula.ve*
- Garay, Darío:** *Ingeniero Forestal Universidad de Los Andes, Venezuela (1980). Maestría en Tecnología de Productos Forestales, Universidad de Los Andes (1986). Es docente de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes. Correo electrónico: dargaray@ula.ve*

Recibido: 25 de julio de 2019

Aceptado: 9 de octubre de 2019

Shakespeare, Trejo: *Ingeniero Forestal Universidad de Los Andes, Venezuela (2003). Maestría en Tecnología de Productos Forestales, Universidad de Los Andes (2015). Es docente de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes*