

UTILIZACION DE *BAMBUSA VULGARIS* COMO UNA ALTERNATIVA EN LA FABRICACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS DE PARTICULAS

Pablo A. Moreno P.¹,
Darío A. Garay J.², Jorge A. Durán P.³, Styles W. Valero⁴

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la factibilidad tecnológica de *Bambusa vulgaris* como materia prima para la fabricación de tableros aglomerados de partículas, a dos niveles de densidad teórica, de 600 kg/m³ y 800 kg/m³, con adhesivo de urea formaldehído al 8 % de resinosidad. Las propiedades físicas y mecánicas de los tableros se determinaron siguiendo las estipulaciones de las normas alemanas DIN 52361, 52362, 52364 y 52365 y venezolana Covenin 847-91 para tableros aglomerados de partículas de madera en prensado plano. Las propiedades mecánicas fueron flexión estática (MOR) y tensión perpendicular a la superficie del tablero (adhesión interna); las propiedades físicas, absorción y variación de espesor a 02 y 24 horas de inmersión en agua. Los resultados obtenidos permiten indicar que los tableros fabricados con esta especie presentan propiedades acordes con los valores estipulados por las normas. Es de destacar que los tableros de densidad 800 kg/m³ obtuvieron los mejores valores promedios, en lo que respecta a las propiedades físicas y mecánicas, con relación a los tableros de densidad 600 kg/m³, como es de esperar.

Palabras Clave: tablero partícula, resina, urea formaldehído, bambú, *bambusa vulgaris*, propiedades mecánicas, propiedades físicas.

¹ Ingeniero Forestal, MsC. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Labonac, U.L.A. Mérida, Venezuela.

² Ingeniero Forestal, MSC. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Labonac, U.L.A. Mérida, Venezuela.

³ B. Sc. Químico, PhD. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Labonac, U.L.A. Mérida, Venezuela.

⁴ Ingeniero Forestal, MsC. Sección de Ensayos Labonac. ULA. Mérida, Venezuela.

USE OF *BAMBUSA VULGARIS* AS FOR ALTERNATIVE IN PARTICLEBOARD MANUFACTURE

Pablo A. Moreno P.¹,
Darío A. Garay J.², Jorge A. Durán P.³, Styles W. Valero⁴

SUMMARY

The main objective of this research was to determine the technological feasibility of *Bambusa vulgaris* as raw material for the production of particleboard at two levels of theoretical density, of 600 kg/m³ and 800 kg/m³, with formaldehyde urea resin content of 8%. The physical and mechanical properties of the boards were determined according to the Germany Standards DIN 52361, 52362, 52364 and 52365, and the Venezuelan Covenin Standards 847-91 for flat platen-pressed particleboard. The mechanical properties were static bending (MOR), and tension perpendicular to the board surface (internal bond); the physical properties, water absorption and thickness variation by water soaking tests at 2 and 24 hours. The results of this study indicated that the boards manufactured with this species showed values in the physical and mechanical properties that comply with the ones specified by the standards it should be noted that the boards of density 800 kg/m³ obtained won the best values mean in terms of the physical and mechanical properties, compared to the density of 600 kg/m³ boards, as expected.

Key Words: particleboard, resin, formaldehy de urea, bamboo, *Bambusa vulgaris*, mechanical properties, physical properties.

¹ Ingeniero Forestal, MsC. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Labonac, U.L.A. Mérida, Venezuela.

² Ingeniero Forestal, MSC. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Labonac, U.L.A. Mérida, Venezuela.

³ B. Sc. Químico, PhD. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Labonac, U.L.A. Mérida, Venezuela.

⁴ Ingeniero Forestal, MsC. Sección de Ensayos Labonac. ULA. Mérida, Venezuela.

I. INTRODUCCIÓN

La industria de paneles aglomerados de partículas en Venezuela tiene restricciones tecnológicas que impiden el procesamiento de numerosas especies. Por esta razón, se desaprovechan cerca del 90% de especies del bosque natural y de plantaciones, que ya han sido estudiadas y cuya madera presenta características adecuadas para su incorporación al mercado de productos forestales.

Actualmente, se están estudiando varias especies de plantaciones de rápido crecimiento, con el fin de incorporarlas como una nueva alternativa de materia prima lignocelulósica en la fabricación de tableros aglomerados de partículas y, de esta manera, reactivar la industria de tableros en el país.

La utilización de recursos renovables y sostenibles no tradicionales, como el bambú, debe desarrollarse como una materia prima alterna para la fabricación de paneles aglomerados de partículas.

Durante los últimos años, se está reproduciendo de manera abundante en Venezuela una especie conocida como *Bambusa vulgaris*, considerada como no maderable, pero que contiene un tallo leñoso que presenta muy buenas características; es de rápido crecimiento y cuyo turno o año de cosecha no pasa de los cinco años. El uso principal que se le ha dado es rudimentario y artesanal. Cuando es utilizado por los artesanos, gran parte de los tallos quedan como desperdicios en la zona de plantación y casi siempre son quemados o dejados en el sitio sin dársele un uso alternativo.

Debido al uso selectivo de las especies maderables forestales en el país, éstas se han ido agotando, conllevando en muchos de los casos a la paralización parcial o total de las empresas de ese ramo, por no contar con otras especies adecuadas que sirvan como fuente de materia prima para la fabricación de tableros. Con la finalidad de aliviar los problemas asociados a la materia prima provenientes de especies del bosque natural, varios países entre ellos Venezuela, aunque en pequeña escala, han recurrido a las plantaciones de especies maderables y no maderables. El bambú y especies de rápido crecimiento son una alternativa de materia prima lignocelulósica, cuando éstas presentan las características adecuadas para la producción de las partículas que servirán en la fabricación de los tableros aglomerados.

Venezuela, como país tropical, presenta condiciones de clima y suelo que favorecen el desarrollo de un amplio número de especies que conforman la familia de las Bambusaceae, siendo la *Bambusa vulgaris* una de las especies de fácil desarrollo y crecimiento, con una amplia distribución geográfica que puede abarcar todos los estados del país.

En China se fabrican tableros decorativos de bambú desde 1940. Hasta la fecha se han desarrollado 28 productos (INBAR, 1999). Estos tableros se diferencian de los paneles aglomerados de partículas en su proceso de fabricación y en el uso de los mismos.

La Corporación de Investigación Tecnológica de Chile (2003) desarrolló un estudio, para determinar el potencial de *Chusquea culeon*, una especie de bambú autóctono, como materia prima para la fabricación de tableros de partículas, y los resultados obtenidos permiten aseverar que es posible producir técnicamente estos tableros y con propiedades adecuadas.

Desde el punto de vista anatómico, Filho y Azzini (1987) indican que los tallos de bambú, en su sección transversal, presenta una estructura caracterizada por numerosos haces fibrovasculares envueltos por células de parénquima.

El bambú común se usa para una variedad de propósitos (Banik 1988), entre ellos, como material para la construcción, a pesar de ser susceptible al daño producido por el escarabajo *Dinoderus minutus*. Las cañas enteras se utilizan para postes, puntales y andamios. Las cañas cortadas a lo largo se usan en forma entretrejida para divisiones, para tejado y como varillas para trabajos con yeso (Francis 1993).

Papadopoulus y Gkaravelli (2004) estudiaron la factibilidad de *Bambusa vulgaris* para la fabricación de tableros de partículas homogéneos con resina de urea formaldehído al 10 % de resinosidad. Los resultados obtenidos de sus propiedades mostraron que esta especie puede ser usada exitosamente como una alternativa de materia prima lignocelulósica para la fabricación de tableros de uso interior.

Esta investigación evaluó la factibilidad técnica de la fabricación de tableros homogéneos de partículas de *Bambusa vulgaris* a dos niveles de densidad teórica, de 600 kg/m³ y 800 kg/m³. Dicha factibilidad se estableció sobre la base de comparaciones de las propiedades físicas y mecánicas de los tableros producidos, con los valores exigidos por la norma alemana DIN y la norma

venezolana COVENIN, para tableros aglomerados de madera de uso general en prensado plano.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales y equipos

Se utilizaron 15 tallos de *Bambusa vulgaris* de 5 años de edad, cortados a 2,50 m de longitud, procedentes del Instituto de Desarrollo Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, estado Mérida, Venezuela. Se utilizaron los equipos y maquinarias de las secciones de tableros aglomerados y ensayos de madera del Laboratorio Nacional de Productos Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes.

2.2. Métodos

2.2.1. Determinación de la densidad y contenido de humedad de la materia prima

A las probetas de 0,03 m x 0,03 m x 0,10 m de *Bambusa vulgaris* se les determinó la densidad en condición verde, seca al aire y seca al horno, según la norma DIN 52182. Las determinaciones de contenido de humedad se realizaron en la estufa controlada a 103 ± 2 °C hasta obtener peso constante.

2.2.2. Preparación de la materia prima

Los tallos de *Bambusa vulgaris* fueron dimensionados en segmentos de 0,18 m de longitud, sin tomar en cuenta su posición respecto a la altura del tallo. Posteriormente, se introdujeron a la maquina viruteadota Marca Bezner con el fin de producir las partículas necesarias para la fabricación de los tableros.

Como aglutinante, se utilizó resina de urea formaldehído de la empresa Intequim C.A., con un contenido de sólidos de 60%, tiempo de gelación de 120 s., peso específico de 1,2675, formol libre de 0,6%, viscosidad de 0,255 Pa s y un pH de 8,31, en una proporción del 8% con respecto al peso seco al horno de las partículas. Se utilizó sulfato de amonio como catalizador al 30% de concentración de sólidos para acelerar el proceso de fraguado de la resina, en una proporción del 7% en base a la resina líquida y se utilizó agua como solvente.

2.2.3. Viruteado y tamizado de las partículas

Para la fabricación de las partículas se utilizó la planta piloto de la Sección de Tableros Aglomerados del Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Esta planta permite la producción, secado y clasificación de las partículas y su maquinaria se encuentra interconectada por un sistema neumático de ciclones para su transferencia desde la viruteadora a la secadora de suspensión marca Keller; de allí al molino axial marca Condu y finalmente al tamiz clasificador vibrador marca Bezner. Los segmentos de 0,18 m de longitud fueron viruteados a partículas con dimensiones promedios de 0,02 m de longitud, ancho variable y espesor de 0,00025 m.

2.2.4. Secado de las partículas

El secado de las partículas se efectuó en forma controlada, a una temperatura promedio de 70 °C hasta obtener un contenido de humedad menor o igual a 4%.

2.2.5. Encolado de las partículas

Se utilizó resina sintética del tipo urea formaldehído en proporción del 8% con respecto al peso seco al horno de las partículas. La aspersion de la resina debidamente catalizada se realizó en la encoladora marca Draís a una presión de aire aproximada de 202,6 kPa y un tiempo de encolado entre 300 y 480 s.

2.2.6. Formación de los tableros

Las partículas encoladas fueron distribuidas de manera manual y aleatoria dentro de formaletas de madera para formar un colchón de partículas homogéneo, luego se realizó un preprensado en frío antes de ser introducido a la prensa caliente marca Becker Van Huller para su consolidación final. Se fabricaron 3 tableros para cada nivel de densidad.

2.2.7. Prensado de los tableros

El prensado en caliente del colchón preprensado con partículas encoladas se efectuó en la prensa marca Becker Van Huller, bajo las siguientes condiciones:

Presión específica sobre el tablero: 31,14 kg/cm².

Presión manométrica de la prensa : 150 kg/cm².

Temperatura de la prensa: 180 - 200°C.

Tiempo de prensado: 360 s para los tableros de densidad nominal de 600 kg/m³ y 900 s para los tableros de densidad nominal de 800 kg/m³.

Espesor del tablero prensado: 0,019 m.

Dimensiones del tablero prensado: 0,55 m x 0,55 m x 0,019m.

2.2.8. Acondicionamiento de los tableros

Al finalizar el período de prensado, los tableros se ubicaron en el cuarto de acondicionamiento bajo las siguientes condiciones: temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $65\% \pm 2\%$. El tiempo de permanencia de los tableros en este cuarto fue de 15 días hasta que alcanzaron un contenido de humedad del 12% aproximadamente.

2.2.9. Extracción de probetas y evaluación de los tableros

Los tableros fueron recortados en los bordes a un tamaño de 0,55 m x 0,55 m x 0,019m de espesor y, de cada uno de ellos, se seccionaron las probetas para los ensayos de evaluación de las propiedades físicas y mecánicas, de acuerdo con las normas alemanas DIN 52361, 52364, 52362 y 52365, respectivamente. Los ensayos realizados se presentan en la tabla 1. Se evaluaron las propiedades físicas de densidad, absorción de agua a 2 y 24 horas de inmersión y variación de espesor a 2 y 24 horas y las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión (MOR) y tracción perpendicular a la superficie del tablero.

Tabla 1. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de *Bambusa vulgaris* a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m^3 y 800 kg/m^3 .

Descripción del ensayo	Norma DIN	Número probetas / tablero
Contenido de humedad y densidad	52361	10
Resistencia a la flexión	52362	10
Tracción perpendicular	52365	10
Absorción de agua y variación de espesor	52364	10

Para realizar las comparaciones de los resultados de cada propiedad, se tomó como referencia la norma venezolana Covenin 847-91 y la norma alemana DIN 68761 para tableros de partículas de madera para uso general en prensado plano.

III. RESULTADOS

3.1. Densidad de los tallos de *Bambusa vulgaris*

La densidad promedio en condición verde fue de 825 kg/m^3 a un contenido de humedad de 80%; 694 kg/m^3 para la condición seca al aire a un contenido de humedad del 12% y 635 kg/m^3 para la condición seca al horno.

3.2. Densidad de los tableros de partículas de *Bambusa vulgaris*

El valor promedio de densidad de los tableros de partículas de *Bambusa vulgaris* y los coeficientes de variación se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. **Densidades promedio y coeficiente de variación de los tableros de *Bambusa vulgaris* a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m³ y 800 kg/m³.**

Densidad Teórica del tablero (kg/m ³)	Densidad promedio de los tableros (kg/m ³)	Coefficiente de variación (%)
600	580	5,90
800	720	7,65

La diferencia de la densidad teórica y la densidad promedio o real de los tableros; se debe, en gran parte, a la pérdida de materia prima (partículas, adhesivo, catalizador y agua) durante el proceso de mezclado y formación del colchón de partículas, ya que esta operación se realiza de manera manual y cierta cantidad de partícula encolada es dejada en la encoladora y formaleta.

3.3. Propiedades físicas y mecánicas de los tableros

El resultado de valores promedio de los ensayos de propiedades físicas y los coeficientes de variación en tableros de partículas de *Bambusa vulgaris*, a dos niveles de densidad de 600 kg/m³ y 800 kg/m³ se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. **Propiedades físicas y coeficiente de variación de los tableros de *Bambusa vulgaris* a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m³ y 800 kg/m³.**

Propiedad	Densidad teórica (Kg/m ³)	Valor promedio (%)	Coefficiente de variación (%)
Absorción de agua 2 horas (%)	600	74,08	8,18
	800	24,74	13,75
Absorción de agua 24 horas (%)	600	89,62	9,63
	800	58,40	13,20
Variación de espesor 2 horas (%)	600	7,67	8,19
	800	8,64	6,07
Variación de espesor 24 horas (%)	600	8,91	7,18
	800	10,31	8,33

IV. DISCUSIÓN

4.1. PROPIEDADES FÍSICAS

4.1.1. Absorción de agua a 2 y 24 horas de inmersión

El valor promedio para la absorción de agua a 2 horas de inmersión para los tableros de densidad 600 kg/m^3 se situó en $74,08\%$. Para tableros de densidad 800 kg/m^3 fue de $52,74\%$.

En el Gráfico 1, se presentan los valores obtenidos para la absorción de agua de los tableros a las 2 horas de inmersión. Se puede observar que los tableros con densidad de 600 kg/m^3 excedieron el valor máximo estipulado de 25% y no cumplen con la norma COVENIN 847-91. Los tableros de densidad 800 kg/m^3 se situaron por debajo del valor máximo de 25% establecido por dicha norma, cumpliendo con la misma.

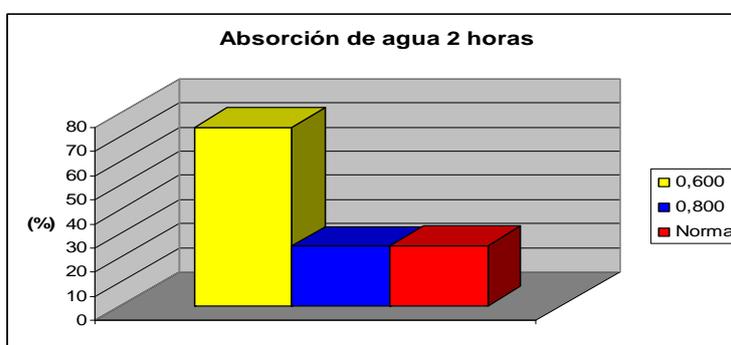


Gráfico 1. Valores promedio para absorción de agua a 2 horas de inmersión para tableros a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m^3 y 800 kg/m^3 .

El resultado promedio para la absorción de agua a las 24 horas de inmersión para los tableros de densidad de 600 kg/m^3 se situó en $89,62\%$. Para tableros de densidad 800 kg/m^3 fue de $58,40\%$.

En el Gráfico 2, se muestran los valores para absorción de agua a las 24 horas de inmersión para ambas densidades. Los tableros de densidad 600 kg/m^3 excedieron el valor máximo de 60% estipulado por la norma COVENIN 847-91. Los tableros de densidad 800 kg/m^3 se situaron por debajo de este valor máximo, cumpliendo con la norma.



Gráfico 2. Valores promedio para absorción de agua a 24 horas de inmersión para tableros a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m³ y 800 kg/m³.

Los valores bajos de absorción de agua asociados con una alta densidad del tablero y con una alta relación de compresibilidad son también el resultado de un mejor contacto entre las partículas encoladas del colchón, que está siendo comprimido en la prensa para la obtención del tablero final, de la mejor eficiencia de la resina y del curado de la misma, lo que produce una junta partícula-partícula con excelentes propiedades de adhesión. En la tabla 4, se presentan los valores de la relación de compresibilidad de los tableros de 600 kg/m³ y de 800 kg/m³ ensayados en este estudio.

Tabla 4. Relación de compresibilidad de los tableros de *Bambusa vulgaris* a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m³ y 800 kg/m³.

Densidad de <i>Bambusa vulgaris</i> (kg/m ³)	Densidad teórica del tablero (kg/m ³)	Densidad real del tablero (kg/m ³)	Densidad real del tablero / densidad de la especie	Relación de compresibilidad del tablero
694	600	580	0,864	0,864 : 1,0
694	800	720	1,037	1,037 : 1,0

Estos resultados confirman los obtenidos por Durán (1981), Garay (1988) y Moreno (2001), en que la facilidad de absorción de agua está en función de la relación de compresibilidad del tablero, la eficiencia de resina y la facilidad de la penetración del fluido (permeabilidad del tablero) por los canales entre las partículas y los capilares de las mismas. Una relación de compresión baja permite la absorción de más agua en comparación con una relación de alta

compresión, debido a la existencia de una mayor porosidad en el tablero, es decir, un mayor volumen de espacio vacío para acomodar un mayor volumen de agua.

La densidad de la materia prima ha sido uno de los factores más importantes en la selección y determinación de las especies que se usan en la manufacturación de los tableros compuestos a base de madera. Especies de madera de baja densidad producen tableros dentro del rango deseado de densidades en uso comercial actual, con propiedades mecánicas superiores a los fabricados con especies de alta densidad (Maloney 1993). La gran cantidad de especies de alta densidad, presentes en nuestros bosques naturales y en plantaciones disponibles para su uso, hace necesario intensificar la investigación sobre estas materias primas, con el fin de desarrollar técnicas para su utilización en el campo de los productos compuestos a base de madera.

Actualmente, se admite la relación de compresibilidad de 1,3:1,0 como una regla útil para la determinación del uso de una especie de madera o cualquier otra materia prima lignocelulósica para su transformación en productos compuestos de densidad media. El uso de partículas de especies de alta densidad producirían tableros más pesados y con propiedades aceptables, pero también con ciertas dificultades en su procesamiento y trabajabilidad con la maquinaria convencional existente. Esto causaría resistencia para su aceptación en los mercados convencionales actuales. De estas consideraciones, nace el reto para la investigación en la incorporación de las especies de más alta densidad o cualquier otra materia prima lignocelulósica en el campo de los productos compuestos a base de madera, y en la determinación de usos adecuados.

En observaciones microscópicas realizadas a cortes de secciones transversales de tallos de *Bambusa vulgaris* en el Laboratorio de Anatomía de Madera de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, se pudo observar la alta presencia de tejido parenquimatoso envolviendo los haces vasculares (Figura 1 y 2). Esto caracteriza a las especies de bambusaceae, permitiendo inferir que la tasa de absorción de agua sea bastante alta y acelerada en el parénquima. Ésta podría ser otra de las razones para que los tableros de baja densidad a las 2 y 24 horas excedan los valores máximos de 25% y del 60% para la absorción de agua y no cumplan con la norma COVENIN 847-91. Las células de parénquima se caracterizan por tener paredes muy delgadas; y gran cantidad de agua puede ser alojada en sus cavidades celulares y, por esta razón, tienen mayor capacidad de absorber y retener agua.

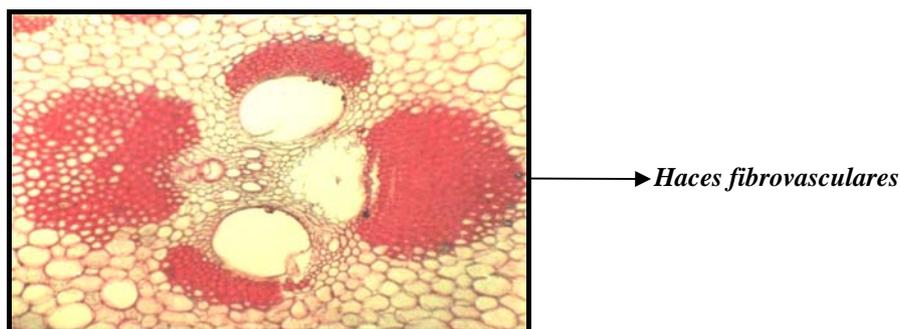


Figura 1

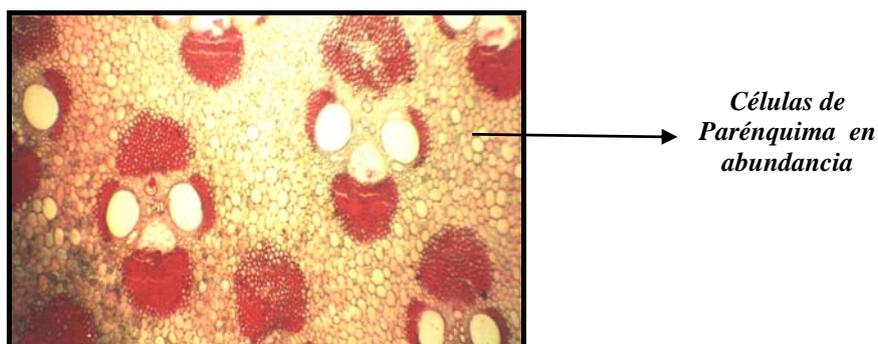


Figura 2

Figuras 1 y 2. Estructura anatómica de *Bambusa vulgaris* en sección transversal (León, Williams 2005). Laboratorio de Anatomía de Maderas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Mérida, Venezuela).

Otra causa probable de estos resultados, como lo indica Londoño (2002), es la presencia de cutícula ubicada en la parte externa de los tallos, encontrándose una alta concentración de cuerpos silicios, causantes de su gran dureza. Esto significa que una partícula con cutícula en el tablero posee una cara que es más impermeable a la absorción de agua, pero que también pudiera llegar a interferir en la adherencia partícula-adhesivo-partícula.

4.1.2. Variación del espesor a 2 y 24 horas de inmersión en agua

Los promedios obtenidos de la variación de espesor a las 2 y 24 horas de inmersión, así como sus coeficientes de variación se presentan en la tabla 3. El valor promedio para la variación de espesor a las 2 horas para los tableros de densidad 600 kg/m^3 se situó en 7,67%. Para tableros de densidad 800 kg/m^3 fue de 8,64%.

En el Gráfico 5, se representan los valores para la variación de espesor a las 2 horas para ambas densidades. Los tableros de densidad 600 kg/m³ y 800 kg/m³ excedieron muy ligeramente el valor máximo de 6% estipulado por la normas COVENIN 847-91 y DIN 68761.

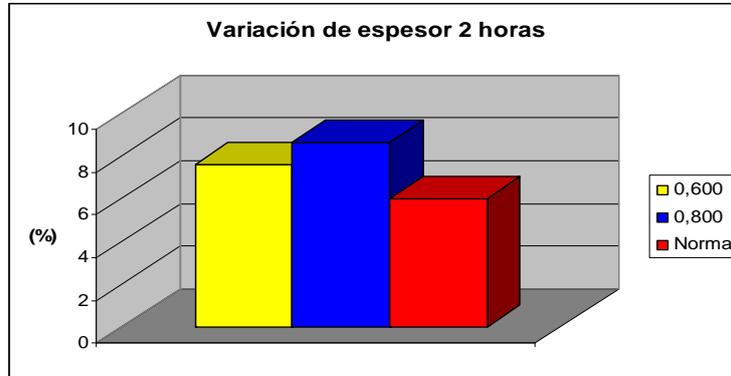


Gráfico 5. Valores promedio para la variación de espesor a las 2 horas de inmersión para tableros a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m³ y 800 kg/m³.

En el Gráfico 6, se representan los valores para la variación de espesor a las 24 horas de inmersión para ambas densidades. Los tableros de densidad 600 kg/m³ y 800 kg/m³ se situaron por debajo del valor máximo de 15% estipulado por la normas COVENIN 847-91 y DIN 68761, cumpliendo con las mismas.

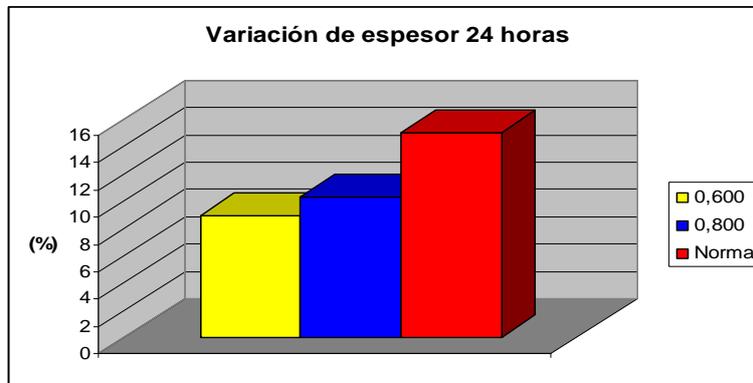


Gráfico 6. Valores promedio para la variación de espesor a 24 horas de inmersión para tableros a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m³ y 800 kg/m³.

Los resultados obtenidos para la variación de espesor a 24 horas de inmersión son similares a los obtenidos por Papadopoulos, Hill y Gkaraveli (2004), quienes utilizaron *Bambusa vulgaris* y fabricaron tableros con una densidad de 750 kg/m³ y urea formaldehído a dos niveles de resinosidad del 12 y 14 %.

4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

El resultado promedio de los ensayos de las propiedades mecánicas y los coeficientes de variación de tableros de partículas de *Bambusa vulgaris* a dos niveles de densidad de 600 kg/m³ y 800 kg/m³ se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valor promedio y coeficiente de variación de las propiedades mecánicas de los tableros aglomerados de partículas de *Bambusa vulgaris* a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m³ y 800 kg/m³.

Propiedad	Densidad teórica (Kg/m ³)	Valor promedio (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
Flexión Estática (MOR)	600	122,62	15,78
	800	276,58	13,720
Tracción Perpendicular (IB)	600	1,56	19,540
	800	5,63	17,320

4.2.1. Resistencia a la flexión estática (MOR)

El valor promedio para los tableros de densidad 600 kg/m³ se situó en 122,62 kg/cm² y para los tableros de densidad 800 kg/m³ fue de 276,58 kg/cm². En el Gráfico 7, se presentan los valores de la flexión estática para las dos densidades. Los tableros de densidad 600 kg/m³ se situaron por debajo del valor mínimo de 180 Kg/cm² estipulado por las normas COVENIN 847-91 y DIN 68761. Los tableros de densidad 800 kg/m³ se situaron por encima de este valor mínimo de 180 Kg/cm² cumpliendo con las normas. Estos resultados de flexión estática son similares a los de Papadopoulos, Hill y Gkaraveli (2004), quienes utilizaron *Bambusa vulgaris* y fabricaron tableros con una densidad de 750 kg/m³ y urea formaldehído con una resinosidad del 12 y 14 %.

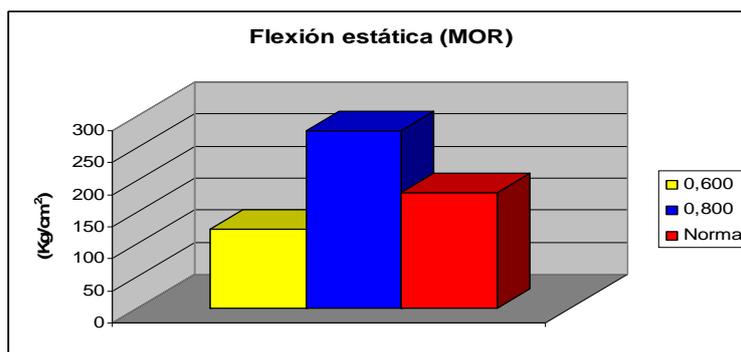


Gráfico 7. Valores promedios de flexión estática (MOR) para tableros a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m³ y 800 kg/m³.

El incremento en la densidad del tablero resulta en un contacto más íntimo entre las partículas encoladas del colchón que está siendo comprimido en la prensa para su consolidación en el tablero final. En el caso de los tableros de baja densidad, parte de la resina se pierde en los espacios vacíos entre las partículas, todo lo contrario de lo que ocurre en un tablero de mayor densidad donde esta resina se distribuye y se hace mas activa sobre las partículas, contribuyendo a una mayor eficiencia y acción adhesiva sobre las juntas partícula-partícula. Por lo tanto, con un incremento en la densidad del tablero no solamente se obtiene una mayor eficiencia y efectividad de la resina, sino que también provee una mayor cantidad de madera para resistir la presencia de los esfuerzos mecánicos.

4.2.2. Tracción perpendicular a la superficie del tablero

Los valores promedios obtenidos de tracción perpendicular, así como sus coeficientes de variación se presentan en la tabla 4. El valor promedio para los tableros de densidad 600 kg/m³ se situó en 1,56 kg/cm² y para tableros de densidad 800 kg/m³ fue de 5,63 kg/cm². En el Gráfico 8, se representan los valores de la tracción perpendicular para ambas densidades. Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los obtenidos por Papadopoulos, Hill y Gkaraveli (2004), quienes utilizaron *Bambusa vulgaris* y fabricaron tableros con una densidad de 750 kg/m³ y urea formaldehído a dos niveles de resinosidad de 12 y 14 %.

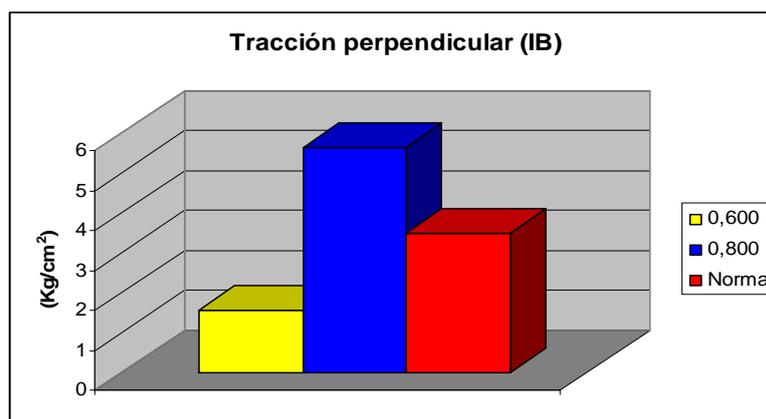


Gráfico 8. Valores promedio de tracción perpendicular para tableros a dos niveles de densidad teórica de 600 kg/m³ y 800 kg/m³.

Los tableros de densidad 600 kg/m³ se situaron por debajo del valor mínimo de 3,5 kg/cm², estipulado por las normas COVENIN 847-91 y DIN 68761, no cumpliendo con las mismas, mientras que los tableros de densidad 800 kg/m³ sobrepasaron el valor mínimo exigido por estas normas.

El bajo valor promedio para la adhesión interna en los tableros de densidad 600 kg/m³ puede deberse a la baja relación de compresibilidad obtenida de 0,864:1. Como se mencionó anteriormente, se acepta una relación de compresibilidad de 1,3:1,0 como una regla útil para la determinación del uso de una especie de madera o cualquier otra materia prima lignocelulósica para su transformación en productos compuestos de densidad media. Otro elemento que pudo haber contribuido es la presencia de la cutícula en las partículas del tablero que puede interferir de manera negativa en la adhesión de partícula-adhesivo-partícula, originando enlaces débiles en los mismos.

Se puede apreciar un aumento de la tracción perpendicular al aumentar los niveles de densidad del tablero. Los valores aumentan debido al mayor contacto relativo entre partículas, así como también a que se obtiene una densificación mayor en el centro del tablero debido a que hay una mayor cantidad de partículas a prensar. Por lo tanto, el gradiente de densidad vertical es menos pronunciado y el tiempo de cierre es mayor que en el caso de tableros de menor densidad. Maloney (1993) establece que en la fabricación de tableros aglomerados de partículas, se ha encontrado que una densidad de tablero de 0,15 a 0,20 por encima de la densidad de la especie de madera es

necesaria para obtener propiedades físicas y mecánicas aceptables, a menos que el objetivo sea la producción de tableros de baja densidad.

Los coeficientes de variación superiores al 10% para la flexión estática y tracción perpendicular indican probablemente que la distribución manual y aleatoria de las partículas en el momento de la formación del colchón de partículas no fue completamente homogénea y pudo darse zonas de mayor comprensibilidad, de igual manera, la presencia de la cutícula puede estar interfiriendo en la adhesión partícula-adhesivo-partícula, afectando estas propiedades y reflejándose en los porcentajes de variación.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que las partículas de *Bambusa vulgaris* pueden ser utilizadas exitosamente como una alternativa de materia prima lignocelulósica para la fabricación de tableros de partículas utilizando un contenido de resina de urea formaldehído del 8%. Los tableros de alta densidad (800 kg/m^3) son mejores que los tableros de baja densidad (600 kg/m^3).
- Los valores promedio de la propiedad física de absorción de agua a las 2 y 24 horas de inmersión para los tableros de densidad 600 kg/cm^3 no cumplieron con las especificaciones de la norma COVENIN 847-91. Los tableros de densidad 800 kg/m^3 sí cumplieron con las especificaciones de la norma.
- Los valores promedio de la propiedad física de variación de espesor a las 2 horas de inmersión para los tableros de densidad 600 kg/m^3 y 800 kg/m^3 se situaron ligeramente por encima del valor máximo estipulado por las normas COVENIN 847-91 y DIN 68761. Para la variación de espesor a las 24 horas de inmersión, los tableros a las dos densidades cumplieron con las especificaciones de ambas normas.
- El valor promedio de la propiedad mecánica de flexión estática para los tableros de densidad 600 kg/m^3 no cumplió con el valor mínimo estipulado por las normas COVENIN 847-91 y DIN 68761. El valor promedio para los tableros de densidad 800 kg/m^3 sí cumplió con los valores mínimos establecidos por estas normas.
- El valor promedio de la propiedad mecánica de tracción perpendicular para los tableros de densidad 600 kg/m^3 no cumplió con el valor mínimo estipulado por las normas COVENIN 847-91 y DIN 68761. El valor

promedio para los tableros de densidad 800 kg/m³ si cumplió con los valores mínimos establecidos por estas normas.

- La cutícula o epidermis presente en las partículas de *Bambusa vulgaris* podría estar afectando de forma negativa los resultados de las propiedades de absorción de agua, flexión estática y tracción perpendicular en los tableros de densidad 600 kg/m³.
- La alta proporción de tejido parenquimatoso en los tallos de *Bambusa vulgaris* permite una alta tasa de absorción de agua en las partículas que conforman al tablero.
- Los tableros fabricados para la presente investigación deben ser utilizados en áreas internas, ya que presentan alta afinidad a absorber agua si son utilizados en ambientes externos, especialmente los de baja densidad.
- Se recomienda aumentar el porcentaje de resinosidad del adhesivo entre 10 y 12%.
- Se recomienda investigar la influencia de la cutícula en las partículas sobre las propiedades del tablero.
- Utilizar emulsión de parafina para aumentar la resistencia de los tableros ante la presencia de agua.
- Combinar partículas de madera con partículas de bambú y aplicar otros sistemas de resinas resistentes a la humedad.
- Hacer un esfuerzo a través del Comité Regional del Bambú y/o otras dependencias, en el estado Mérida y Venezuela, en proyectar establecimientos de plantaciones de estas especies.

BIBLIOGRAFÍA

1. Durán, J., (1981). *Utilización de los aclareos de las especies de la plantación de Caparo para tableros aglomerados de Partículas. Parte I, Teca*. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
2. Francis, John K. (1993). *Bambusa vulgaris Schrad ex Wendl. Common bamboo. SO-ITF-SM 65*. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experimental Station. 6 p.
3. Filho, M., Azzini, A. (1987). *Estructura anatómica, dimensões das fibras e densidade básica de colmos de Bambusa vulgaris schard*. IPEF. 36:43-50.
4. Corporación de Investigación Tecnológica de Chile. 2003. Universidad Austral de Chile, FONDEF, Santiago.
5. Garay, D. (1988). *Producción de tableros aglomerados de partículas a partir de mezclas de especies de los Llanos occidentales*. Centro de Estudios Forestales de Postgrado. Universidad de Los Andes. Mérida.
6. Inbar, (1999). Bamboo panel boards. A state of the art review. *Technical Report. 12*.
7. Londoño, X. (2002). *Estudio anatómico de los diferentes órganos de la guadua (Guadua angustifolia Kunth) con énfasis en el culmo*. Cenicafe, Colombia.
8. Maloney, Thomas M. (1993). *Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing*. Updated Edition. San Francisco, USA: Miller Freeman Inc., San Francisco. USA. 688 p.
9. Moreno, P. (2001). Efectos de las sales CCA sobre las propiedades físicas y mecánicas y durabilidad inducida en tableros de partículas de Pino caribe. Tesis de MSc. Universidad de Los Andes. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Programa Tecnología de Productos Forestales. Mérida, Venezuela.
10. Normas DIN (Deutsche Normen). Número 52360.
11. Normas DIN (Deutsche Normen). Número 52361.

12. Normas DIN (Deutsche Normen). Número 52362.
13. Normas DIN (Deutsche Normen). Número 52363.
14. Normas DIN (Deutsche Normen). Número 52364.
15. Normas DIN (Deutsche Normen). Número 52365.
16. Normas DIN (Deutsche Normen). Número 68761.
17. *Normas Venezolanas Covenin.* (1993). Comisión Venezolana de Normas Industriales N° 847-91 (Provisional). *Tableros de Partículas.* Ministerio de Fomento.
18. Papadopoulos, A., Hill C., Gkaraveli A. (2004). *Bamboo chips (Bambusa vulgaris) as an alternative lignocellulosic raw material for particleboard manufacture.* Holz Roh Werkst. 62-36-39.