

Fabricación y análisis mecánico de compuestos de bambú *Guadua angustifolia* Kunth

Manufacture and mechanical analysis of composites of bamboo *Guadua angustifolia* Kunth

Alexander Gaitán-Bermúdez ^{1a}, Gerardo Fonthal-Rivera ^{1b}

¹Instituto Interdisciplinario de las Ciencias, Universidad del Quindío, Colombia. Correo electrónico: agaitanb@uniquindio.edu.co, gfonthal@uniquindio.edu.co

Recibido: 1 noviembre, 2019. Aceptado: 10 mayo, 2020. Versión final: 12 junio, 2020.

Resumen

En esta investigación fueron fabricados compuestos de partículas de *Guadua angustifolia* Kunth con tamaños de 500 μm y 300 μm con matriz polimérica. El objetivo fue evaluar las propiedades físico-mecánicas de los compuestos y compararlas con los resultados obtenidos en compuestos comerciales. Las propiedades mecánicas fueron analizadas usando un diseño factorial general con un factor, dos niveles y tres variables de respuesta. La adhesión de las partículas de guadua demostró mayor resistencia a esfuerzos de tracción y módulo de elasticidad frente al obtenido en compuestos comerciales. Los compuestos de guadua presentaron mayor resistencia a la penetración debido al menor volumen de espacios vacíos entre partículas. En pruebas de absorción de agua, los compuestos de guadua tuvieron hasta un 69 % de absorción y 16 % de incremento de espesor en 24 h frente a 86 % y 22 % respectivamente en compuestos comerciales. Asimismo, en pruebas mecánicas el compuesto de guadua 500 μm fue un 23% de mayor resistencia en flexión frente al compuesto comercial. Además, los compuestos guadua 500 μm y 300 μm tuvieron mayor resistencia a la tracción hasta en 57% y 32% respectivamente en comparación al compuesto comercial. En pruebas de dureza los compuestos de guadua mostraron mayor resistencia a la penetración frente al compuesto comercial.

Palabras clave: *Guadua angustifolia* Kunth; urea formaldehído; pruebas fisicomecánicas; absorción de agua; termografía.

Abstract

In this investigation, *Guadua angustifolia* Kunth particles composites with sizes of 500 μm and 300 μm with polymer matrix were manufactured. The goal was to evaluate the physical-mechanical properties of the composites and compare them with the results obtained in commercial composites. The mechanical properties were analyzed using a general factorial design with one factor, two levels and three response variables. The adhesion of guadua particles showed greater resistance to tensile stresses and modulus of elasticity compared to that obtained in commercial composites. Guadua composites showed greater resistance to penetration due to the smaller volume of empty spaces between particles. In water absorption tests, guadua composites had up to 69% absorption and 16% thickness increase in 24 hours versus 86% and 22% respectively in commercial composites. Also, in mechanical tests, the 500 μm guadua composites was 23% higher in flexural strength compared to the commercial composite. In addition, the 500 μm and 300 μm guadua composites had greater tensile strength of up to 57% and 32% respectively compared to the commercial composite. In hardness tests, the guadua composites showed greater resistance to penetration compared to the commercial composite.

Keywords: *Guadua angustifolia* Kunth; urea formaldehyde; physical-mechanical tests; water absorption; thermography.

1. Introducción

Hoy en día se evidencia un aumento en el uso de materiales compuestos de origen vegetal [1], [2], industrias fabricantes de compuestos a partir de fibras naturales tienen sus productos entre los más populares debido a su gran aplicabilidad y versatilidad. Estos materiales se están utilizando en interesantes aplicaciones de diferentes ramas de la ingeniería [3], [4]. Dichas aplicaciones varían desde elementos convencionales como pisos y paredes, paneles de techo, separadores de oficinas, tableros de anuncios, gabinetes, muebles, mostradores y escritorios hasta aplicaciones en industrias automotores y aeroespaciales [4], [5], [6].

La demanda creciente de estos compuestos que generalmente se fabrican a partir de harina de madera, ha obligado a la búsqueda de nuevas fuentes vegetales de materia prima para su desarrollo [7]. En este contexto, los residuos agrícolas y otras especies vegetales podrían desempeñar un papel importante [8]. Dentro de las especies vegetales con uso potencial en la fabricación de este tipo de materiales compuestos se encuentran los bambúes [9].

El bambú es una interesante especie vegetal no maderable y leñosa de rápido crecimiento que no necesita semilla para su reproducción [10], [11]. Debido a lo anterior, se considera al bambú como un recurso renovable con interesantes características de sostenibilidad. Además, esta gramínea, y dependiendo de la especie, puede tener tiempos de cosecha de entre 3 a 4 años [12]. Esta especie vegetal durante décadas ha sido utilizada en el campo de la construcción de viviendas y artesanías; actualmente ha venido siendo usada en la fabricación de mobiliario [13]. Asimismo, su uso se ha extendido a la fabricación de telas, alfombras y pisos y como materia prima en la industria del papel [14].

En territorio asiático el bambú ha sido fuente de importantes investigaciones las cuales se han transformado en interesantes productos como contrachapados, laminados y tableros de partículas [15], [16]. Además, las fibras de bambú se han usado como refuerzo de polímeros en diferentes aplicaciones [17], [18]. La característica principal encontrada en los productos elaborados en base a bambú, es que sus propiedades mecánicas son altamente competitivas con las de productos similares comerciales [19], [20].

Diferentes tipos de bambúes han sido estudiados y usados para la fabricación de materiales compuestos, en especial

tableros de partículas conocidos comercialmente como particle board. Especies de bambu asiáticas y europeas, han sido usadas en la fabricación de estos materiales [21], [22]. El aglomerante común mente utilizado son las resinas poliméricas termoestables en base a formaldehído, las cuales, son resinas mayormente usadas en la industria de particle board [23], [24], [25]. Estos estudios muestran que los tableros en base a partículas de bambú tienen propiedades físico-mecánicas competitivas comparadas con las propiedades de los tableros comerciales [21], [24], [26].

En Colombia crece de forma natural una especie de bambú gigante llamada *Guadua angustifolia* Kunth, la cual se ubica en mayor densidad a lo largo de la región de la cordillera central [27] con un alto contenido de biomasa tanto por unidad como por hectárea cultivada [28]. Es un bambú que ha sido catalogado como uno de los bambúes con mejores propiedades mecánicas, y ha sido usado ampliamente en el campo de la construcción civil como elemento estructural [29], [30], [31]. La *Guadua angustifolia* Kunth presenta haces vasculares también llamados de doble roto (Figura 1), la distribución de fibras va en aumento desde la parte media de la pared hasta la corteza. Este aumento en concentración de fibras concede propiedades mecánicas únicas en este tipo de bambúes. Dentro de la caracterización anatómica de las especies de bambú, la guadua está catalogada como tipo IV o Double-broken debido a la distribución de haces vasculares [32]. De acuerdo a lo anterior, la *Guadua angustifolia* Kunth podría ampliar sus usos en la fabricación de nuevos productos de alto impacto económico como lo son los compuestos de partículas de bambú.

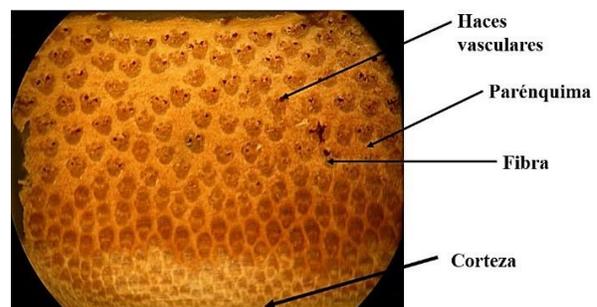


Figura 1. Imagen por estereoscopio de la microestructura de la pared de un culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. Fuente: elaboración propia.

El objetivo de esta investigación fue fabricar materiales compuestos a partir de partículas de *Guadua angustifolia*

Kunth (500 μm de abertura de malla (US standard mesh N° 35) y 300 μm de abertura de malla (US standard mesh N° 50)), encoladas con urea formaldehído. Además, se evaluaron las propiedades físico-mecánicas en tracción, flexión, dureza, absorción de agua y térmicas del compuesto en base a partículas de *Guadua angustifolia* Kunth y fueron comparados con los resultados obtenidos en compuestos comerciales.

2. Metodología

2.1. Materiales

Los culmos de *Guadua angustifolia* Kunth usados en la fabricación de compuestos fueron recolectados en los bambusales de la granja de la universidad del Quindío ubicada en el municipio de Filandia, a los 04° 40' 48" de latitud norte y a los 75° 39' 48" de longitud oeste, en la cordillera central de Colombia, a una altura de 1900 metros sobre el nivel del mar. El aglomerante usado fue la resina urea formaldehído UREQUIM 65 de Aserquim, Colombia; esta resina es comúnmente utilizada en la fabricación de compuestos comerciales de partículas de madera. La resina tiene un contenido de sólidos del 63 %, tiempo de gelación de 40 s a 60 s y pH de 9,0 a 25 °C. Como catalizador fue usado el producto 1050 también de Aserquim, Colombia. Los compuestos fueron fabricados en el laboratorio de Fibras Naturales y Aglomerados, Instituto Interdisciplinario de las Ciencias de la Universidad del Quindío, Colombia.

2.2. Métodos

2.2.1. Tratamiento de la Guadua

Para el corte fueron seleccionadas guaduas maduras (3 a 5 años de edad) con diámetro promedio de 20 cm. El diámetro de los tallos fue medido aproximadamente a 1 m desde la unión del rizoma y el culmo. La guadua cortada fue dejada en el guadual por un espacio de tiempo de 30 días para un proceso de curado natural denominado avinagrado [26]. El proceso de avinagrado consiste en que los fluidos propios de la guadua escurren en el guadual lo que provoca un proceso de inmunizado natural.

Luego del proceso de curado natural, la guadua fue cortada en varios tramos (cada 2 nudos) y luego llevada a secado en horno por 24 horas a 70 °C. El material seco fue sometido a proceso de molienda en molino convencional de cuchillas buscando la reducción del material hasta tamaños de 500 μm de abertura de malla (US standard mesh N° 35) y 300 μm de abertura de malla (US standard mesh N° 50)

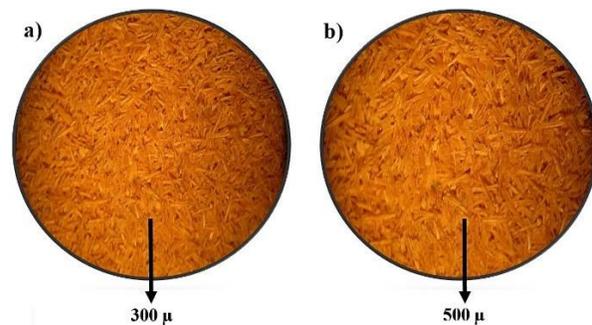


Figura 2. Imagen por estereoscopio a 10X de Partículas de guadua a) US standard mesh N° 50 y b) US standard mesh N° 35. Fuente: elaboración propia.

Se obtuvieron imágenes de las partículas de guadua usando el equipo estereoscopio NIKON SMZ800 (Figura 2). El producto de la molienda fue tamizado en un tamiz rotatorio RO-TAP de W.S Tyler en donde las partículas de bambú fueron escogidas usando zarandas de 500 μm y 300 μm . En las partículas de guadua se realizaron mediciones de humedad en balanza de humedad Mettler Toledo HB 43 verificando que el porcentaje de humedad contenido fuese del 3 %.

2.2.2. Fabricación de los compuestos de *Guadua angustifolia* Kunth

La mezcla de las partículas de guadua y resina urea formaldehído se hizo en mezcladora tipo tambor con aspersión por 7 min, el contenido de resina fue del 13 % mas 5 % de catalizador con respecto al peso seco del material particulado [33], [34]. La mezcla fue vaciada en platos de acero inoxidable diseñados para tal fin y luego llevada a moldeo en equipo de planchas térmicas Dicson. Se usó una temperatura promedio de moldeo de 160 °C y presión de carga de 738 KPa por 10 min [35]. Se obtuvieron platos cuadrados con medidas de 10 cm x 10 cm de lado y 0,5 cm de espesor.

2.2.3. Pruebas mecánicas y físicas en los compuestos

Se realizaron ensayos mecánicos de tracción, flexión y de dureza a la penetración de acuerdo a las normas ASTM D1037 [36] en maquina universal servo hidráulica serie UMIB- 600 de Ibertest. Se obtuvo el módulo elástico MOE, resistencia a la tracción, módulo de ruptura MOR y el diámetro y profundidad de huella en dureza a la penetración. Además, se hicieron ensayos de absorción de agua y variación de espesor por inmersión de 2 h y 24 h en agua según norma ASTM D1037 [36]. Adicionalmente, se hicieron análisis termográficos para analizar la capacidad de aislamiento térmico de los compuestos según la norma ISO 10878 [37]. En la prueba

se expusieron los compuestos sobre un montaje de hornilla por 10 min, controlando la temperatura del ambiente y el porcentaje de humedad del laboratorio. Se tomaron datos de temperatura alcanzada en la cara posterior a la hornilla usando un termómetro IR Fluke.

Las pruebas anteriormente descritas fueron también realizadas en compuestos comerciales, denominados paneles de partículas de madera aglomerada de madera sin laminar fabricados por Tablemac, Colombia. Estos compuestos poseen similitud en características de tamaño de grano a los fabricados para esta investigación (US standard mesh N° 35). Además, estos compuestos son fabricados usando partículas de madera de Pino radiata y urea formaldehído.

2.2.4. Análisis estadístico

Las propiedades mecánicas del material se analizaron por medio de un diseño factorial general con un factor, dos niveles y tres variables de respuesta: MOR, MOE y Resistencia a la tracción. Los datos experimentales fueron tratados usando el software statgraphics Centurion versión 16. El estudio se hizo por triplicado. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 % ($\alpha = 0.05$).

3. Resultados y discusión

3.1. Pruebas mecánicas

La tabla 1, muestra los resultados obtenidos en pruebas mecánicas de flexión y tracción en compuestos de guadua y comercial. En los resultados se puede observar que existe una diferencia en el módulo de ruptura, modulo elástico y tracción de los compuestos de guadua con respecto al comercial.

Tabla 1. Resultados pruebas mecánicas en compuestos de guadua y comercial

Probeta	Flexión (MOR) kg/cm ²	Módulo elástico (MOE) kg/cm ²	Tracción kg/cm ²
Guadua 300 μm	18,35 (3,0)	30,59 (5,0)	0,58 (0,2)
Guadua 500 μm	23,04 (4,0)	50,98 (3,0)	0,69 (0,2)
Comercial	18,72 (3,0)	20,39 (3,0)	0,44 (0,1)

*Desviación estándar en paréntesis. Fuente: elaboración propia.

Los valores de módulo de resistencia a la ruptura (Tabla 1.) obtenidos en compuestos de partículas de Guadua tamaños 500 μm y 300 μm (23,04 kg/cm² y 18,35 kg/cm²), son competitivos frente a los mostrados por el compuesto comercial (18,72 kg/cm²). Sin embargo, se observa que el tamaño de partícula en el compuesto de guadua presenta diferencias. Con tamaños de partículas de 500 μm los compuestos de guadua mostraron mayor resistencia a esfuerzos de flexión, esto puede tener explicación en que con este tamaño de partícula se obtuvo una adhesión mayor. Por otro lado, los compuestos comerciales y guadua 300 μm no mostraron diferencias significativas ante esfuerzos de flexión, arrojando similitud en valores de módulo de resistencia a la ruptura. Los compuestos de guadua 500 μm mostraron hasta 23% de mayor resistencia ante esfuerzos de flexión frente al compuesto comercial.

Los módulos de elasticidad en tracción (Tabla 1.), son mayores en compuestos de partículas de Guadua 500 μm y 300 μm (50,98 kg/cm² y 30,59 kg/cm²) con respecto al compuesto comercial (20,39 kg/cm²). Esto indica que los compuestos de guadua presentan mayor rigidez. Lo anterior tiene concordancia con lo publicado por Trujillo *et al.* [38], en donde evidencia que el bambú en la fabricación de materiales compuestos presenta mejores características mecánicas, en comparación con compuestos fabricados con otras fibras naturales incluida la madera. Asimismo, los compuestos Guadua 500 μm presentan mayor módulo elástico en comparación a los compuestos de guadua 300 μm . Sin embargo, los compuestos comerciales presentan menor módulo elástico hasta en un 150% comparado con compuestos guadua 500 μm y del 50 % frente a los compuestos de Guadua 300 μm . Esto puede deberse a que la guadua seca puede llegar a ser más rígida que la madera, motivo por el que se la ha nombrado como acero natural [39].

Resultados similares mostraron en resistencia a la tracción, en donde los compuestos de partículas de Guadua 500 μm y 300 μm evidenciaron mayor capacidad de resistir esfuerzos de tracción (0,69 kg/cm² y 0,58 kg/cm²) en comparación al compuesto comercial (0,44 kg/cm²). Es decir, compuestos guadua 500 μm mostraron mayor resistencia ante esfuerzos de tracción hasta del 57% y compuestos guadua 300 μm hasta un 32% frente a compuesto comercial. El comportamiento mecánico observado puede tener explicación, en que la fibra de bambú es una estructura más porosa que la de la madera lo que produce mayor penetración de la resina y por consiguiente mayor adherencia como lo reporta Anwar *et al.* [40].

Tabla 2. Resultado pruebas de dureza a la penetración

Probeta	Diámetro	Profundidad
	Huella (mm)	Huella (mm)
Guadua 300 μm	3,57 (1,0)	1,83 (0,2)
Guadua 500 μm	3,4 (1,0)	1,74 (0,4)
Comercial	4,34 (1,0)	2,16 (0,7)

*Desviación estándar en paréntesis. Fuente: elaboración propia.

La resistencia a la penetración de compuestos de partículas de Guadua 500 μm y 300 μm y compuesto comercial se muestran en la Tabla 2. Se observa que los compuestos de Guadua tienen mayor resistencia a la penetración frente a los compuestos comerciales. La huella marcada en diámetro y profundidad en compuestos de Guadua 500 μm y 300 μm (Tabla 2.), representa el comportamiento que ha presentado este compuesto en pruebas mecánicas. Es decir, el compuesto Guadua 500 μm se muestra más resistente que su símil Guadua 300 μm . Sin embargo, el compuesto comercial permite una penetración significativamente mayor que la observada en compuestos de Guadua. Lo que puede entenderse como se explicó líneas atrás, que la fibra de bambú es más porosa que la de la madera permitiendo mayor penetración de la resina y por consiguiente mayor adherencia [40].

3.2. Absorción de agua

La Tabla 3, muestra los resultados obtenidos en pruebas de absorción de agua e incremento de espesor por hinchazón en compuestos de Guadua (partículas 500 μm y 300 μm) y compuestos comerciales.

El porcentaje de absorción de agua en compuestos de Guadua 500 μm y 300 μm durante 2 h (58 % y 56 %) y 24 h (68 % y 66 %), fue menor que el obtenido en compuestos comerciales. El compuesto comercial evidenció el 21% de mayor absorción de agua frente al compuesto guadua 500 μm y 23 % de mayor absorción de agua frente al compuesto guadua 300 μm . Lo que podría explicarse en que las partículas de guadua lograron mayor contacto por adherencia y esto produjo menor volumen de espacios vacíos entre las partículas, por lo cual la penetración del agua pudo ser obstruida (Figura 3).

Tabla 3. Resultados prueba de absorción de agua

Probeta	Peso (g)			Aumento (%)	
	Inicial	2 h	24 h	2 h	24 h
Guadua 300 μm	5,0 (0,1)	7,8 (0,1)	8,3 (0,1)	56,0	66,0
Guadua 500 μm	5,0 (0,1)	7,9 (0,2)	8,4 (0,2)	58,0	68,0
Comercial	4,4 (0,1)	7,3 (0,1)	8,2 (0,1)	65,0	86,0

*Desviación estándar en paréntesis. Fuente: elaboración propia.

El incremento de espesor por hinchazón (Tabla 4.), evidencio que concluidas las 24 h de inmersión los compuestos de Guadua 500 μm y 300 μm tuvieron menor porcentaje de incremento de espesor en comparación al compuesto comercial. Al comparar directamente el compuesto comercial frente a compuestos guadua, se tiene que el comercial tuvo hasta un 27% de incremento de espesor por hinchazón frente al compuesto guadua 500 μm y del 45% frente al compuesto guadua 300 μm . Este menor incremento de espesor también puede tener relación con la adhesión de las partículas.

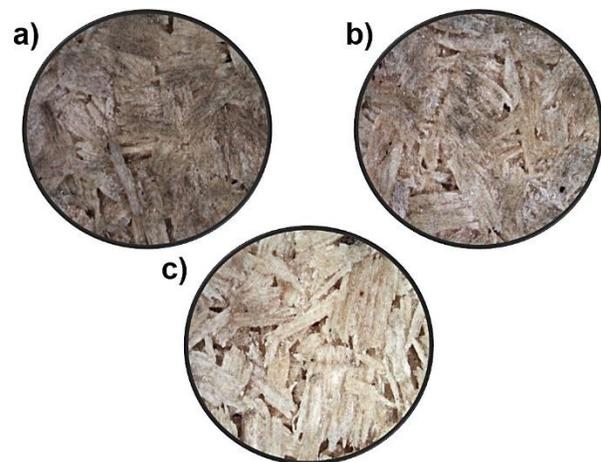


Figura 3. Imagen por estereoscopio a 40X de compuestos de partículas de guadua a) 300 μ , b) 500 μ y c) compuesto comercial. Fuente: elaboración propia.

Las partículas de guadua lograron mayor acoplamiento disminuyendo áreas de vacíos entre las mismas lo que derivó en menor índice de hinchamiento del compuesto (Figura 3).

Tabla 4. Resultados incremento de espesor por hinchazón

Probeta	Espesor (cm)		Aumento
	Inicial	Final	(%)
Guadua 300 μm	0,5 (0,1)	0,56 (0,1)	12,0
Guadua 500 μm	0,5 (0,1)	0,58 (0,1)	16,0
Comercial	0,5 (0,1)	0,61 (0,1)	22,0

*Desviación estándar en paréntesis. Fuente: elaboración propia.

3.3. Prueba de termografía

En el análisis termográfico (Tabla 5), se observa que los compuestos en base a partículas de guadua 500 μm y 300 μm tienen mejores características de aislante térmico frente al compuesto comercial.

Tabla 5. Resultados prueba de termografía

Probeta	Hornilla T ($^{\circ}\text{C}$)	Plato T ($^{\circ}\text{C}$)
Guadua 300 μm	39,8 (0,3)	23,13 (0,5)
Guadua 500 μm	39,8 (0,5)	21,69 (0,3)
Comercial	39,8 (0,3)	24,11 (0,5)

*Desviación estándar en paréntesis. Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que el lado posterior de los compuestos de guadua mantuvo menor temperatura frente al compuesto comercial, esto es un indicativo del paso de calor permitido por el compuesto debido a la temperatura de la hornilla. En este contexto, el compuesto guadua 500 μm mantuvo hasta un 10% de menor paso de calor frente al compuesto comercial. El compuesto guadua 300 μm por su parte, mantuvo hasta un 4% de menor paso de calor frente al compuesto comercial. Este comportamiento también soporta la tesis de la calidad de adhesión conseguida en la fabricación de los compuestos de partículas de guadua, en donde la aglomeración pudo generar menor índice de porosidades lo que permite mayor aislación térmica.

4. Conclusiones

El bambú *Guadua angustifolia* Kunth mostró resultados interesantes y características idóneas como materia prima de productos ingenieriles. Los compuestos en base a partículas de Guadua 500 μm y 300 μm presentaron una adecuada adhesión con la urea-formaldehído. Las propiedades mecánicas en flexión (MOR), modulo elástico en tracción (MOE) y resistencia a la tracción

observados en los compuestos fabricados con partículas de guadua fueron superiores a los vistos en compuestos comerciales, atribuido al acoplamiento conseguido entre partículas y adhesivo durante el proceso de fabricación. Asimismo, los compuestos de Guadua tuvieron mayor resistencia a la penetración frente a los compuestos comerciales lo que se sustenta en la cohesión entre partícula y polímero evitando grandes porosidades.

La absorción de agua e incremento de espesor, en compuestos de *Guadua angustifolia* Kunth presentaron mayor resistencia a ser penetrados por el agua lo que le concede características de impermeabilidad frente a compuestos comerciales. Además, el acoplamiento por adhesión entre partículas de guadua y resina polimérica concedieron características de aislación térmica posiblemente por efecto del bajo volumen de espacios entre partículas.

Las partículas de *Guadua angustifolia* Kunth de acuerdo a los resultados obtenidos en pruebas físico-mecánicas para esta investigación, podría usarse como materia prima en la fabricación de materiales compuestos encolados con resinas poliméricas termoestables, que por sus características de silvicultura resulta más barato de producir y genera mayor biomasa por hectárea que la madera, lo que abarataría los costos de producción de compuestos.

Referencias

- [1] L. Sisti, G. Totaro, M. Vannini, P. Fabbri, S. Kalia, A. Zatta, A. N. Celli, "Evaluation of the retting process as a pre-treatment of vegetable fibers for the preparation of high-performance polymer biocomposites," *Rev. Industrial Crops & Products*, vol. 81, pp. 56-65, 2016, doi: 10.1016/j.indcrop.2015.11.045
- [2] M. Todor, C. Bulei, T. Hepu, I. Kiss, "Researches on the development of new composite materials complete / partially biodegradable using natural textile fibers of new vegetable origin and those recovered from textile waste," *Rev. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 294, pp. 56-65, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/294/1/012021
- [3] L. Mohammed, M. N. M. Ansari, G. Pua, M. Jawaid, M. y S. Islam, "A Review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications," *Rev. International Journal of Polymer Science*, vol. 2015, pp. 1-15, 2015, doi: 10.1155/2015/243947
- [4] L. Yan, N. Chow, K. Jayaraman, "Effect of UV and water spraying on the mechanical properties of flax fabric reinforced polymer composites used for civil engineering

- applications,” *Rev. Journal of Materials & Design*, vol. 71, pp. 17-25, 2015, doi: 10.1016/j.matdes.2015.01.003
- [5] M. Pervaiz, S. Panthapulakkal, B. KC, M. Sain, J. Tjong, “Emerging trends in automotive lightweighting through novel composite materials,” *Rev. Materials Sciences and Applications*, vol. 7, pp. 26-38, 2016, doi: 10.4236/msa.2016.71004
- [6] O. Akampumuza, P. M. Wambua, A. Ahmed, W. Li, X. Qin, “Review of the applications of biocomposites in the automotive industry,” *Rev. Polym Compos.*, vol. 38, no. 11, pp. 2553-2569, 2017, doi: 10.1002/pc.23847
- [7] M. F. Alkbir, S. M. Sapuan, A. A. Nuraini, M. R. Ishak, “Fiber properties and crashworthiness parameters of natural fiber-reinforced composite structure: A literature review,” *Rev. Composite Structures*, vol. 148, pp. 59-73, 2016, doi: 10.1016/j.compstruct.2016.01.098
- [8] T. Väisänen, A. Haapala, R. Lappalainen, L. Tomppo, “Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review,” *Rev. Waste Management*, vol. 54, pp. 62-73, 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2016.04.037
- [9] P. Jit, K. K. Pant, S. Satya, S. N. Naik, “The Material of Future,” *Rev. International Journal Series in Multidisciplinary Research (IJSMR)*, vol. 2, no. 2, pp. 27-34, 2016, doi: 10.1000/ijsmr.v2i2.51
- [10] A. Gupta, A. P. Kumar, “Potential of bamboo in sustainable development,” *Rev. Asia-Pacific Business Review*, vol. 4, no. 3, pp. 100-107, 2008, doi: 10.1177/097324700800400312
- [11] A. K. Ray, S. K. Das, S. Mondal, P. Ramachandrarao, “Microstructural characterization of bamboo,” *Rev. Journal Of Materials Science*, vol. 39, no. 3, pp. 1055-1060, 2004, doi: 10.1023/B:JMSC.0000012943.27090.8f
- [12] A. Gupta, A. P. Kumar, “Potential of bamboo in sustainable development,” *Rev. Asia-Pacific Business Review*, vol. 4, no. 3, pp. 100-107, 2008, doi: 10.1177/097324700800400312
- [13] S. Diver, *Bamboo: A Multipurpose Agroforestry Crop*. Bute, MT, USA: ATTRA Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, 2001.
- [14] S. Gharekhani, E. Sadeghinezhad, S. Newaz, H. Yarmand, A. Badarudin, M. Reza, M. Zubir, “Basic effects of pulp refining on fiber properties - A review,” *Rev. Carbohydrate Polymers*, vol. 115, pp. 785-803, 2015, doi: 10.1016/j.carbpol.2014.08.047
- [15] O. Sulaiman, R. Hashim, R. Wahab, A. Ismail, H. Samsi, A. Mohamed, “Evaluation of shear strength of oil treated laminated bamboo,” *Rev. Bioresource Technology*, vol. 97, no. 18, pp. 2466-2469, 2006, doi: 10.1016/j.biortech.2005.10.026
- [16] M. Mahdavi, P. L. Clouston, S. R. Arwade, “A low-technology approach toward fabrication of laminated bamboo lumber,” *Rev. Construction and Building Materials*, vol. 29, pp. 257-262, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.10.046
- [17] K. Okubo, T. Fujii, Y. Yamamoto, “Development of bamboo-based polymer composites and their mechanical properties,” *Rev. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 35, no. 3, pp. 377-383, 2004, doi: 10.1016/j.compositesa.2003.09.017
- [18] N. Kaur, S. Saxena, H. Gaur, P. Goyal, “A Review on Bamboo Fiber Composites and its Applications,” en *International Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems (Trends and Future Directions) (ICTUS 2017)*, Dubai, United Arab Emirates, 2017, pp. 843-849, doi: 10.1109 / ICTUS.2017.8286123
- [19] R. A. Sá, M. G. Sá, K. Sankar, W. M. Kriven, “Geopolymer-bamboo composite - A novel sustainable construction material,” *Rev. Construction and Building Materials*, vol. 123, pp. 501-507, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.07.037
- [20] W. Zhang, X. Yao, S. Khanal, S. Xu, “A novel surface treatment for bamboo flour and its effect on the dimensional stability and mechanical properties of high density polyethylene / bamboo flour composites,” *Rev. Construction and Building Materials*, vol. 186, pp. 1220-1227, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.003
- [21] F. Yang, B. Fei, Z. Wu, L. Peng, Y. Yu, “Selected Properties of Corrugated Particleboards Made from Bamboo Waste (*Phyllostachys edulis*) Laminated with Medium-Density Fiberboard Panels,” *Rev. Bioresource*, vol. 4, no. 3, pp. 1085-1096, 2014.
- [22] M. Gürü, S. Tekeli, y I. Bilici, “Manufacturing of urea-formaldehyde-based composite particleboard from almond shell”, *Rev. Materials and Design*, vol. 27, pp. 1148-1151, 2005, doi: 10.1016/j.matdes.2005.03.003
- [23] J. Ahmad, J. Kasim, L. Mohmod, “Properties of single-layer urea formaldehyde particleboard manufactured from commonly utilized Malaysian

bamboo (*Gigantochloa scortechinii*),” *Rev. Bamboo and Rattan*, vol. 1, No. 2, pp. 109–117, 2002.

[24] D. Biswas, S. K. Bose, M. M. Hossain, “Physical and mechanical properties of urea formaldehyde-bonded Particle board made from bamboo waste,” *Rev. International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 31, pp. 84–87, 2011, doi: 10.1016/j.ijadhadh.2010.11.006

[25] Y. Zhang, J. Zheng, H. Guo, Y. Li, M. Lu, “Urea formaldehyde resin with low formaldehyde content modified by phenol formaldehyde intermediates and properties of its bamboo particleboards,” *Rev. J. APPL. POLYM. SCI.* 2015, doi: 10.1002/APP.42280

[26] V. Laemlaksakul, “Physical and Mechanical Properties of Particleboard from Bamboo Waste,” *Rev. I. J. of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 276-280. 2010.

[26] J. C. C. Garcia, W. Kleinn, “Length curves and volume functions for guadua bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) for the coffee region of Colombia,” *Rev. European Journal of Forest Research*, vol. 129, no. 6, pp. 1213-1222, 2010, doi: 10.1007/s10342-010-0411-2

[27] V. E. González, G. Fonthal, H. Ariza, “Influence of environmental conditions on the DBH of *Guadua angustifolia* Kunth (Poaceae: Bambusoideae) in the Colombian coffee region,” *Rev. Bamboo Science and Culture*, vol. 27, no. 1, pp. 27-35, 2014.

[28] J. Osorio, J. Vélez, H. J. Ciro, “Determinación de la relación de poisson de la *Guadua angustifolia* Kunth a partir de procesamientos de imágenes y su relación con la estructura interna,” *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, vol. 60, no. 2, pp. 4067-4076, 2007.

[29] J. Correal, J. Arbeláez, “Influence of age and height position on Colombian *Guadua angustifolia* bamboo mechanical properties,” *Rev. Maderas-Cienc Tecnol*, vol. 12, no. 2, pp. 105-113, 2010, doi: 10.4067/S0718-221X2010000200005

[30] P. Luna, J. Lozano, C. Takeuchi, M. Gutiérrez, “Experimental determination of allowable stresses for bamboo *Guadua angustifolia* Kunth structures,” *Rev. Key Engineering Materials*, vol. 517, pp. 76-80, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.517.76

[31] O. Hidalgo, *Bamboo: The Gift of the Gods*. Hipertexto Ltda, Bogotá, Colombia, 2003.

[32] H. A. Gonzalez, J. A. Montoya, J. R. Bedoya, “Comportamiento de muestras de *Guadua angustifolia* Kunth con diafragma y sin diafragma sometidas a esfuerzo de compresión,” *Rev. Scientia et Technica*, vol. 14, no 38, pp. 449-454, 2008.

[33] *Standard Test Method for Determining Formaldehyde Concentrations in Air from Wood Products Using a Small-Scale Chamber*, ASTM D6007-14, 2014.

[34] *Wood Based Panels. Determination of Formaldehyde Content. Extraction Method Called the Perforator Method*, UNE-EN 120:1994.

[35] *Standard Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*, ASTM D1554 – 10, 2010.

[36] *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle*, ASTM D1037-12, 2012.

[37] *Non-destructive testing - Infrared thermography*. ISO 10878, 2013.

[38] E. Trujillo, M. Moesen, L. Osorio, A. W. Van Vuure, J. Ivens, I. Verpoest, “Bamboo fibres for reinforcement in composite materials: Strength Weibull analysis,” *Rev. Composites: PART A*, vol. 61, pp. 115-125, 2014, doi: 10.1016/j.compositesa.2014.02.003

[39] C. Kleinn y D. Morales, “An inventory of *Guadua* (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia,” *Rev. European Journal of Forest Research*, vol. 125, no. 4, pp. 361-368, 2006, doi: 10.1007/s10342-006-0129-3

[40] U. M. K. Anwar, S. Hiziroglu, H. Hamdan, y M. A. Latif, “Effect of outdoor exposure on some properties of resin-treated plybamboo,” *Rev. Industrial Crops & Products*, vol. 33, no. 1, pp. 140-145, 2011, doi: 10.1016/j.indcrop.2010.09.014