

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE HACES DE FIBRA DE *GUADUA ANGUSTIFOLIA*

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados obtenidos del estudio de características físicas de haces de fibra de *Guadua angustifolia*, tales como: porcentaje de contenido de humedad, porcentaje de absorción de agua, densidad aparente promedio, forma de la sección transversal y textura superficial. Esta caracterización se hizo con el fin de comparar los resultados obtenidos con características similares de otras fibras naturales y sintéticas y evaluar la factibilidad de utilizar los haces de fibra estudiados como posible material de refuerzo de materiales compuestos. Para lograr este objetivo fue necesario utilizar diferentes técnicas de caracterización de materiales sencillas y sofisticadas.

PALABRAS CLAVE: *Guadua angustifolia*, caracterización física, densidad, porcentaje de humedad, absorción de agua, haces de fibra.

ABSTRACT

This paper presents the obtained results of the study of physical characteristics the fiber bundles of Guadua angustifolia, such as: the moisture content, moisture absorption percentage, the apparent density, the cross section shape and superficial texture. This characterization was made with the purpose of comparing the results with characteristic similar of natural and synthetic fibers and to evaluate the feasibility of using the fiber sheaves studied as possible material of reinforcement of compound materials. To achieve this objective it was necessary to use different simple and sophisticated techniques of characterization of materials.

KEYWORDS: *Guadua angustifolia*, physical characterization, apparent density, moisture content, water absorption, fiber bundles.

1. INTRODUCCIÓN

La guadua constituye el género de bambú nativo más importante de la América tropical, es endémica de América con aproximadamente 30 especies distribuidas desde México hasta la Argentina, las cuales se pueden encontrar en un rango de altitud que va desde el nivel del mar hasta los 2.200 m.s.n.m [1]. Es considerada el tercer bambú más grande del mundo, superada únicamente por dos especies asiáticas. La guadua es una gramínea gigante que puede alcanzar 30 metros de altura o más y cuyo diámetro puede variar de uno a veintidós centímetros [2].

La *Guadua angustifolia*, es la especie nativa más importante de Colombia. Fue identificada primero por los botánicos Humboldt y Bonpland como *Bambusa guadua*, posteriormente en 1822 el botánico alemán Karl S. Kunth crea el género *Guadua*, haciendo uso del vocablo indígena “guadua” con la que le identificaban las comunidades indígenas de Colombia y Ecuador. Kunth re-bautiza la especie con el nombre de *Guadua angustifolia* que significa “hoja angosta” [3].

Morfológicamente, en una *G. angustifolia* se pueden distinguir las siguientes partes: raíz, tallo, hojas, flores y frutos, sin embargo, es el tallo y particularmente el culmo el que tradicionalmente se ha aprovechado para diferentes aplicaciones. El culmo se origina en el ápice del rizoma y una vez brota del suelo lo hace cubierto de hojas caulinares, con el diámetro máximo que tendrá de por vida. Dependiendo de las condiciones climáticas,

edáficas y de la época de brotamiento, toma de cuatro a seis meses para desarrollar su altura definitiva [4]. El culmo de esta especie es un cilindro hueco y adelgazado dividido en segmentos o internodos separados por diafragmas (nodos), que en conjunto con una pared maciza, dan al tallo una increíble resistencia mecánica. Los internodos pueden alcanzar diámetros entre diez y catorce cm y alturas comprendidas entre 17 y 23 centímetros [2].

En el culmo se distinguen tres tercios: basal, medio y apical cuyos diámetros promedios son respectivamente: 11.5, 11.05 y 5.84 cm. La sección transversal del culmo presenta tres componentes típicos muy bien diferenciados en cuanto a la anatomía, ellos son [5]: la epidermis o corteza exterior, la capa interior de la pared del tallo y el área fibro-vascular. Esta última está localizada entre las dos anteriores y allí aparecen células parenquimáticas que constituyen el tejido del tallo, los haces vasculares como tejido conductivo y las fibras.

Las fibras constituyen el tejido que soporta todo el esfuerzo mecánico al que está sometido el tallo debido al viento y otros factores externos, además de su propio peso. La fibra del bambú en general se caracteriza por su forma delgada, ahusada en ambos lados y en algunos casos bifurcada en los extremos.

LUÍS EDGAR MORENO M

Ingeniero Industrial, M.Sc

Profesor Asociado
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales
lemorenom@unal.edu.co

EFRAÍN E. TRUJILLO

Ingeniero Industrial
etrujillod@hotmail.com

LINA ROCIO OSORIO

Ingeniera Industrial
Linaosorio227@hotmail.com

Se encuentra en los internodos rodeando a los haces vasculares y constituyen entre el 40 - 50% del tejido total y entre el 60 - 70% del peso total del culmo [6].

La estructura interna de la fibra es única, posee paredes interiores alternadas en capas gruesas y delgadas con diferente orientación [7] [8]. Esta estructura, que no existe en fibras de madera común, se le denomina estructura polilaminar, aparece especialmente en las fibras ubicadas en la periferia del culmo y el número de capas alternadas o laminadas varía de fibra a fibra. Esto puede ser atribuible en parte a la ubicación de haces vasculares, la posición interna de la fibra y la madurez del tallo. En general, puede decirse que por estas paredes alternadas el culmo tiene una altísima resistencia [6].

Si bien es cierto existen estudios sobre las características físicas del culmo de la guadua, se desconoce casi por completo las características físicas de la fibra para esta especie. Es por esto que mediante la utilización de diversas técnicas de caracterización se obtuvo información acerca de la densidad aparente para diferentes contenidos de humedad, el porcentaje de contenido de humedad, se observó la forma de la sección transversal y también la textura de la superficie perpendicular al eje de los haces de fibra de guadua angustifolia.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1 Selección del material

Para obtener las guaguas a partir de las cuales se extrajeron los haces de fibra, se seleccionó un guadua típico de la zona cafetera colombiana con las siguientes características: altura sobre el nivel del mar de 1.300 m, temperatura promedio anual de 23°C, precipitación promedio anual de 2.200 mm y una humedad relativa del 80%.

2.2 Determinación del contenido de humedad

La medición del contenido de humedad en ambiente, se hizo utilizando el método de la diferencia de peso. Se tomó una muestra de 50 haces de fibra, éstos fueron pesados individualmente en una balanza electrónica Mono Bloc Metter Toledo, con una capacidad de medida de 0,0001gr, luego fueron introducidos en un horno Methlert con circulación interna de aire durante 24 horas a una temperatura de 70°C y fueron pesados nuevamente.

El porcentaje de contenido de humedad se calculó a partir de la ecuación 1:

$$\% C.H = \frac{P_h - P_0}{P_h} * 100 \quad (1)$$

Donde: % C.H es el porcentaje de contenido de humedad, P_h es el peso en humedad ambiente y P_0 es el peso en humedad cero, con una humedad relativa del 60%.

2.3 Determinación del porcentaje de absorción de humedad

Para la medición del porcentaje de absorción de humedad, se tomó una muestra de 50 haces de fibra, éstas fueron pesadas individualmente en una balanza Mono Bloc Metter Toledo, con una capacidad de medida de 0,0001 gr. Posteriormente, se sumergieron en agua destilada (pH 6.5), durante 24 horas, para ser pesados nuevamente y registrar su peso en el punto de saturación, para realizar esta medición se retiró el agua adherida superficialmente a los paquetes de fibra utilizando una tela absorbente. La ecuación 2 fue empleada para calcular el porcentaje de absorción fue la siguiente:

$$\% \text{absorción} = \frac{P_h - P_s}{P_h} * 100 \quad (2)$$

Donde: P_h es el peso en gramos de la fibra en humedad ambiente (60% humedad relativa), P_s es el peso en gramos en el punto de saturación de la fibra.

2.4 Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente de los haces de fibra se calculó mediante el método de desplazamiento de volumen, en el cual se tiene en cuenta el peso de estos y el volumen desalojado. Para las mediciones se tomaron 10 paquetes de 20 haces de fibra con masas similares, de tal manera que se pudiera observar y cuantificar una variación en el volumen del agua en una probeta de 100 ml, inmediatamente realizada la inmersión. Se hicieron tres tipos de mediciones de la densidad aparente, variando el contenido de humedad, a saber:

Haces de fibra con humedad cero.

- Haces de fibra con humedad ambiente.
- Haces de fibra en el punto de saturación de humedad.

Se calculó la masa total del paquete que sería sumergido y se dividió por el número de muestras. Este valor se tomó como la masa de un solo haz de fibra. Después de sumergido el paquete, se cuantificó el volumen desalojado y se dividió nuevamente por el número de muestras. Este dato es teóricamente el volumen desalojado por un solo haz de fibra. La ecuación 3, utilizada fue:

$$\delta = \frac{m}{v_d} \quad (3)$$

Donde δ es la densidad aparente, m es la masa promedio de los haces de fibra y v_d es el volumen desalojado.

2.5 Observación de la sección transversal de las fibras

La observación de la sección transversal de los haces de fibra se realizó utilizando el Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (ESEM XL-30 TMP) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Se observaron 30 muestras las cuales fueron previamente encapsuladas en parafina para su observación.

2.6 Observación de la textura superficial de las fibras

Para obtener información acerca de la textura superficial de las fibras de *G. angustifolia*, se utilizó el Microscopio de Fuerza Atómica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Se observaron 30 haces de fibra a los cuales se les hizo un lavado químico con hidróxido de sodio (NaOH) al 10% en peso durante 30 minutos a 70° C y posteriormente un baño con agua destilada con el fin de retirar impurezas adheridas a las muestras que pudieran alterar los resultados.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La tabla 1 muestra los valores promedio de algunas de las características determinadas a través de las diferentes técnicas.

Característica física	Valores promedio
Porcentaje de contenido de humedad (% C.H)	7.13±0.73
Porcentaje de absorción de agua	45.88±19.01
Densidad a 0 %C.H (g/cm ³)	1.38±0.011
Densidad a 7.13% C.H (g/cm ³)	1.40±0.009
Densidad a 45.88% C.H (g/cm ³)	1.52±0.007

Tabla 1. Valores promedios de algunas características físicas medidas.

La figura 1 es una micrografía tomada en ESEM, de la sección transversal típica de un haz de fibra de *Guadua angustifolia*. Se observa que la sección transversal no tiene una forma regular, lo cual según algunos estudios sobre materiales de refuerzo [9], es beneficioso puesto que favorece la adhesión con la matriz.

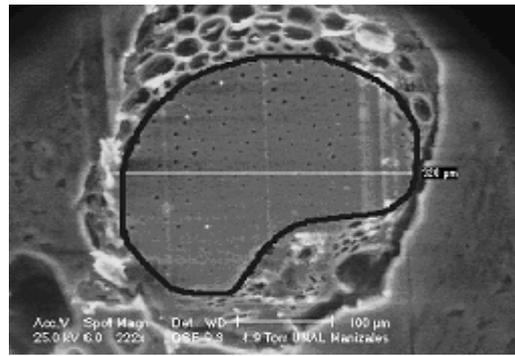
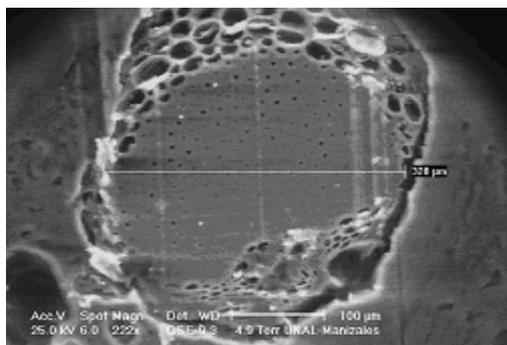


Figura 1. Micrografía de la sección transversal típica de un haz de fibra de *G. angustifolia*

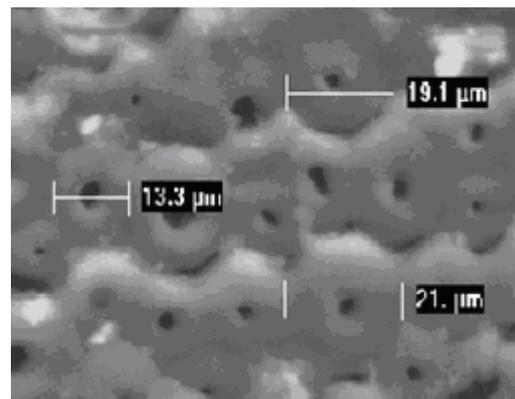


Figura 2. Micrografías de las microfibras de la fibra de *G. angustifolia*, en las que se observa su forma geométrica.

La figura 2 es una micrografía ESEM de una microfibrilla de las que hacen parte del haz de fibra de la *G. angustifolia*. Su forma es hexagonal y en ella se observa el lumen cuyo diámetro promedio es de 2.46 µm y con valores que oscilan entre 0.94 y 4.4 µm.

La figura 3 es una micrografía en 3D tomada en AFM sobre una sección perpendicular al eje de la fibra. En ella se pueden observar crestas y ondulaciones que contribuyen a que la topografía sea bastante irregular. Esta característica es ventajosa dado que favorece la adhesión entre la matriz y la fibra.

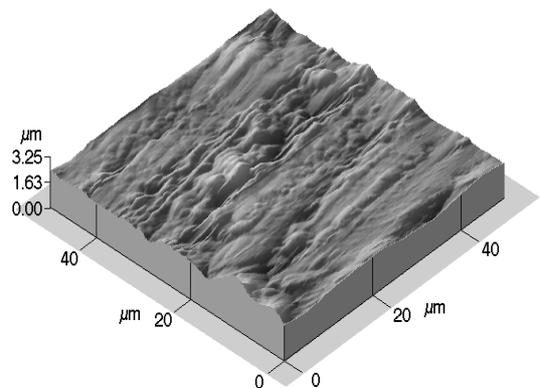


Figura 3. Micrografía en 3D de la topografía superficial de la fibra de *G. angustifolia*.

4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

La tabla 2 muestra una comparación del porcentaje de contenido de humedad promedio de los haces de fibra de *G. angustifolia*, con respecto al porcentaje de contenido de humedad de algunas fibras naturales conocidas y ampliamente utilizadas.

Tipo de fibra	% Contenido de humedad promedio
Fique	13,2
Yute	12,5
Lino	11,5
Kenaf	9,8
Cáñamo	9,5
Algodón	9,0
Ramio	7,5
G. Angustifolia	7,1

Tabla 2. Porcentaje de contenido de humedad promedio de diferentes fibras naturales

Como se puede observar en la tabla anterior, el contenido de humedad de los haces de fibra de *G. angustifolia* es el más bajo de este grupo de fibras. Este valor tan bajo le proporciona una ventaja comparativa frente a otras fibras como posible material de refuerzo puesto que a menor porcentaje de contenido de humedad mayor posibilidad de adherencia entre el refuerzo y la matriz y mayor estabilidad dimensional.

Fibras naturales	Densidad aparente promedio (g/cm ³)
Fique	1,29
Yute	1,37
Lino	1,5
Kenaf	1,42
Cáñamo	1,48
Ramio	1,51
Sisal	1,43
G. Angustifolia	1,4

Tabla 3. Densidad aparente promedio de diferentes fibras naturales

En la tabla 3 se muestran valores de la densidad aparente promedio de fibras naturales y se incluye la densidad promedio obtenida para haces de fibra de *G. Angustifolia*.

De la tabla anterior se deduce que la densidad aparente de haces de fibra de *G. Angustifolia* es similar a la de fibras naturales más conocidas y utilizadas. Este valor puede ser muy significativo cuando se comparen las resistencias y los módulos específicos de las diferentes fibras.

La tabla 4 se muestra valores de la densidad promedio de fibras sintéticas y se incluye la densidad de haces de fibra de *G. Angustifolia*. Al comparar los valores, se observa que las densidades de fibras sintéticas presentan valores relativamente altos comparados con

la de los haces de fibra de *G. Angustifolia*. Este valor se convierte en una ventaja importante cuando se entre a considerar el peso de componentes similares.

Tipo de Fibras	Densidad aparente promedio (g/cm ³)
Vidrio tipo E	2,6
Vidrio tipo S	2,5
Boro	2,5
Carbono	1,8
Kevlar	1,44
G. Angustifolia	1,4

Tabla 4. Densidad aparente promedio de diferentes fibras sintéticas y de haces de fibra de *G. Angustifolia*.

4. CONCLUSIONES

Gracias a la utilización de diferentes técnicas, se logró obtener información valiosa sobre características físicas de los haces de fibra de *G. angustifolia*, tales como: densidad aparente, porcentaje de contenido de humedad, porcentaje de absorción de agua, forma de la sección transversal y topografía superficial. Los valores obtenidos para la densidad, el porcentaje de absorción de agua y el porcentaje de contenidos de humedad, se encuentran dentro de los rangos normales presentados por muchas fibras naturales.

Los valores de densidad y porcentaje de contenido de humedad y absorción de agua son relativamente bajos y esto le confiere ventajas a los haces de fibra de *G. angustifolia* para ser tenida en cuenta como material de refuerzo.

La sección transversal es irregular lo mismo que la topografía. Estas características se convierten en una ventaja para los haces de fibra de *G. angustifolia* debido a que esto favorece la interfaz entre la matriz y el refuerzo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Londoño, X., 1998. A decade of observations of a *Guadua angustifolia* plantations in Colombia. En: The Journal of the American Bamboo Society. Vol. 12 (1). P. 37-42.
- [2] Hidalgo, O., 2003. Bamboo. The gift of the gods. Primera edición. Bogotá. Editado por: Oscar Hidalgo López. 553 P.
- [3] Londoño, X., 2001. La *Guadua* un bambú importante de América. En: Memorias primer Seminario Bamboo 2001, Guayaquil, Ecuador, Agosto 8-10.
- [4] Arbeláez, A., 1998. La estructura morfológica del culmo de la *Guadua Angustifolia* Kunt. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrícolas. P. 3 - 18.

[5] Londoño, X.; Camayo, G.; Riaño, N. y López, Y., 2002. Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. En: *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society*. Vol. 16 (1). P. 18-31.

[6] Liese, W., 1985. Anatomy and properties of bamboo. En: *Bamboo Workshop Hangzhou*, mes de octubre. P. 196-207.

[7] Tono, T. y Ono, K., 1962. The layered structure and its morphological transformation by acid treatment. En: *Journal of Japanese Wood Research Society*, 8, 245-249. Citado por: Liese, W., 1998. The anatomy of bamboo culms. INBAR Technical Report No 18. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing. P. 66

[8] Parasmewaran, N. y Liese, W., 1976. On the fine structure of bambú fibres. En: *Wood Science and Technology*, 10, 231 - 246. Citado por: Liese, W., 1998.

The anatomy of bamboo culms. INBAR Technical Report No 18. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing. P. 66.

[9] DENG, S. et al. 1999. Influence of fiber cross-sectional aspect ratio on mechanical properties of glass fiber/epoxy composites. En: *Composites Science and Technology*. Vol. 59. No. 9. P. 1331 - 1339.