

Cambios en las propiedades físico-mecánicas de culmos de *Guadua angustifolia* como indicadores del estado de madurez

Edison de Jesús Henao Castañeda;
Jose Alexander Rodríguez¹



Foto: Grupo de Investigación GATA

¹ Universidad Tecnológica de Pereira. La Julita, Colombia. Teléfono (576)3137300. edisonhenao@utp.edu.co y pauloalejo@utp.edu.co.

Resumen

Guadua angustifolia Kunth se utiliza cada vez más como elemento estructural y, como tal, es necesario que el material posea las características físico-mecánicas adecuadas. Con el fin de determinar algunas características físico-mecánicas asociadas con la madurez, se evaluaron muestras de culmos provenientes del Eje Cafetero colombiano: ocho individuos del Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira, dos de la finca El Bambusal y tres de la finca Nápoles, con edades entre uno y cinco años. Se determinaron los esfuerzos de compresión y corte y la dureza Brinell siguiendo las normas ISO/TR 22157-1, ISO/TR 22157-2 y DIN EN 1534. Los valores de las pruebas realizadas se agruparon por madurez y por sitio para establecer comparaciones. Los mejores valores de resistencia a la compresión y al corte se presentaron a los 60 meses después de emergido el culmo. Se comprobó que tanto la resistencia a la compresión como la resistencia al corte se relacionan con la madurez y que los valores se incrementan entre los 12 y los 60 meses, y luego empiezan a decrecer. La dureza Brinell presentó valores aleatorios que no dependen de la madurez.

Palabras claves: *Guadua angustifolia*; bambúes; culmo; resistencia a la compresión; resistencia al corte; dureza brinell, zona cafetalera; Colombia.

Summary

Changes in *Guadua angustifolia* physical and mechanical properties as an indicator of maturity. *Guadua angustifolia* Kunth is being increasingly used as structural element, and as such, it must offer the adequate physical and mechanical properties. In order to determine some physical and mechanical characteristics associated to maturity, different sections of culms from Jardín Botánico (8 culms), finca El Bambusal (2) and finca Nápoles (3), with ages from 12 to 60 months, were sampled and evaluated. The shear and compressive strength, as well as Brinell hardness number were determined using the ISO/TR 22157-1, ISO/TR 22157-2 and DIN EN 1534 standards. Results were grouped by level of maturity and provenance and then comparisons were established. The best values of compressive and shear strengths were achieved around 60 months after the rise of culms. It was proved that both compressive strength and shear strength are related to maturity with increasing values from 12 to 60 months of age, and then gradually declining. The Brinell hardness number showed random values unrelated to maturity.

Keywords: *Guadua angustifolia*; bamboos; culms; compressive strength; shear strength; brinell hardness number; coffee zone; Colombia.

Introducción

Para la industria, la construcción y la actividad artesanal en el Eje Cafetero de Colombia, *Guadua angustifolia* Kunth significa una fuente alternativa de materia prima. El uso de la guadua en la construcción de viviendas, estructuras, puentes, cercos, puertas, conducción de aguas, fabricación de muebles y artesanías, laminados, molduras, tablillas y pisos, arroja balances positivos para la economía local, ya que solo en la zona cafetera existen

alrededor de 28.000 ha de bosques y plantaciones de guadua (Kleinn y Morales 2006).

Las propiedades mecánicas de la guadua varían según la especie botánica, el estado de madurez, la sección del culmo y las propiedades físicas del sitio (Camargo et ál. 2008). Tradicionalmente la madurez de los culmos se ha asociado a características externas del tallo, tales como su color y la presencia de líquenes u hongos. Sin embargo, estudios más recientes realizados

por Gritsch et ál. (2004) y Ortega y Zuluaga (2006) muestran la relación que existe entre la madurez del culmo y sus propiedades. Según la Norma Técnica Colombiana 5300, la guadua madura a una edad mínima de cinco años (NTC 2008). Para Ortega y Zuluaga (2006), un culmo se considera maduro después de los dos años de haber emergido, aunque su estado de madurez óptimo está cercano a los cinco años.

Con esta investigación se buscó determinar la relación entre el

estado de madurez de los culmos y los cambios en las propiedades mecánicas, resistencia a la compresión, resistencia al corte y dureza Brinell. Las probetas se tomaron de diferentes secciones de culmos previamente identificados y marcados, de los cuales se conocía el estado de madurez determinado de forma convencional. El material evaluado provino de tres sitios del eje cafetero: el Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira y las fincas El Bambusal y Nápoles, en Montenegro, Quindío.

En cada sitio se realizó un proceso de identificación de secuencias de culmos pertenecientes a un mismo individuo. Los culmos de guadua emergen cronológicamente; o sea que entre 12 y 18 meses después de haber emergido un culmo puede emerger otro a partir del anterior (Camargo et ál. 2011). Entonces, se identificaron culmos conectados por medio de los rizomas, pero con diferentes grados de madurez y se les hicieron pruebas de resistencia al corte, resistencia a la compresión y dureza Brinell. Los resultados se agruparon de acuerdo a la madurez y se promediaron para

obtener el valor de cada propiedad físico-mecánica evaluada; por último se compararon los valores determinados para los tres sitios. Las propiedades físico-mecánicas se determinaron a partir de las normas ISO/TR 22157-1.2004, ISO/TR 22157-2.2004 y DIN EN 1534. 2004.

Clasificación de las probetas

Se evaluaron culmos de ocho individuos del Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira, dos individuos de la finca El Bambusal y tres individuos de la finca Nápoles, con edades entre uno y cinco años. Cada culmo se dividió en cuatro secciones (Fig. 1): (1) la parte más baja del culmo, donde se midió el diámetro a la altura del pecho; (2) sección media; (3) sección media alta y (4) sección alta. Para la determinación de la resistencia a la compresión y al corte se evaluaron dos probetas por sección; cada probeta tenía un nudo en cada extremo y correspondía a un canuto. Para determinar la dureza Brinell se midieron probetas de 7 cm de longitud por 2,5 cm de ancho, las cuales fueron obtenidas de tres muestras por sección.

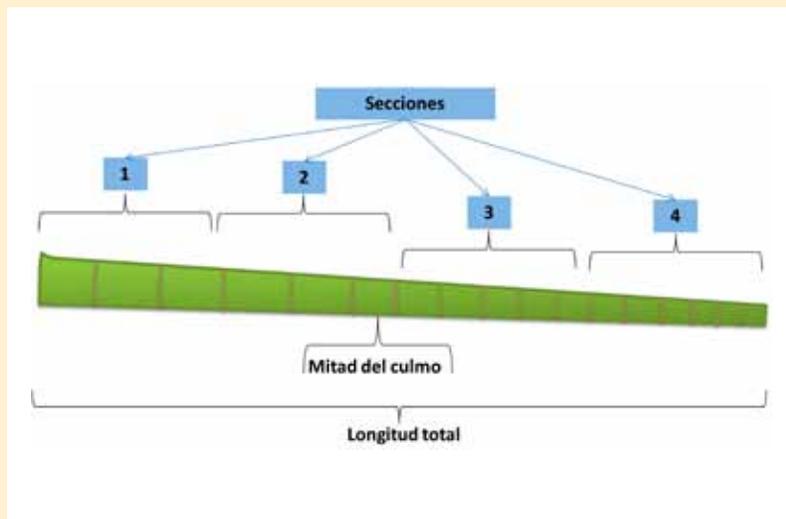


Figura 1. Seccionamiento del culmo para la toma de probetas para las pruebas físico-mecánicas

Equipo utilizado

Para determinar las propiedades físico-mecánicas se utilizaron tres máquinas del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UTP (Figs. 2, 3 y 4).

Análisis de los datos

Para el análisis de los datos se aplicó el método “estadísticos agrupados” debido a que se tienen réplicas de las mediciones obtenidas con las pruebas aplicadas a los culmos de cada uno de los individuos (Figliola y Beasley 2003). Si se considera M réplicas de una medición de la variable X , cada una de las N lecturas repetidas permite obtener un conjunto de datos X_{ij} , donde $i = 1, 2, \dots, N$ y $j = 1, 2, \dots, M$. Se asume que el error de sesgo permanece despreciable en cada réplica. La media agrupada de X se define mediante:

$$\bar{X} = \frac{1}{IN} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N X_{ij}$$

La desviación estándar agrupada de X se define por:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{I(N-1)} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X})^2} = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{j=1}^M S_{\bar{x}_j}^2}$$

La desviación estándar agrupada de las medias de X se define mediante:

$$S_{\bar{X}} = \frac{S_x}{\sqrt{MN}}$$

Posteriormente se realizaron comparaciones de las propiedades físico-mecánicas evaluadas mediante un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticamente significativas entre culmos (SPSS 10 para Windows).



Figura 2. Escleroscopio HP-250 marca Werkstoffprüfmaschinen, para determinar la dureza Brinell



Figura 3. Máquina universal de ensayos WPM ZD 40, para determinar la resistencia al corte

Resultados

Los valores de resistencia a la compresión paralela a la fibra correspondieron a los promedios hallados entre las cuatro secciones de cada culmo para todos los individuos de un mismo sitio (Cuadro 1). Estos valores están dentro de los rangos obtenidos por Camargo (2006) y Silva y López (2000): entre 15 y 30 Mpa. La resistencia a la compresión paralela a la fibra para cada estado de madurez se incrementó con la edad de los culmos (Fig. 5). El mayor valor promedio (30,39 Mpa) se obtuvo a los 60 meses de edad; asimismo, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre edades ($p < 0,05$). Estos valores coinciden con lo reportado por Camargo (2006).

El Cuadro 2 muestra los valores de resistencia al corte paralelo a la fibra, los cuales son consistentes con los reportados por Camargo (2006) y Silva y López (2000): promedios de 7,53 y 6,87 Mpa respectivamente. La resistencia al corte aumenta con la edad de los culmos; de nuevo, la mayor resistencia al corte se

obtuvo a los 60 meses (Fig. 6), valor que está por encima de lo reportado por Camargo (2006) y Silva y López (2000), así como de los valores reportados para otras especies como *Bambua blumeana* y *Bambusa vulgaris*, según Camargo (2006).

Los valores encontrados de resistencia a la compresión son comparables con los reportados para maderas de uso convencional en estructuras medianas, tales como el aliso (*Alnus glutinosa*) con 35,7 Mpa, arboloco (*Montanoa quadrangularis*) con 40,5 Mpa y otras maderas con 40 Mpa (Duque y Lara 2010).

Finalmente, para la determinación de los valores de dureza Brinell



Figura 4. Máquina universal de ensayos Mod. UMIB-600-SW, para determinar la resistencia a la compresión

Cuadro 1. Resistencia a la compresión en MPa para culmos provenientes de tres sitios del Eje Cafetero de Colombia

| Madurez [meses] | Jardín Botánico | | | | El Bambusal | | | | Nápoles | | | |
|-----------------|-----------------|-----------|-------|---------------|-------------|-----------|-------|---------------|---------|-----------|-------|---------------|
| | MN | \bar{X} | S_x | $S_{\bar{x}}$ | MN | \bar{X} | S_x | $S_{\bar{x}}$ | MN | \bar{X} | S_x | $S_{\bar{x}}$ |
| 12 | 52 | 15,31 | 5,31 | 0,74 | 13 | 25,30 | 9,56 | 2,65 | 20 | 23,65 | 6,68 | 1,50 |
| 24 | 62 | 21,95 | 8,35 | 1,06 | 15 | 26,82 | 3,08 | 0,80 | 23 | 28,62 | 12,48 | 2,60 |
| 36 | 62 | 24,94 | 10,00 | 1,27 | 16 | 26,32 | 7,49 | 1,87 | 13 | 25,88 | 7,53 | 2,09 |
| 48 | 62 | 25,42 | 7,64 | 0,97 | 16 | 29,72 | 3,94 | 0,99 | 22 | 28,99 | 8,42 | 1,79 |
| 60 | 53 | 30,00 | 7,99 | 1,10 | 16 | 31,46 | 6,55 | 1,64 | 13 | 30,32 | 5,72 | 1,59 |

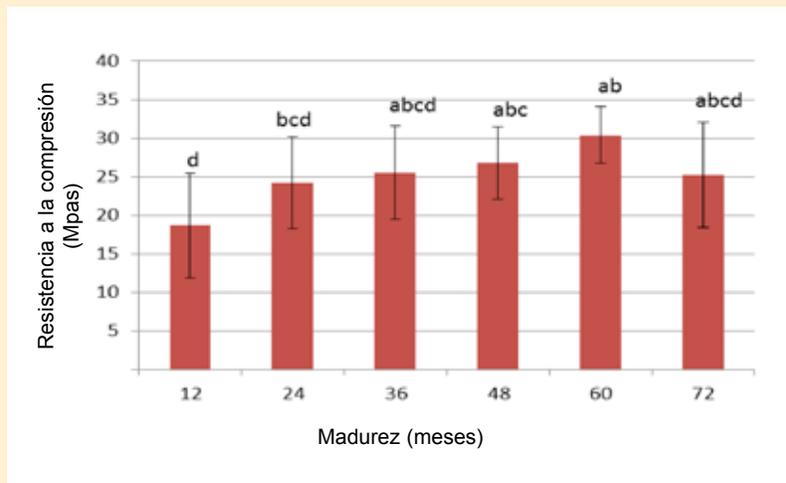


Figura 5. Comparación de la resistencia a la compresión en MPa para culmos provenientes de tres sitios del Eje Cafetero de Colombia. Líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$)

Cuadro 2. Resistencia al corte en MPa para culmos provenientes de tres sitios del Eje Cafetero de Colombia

| Madurez [meses] | Jardín Botánico | | | | El Bambusal | | | | Nápoles | | | |
|-----------------|-----------------|-----------|-------|---------------|-------------|-----------|-------|---------------|---------|-----------|-------|---------------|
| | MN | \bar{X} | S_x | $S_{\bar{x}}$ | MN | \bar{X} | S_x | $S_{\bar{x}}$ | MN | \bar{X} | S_x | $S_{\bar{x}}$ |
| 12 | 52 | 7,92 | 3,56 | 0,49 | 15 | 6,89 | 4,72 | 1,22 | 13 | 7,80 | 4,09 | 1,14 |
| 24 | 58 | 10,54 | 4,53 | 0,59 | 14 | 12,94 | 7,53 | 2,01 | 15 | 7,83 | 4,19 | 1,08 |
| 36 | 62 | 11,72 | 5,14 | 0,65 | 16 | 11,40 | 6,28 | 1,57 | 6 | 10,91 | 3,86 | 1,57 |
| 48 | 58 | 11,24 | 5,42 | 0,71 | 16 | 12,52 | 6,31 | 1,58 | 14 | 9,89 | 5,17 | 1,38 |
| 60 | 48 | 12,75 | 5,64 | 0,81 | 15 | 13,28 | 6,82 | 1,76 | 12 | 8,58 | 4,62 | 1,33 |

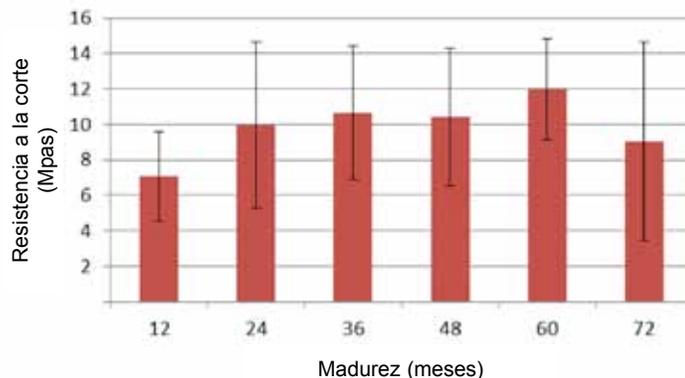


Figura 6. Comparación de la resistencia al corte en MPa para culmos provenientes de tres sitios del Eje Cafetero de Colombia. Líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar.

se evaluaron probetas para cada estado de madurez obtenidas de las cuatro secciones del culmo. A las probetas se les retiró la capa externa y la interna con el fin de obtener una tablilla cuya base inferior y superior fuera lo más paralela posible, a fin de evitar desviaciones en la perpendicularidad del punzón de la máquina con la probeta. Los resultados permitieron comprobar que la dureza Brinell no es una propiedad que se pueda relacionar con la edad (Cuadro 3, Fig. 7), debido a que la dureza es una propiedad de la capa superficial de un material y no de su composición. Londoño et ál. (2002) ya habían encontrado resultados similares.

Conclusión

La resistencia a la compresión y al corte se relacionan directamente con la madurez del culmo de *Guadua angustifolia*. Estas propiedades aumentan con la edad y presentan sus mejores valores alrededor de los 60 meses, lo que permite validar lo establecido por la norma NTC 5300.

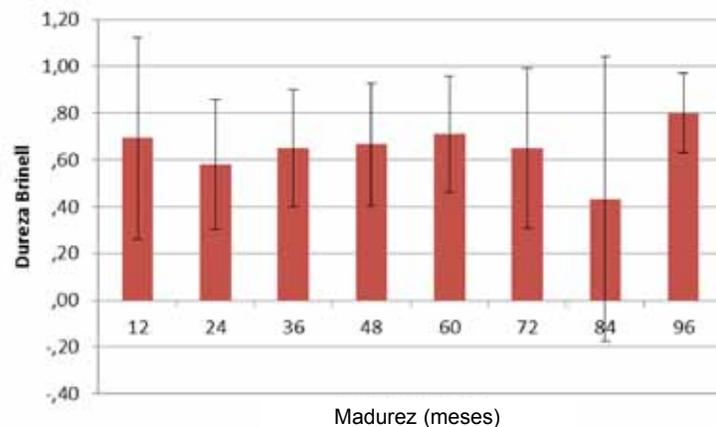


Figura 7. Comparación de la dureza Brinell para culmos provenientes de tres sitios del Eje Cafetero de Colombia. Líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar.

Cuadro 3. Dureza Brinell para culmos provenientes de tres sitios del Eje Cafetero de Colombia

| Madurez [meses] | Jardín Botánico | | | | El Bambusal | | | | Nápoles | | | |
|-----------------|-----------------|-----------|-------|---------------|-------------|-----------|-------|---------------|---------|-----------|-------|---------------|
| | MN | \bar{X} | S_x | $S_{\bar{x}}$ | MN | \bar{X} | S_x | $S_{\bar{x}}$ | MN | \bar{X} | S_x | $S_{\bar{x}}$ |
| 12 | 41 | 0,95 | 0,45 | 0,07 | 7 | 0,66 | 0,12 | 0,05 | 11 | 0,44 | 0,10 | 0,03 |
| 24 | 57 | 0,71 | 0,23 | 0,03 | 15 | 0,51 | 0,07 | 0,02 | 9 | 0,77 | 0,29 | 0,10 |
| 36 | 51 | 0,74 | 0,24 | 0,03 | 16 | 0,58 | 0,11 | 0,03 | 6 | 0,72 | 0,13 | 0,05 |
| 48 | 55 | 0,74 | 0,18 | 0,02 | 16 | 0,53 | 0,08 | 0,02 | 9 | 0,93 | 0,25 | 0,08 |
| 60 | 48 | 0,83 | 0,42 | 0,06 | 16 | 0,58 | 0,10 | 0,03 | 13 | 0,50 | 0,13 | 0,04 |

Literatura citada

- Camargo, JC. 2006. Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the Coffee Region of Colombia. Ph.D. Tesis. Göttingen, Deutschland, Göttingen Universität. 205 p.
- Camargo, JC; Morales, T; García, JH. 2008. Inventario y mensura forestal para el manejo sostenible de bosques de guadua. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira / Colciencias, Grupo de Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. 94 p.
- Camargo, JC; Rodríguez, JA; Henao, E; Quintero, H; Mosquera, OM y Niño, J. 2011. Cuarto Informe Técnico Proyecto Tecnología para definir la madurez del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth: una contribución al desarrollo forestal del Eje Cafetero Colombiano. Proyecto Código 1110452-21121; Contrato 442-1-2008. Pereira, Colombia, Colciencias. 34 p.
- DIN (Deutsches Institut für Normung). 2004. DIN e 1534: Determination of resistance to indentation (Brinell-Test method). European Standards.
- Duque, AFH; Lara, IAC. 2010. Diseño y construcción de un dispositivo económico para medir indirectamente la madurez del culmo de guadua basado en un análisis de vibraciones. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira. 89 p.
- Figliola, R; Beasley, D. 2003. Mediciones mecánicas: teoría y diseño. México, Alfaomega. 3 ed. 656 p.
- Gritsch, C; Abranson, K; Camayo, G; Rashid, M; Murphy, R; Londoño, X; Camargo, J C. 2004. Anatomical culm analysis of *Guadua angustifolia* in relation to age, site, and physic-mechanical properties. In Proceedings International Symposium Guadua [2004, Pereira, Colombia].
- ISO (International Organization for Standardization). 2004. ISO TR 22157-1/2 Bamboo: determination of physical and mechanical properties. Laboratory manual. 19 p.
- Kleinn, C; Morales, D. 2006. An inventory of guadua (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia. European Journal of Forest Research 125(4): 361-368.
- Londoño, X; Camayo, G; Riaño, N; López, Y. 2002. Caracterización anatómica del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. In Seminario-Taller Avances sobre la investigación sobre Guadua.
- NTC (Norma Técnica Colombiana). 2008. NTC 5300: cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. Bogotá, Colombia, ICONTEC.
- Ortega, JA; Zuluaga, CA. 2006. Comprobación y comparación de las propiedades fisicomecánicas de la *Guadua angustifolia* por región y por edad. Tesis de pregrado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira. 127 p.
- Silva, MF; López, LF. 2000. Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque. Manizales, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 139 p.