



CARACTERÍSTICAS DE LOS CULMOS DE GUADUA DE ACUERDO AL SITIO Y SU ESTADO DE MADUREZ

Characteristics of Guadua culms according to site and stage of maturity

Juan Martin Maya Echeverry¹, Juan Carlos Camargo García² & Oscar Marino Mosquera³

Maya Echeverry, J.M., Camargo García, J.C. & Marino Mosquera, O. (2017). Características de los culmos de guadua de acuerdo al sitio y su estado de madurez. *Colombia Forestal*, 20(2), 171-180.

Recepción: 18 de abril 2016

Aprobación: 22 de mayo 2017

Resumen

Culmos de la especie de bambú guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) obtenidos de bosques naturales dominados por esta especie y localizados en dos sitios con condiciones ecológicas diferentes, fueron evaluados para determinar cambios en propiedades físico-mecánicas y el contenido de lignina. Las probetas evaluadas fueron tomadas de culmos en diferente estado de madurez cuya edad oscilaba entre 1 y 5 años. Dentro de cada sitio, los valores de las propiedades evaluadas tienden a ser más altos en edades mayores, pero no siempre estas diferencias fueron significativas ($p > 0.05$). Mientras que aquellos culmos que provenían del sitio localizado a menor altitud, más cálido y más seco mostraron valores significativamente mayores ($p < 0.05$) para las variables evaluadas. Con base en los resultados obtenidos, se debe considerar que aunque la madurez de los culmos es relevante para la definición de propiedades físico-mecánicas y lignina, las condiciones de sitio representan cambios que deben ser considerados cuando se quiere hacer una selección de los mismos y de ciertos atributos que son requeridos en el mercado.

Palabras clave: Contenido de lignina, dureza, Guadua angustifolia Kunth, resistencia a la compresión.

Abstract

From two natural bamboo stands dominated by the bamboo species guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) located in sites with different ecological conditions, culms were assessed in order to elucidate possible changes in physical-mechanical properties and lignin content as well. Test pieces were collected from the two sites and were obtained from guadua culms with ages between 1 and 5 years. Among sites the values obtained of physical-mechanical properties and lignin content tend to increase with culms age; however, these changes were not always significantly different ($p > 0.05$). Those culms from the warmer and drier site located at lower altitude showed on average values significantly ($p < 0.05$) higher of the variables assessed. Considering the results obtained, culm maturity is an important factor influencing both physical-mechanical properties and lignin content, however ecological conditions determine larger differences in these variables to be considered for selecting bamboo culms when specific attributes are required by the market.

Keywords: Lignin content, hardness, Guadua angustifolia Kunth, compression strength.

1 Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Risaralda. jmmaya@utp.edu.co. Autor para correspondencia.

2 Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Risaralda. jupipe@utp.edu.co

3 Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Risaralda. omosquer@utp.edu.co

INTRODUCCIÓN

Guadua angustifolia Kunth (guadua) es una especie de bambú que se distribuye naturalmente en las regiones tropicales de América Central y del Sur (Rugeles *et al.*, 2012). Esta especie de bambú es leñosa y representa para la región cafetera de Colombia un importante recurso natural utilizado tradicionalmente por los agricultores para la construcción de viviendas, muebles, artesanías y pisos (Londoño, 1998). Las propiedades físicas y los beneficios ambientales del bambú lo convierten en una fuente de materia prima excepcional con una amplia gama de usos y con potencial para la generación de recursos que permitan reducir la pobreza (Lobovikov *et al.*, 2005).

Por su amplia distribución geográfica y adaptabilidad a diferentes climas y suelos la guadua puede presentar diferencias en cuanto a su desarrollo y crecimiento (Castaño, 2002), determinando el buen desarrollo de la planta la calidad del sitio, la precipitación y la temperatura donde crezca (Giraldo & Sabogal, 1999). Los guaduales presentan los mejores índices de crecimiento en alturas entre los 1200 y 1500 m de altitud sobre valles, con temperaturas medias entre 19.6 y 21.3 °C y pendientes de hasta 18%. Así mismo, las condiciones ideales del suelo están dadas por densidades aparentes bajas y altos contenidos de aluminio (García & Camargo, 2010). Por lo anterior, establecer los posibles cambios que presentan los culmos de guadua de acuerdo a las diferencias ecológicas donde se presenta es importante para definir las características de materia prima que se podría obtener dadas ciertas condiciones de sitio.

En cuanto a su composición química, la guadua está constituida principalmente por celulosa y lignina (Mosquera *et al.*, 2008), esta última es el segundo componente más importante de la pared celular de todas las plantas vasculares y representa entre 20-35% de la biomasa vegetal (Kuroda *et al.*, 2002).

De otro lado, se ha establecido la importancia de los cambios en propiedades físico-mecánicas

de los culmos de acuerdo a su estado de madurez (Gritsch *et al.*, 2004; Correal & Arbeláez, 2010; Rodríguez & Henao, 2013; Camargo & Suarez, 2014) cambios que pueden ser también observados en los contenidos de lignina (Mosquera *et al.*, 2008). No obstante, establecer de forma simultánea el efecto que pueden tener las condiciones de sitio y la madurez de los culmos implica la evaluación en condiciones ecológicas contrastantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se evaluaron los cambios de propiedades físico-mecánicas y contenido de lignina de culmos de guadua provenientes de dos sitios ecológicamente diferentes, teniendo en cuenta su estado de madurez.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

Para la realización del presente estudio se seleccionaron dos sitios de análisis en el municipio de Pereira, Colombia, ambos con características ecológicas diferentes (altitud, precipitación, temperatura y suelo). El primero incluyó 24.8 ha de bosques naturales de guadua en la finca Yarima, ubicada al sur del municipio de Pereira, a 1150 m de altitud, con una precipitación promedio anual de 2262 mm y una temperatura media de 24°C. Los suelos en este sitio corresponden principalmente al orden de los inceptisoles, con pH fuertemente ácido, alto contenido de materia orgánica, fertilidad moderada y textura franco arcillosa, en una topografía de relieve colinado en la parte baja del abanico fluviovolcánico Pereira-Armenia.

El segundo sitio de estudio corresponde a 7 ha de bosques naturales de guadua, localizados en el Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira (JB-UTP), ubicado en la zona suroriental del perímetro urbano de la ciudad de Pereira a 1450 m de altitud, con precipitación promedio anual de 2209.7 mm y temperatura media anual

de 20 °C. Los suelos en esta parte son del orden de los andisoles, evolucionaron de cenizas volcánicas, acumulan altas cantidades de materia orgánica debido a la formación de complejos órgano-minerales; su fertilidad natural es moderada, con pH moderadamente ácido, textura franca arenosa y ubicados en la parte media alta del abanico fluviovolcánico Pereira –Armenia. Algunas características químicas y físicas de los suelos en los dos sitios se presentan en la [tabla 1](#).

Selección de muestras

Fueron seleccionados un total de 30 culmos de guadua, 15 por cada sitio, de parcelas permanentes donde se registra el momento en que cada culmo emerge, de tal manera que se conoce su edad y estado de madurez. Del sitio 1 (Yarima), fueron seleccionados culmos de 1.5, 3, 4.5 y 5 años. Mientras que del sitio 2 (Jardín Botánico), se seleccionaron culmos de 1, 3 y 5 años de edad. Las variaciones en los rangos de edades obedecen a la disponibilidad de culmos al momento del muestreo.

El corte de los culmos seleccionados para efectuar las pruebas se hizo sobre el primer entrenudo encima del suelo de acuerdo a la norma [ISO \(2004\)](#) e [ISO-TR \(2004\)](#). Posterior al corte de cada culmo se extrajeron tres probetas correspondientes a tres secciones representadas por los entrenudos 3-4, 6-7, 9-10, como se representa en la figura 1, para un total de 90 probetas. Cada una de las probetas fue etiquetada de acuerdo al sitio, edad y sección.

Tabla 1. Características químicas y físicas generales de los suelos en los dos sitios de estudio entre 0 y 25 cm de profundidad.

Finca/sitio	pH		MO (%)		Bases totales cmoles l ⁻¹		Da g. cm ⁻³		Textura
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	
Yarima	5.2	0.2	8.0	1.6	8.6	2.5	0.8	0.1	Franco arcillosa
Jardín Botánico	5.4	0.2	14.7	3.5	5.7	3.0	0.5	0.1	Franco arenosa

MO = materia orgánica; Da = densidad aparente; DE = desviación estándar.

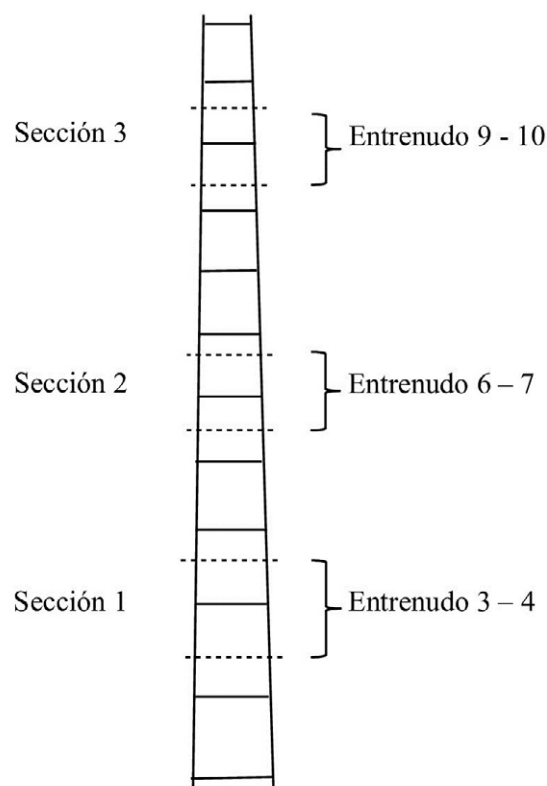


Figura 1. Secciones del culmo para estudio.

Evaluación de las propiedades físicas, mecánicas y químicas

Previo a la realización de las pruebas, el contenido de humedad fue evaluado para cada probeta, tomando dos muestras de cada extremo y luego se siguió el procedimiento de la Norma Técnica Colombiana [NTC \(2007\)](#).

Las muestras usadas para determinación de humedad se fraccionaron en dos cada una y se usaron para la medición de la densidad utilizando la técnica de inmersión propuesto en la norma [ISO-TR \(2004\)](#).

La resistencia a la compresión paralela a las fibras fue medida en todas las probetas siguiendo el método establecido en la [ISO/TR \(2004\)](#) y la [NTC \(2007\)](#). Todos los ensayos se realizaron en el Laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

Para la evaluación de la dureza se utilizó un durómetro de carátula Mitutoyo Hardmatic 811-331 Akashi, provisto con una manecilla para retener pico para lecturas libres de error. Las mediciones en unidades Shore se realizaron de forma perpendicular en ocho puntos aleatorios sobre la cara externa e interna de las probetas.

Para el análisis de lignina ácida insoluble se tomaron muestras de residuos del corte (ripio) al momento de obtener las muestras para humedad. La extracción de la lignina insoluble siguió la metodología de la norma Tappi 222 om-06 ([Tappi, 2006](#)) con algunas modificaciones: se tomaron 250 mg del material previamente tamizado, se agregaron 3.75 mL de ácido sulfúrico al 72% y se dejó reaccionar durante 2 horas a 15°C. Pasado este tiempo, se ajustó el volumen de la mezcla reaccionante con la adición de 143.75 mL de agua para que el ácido quedara al 1.9% y se sometió a ebullición durante 4 horas; fue necesario adicionar agua frecuentemente para mantener constante la concentración del ácido. Posteriormente, la solución se dejó enfriar y se almacenó a 10°C durante 12 horas para permitir que la lignina insoluble decantara. Finalmente, el sobrenadante se filtró y el residuo se secó a 105°C. El porcentaje de lignina insoluble en la muestra se determinó, según [Tappi \(2006\)](#), mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Lignina insoluble} = (\text{Peso del residuo} / 250 \text{ mg}) \times 100$$

Esta extracción se realizó por triplicado en días diferentes para verificar la reproducibilidad del método de extracción.

ANÁLISIS

De cada una de las variables evaluadas se determinaron estadísticas descriptivas en general y por sitio. Luego se realizaron pruebas de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors y Shapiro Wilk y la prueba de Levene's fue aplicada para determinar la homocedasticidad de varianza. Para establecer relaciones entre variables se realizaron análisis de correlación y, luego, para determinar diferencias entre sitios, edades y secciones se utilizó el análisis de varianza. Todos los análisis fueron realizados utilizando el software SPSS Statistics ([SPSS-Statistics, Version 20](#)).

RESULTADOS

Las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors y Shapiro Wilk arrojaron valores no significativos ($p > 0.05$) y, por tal razón, se puede considerar que todas las variables evaluadas se ajustan a una distribución normal. Así mismo, la prueba de Levene's corroboró la homocedasticidad de la varianza de las variables evaluadas entre sitios y de acuerdo a la edad.

En general, las probetas provenientes del Jardín Botánico tienen mayor contenido de humedad, mayor diámetro y valores significativamente menores ($p < 0.05$) para las variables físico-mecánicas de los culmos extraídos allí. La lignina ácida contrariamente fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en las probetas extraídas de culmos del Jardín Botánico ([tabla 2](#)).

La relación entre el mayor contenido de humedad y menores valores para las variables físico-mecánicas es confirmada mediante el análisis de correlación ([tabla 3](#)), donde también se observan relaciones significativamente positivas ($P < 0.05$) entre la densidad, la dureza y la resistencia a la compresión. La relación de estas variables con la humedad es inversa de acuerdo a los valores del coeficiente de correlación de Pearson. La lignina ácida solamente muestra relaciones significativas

($p < 0.05$) con la densidad, aunque el valor del coeficiente de correlación no es alto, mayores contenidos de lignina estarían asociados a menores valores de densidad (tabla 3).

Cambios de acuerdo a la sección del culmo y la edad en las propiedades evaluadas

Cuando las variables fueron evaluadas de acuerdo a la posición o sección de donde fueron tomadas no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las mismas, tampoco ningún patrón o tendencia que pudiera ser descrito.

Al considerar la edad como factor, el comportamiento de las variables fue distinto entre ambas zonas. La dureza no mostró cambios significativos

($p > 0.05$) de acuerdo a la edad de los culmos en ambos sitios, los valores promedio fueron más bajos en los culmos más jóvenes (figuras 2a y 2b). Para la densidad y la resistencia a la compresión se observaron valores significativamente ($p < 0.05$) menores en los culmos más jóvenes del Jardín Botánico (figuras 2c, 2d, 2e y 2f). En Yarima no se observaron diferencias para la densidad, no obstante, la resistencia mostró un ligero incremento (aunque no significativo) ($p > 0.05$) con la edad de los culmos. El contenido de lignina cambió significativamente ($p < 0.05$) con la edad en Yarima, siendo menor en los culmos más jóvenes, sin embargo, para los culmos del Jardín Botánico no se observaron cambios significativos ($p > 0.05$) (figura 2g y 2h).

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de las variables analizadas en general y para cada uno de los sitios.

Variable	n	General	Yarima	Jardín Botánico
		Media-DE	Media-DE	Media-DE
Contenido de humedad (%)	180	57.9 ± 6.8	52.2 ^a ± 3.31	63.6 ^b ± 4.19
Diámetro (cm)	180	12.6 ± 2.9	10.3 ^b ± 1.5	15.1 ^a ± 1.8
Dureza (Shore)	720	46.2 ± 5.2	50.6 ^a ± 2.7	41.8 ^b ± 2.85
Densidad (g cm ⁻³)	720	0.76 ± 0.1	0.83 ^a ± 0.05	0.68 ^b ± 0.08
Resistencia a la compresión (Mpa)	90	30.1 ± 9.8	37.9 ^a ± 5.9	22.3 ^b ± 6.04
Lignina ácida (%)	180	28.6 ± 3.2	27.5 ^b ± 2.5	29.6 ^a ± 3.5

n= número de muestras o probetas evaluadas; DE = desviación estándar; letras diferentes entre los valores de las medias son diferencias estadísticamente ($p < 0.05$) significativas entre los sitios.

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson y probabilidad (p) entre las variables evaluadas por encima de la diagonal los valores de correlación encontrado, debajo de la diagonal valor de probabilidad, en negrita las correlaciones significativas con $p \leq 0.01$

Variables	Contenido de humedad	Dureza	Densidad	Resistencia a la compresión	Lignina ácida
Contenido de humedad	1.0000	-0.8592	-0.8029	-0.9372	0.2054
Dureza	$p \leq 0.001$	1.0000	0.6474	0.8336	-0.1367
Densidad	$p \leq 0.001$	$p \leq 0.001$	1.0000	0.7646	-0.3964
Resistencia a la compresión	$p \leq 0.001$	$p \leq 0.001$	$p \leq 0.001$	1.0000	-0.1953
Lignina ácida	$p = .052$	$p = .199$	$p \leq 0.001$	$p = .065$	1.0000

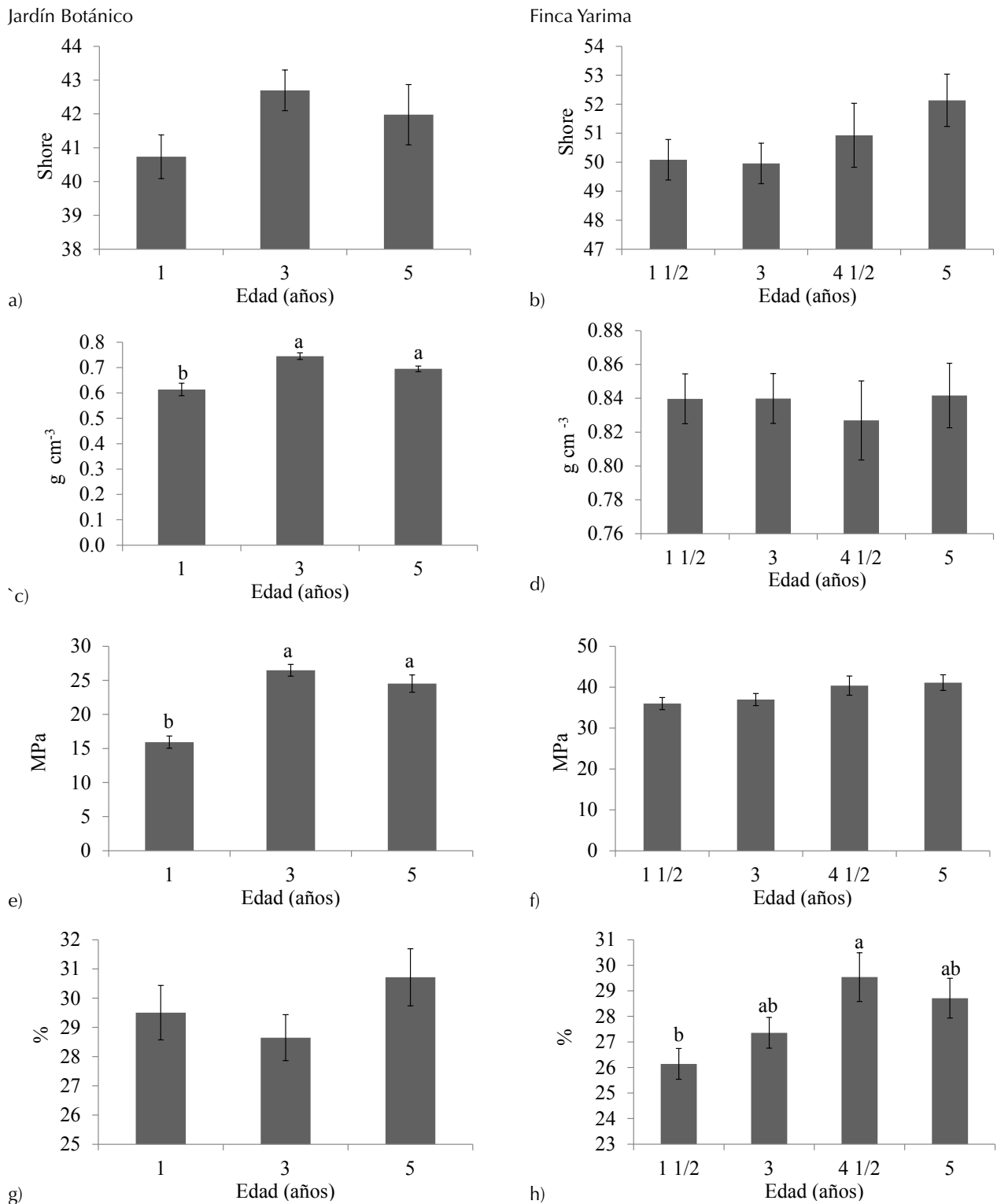


Figura 2. Valores de dureza (a, b), densidad (c, d), resistencia a la compresión (e, f) y lignina ácida (g, h), para los dos sitios. 1) Jardín Botánico y 2) finca Yarima. Letras distintas sobre las barras son diferencias significativas ($p < 0.05$). Líneas verticales sobre las barras representan error estándar de la media.

DISCUSIÓN

En general, los valores encontrados para las variables analizadas son consistentes con los registrados por otros autores y estudios anteriores para la misma especie. No obstante, es importante aclarar que en este estudio se trabajó en sitios contrastantes y con culmos de diferentes edades, condiciones que generan mayor variabilidad y, por tanto, los valores pueden mostrar alguna distancia con respecto a los valores registrados en la literatura, donde usualmente se evalúan culmos maduros.

La humedad registrada en las probetas que estuvo siempre por encima del 50% (tabla 2) y no fue utilizada para realizar comparaciones sino como covariable en los análisis de varianza para la determinación de diferencias de propiedades entre sitios y/ o la edad de los culmos. El diámetro medio de las probetas fue mayor en aquellas probetas del Jardín Botánico (tabla 2).

Los valores de dureza y densidad fueron similares con aquellos registrados por García & Camargo (2010), Cobos & León (2007), Camargo (2006), García (2004). La resistencia a la compresión también mostró valores en el mismo rango que aquellos registrados por Quintero & Henao (2012), Camargo & Suarez (2014), mientras que los de lignina ácida fueron consistentes con los obtenidos por Mosquera *et al.* (2012).

Los valores significativamente más altos ($p < 0.05$) encontrados para las propiedades físico mecánicas evaluadas en los culmos de Yarima tienen que ver seguramente con el contenido de humedad más bajo en los mismos a lo largo de su ciclo de vida. Las condiciones de sitio en Yarima respecto al Jardín Botánico son de menor humedad relativa y precipitación, pero de mayor temperatura y suelos con texturas finas (tabla 1). Los suelos con texturas más finas tienen mayor capacidad de retención de humedad (Reichert *et al.*, 2009), de tal manera que las plantas requieren mayor esfuerzo para la toma de agua. Esta condición podría por lo tanto ser reflejada en menor contenido de humedad en los culmos de este sitio. La relación entre la disponibilidad de

agua en el suelo y su efecto en los árboles ha sido descrita por Borchert (1994) y, de acuerdo con Mei *et al.* (2015), quienes evaluaron los patrones de uso de agua en cuatro especies de bambú, estas plantas resultan más susceptibles que los árboles a los cambios de humedad en el suelo. Aquí también se encontró una relación entre menores diámetros y mayor flujo de savia a través de los mismos, lo que implica seguramente más haces vasculares para el transporte de la misma.

Lo anterior es importante pues, según Liese (1998), los haces están asociados a mayor contenido de fibras en los culmos de bambú y estas contribuyen a una mayor resistencia mecánica de los mismos. En este estudio, los culmos de Yarima fueron en promedio significativamente ($p < 0.05$) más pequeños en diámetro (10.3 cm vs. 15.1 cm) que los del Jardín Botánico, esto podría significar más concentración de haces vasculares y, por lo tanto, de fibras, así como una mayor resistencia. Para la especie guadua, Londoño *et al.* (2002) encontraron de hecho que el porcentaje de fibra incrementa de la base a la punta del culmo, donde el diámetro es menor, característica que ha sido ratificada para la especie *Bambusa bambos* por Santhoshkumar & Bhat (2014).

Una tendencia a encontrar valores más altos de propiedades físicas y mecánicas asociadas a condiciones de sitio con menor humedad también es registrada por Camargo (2006) y García & Camargo (2010), donde además se observa una tendencia a encontrar culmos con mayores dimensiones en sitios con mayor humedad. Así mismo, mayores valores de resistencia a la compresión relacionados con menor humedad del culmo han sido encontrados por González *et al.*, (2008) para guadua y Wakchaure & Kute (2012) para la especie de bambú *Dendrocalamus strictus*.

Los cambios en las propiedades físicas y mecánicas del bambú de acuerdo a la madurez de los culmos han sido ya documentados por trabajos como Mohmod *et al.* (1990), Li (2004), Liese (2004) y Hisham *et al.*, (2006); específicamente para guadua (Gritsch *et al.* (2004); Correal & Arbeláez (2010);

Rodríguez *et al.* (2010); Henao & Rodríguez (2010). Estos cambios muestran tendencias de incremento con la madurez y/o mayor edad de los culmos.

En este estudio, aunque el rango de edades de culmo fue más estrecho que en otros (uno a cinco años), es factible que el patrón no se presente tan claro. No obstante, es muy similar al descrito por Henao & Rodríguez (2010), donde las diferencias significativas ($p < 0.05$) se presentaban principalmente entre culmos de un año con respecto a las demás edades evaluadas, aunque en este caso se evaluaron culmos hasta de ocho años.

Los valores de lignina acida mostraron un patrón similar al de las propiedades físicas y mecánicas, aunque más claro en Yarima donde las diferencias fueron significativas ($p < 0.05$) entre edades. Este comportamiento es consistente al registrado por Mosquera *et al.*, (2008), quienes encontraron los mayores valores de lignina para culmos de guadua entre cuatro y cinco años. Es de destacar que estas diferencias pueden ser debidas principalmente a la procedencia, así como a la densidad de la fibra o las paredes celulares más gruesas. Cuando la pared de la fibra es más gruesa, los contenidos de holo-celulosa y celulosa incrementan y el contenido de la lignina decrece. La densidad, por lo tanto, refleja la morfología de la fibra en función de los contenidos de lignina y celulosa (Toshihiro *et al.*, 1998). De otro lado, Londoño *et al.*, (2002) encontraron para culmos de guadua que en los entrenudos más bajos (4 a 12) el espesor de la pared es mucho mayor, aunque no así el contenido de fibra y la densidad. Mayor espesor representa por lo tanto mayor biomasa y seguramente más contenido de lignina.

CONCLUSIONES

La madurez de los culmos de guadua sigue siendo un criterio importante para definir cualidades de los culmos que puedan interesar a quienes requieren de mayor resistencia física y mecánica; el cual, de acuerdo al patrón encontrado, está por encima de los tres años de edad. En este caso, en el sitio

más húmedo los cambios en las propiedades físico-mecánicas evaluadas (densidad y resistencia a la compresión) fueron significativamente ($p < 0.05$) menores en los culmos de un año de edad.

Las condiciones de sitio influyen en las propiedades evaluadas y, por tanto, proporcionan características distintas a los culmos que se deberían considerar de acuerdo al uso que se le quiera dar a los mismos. En este sentido, en el sitio más húmedo (Jardín Botánico) se encontraron culmos con menores valores de dureza (41.8 shore vs. 50.6 shore), densidad (0.68 g cm^{-3} vs. 0.83 g cm^{-3}) y resistencia a la compresión (22.3 MPa vs. 37.9 MPa). No obstante, el diámetro promedio de los culmos fue mayor (15.1 cm vs. 10.3 cm) en el sitio con mayor humedad (Jardín Botánico). Lo anterior evidencia variabilidad en la materia prima y posibilidades para orientar su uso. Cuando se requiera mayores dimensiones y unos altos valores de resistencia no sean una condición (por ejemplo, aplicaciones no estructurales), los culmos del sitio húmedo podrían funcionar mejor; mientras que si hay exigencias en cuanto a resistencia (aplicaciones estructurales), el sitio menos húmedo podría proveer materia prima más adecuada.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo se logró gracias al apoyo del proyecto de investigación "Aportes tecnológicos al manejo de bosques de guadua: Una aproximación a la definición de la calidad de los productos de cosecha", con código: 2-15-1, financiado por la Universidad Tecnológica de Pereira y ejecutado por el Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos (Gata). También agradecemos a la finca Yarima y al Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira.

CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

El autor único es responsable de la obra en todos los aspectos que condujeron a la elaboración de su publicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borchert, R.** (1994). Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, 75(5), 1437-1449.
- Camargo, J.** (2006). Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the coffee region of Colombia (tesis doctoral, Ciencias Forestales). Göttingen: Georg-August-Universität. 206 p.
- Camargo, J. & Suarez, J.** (2014). Compression resistance and shear strength of guadua angustifolia culms after drilling of the node diaphragm. *Colombia Forestal*, 17, 117-124.
- Castaño, F.** (2002). Estudio de la calidad de sitio y su incidencia en el crecimiento y desarrollo de las plantaciones de guadua (análisis de caso: Valle del Cauca). Armenia (Colombia): Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). 23 p.
- Cobos, J. & Leon, X.** (2007). Propiedades físicas-mecánicas de la guadua angustifolia Kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASA II (trabajo de grado, Ingeniería Civil). Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército. 40 p.
- Correal, J. & Arbeláez, J.** (2010). Influence of age and height position on Colombian *Guadua angustifolia* bamboo mechanical properties. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 12 (2), 105-113.
- García, J.** (2004). Definición de áreas óptimas de calidad de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), orientado a satisfacer las necesidades del mercado (Trabajo de Maestría, Investigación de operaciones y estadística). Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 110 p.
- García, J. & Camargo J.** (2010). Condiciones de calidad de *Guadua angustifolia* para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 61-70.
- Giraldo, E. & Sabogal, A.** (1999). Una alternativa sostenible: la guadua, técnicas de cultivo y manejo. Armenia (Colombia): CRQ. 192 p.
- González, H., Montoya, J. & Bedoya, J.** (2008). Comportamiento de muestras de *Guadua angustifolia* Kunth con diafragma y sin diafragma sometidas a esfuerzo de compresión. *Scientia et Technica*, 38, 449-454.
- Gritsch, C., Abranson, K., Camayo, G., Rashid, M., Murphy, R., Londoño, X. & Camargo, J.** (2004). Anatomical culm analysis of *Guadua angustifolia* in relation to age, site, and physico-mechanical properties. In Proceedings International Symposium Guadua 2004. Pereira (Colombia). pp. 188-193.
- Henao, E. & Rodríguez, J.** (2010). Cambios en las propiedades físico-mecánicas de culmos de *Guadua angustifolia* como indicadores del estado de madurez. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 19-26.
- Hisham, H., Othman, S., Rokiah, H., Abd Latif, M., Anil, S. & Mohd, M.** (2006). Characterization of bamboo *Gigantochloa scortechinii* at different ages. *Journal of Tropical Forest Science*, 18(4), 236-242.
- International Business Machines Corp (IBM).** (2011) IBM SPSS-Statistics 20. New York: IBM. Recuperado de: <http://www.ibm.com/analytics/us/en/technology/spss>
- International Organization for Standardization (ISO 22157-1).** (2004). Bamboo-Determination of physical and mechanical properties-Part 1: Requirements. Genova: International Organization for Standardization. 19 p.
- International Organization for Standardization (ISO 22157-2).** (2004). Bamboo-Determination of physical and mechanical properties-Part 2: Laboratory manual. Genova: International Organization for Standardization. 19 p.
- Li, X.** (2004). Physical, chemical and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. (Master Thesis, Renewable Natural Resources). Louisiana (EE.UU.): Louisiana State University. 76 p.
- Liese, W.** (1998). The anatomy of bamboo culms. INBAR Technical Report N° 18. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan. 204 p.
- Liese, W.** (2004). Structures of a bamboo culm affecting its utilization. Part 1: bamboo industrial utilization.

- INBAR International. Workshop "Bamboo Industrial Development" Xianning, 12. 11. 2003 Proceedings. 2004, 1-8.
- Lobovikov, M., Paudel, S., Piazza, M., Ren, H. & Wu, L.** (2005). Non-wood forest products 18. World bamboo resources. A thematic study prepared in the framework of the global forest resources assessment. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 74 p.
- Londoño, X.** (1998). Evaluation of Bamboo Resources in Latin America. A summary of the final report of project No. 96-8300-01-4. International Network for Bamboo and Rattan. Cali (Colombia): Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas. 30 p.
- Londoño, X., Camayo, R. & López, Y.** (2002). Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society*, 16(1), 18-31.
- Kuroda, K., Nishimura, N., Izumi, A. & Dimmel, D.** (2002). Pyrolysis of lignin in the presence of tetramethylammonium hydroxide: a convenient method for S/G ratio determination. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 50, 1022-1027.
- Mei, T., Fang, D., Röhl, A., Niu, F., Hendrayanto & Hölscher, D.** (2015). Water Use Patterns of Four Tropical Bamboo Species Assessed with Sap Flux Measurements. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1202.
- Mohmod, A.L., Tarmeze, W., Ariffin, W. & Ahmad, F.** (1990). Anatomical features and mechanical properties of three Malaysian bamboos. *Journal of Tropical Forest Science*, 2(3), 227-234.
- Mosquera, O., Cortes, J. & Niño, J.** (2008). *Guadua angustifolia* en la Ecorregión cafetera colombiana. 1. Extracción y cuantificación de Lignina insoluble. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 11-17.
- Mosquera, O., Gonzalez, L., Cortés, Y. & Camargo, J.** (2012). Caracterización fitoquímica de los extractos de acetona y contenido de lignina en culmos de *Guadua angustifolia*. *Recursos Naturales y Ambiente*, 65, 10-15.
- Norma Técnica Colombiana –NTC- 5525.** (2007). Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). 22 p.
- Quintero, H. & Henao, J.** (2012). Evaluación de propiedades físico-mecánicas de *Guadua Angustifolia* del Jardín Botánico de la UTP. *Recursos Naturales y Ambiente*, 65, 32-37.
- Reichert, J., Albuquerque, J., Kaiser, D., Reinert, D., Urach, F. & Carlesso, R.** (2009). Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Soul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 1547-1560.
- Rodríguez, J., Camargo, J. & Suarez, J.** (2010). Determinación en campo de la madurez de los culmos de *Guadua angustifolia* Kunth en el Eje Cafetero de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 95-103.
- Rodríguez, J. & Henao, E.** (2013). Cambios en las propiedades físico-mecánicas de culmos de *Guadua angustifolia* como indicadores del estado de madurez. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 26-31.
- Rugeles, S., Posso, T., Londoño, X., Barrera, M. & Muñoz, J.** (2012). Caracterización molecular de *Guadua angustifolia* Kunth mediante marcadores moleculares RAMs. *Acta Agronómica*, 61, 325-330.
- Santhoshkumar, R., & Bhat, K.** (2014). Variation in density and its relation to anatomical properties in bamboo culms, *Bambusa bambos* (L.) Voss. *Journal of Plant Sciences*, 2(3), 108-112.
- TAPPI.** (2006). T 222 om-06. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Leading Technical Association for the Pulp, Paper, and converting Industry. Peachtree Corners: Tappi. 5 p.
- Toshihiro, O., Sonoda, T., Ito, K. & Shibata, M.** (1998). Relations between various extracted basic densities and wood chemical components in *Eucalyptus globulus*. *Journal of Wood Science*, 44, 165-168.
- Wakchaure, M.R., & Kute, S.Y.** (2012). Effect of moisture content on physical and mechanical properties of bamboo. *Asian Journal of Civil Engineering (building and housing)*, 13(6), 753-763.

