

# Evaluación de propiedades físico-mecánicas de *Guadua angustifolia* del Jardín Botánico de la UTP

Edison de Jesús Henao Castañeda<sup>1</sup>, Héctor Fabio Quintero Riaza<sup>2</sup>

## Resumen

Mediante ensayos de compresión, cizalladura y dureza Brinell se buscó establecer la relación entre las propiedades físico-mecánicas y la madurez de culmos de guadua (*Guadua angustifolia*) de diferente sección y edades. Se encontró que el esfuerzo promedio a la compresión es de 24,46 MPa, el esfuerzo promedio al corte es de 9,66 MPa, la dureza Brinell de 0,81 y el módulo de elasticidad de 20,42 GPa. Estos valores demuestran que la resistencia a la compresión, al corte y el módulo de elasticidad aumentan a medida que la sección del culmo es más baja. La resistencia a la compresión y al corte mostró sus mejores valores entre 60 y 72 meses, mientras que el módulo de elasticidad muestra una tendencia casi constante durante los primeros años y empieza a aumentar notablemente después de los 40 meses.

**Palabras clave:** *Guadua angustifolia*; culmo; resistencia; propiedades de la madera; propiedades mecánicas; madurez; etapas de desarrollo.

## Summary

**Physical and mechanical properties of *Guadua angustifolia* from the UTP Botanical Garden.** Using compression, shear and Brinell hardness tests, we sought to establish the relationship between the physical and mechanical properties and maturity of bamboo culms (*Guadua angustifolia*), from different sections and age. The average compressive strength was 24.46 MPa, the average shear force was 9.66 MPa, Brinell hardness was 0.81 and the modulus of elasticity was 20.42 GPa. These values showed that the compressive strength, the shear force and the modulus of elasticity increased at lower culm sections. The compressive strength and the shear strength values were higher at 60-72 months, while the modulus of elasticity showed an early consistent trend, and increased significantly after 40 months.

**Keywords:** *Guadua angustifolia*; culm; resistance; wood properties; mechanical properties; maturity; developmental stages.

<sup>1</sup> Ing. Msc. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira. edisonhenao@utp.edu.co

<sup>2</sup> Ing. Msc. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira. hquinte@utp.edu.co

## Introducción

*Guadua angustifolia* Kunth es un bambú con grandes posibilidades económicas para su utilización en construcción e industria. Por sus excelentes propiedades físico-mecánicas y resistencia, y por ser un material renovable, la guadua es una valiosa alternativa económica (Cruz 1994). En la industria, la guadua podría contribuir a enfrentar la demanda de especies maderables productoras de pulpa. En la construcción, la altura, versatilidad, funcionalidad y durabilidad de la guadua hacen que sea de gran utilidad en la construcción de viviendas, estructuras, puentes, cercos, puertas, conducción de aguas, fabricación de muebles, artesanías, laminados, molduras, tablillas y pisos. Este recurso ha mostrado balances positivos en la economía local de los lugares en donde se desarrollan los bosques de guadua (Castaño y Moreno 2004).

Para lograr productos de calidad, los culmos deben cosecharse en el momento ideal. Si se cosechan muy jóvenes o demasiado maduros, la calidad de los productos decrece y son rechazados por el mercado debido a que no poseen las propiedades físico-mecánicas óptimas. Con este estudio se ha tratado de determinar la posibilidad de relacionar las características dendrométricas y propiedades físico-mecánicas de los culmos con su madurez. El trabajo se sustenta en resultados de investigación realizados en los últimos años por diferentes proyectos de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP); entre ellos, el grupo de Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos y el grupo de Procesos de Manufactura y Diseño de Máquinas. Los resultados alcanzados por ambos grupos han generado impacto en empresas, como el Núcleo Forestal de Guadua

La Esmeralda, y en la comunidad rural del Eje Cafetero de Colombia (Camargo 2008, Morales 2004).

La metodología empleada para determinar las propiedades físico-mecánicas de la guadua se basó en estándares internacionales vigentes (ISO/TR 22157-1.2004 y DIN EN 1534).

## Materiales evaluados

Las propiedades mecánicas del bambú varían según la especie botánica, la edad de corte, la sección del culmo y las propiedades físicas del sitio (Camargo et al. 2008). Los culmos de guadua utilizados para este estudio se obtuvieron del jardín botánico de la UTP (5 ha de guaduales), ubicado a 1430 msnm, con una precipitación promedio de 2500 mm al año y una temperatura media de 21°C. El corte de los culmos se efectuó sobre el primer o segundo nudo por encima del suelo, según lo indi-



Foto: Grupo GATA

La guadua constituye una valiosa alternativa económica por sus características físico-mecánicas y gran cantidad de usos

can las normas ISO/TR 22157-1 e ISO/TR 22157-2 del 2004 y la norma nacional unificada para el manejo de guadua (CAR 2002).

### Clasificación de las probetas

A partir del patrón de crecimiento de la especie, se identificaron los culmos conectados a través de rizomas. Se inició la identificación en culmos pertenecientes a individuos de edad conocida. La edad de la secuencia completa de culmos con distintos grados de madurez y pertenecientes a un mismo individuo se estimó según el seguimiento cronológico. Es importante mencionar que entre 12 y 18 meses después de haber emergido un culmo, puede emerger un segundo a partir del anterior. En la Figura 1 se observa la marcación de una secuencia de siete culmos conectados que hacen parte de un individuo, el número uno es el más joven y el número siete el de mayor edad o madurez.

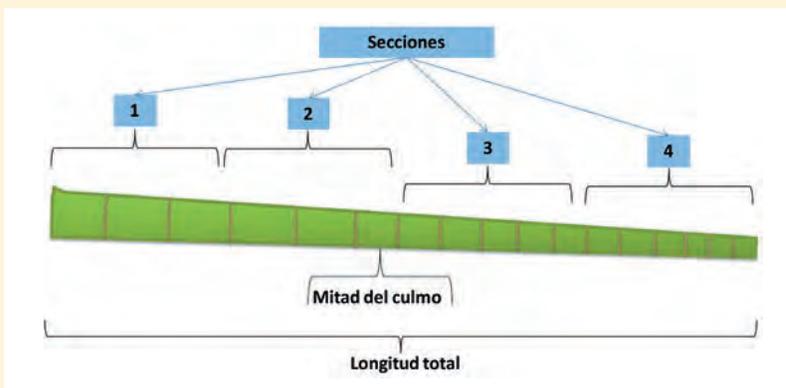
Henao y Rodríguez (2010) presentan estudios que relacionan directamente la resistencia a la compresión y al corte con la madurez del culmo de *Guadua angustifolia*; sin embargo, no evalúan las propiedades en las diferentes secciones. El presente trabajo evalúa las propiedades físico-mecánicas de los culmos en ocho individuos. Cada culmo se seccionó en cuatro partes del siguiente modo: se identificó la mitad del culmo y se partió; cada mitad se dividió de nuevo en mitades, para obtener cuatro secciones. La sección más alta se definió como la zona 4 y la más baja como la zona 1 (Figura 2). Cada sección se dividió, a su vez, en cuatro partes con el fin de obtener 16 probetas en total (cuatro por cada sección). De cada sección, se seleccionaron dos probetas para corte y dos para compresión. De los ocho individuos cortados se obtuvieron 326 probetas para corte y compresión, respectivamente.

Las probetas fueron clasificadas mediante el código siguiente: el



**Figura 1.** Marcación de un individuo de guadua

Fuente: Tomado de Henao y Rodríguez (2010)



**Figura 2.** Secciones del culmo de guadua para la obtención de probetas

Fuente: Tomado de Henao y Rodríguez (2010)

**Cuadro 1.** Estadística descriptiva de las propiedades físico-mecánicas de probetas de *G. angustifolia*

Variables	No. probetas	$\chi$	$\sigma$
Resistencia a la compresión [MPa]	310	24,46	13,03
Resistencia al corte [MPa]	314	9,66	6,52
Dureza Brinell	281	0,81	0,29
Módulo de elasticidad [GPa]	168	20,42	13,53

sitio (Jardín Botánico), un primer número que denota la secuencia de culmos, un segundo número que denota la madurez (1= 12 meses; 2= 24 meses; 3= 30 meses; 4= 36 meses; 5= 48 meses; 6= 60 meses; 7= 72 meses; 8= 84 meses) y un tercer número que indica la sección a la

que pertenece (4= alta; 3= media alta; 2= media baja, 1= baja). Así por ejemplo, la probeta j122 corresponde a un material que proviene del sitio Jardín Botánico, del primer culmo evaluado, con una edad aproximada de 24 meses y de la sección medio baja.

### Equipo utilizado

Los ensayos se realizaron en tres máquinas del laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UTP. Los equipos empleados fueron un escleroscopio HP-250 marca Wekstoffprüfmaschinen, para los ensayos de dureza Brinell; una máquina universal de ensayos WPM ZD 40 para los ensayos de corte y una máquina universal de ensayos Mod. UMIB-600-SW para las pruebas de compresión.

### Resultados

En el Cuadro 1 se detallan los ensayos realizados y los valores hallados junto con su desviación estándar.

#### Resultados por sección del culmo

La resistencia a la compresión (Figura 3) y la resistencia al corte (Figura 4) disminuyen a medida que aumenta la sección del culmo; asimismo, la dureza Brinell tiende a aumentar a medida que la sección es más alta (Figura 5), mientras que el módulo de elasticidad tiende a disminuir a medida que la sección del culmo es más alta (Figura 6). Es evidente, entonces, que la sección más baja del culmo posee las mejores propiedades físico-mecánicas y, por ende, es la sección de mayor aceptabilidad comercial.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se comprobó que la resistencia a la compresión y al corte tienden a aumentar a medida que la sección del culmo es más baja. La guadua posee buenas propiedades físico-mecánicas. El esfuerzo promedio a compresión es de 24,46 MPa, el esfuerzo promedio al corte de 9,66 MPa, la dureza Brinell de 0,81 y un módulo de elasticidad de 20,42 GPa. Al analizar la dureza Brinell por sección de culmo, muestra una tendencia a aumentar a medida que la sección del culmo es más alta, siendo la sección 4 la que presenta el mayor valor.

#### Resultados por madurez del culmo

Henaó y Rodríguez (2010) encontraron que la guadua presenta sus mejores propiedades entre los 60 y los 70 meses después de emerger del suelo y luego empiezan a

decrecer. El ensayo de resistencia a la compresión corrobora tal afirmación (Figura 7), pues muestra cómo se alcanza un valor óptimo con la madurez y luego inicia el descenso. La tendencia de la resistencia al corte se muestra en la Figura 8; al

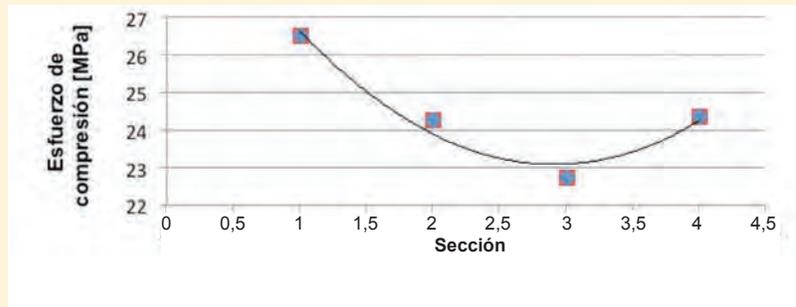


Figura 3. Tendencia del esfuerzo a compresión por sección del culmo

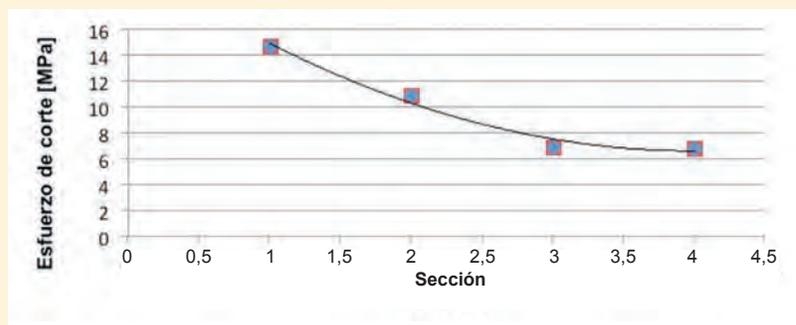


Figura 4. Tendencia del esfuerzo al corte por sección del culmo

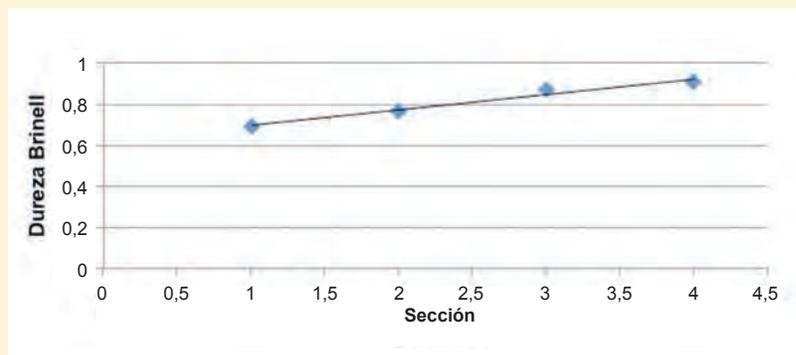


Figura 5. Tendencia de la dureza Brinell por sección del culmo

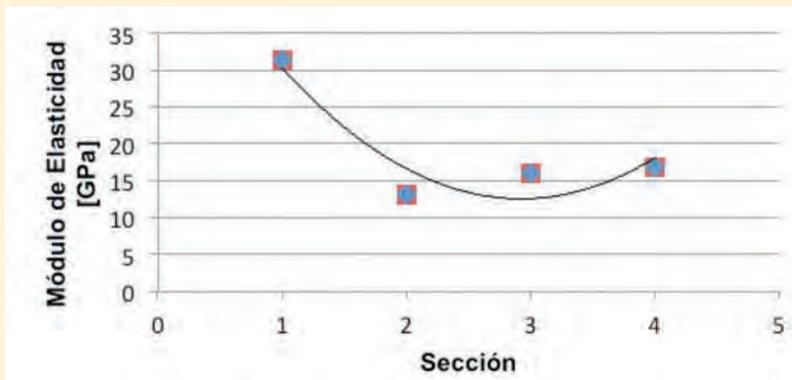


Figura 6. Tendencia del módulo de elasticidad por sección del culmo

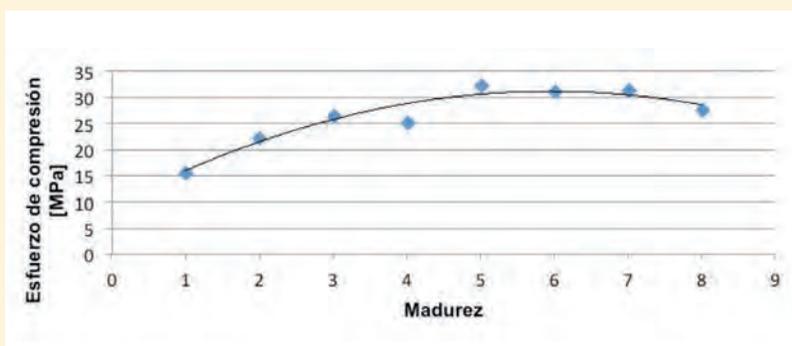


Figura 7. Tendencia de la resistencia a la compresión por madurez del culmo

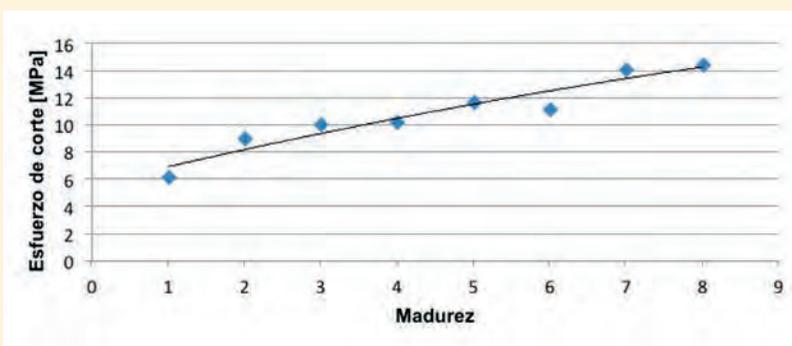


Figura 8. Tendencia de la resistencia al corte por madurez del culmo

igual que la resistencia a la compresión, aumenta con la madurez pero no decrece en ningún momento. La tendencia de la dureza Brinell, por su parte, muestra un valor casi constante para diferentes edades

(Figura 9); probablemente, esto se debe a que la dureza es una propiedad de la capa superficial del culmo. Finalmente, la tendencia del módulo de elasticidad (Figura 10) muestra valores casi constantes en culmos

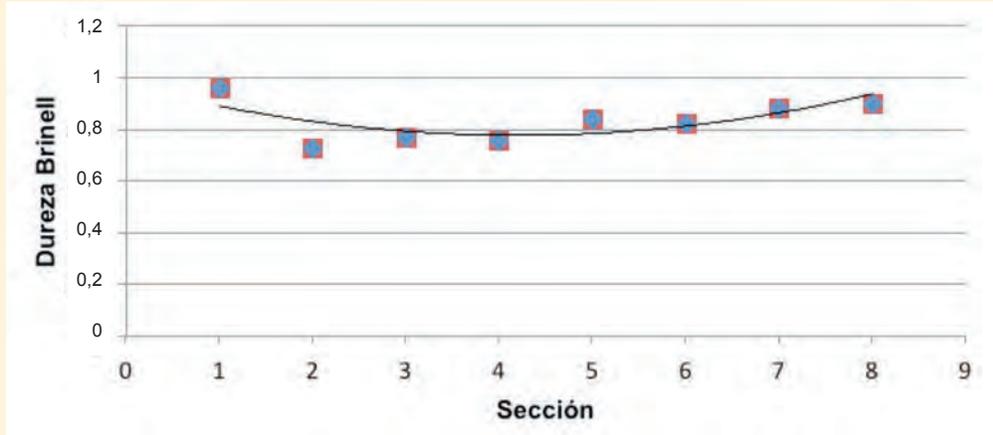
jóvenes y empieza a aumentar hacia los 40 meses, lo que hace pensar que el módulo de elasticidad también se relaciona con la madurez del culmo.

Estos resultados confirman las excelentes propiedades físico-mecánicas de la guadua.

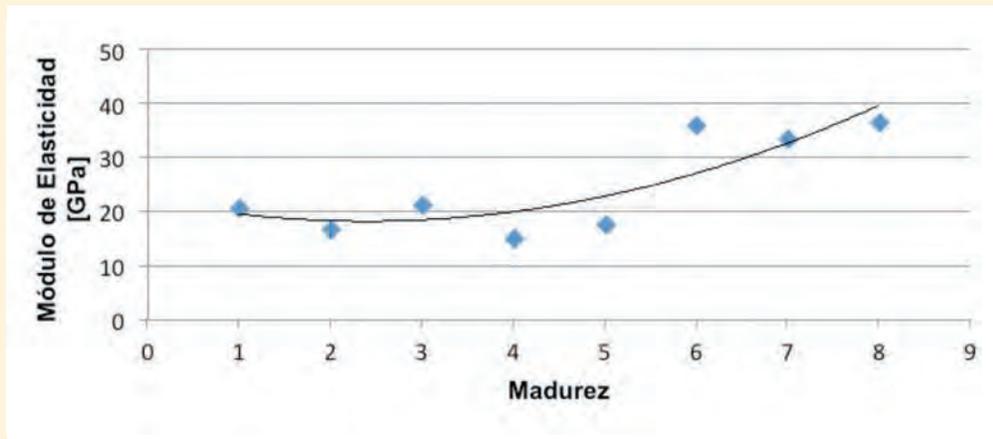
Mediante el análisis, se encontró que la resistencia a la compresión y al corte están directamente relacionados con la madurez del culmo; estas propiedades aumentan con la edad del culmo y presentan sus mejores valores entre los 60 y 72 meses. Después de esta edad, la resistencia a la compresión decrece. Además la dureza Brinell no tiene relación alguna con la madurez, posiblemente debido a que la dureza es una propiedad de la capa superficial del culmo.

### Conclusiones

- La dureza Brinell más alta por sección de culmo se encontró en la sección 4.
- Mediante el ensayo y análisis, se encontró que la resistencia a la compresión y al corte están directamente relacionadas con la madurez del culmo de guadua. Estas propiedades aumentan con la edad del culmo y presentan sus mejores valores entre los 60 y 72 meses. Después de los 72 meses, los valores de resistencia a la compresión decrecen.
- Se esperaba que, al igual que la resistencia a la compresión, la resistencia al corte también disminuyera a partir de cierta edad; sin embargo, no se logró comprobarlo. Es necesario evaluar culmos de mayor edad para verificar esta tendencia.
- El módulo de elasticidad, al igual que la resistencia a la compresión y al corte, tiende a aumentar a medida que la sección es más baja; la relación con la madurez muestra una tendencia casi constante durante los primeros años y empieza a aumentar a partir de los 40 meses.



**Figura 9.** Tendencia de la dureza Brinell por madurez del culmo



**Figura 10.** Tendencia del módulo de elasticidad por madurez del culmo

### Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a Colciencias (Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia) por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación, mediante el proyecto "Tecnología para definir la madurez del culmo de *Guadua angustifolia*: una contribución al desarrollo forestal del Eje Cafetero colombiano" (Código No. 1110452-21121; Contrato 442-1-2008).

### Literatura citada

- Camargo, J.C. 2008. Sistema integral de gestión del proyecto "Tecnología para definir la madurez del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth: una contribución al desarrollo forestal del eje cafetero colombiano". Pereira, Colombia.
- Camargo, J.C.; Morales, T.; García, J.H. 2008. Inventario y mensura forestal para el manejo sostenible de bosques de guadua. Pereira, Colombia, UTP / Colciencias / Grupo de Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. 94 p.
- CAR (Corporaciones Autónomas Regionales del Eje Cafeteros). 2002. Norma unificada en guadua: reglamentación para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guadua, caña brava y bambúes. Proyecto Manejo Sostenible de Bosques en Colombia (Convenio 021 de 2001).
- Castaño, F.; Moreno, R. 2004. Guadua para todos: cultivo y aprovechamiento. Bogotá, Colombia, Proyecto manejo sostenible de bosques de Colombia. 190 p.
- Cruz, H. 1994. La guadua, nuestro bambú. Armenia, Quindío, Colombia, Corporación Autónoma del Quindío y Centro Nacional para el estudio del bambú y la guadua. 293 p.
- DIN EN 1534. Determination of resistance to indentation (Brinell)-Test method. European Standard.
- Henao, E.; Rodríguez, J.A. 2010. Cambio en las propiedades físico-mecánicas de culmos de *Guadua angustifolia* como indicadores del estado de madurez. Recursos Naturales y Ambiente No. 61: 26-31.
- ISO TR 22157-1. Bamboo: determination of physical and mechanical properties. Part 1. Laboratory manual. International Organization for Standardization. 19 p.
- ISO TR 22157-2. Bamboo: determination of physical and mechanical properties. Part 2. Laboratory manual. International Organization for Standardization. 19 p.
- Morales, T. 2004. Modelos de tratamiento silvicultural para la optimización de la rentabilidad financiera en el manejo y aprovechamiento de la guadua, Región del Eje Cafetero, Colombia. Tesis de Maestría. Pereira, Colombia, UTP. 114 p.