

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE POISSON DE LA *Guadua angustifolia* Kunth A PARTIR DE PROCESAMIENTOS DE IMÁGENES Y SU RELACIÓN CON LA ESTRUCTURA INTERNA

Jairo Alexander Osorio Saraz¹; Juan Manuel Vélez Restrepo² y
Héctor José Ciro Velásquez³

RESUMEN

En esta investigación se propuso determinar los valores de la relación de Poisson para la Guadua angustifolia Kunth, en la cepa y la basa del culmo, además de analizar la incidencia que ejerce la estructura interna en dicha propiedad. Los resultados indicaron que la relación de Poisson depende significativamente de la estructura del material variando entre 0,22 y 0,35 haciéndolo un producto biológico altamente heterogéneo y anisotrópico. Además, los análisis de estructura interna de tejido conductivo, parénquima y tejidos de fibras, indicaron que estos componentes varían a través de la sección transversal del culmo de la guadua.

Palabras Claves: *Guadua angustifolia Kunth*, relación de Poisson, microestructura.

ABSTRACT

DETERMINATION OF POISSON'S RATIO OF THE *Guadua angustifolia* Kunth USING IMAGE PROCESSING AND ITS RELATIONSHIP WITH THE MICROSTRUCTURE

The technique of image processing was applied to determine the values of the Poisson's ratio for the Guadua angustifolia Kunth, in the "cepa" and the "basa" of the element, besides to analyze the incidence of its internal structure in this property. The results indicated that the Poisson's ratio depends upon the material structure reaching values between 0,22 and 0,35 making of this biological product a material highly heterogeneous and anisotropic. In addition the microstructure analysis of conductive tissue, parenchyma and fibers, indicated that these components vary through the cross-sectional section of the guadua element.

Key-Words: *Guadua angustifolia Kunth*, Poisson's ratio, microstructure.

¹ Profesor Asistente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <aosorio@unalmed.edu.co>

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de MInas. A.A. 1027, Medellín, Colombia. <jmvelez@unalmed.edu.co>

³ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <hjciro@unalmed.edu.co>

Recibido: Diciembre 1 de 2006; aceptado: Agosto 13 de 2007.

A lo largo de la cultura del eje cafetero y últimamente en departamentos como Cundinamarca y Antioquia es común el uso de la *Guadua angustifolia* Kunth (GAK) en diversos aspectos, principalmente en sistemas constructivos (culmos estructurales) y últimamente en la fabricación de pisos y tabletas para laminados, dándole un mayor valor agregado al material.

En el plano internacional el bambú ha sido ampliamente utilizado, para lo cual se tienen reportes desde mediados de los años 70, en cuanto investigaciones se refiere, donde sobresale el uso como elemento estructural combinado con otros materiales como el concreto. Al igual que en Colombia el uso en procesos de manufactura como fabricación de laminados y paneles ha sido ampliamente difundido, percibiendo de esta manera en el bambú como un material altamente competitivo en calidad y costos comparado con otros componentes tradicionales.

El género *Guadua* reúne las 30 especies de bambúes más grandes y económicamente más importantes de América Tropical, que se distribuye desde México hasta el norte de Argentina, y desde el nivel del mar hasta un máximo de 2600 m, sobre todo en las bajas altitudes (0-1500 m) y en las regiones húmedas. Los únicos lugares en donde la *Guadua* no crece espontáneamente son Chile y las islas del Caribe (Judziewics *et al.*, 1999).

Según Castaño y Moreno (2004), Colombia, Ecuador y Venezuela son los países donde esta especie crece de manera natural, aunque ha sido

introducida a varios países de Suramérica, Ceonroamérica y el Caribe, e inclusive a algunos de Asia, América del Norte y Europa.

A nivel de estudios de microestructura en *Guadua* sobresalen las investigaciones realizadas por Londoño, Riaño y Camayo (2002); Moreno (2002), los cuales encontraron diferencias en cuanto a la composición, predominando en mayor porcentaje, los tejidos de parénquima y fibras con respecto a los tejidos conductivos en la sección transversal del culmo. Situación similar encontró Líese (1998), en especies de bambú, el cual a su vez definió que las propiedades de los culmos de bambú están determinadas por su estructura anatómica, siendo ésta responsable de las propiedades mecánicas y por tanto el uso final del material. Londoño, Riaño y Camayo (2002), establecieron en un corte transversal del culmo de la *G. angustifolia* Kunth (GAK) una diferenciación de cuatro zonas: a) periferia, que corresponde al 4,5% del espesor de la pared del culmo; b) transición, que corresponde al 10,7%; c) media, que corresponde al 73,9% y d) interna, que corresponde al 10,8% del espesor de la pared del culmo.

A pesar de sus amplios usos y que la mayoría de las investigaciones se han concentrado en el estudio de la resistencia mecánica a nivel macro del material y detalles a nivel biológico y taxonómico, no existe ninguna investigación acerca de la relación de Poisson y casi nula la investigación con su relación a nivel micro estructural, que indiscutiblemente toma gran importancia en el análisis del material, ya que determina las deformaciones absolutas y relativas de los

culmos, situación esta crítica en el diseño estructural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo se realizó en los laboratorios de Metalografía y de Construcciones Rurales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, a condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa de 22°C y 65%, respectivamente.

Metodología. Se utilizó la parte inferior correspondiente a la zona de la cepa (entrenudos del 0 al 16) y de la basa (entrenudos del 16 al 30) de la GAK, forma cebolla.

Los culmos o tallos fueron seleccionados al azar, con diámetros mayores a los 10 cm medidos a una altura de 1,20 m, los cuales fueron curados en la mata durante 22 días y secados naturalmente en un tiempo de 30 días, con el fin de garantizar porcentajes de humedad en el material menores del 20% en base seca.

La sección transversal de la guadua se dividió en tres capas, aunque Londoño, Riaño y Camayo (2002), reportan la presencia de cuatro capas o zonas en el espesor total: periferia y transición que se denominó como zona externa y correspondió al 15,3% del espesor total; la zona media con un 73,9% del espesor total y la zona interior con un 10,8 % del espesor total (Figura 1).

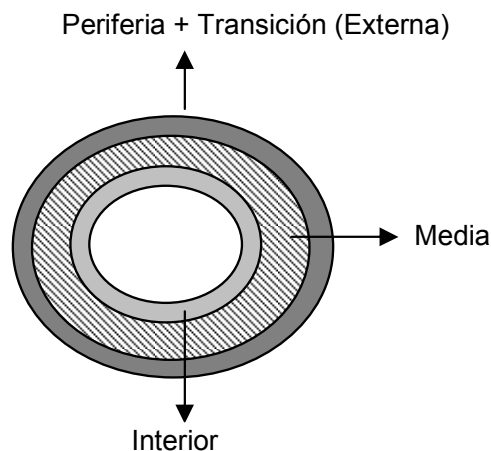


Figura 1. Vista transversal de la pared del culmo de guadua.

La caracterización de la estructura interna se realizó a nivel de la basa en cada una de las capas identificadas, en donde se determinó el área de parénquima, fibra y de tejido conductivo, en términos de porcentaje de área en relación con el espesor total del

material, a través de la técnica de procesamiento de imágenes usando MatLab versión 6.5. Para ello se emplearon cuatro muestras por capa seleccionada, para un total de 24 imágenes procesadas, 12 para la cepa y 12 para la basa.

La relación de Poisson para el espesor total como para cada capa analizada se obtuvo a partir de la expresión (1), sometiendo el material a deformaciones bajo cargas axiales de compresión constantes.

$$\nu = -\frac{E_x}{E_y} \left| \frac{\text{Deformación unitaria lateral}}{\text{Deformación unitaria axial}} \right| \quad (1)$$

El dimensionamiento de las probetas, se realizó con base en la norma ASTM D 143 – 94 y la norma del INBAR ISO TC -165, para pruebas de bambúes a compresión, tomando longitudes de probetas cuatro veces mayor al espesor del culmo (Figura 2).

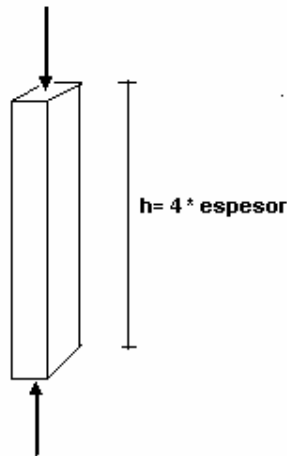


Figura 2. Probetas falladas a compresión

Tanto para las muestras antes y después de la carga, se les tomaron fotos digitales, las cuales fueron procesadas por la técnica de procesamiento de imágenes utilizando la herramienta de Matlab versión 6.5. A su vez fueron caracteri-

zadas geoméricamente midiendo sus dimensiones cómo característica.

En la determinación de la relación de Poisson, se tomaron cuatro repeticiones por cada capa: externa, media, interna y total en la cepa y la basa. Los valores encontrados fueron sometidos a un análisis de varianza y pruebas de diferenciación mínima significativa a través de los intervalos LSD (Intervalos de diferenciación significativa mínima) a un nivel de significancia del 5%. Además se establecieron correlaciones múltiples para determinar la incidencia de la estructura interna en la relación de Poisson a nivel de la basa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 3 muestra la distribución de las células de fibra, parénquima y de tejido conductivo según su porcentaje en la sección transversal del culmo en la basa. Los resultados muestran que en función de la zona de tipificación, la variación es más alta para los tejidos de fibra con respecto a los tejidos de parénquima y conductivo.

Además, se observa que el porcentaje de parénquima aumenta de la zona externa hacia la interna, situación contraria ocurre para el tejido de fibras, donde se presenta una disminución de la zona externa hacia la interna. Para el tejido conductivo, no existe una tendencia significativa según la zona de tipificación. En este caso el porcentaje de tejido conductivo es similar entre la zona interna y externa y aumenta levemente para la zona media.

En promedio la distribución de tejidos en la zona transversal de un culmo de la GAK

es mayor para las fibras, seguido de parénquima y tejido conductivo. Esta distribución de células en la basa de la GAK, coincide con los resultados encon-

trados y reportados por Liese (1998), en la pared de *Phyllostachys makinoi* y los reportados por Londoño, Riaño y Camayo (2002), en el espesor total de la GAK.

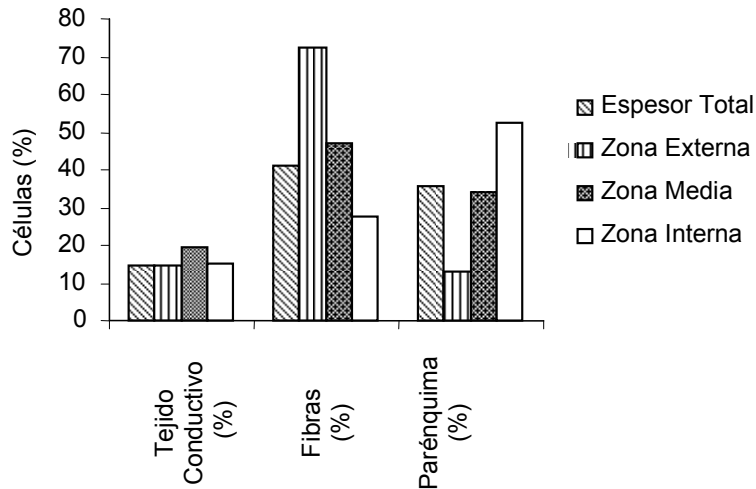


Figura 3. Distribución de células de fibras, parénquima y tejido conductivo en culmos de guadua.

Un análisis de varianza a un nivel $P = 0,05$ para cada zona de muestreo (Cepa y basa) encontró que cada capa de manera particular, tiene un efecto significativo sobre la variable relación de Poisson ($P < 0,05$).

Teniendo presente el efecto significativo de las capas sobre la relación de Poisson, en la Figura 4, se presentan los intervalos LSD a un nivel $P = 0,05$. Los resultados indican que para la Basa la relación de Poisson es estadísticamente menor en la capa externa con respecto a la capa interna y media. Para la cepa, la relación de Poisson en la capa externa es menor estadísticamente con respecto a las capas internas y media, siendo estas dos últimas estadísticamente iguales a un

nivel de confianza del 95%. Lo anterior muestra que el material es altamente anisotrópico y heterogéneo, donde las deformaciones absolutas en la capa externa, son menores con respecto a las deformaciones laterales que podría experimentar un culmo, sometido a compresión en sus capas interna y media.

En la Figura 5 se expresa el valor de la relación de Poisson según la capa y zona de muestreo, indicando que la relación de Poisson es mayor en la basa con respecto a la cepa, tanto en el espesor total como en cada una de las capas analizadas. Lo anterior debido a que en la basa existe menor porcentaje de fibra en todo el espesor de la pared, en

comparación con la cepa, por tanto se presenta mayor deformación lateral en la basa y por ende valores un poco mayores de la relación de Poisson.

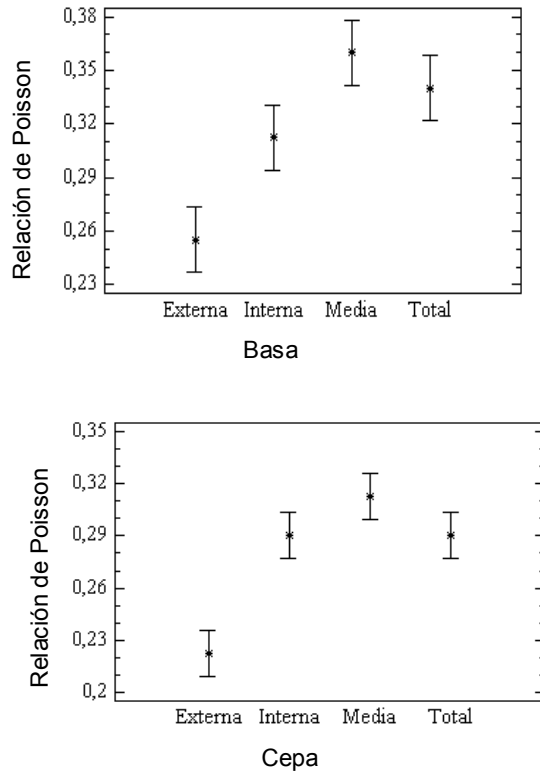


Figura 4. Intervalos LSD para cepa y basa en culmos de guadua.

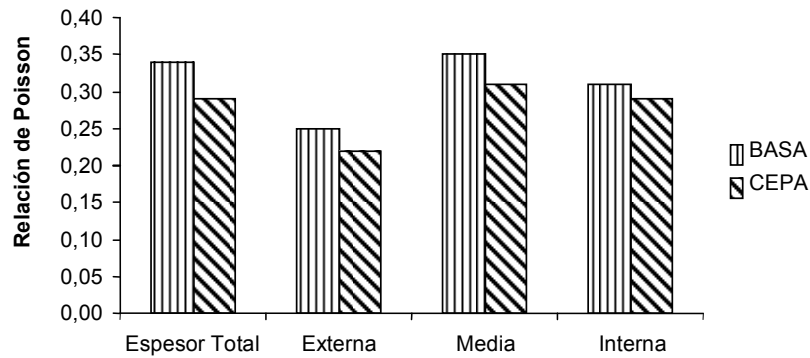


Figura 5. Relación de Poisson para la basa y la cepa en culmos de guadua.

La Figura 6, muestra el comportamiento de la relación de Poisson con la estructura interna en la basa, donde se aprecia que en todas las capas analizadas y en el espesor total el tejido conductivo presente en menor porcentaje, no existe una incidencia notable.

En la capa total y media, el porcentaje de fibras y de parénquima inciden muy

similarmente en la relación de Poisson, en donde el porcentaje de fibras tiende a rigidizar el material y permite menores deformaciones laterales. Lo anterior hace que la relación de Poisson en estas capas no difiera significativamente, ya que en la capa total cuando se somete a esfuerzos de compresión, la mayor área que presenta contacto con la carga en dirección axial, es la capa media.

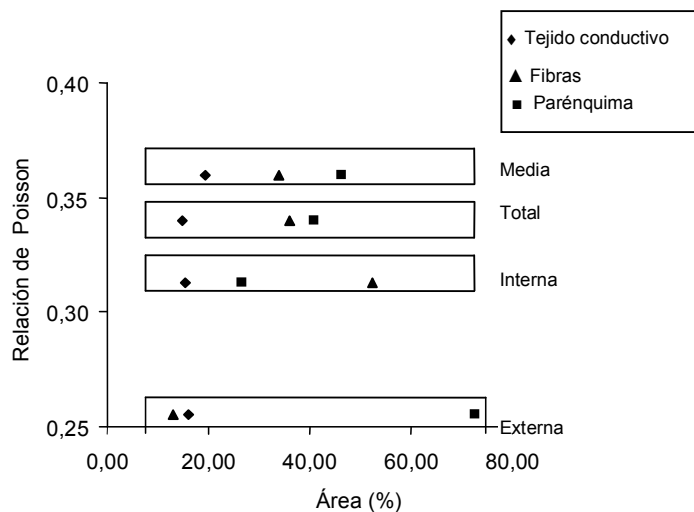


Figura 6. Relación de Poisson con la estructura interna en las capas de culmos de guadua.

En la zona externa, el porcentaje de fibra actúa en mayor porcentaje en los valores de la relación de Poisson, comparado con el parénquima y el tejido conductivo, lo que permite una menor deformación lateral, dando lugar a que en esta capa, se obtengan menores valores que en las otras capas.

La capa interna se encuentra influenciada en mayor porcentaje por las células de parénquima, aspecto que se considera lógico, ya que en esta capa

es el tipo de células que mayor área ocupa, y permiten mayores deformaciones laterales.

La Figura 7, muestra una comparación de la relación de Poisson con otros materiales reportados por Gere (2000). Se observa que los valores en guadua, presentan diferencias significativas comparados con otras maderas como son el pino y el roble, aspecto que se debe al grado de flexibilidad que imprime la matriz fibra-parénquima, además, a que

la distribución de las fibras en las otras especies son radiales y tangenciales, mientras que en la guadua la disposición de las fibras son en sentido longitudinal, es decir paralelo al culmo o tallo, lo que permite una mayor deformación lateral.

Los valores de relación de Poisson de la guadua presentan valores muy cercanos a otros materiales metálicos como el aluminio, el platino, e incluso el acero, lo que da muestra de la gran flexibilidad que posee el material.

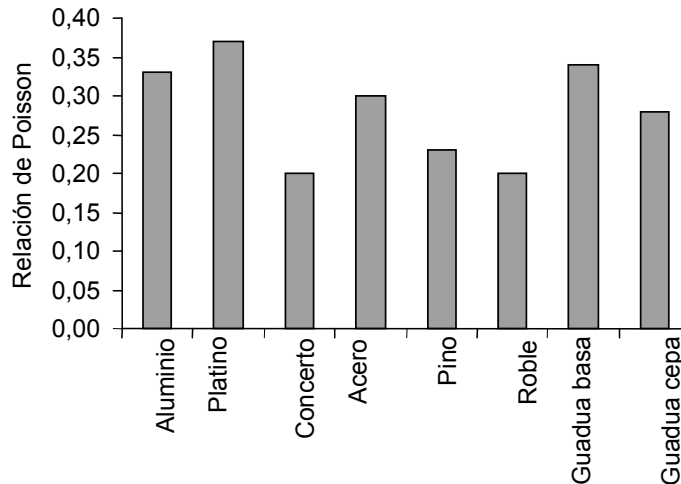


Figura 7. Relación de Poisson en materiales metálicos y vegetales.

La Tabla 1 muestra los modelos ajustados por regresiones múltiples y lineales simples a un nivel de significancia del 95% aplicado a cada capa de la basa. Se observa una rela-

ción positiva del porcentaje de fibra en la capa externa y una relación negativa del porcentaje de fibra con la capa interna, lo que concuerda con el comportamiento dado en la Figura 5.

Tabla 1. Coeficientes de ajuste lineales según la capa en culmos de guadua.

Capa	Valores ajustados			R ²	Valor P
	A	X ₁	X ₂		
Total	0,032	-0,000904	0,009391	0,98	0,032
Externa	0,37	0	-0,00856	0,89	0,048
Media	1,27	-0,020687	0,000904	0,94	0,035
Interna	1,42	-0,040533	0	0,92	0,041

La capa media y total, presenta una relación directa positiva con el porcentaje de parénquima y negativa con el de fibras, lo cual puede ser debido a que el parénquima permite mayor deformación lateral mientras las fibras no lo permiten por su posición longitudinal en el culmo. Estos modelos, permiten predecir de la tendencia de valores de Poisson frente a la conformación de la estructura interna tanto del espesor total, como de cada capa, más no del comportamiento del material dado la anisotropía de este compuesto.

El modelo seleccionado (expresión 2) con base en los valores del coeficiente de ajuste que se encuentran en la Tabla 1, fue el siguiente:

$$Y = A + \alpha X_1 + \beta X_2 \quad (2)$$

Donde:

A= Constante independiente
 α = Porcentaje de parénquima
 β = Porcentaje de fibra
 $X_1; X_2$ = Constantes

Este modelo puede ser utilizado para los valores de porcentajes de fibras y de parénquima dados en la Figura 3.

CONCLUSIONES

La relación de Poisson en *Guadua angustifolia* Kunth (GAK) es una propiedad mecánica que depende significativamente de la estructura del material y cuyos valores varían entre 0,22 y 0,35 mostrando la alta anisotropía del material.

Existe una alta relación entre el contenido de parénquima y mayores valores de la relación de Poisson, principalmente en la zona interna, que es donde mayor espacio de parénquima existe. En las zonas externas y medias que presentan mayor porcentaje de fibras, se obtuvieron menores deformaciones laterales, dando origen a mayores valores de relación de Poisson.

La evaluación para determinar la incidencia de la estructura interna se realizó únicamente a nivel de la basa, ya que la cepa presenta la misma estructura interna que la basa, y la única variable son los porcentajes de células para cada una de las capas analizadas; por tanto, para conocer la incidencia de dicha estructura en el material, es suficiente analizar solamente una parte del culmo.

BIBLIOGRAFÍA

- Castaño, F. y R.D. Moreno. 2004. *Guadua para todos: cultivo y aprovechamiento*. Panamericana Formas e Impresos, Bogotá, Colombia. 188 p.
- Gere, J.M. 2000. *Mechanics of materials*. 5th ed. Brooks/Cole Publishing, New York. 926 p.
- Judziewics, J.E., L.G. Clark, X. Londoño and M.J. Stern. 1999. *American bamboos*. Smithsonian Institution, Washington D.C. and London. 92 p.
- Liese, W. 1998. *The anatomy of bamboo culms*. Beijing, International Network for Bamboo and Rattan, INBAR, China. 204 p. (Technical Report N° 18).

Londoño, X., N.M. Riaño y G.C. Camayo. 2002. Estudio anatómico de los diferentes órganos de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), con énfasis en el culmo. Corporación Regional Autónoma del Quindío – Sociedad Colombiana del Bambú - Federación Nacional de

Cafeteros de Colombia –CENICAFE, Chinchiná, Colombia. 38 p.

Moreno, R.D. 2002. Actores del manejo sostenible de la guadua. Panamericana Formas e Impresos, Bogotá, Colombia. 54 p.