

# EFFECTOS DE ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOS Y GEOMÉTRICOS EN LA RESISTENCIA DE DISEÑO A FLEXIÓN DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

## EFFECT OF PHYSICAL AND GEOMETRICAL FACTORS OF GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

JAIRO ALEXANDER OSORIO S

*Instructor Asociado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.  
A.A.1779, Medellín, Colombia. <aosorio@unalmed.edu.co*

HÉCTOR JOSÉ CIRO V

*Profesor Asistente. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.  
A.A.1779, Medellín, Colombia. <hjciro@unalmed.edu.co*

JUAN MANUEL VÉLEZ

*Profesor Asociado. Escuela de Materiales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.  
A.A 1027, Medellín, Colombia. <jmvelez@unalmed.edu.co*

Recibido para revisar 17 de Marzo de 2004, aceptado 26 de Julio de 2004, versión final 20 de Agosto de 2004

**RESUMEN:** Esta investigación tuvo como objetivo determinar el efecto que presentan algunos factores geométricos y físicos tales como el diámetro externo, longitud del elemento, espesor de la pared y contenido de humedad respectivamente, en la carga evaluada en el límite de proporcionalidad para elementos de *Guadua angustifolia kunth*. De acuerdo a la metodología descrita por Díaz y González (1992), Guaduas forma macana fueron sometidas a flexión pura en luces que varían entre 2,5m y 3,0m. Los resultados estadísticos mostraron que para contenidos de humedad de 9%-12% base seca, longitudes de 2,5m-3m, no hay efecto de estas variables ni del espesor de la pared en la carga al límite de proporcionalidad pero si hay relación del diámetro promedio externo de la sección transversal del elemento.

**PALABRAS CLAVES:** *Guadua angustifolia kunth*, flexión estática, límite de proporcionalidad, carga de diseño.

**ABSTRACT:** In this research the effect of geometrical and physical factors of *Guadua angustifolia kunth* such as external diameter, length, wall thickness and moisture content on the proportional limit was studied. According to the methodology used by Diaz and González (1992) *Guadua* specimens were subjected to pure flexure test with span length that varies between 2,5m to 3m.

The statistical results showed that for moisture contents between 9%-12% dry basis and lengths of 2,5m to 3 m, these parameters in addition with the wall thickness have not effect on the proportional limit but there is an effect of the external diameter on the proportional limit of the *Guadua*.

**KEY-WORDS:** *Guadua angustifolia kunth*, static flexure, proportional limit, design load.

## 1. INTRODUCCIÓN

La *Guadua angustifolia Kunth* es una especie endémica del Neotrópico y representa un recurso muy valioso especialmente en las zonas rurales, siendo popularmente catalogada con fines estructurales como el acero vegetal.

La *Guadua* posee propiedades estructurales sobresalientes, que no sólo superan a las de la mayoría de las maderas sino que además pueden ser comparadas con las del acero y algunas fibras de alta tecnología. Esta especie vegetal absorbe gran cantidad de energía, admite grandes niveles de flexión y que por lo tanto sería ideal para levantar construcciones sismoresistentes a costos muy bajos y posiblemente con niveles de confiabilidad y seguridad adecuados.

La *Guadua* como material ingenieril, actualmente es usada en Colombia y a nivel mundial, como elemento estructural en esquemas de construcción destinado para vivienda, puentes y estructuras de soporte. Sin embargo a pesar de sus amplios usos, en Colombia la investigación e información disponible que se tiene acerca de la caracterización de resistencia mecánica que ofrece este elemento ingenieril con fines estructurales y su relación a aspectos inherentes propios del material, realmente puede considerarse deficiente comparadas con las bondades e importancia que ofrece el material.

La falta de caracterización de resistencia mecánica de este elemento puede desencadenar fallas de carácter técnico al momento de diseñar estructuras de ingeniería, situación esta que podría elevar la probabilidad de falla de la estructura y poner en riesgos vidas humanas. Por lo tanto, es necesario implementar investigaciones tendientes a definir la resistencia mecánica de este material vegetal con el objetivo de establecer parámetro de diseño que sean utilizados con fines estructurales.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

En el país se han realizado algunos ensayos sobre la resistencia de la *Guadua angustifolia kunth* en el límite proporcional,

obteniéndose variaciones poco significativas en los valores obtenidos en algunos casos.

Mejía (1985) analizando flexión pura en Guaduas, encontró esfuerzos en el límite proporcional (RLP) de 37,24 MPa y módulos de elasticidad de 9,39GPa, respectivamente. Sin embargo, González et al., (2002), fallando elementos de *Guadua* forma macana a flexión en escala natural, encontraron esfuerzos en el límite proporcional de 34,006 MPa y un módulo de elasticidad 10,69 GPa. Además, determinaron una expresión para la carga última o rotura del elemento en función del diámetro externo, espesor de la pared, longitud del elemento y contenido de humedad.

Usando *Guadua* macana y *Guadua* Cebolla, Díaz y González (1992) determinaron los esfuerzos en el límite proporcional y el módulo de elasticidad en probetas sometidas a flexión entre 0,5 y 0,8 m de longitud. Estos resultados indicaron valores promedios del esfuerzo al límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad de 36,358 MPa y 11,4 GPa, respectivamente. Además, los últimos ensayos a flexión reportados hasta la fecha fueron realizados por López y Cheatle (2002) y Janssen (2002). Los resultados de estas investigaciones determinaron esfuerzos admisibles promedios de 15 MPa y resistencia al límite de rotura de 76 a 275 MPa, respectivamente.

Por otra parte Vijay (1991), reportó que para algunos bambúes estudiados en India cuando son sometidos a flexión pura, la resistencia que se presenta en su capa externa es aproximadamente un 30% mayor que la de la capa interior, siendo esta la que mayor influencia presenta en la resistencia final del elemento.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de Productos Forestales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

El material para los ensayos fue extraído del Centro Agropecuario Cotové de la Facultad

de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, ubicado en el municipio de Santafé de Antioquia a 2 km de la cabecera municipal en la vereda el Espinal, con una altura de 550 msnm, 26,3°C de temperatura y una precipitación anual 1244 mm.

### 3.2 METODOLOGÍA

Para el estudio se seleccionó entre la población de Guaduas las mayores de 4 años (maduras), libres de deformaciones y ataques de plagas o enfermedades, óptima para la construcción de todo tipo de estructura liviana. De las Guaduas seleccionadas se utilizó la basa y sobrebasa del elemento tomando materiales cuyas longitudes variaron entre 2,5m y 3m, los cuales fueron sometidos a ensayos de flexión con cargas ascendentes localizadas en el tercio de la longitud del elemento, usando la máquina de ensayo universal "Marco de Carpa" a una velocidad de carga de 0,001 mm/seg. Las lecturas del ensayo de flexión fueron obtenidas cada intervalo de carga de 222,5 N. Para cada elemento cargado y a través de la información gráfica carga versus deformación fue obtenida la fuerza al límite de proporcionalidad.

El material seleccionado fue secado naturalmente hasta alcanzar contenidos de humedad en base seca entre 9%-12%. Posteriormente, a cada uno de los 18 elementos se le caracterizó geoméricamente midiendo el espesor de las paredes en los puntos extremos, longitud y diámetros externos promedios.

Una vez definida la carga en límite de proporcionalidad, se utilizó la siguiente relación encontrada por Díaz y González (1992) para determinar los esfuerzos al límite de proporcionalidad:

$$RLP = \frac{8 * Plp * L * D}{\pi * (D^4 - Di^4)} \quad (1)$$

Donde:

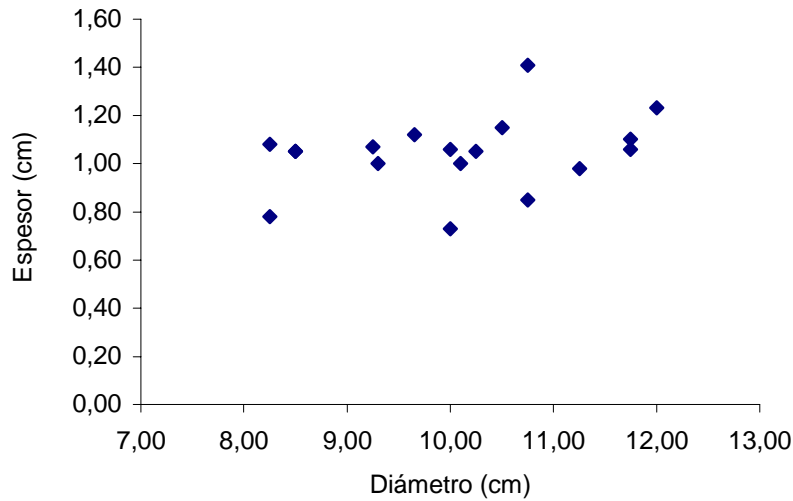
- RLP: Esfuerzo en el límite proporcional (Pa)
- Plp: Carga en el límite proporcional (N).
- D: Diámetro externo (m).
- Di: Diámetro interno (m).
- L: Luz del elemento (m).

Posteriormente se comenzaron a correlacionar y analizar estadísticamente cada uno de los parámetros físicos y geoméricos con la variable dependiente carga en el límite de proporcionalidad (CPLP), a través de diagramas de dispersiones, regresiones múltiples y lineales y pruebas de Duncan al 5%.

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio y utilizando la expresión (1), se encontró que el esfuerzo en el límite proporcional (RLP) es de 34,35 MPa, difiriendo en 1% de los resultados obtenidos por González et al., (2002), para la misma especie y forma de Guadua recolectada en el mismo lugar. Lo anterior indica una confiabilidad en los valores obtenidos, el cual puede ser utilizado en los diseños de elementos sometidos a flexión.

Con el fin de buscar una relación entre algunos de los parámetros físicos y geoméricos de la *Guadua angustifolia kunth*, como elemento, con la carga en el límite de proporcionalidad, se realizaron los diagramas de dispersión, los cuales se muestran en las Figuras 1,2,3,4,5 y 6, a partir de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:



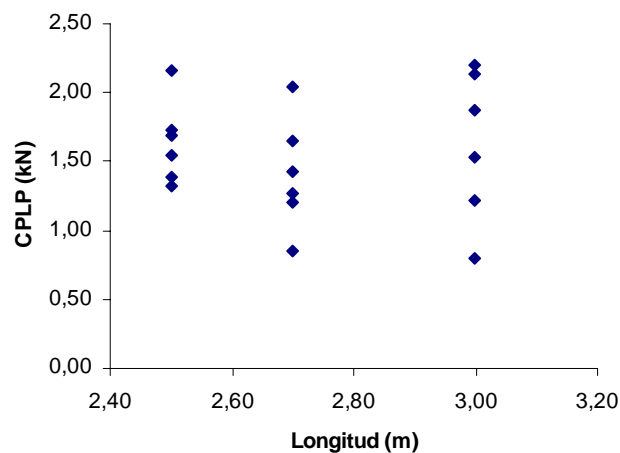
**Figura 1.** Relación entre el diámetro externo vs espesor de la pared.

**Figure 1.** External diameter vs wall ratio thickness

Un análisis de la Figura 1 en conjunto con una prueba estadística de correlación, mostraron una relación no significativa entre estas dos variables geométricas ( $\rho=0,31$ ). Por tanto no es posible predecir un comportamiento de dependencia entre estos parámetros para este tipo de Guadua bajo las condiciones con las que se realizaron los ensayos.

De acuerdo al diagrama de dispersión de la Figura 2, se observa que no existe una incidencia entre la longitud y la carga que

resiste el elemento en el límite proporcional, aspecto que fue corroborado a través de una prueba Duncan al 5%, para lo cual se obtuvo un valor de ( $P=0,9596$ ). Lo anterior además indica que para el diseño de vigas simplemente apoyadas con longitudes entre 2,5 m y 3,0 m dicho parámetro no tiene incidencia en la resistencia de diseño.



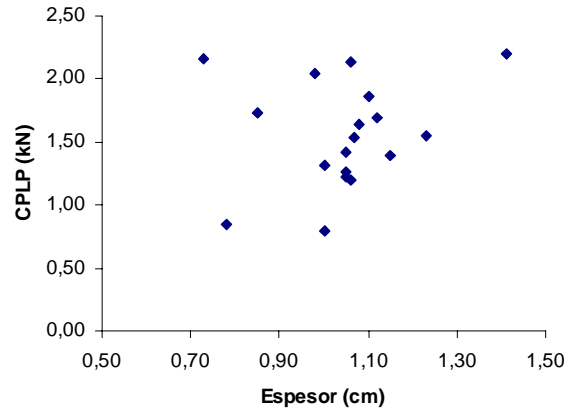
**Figura 2.** Relación entre la longitud y carga en el límite proporcional (CPLP).

**Figure 2.** Length and limit charge ratio

De acuerdo con Londoño (2002), al realizar análisis taxonómicos de la *Guadua angustifolia kunth*, se encuentra que el espesor de la pared contiene un mayor porcentaje de fibra en su corteza (93% en promedio) y a medida que se acerca hacia los haces vasculares en la zona media con un 83% y en la interna se encuentran menores porcentajes de fibra (68% en promedio), además en la epidermis ubicada en la corteza se encuentra una alta concentración de cuerpos silicios, los cuales son causantes de su gran dureza. Por otra parte, al realizar los ensayos en el laboratorio, se encontró que el 85% de los elementos fallaron por aplastamiento en las zonas donde el punto de

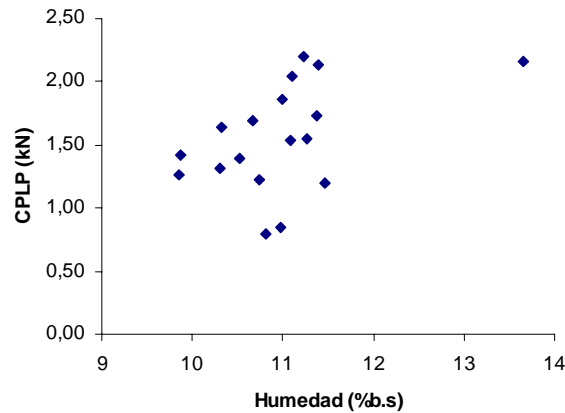
aplicación de la carga no se dio directamente sobre los nudos. En los puntos donde se produjeron las fallas, se observó un desgarramiento total y parcial de las fibras internas que se encuentran en la corteza.

El análisis anterior muestra que la mayor resistencia que se presenta en la *Guadua* cuando funciona como elemento sometido a flexión, la ejerce la corteza o capa externa, la cual es la última parte que falla durante el aplastamiento, aspecto tal que hace que el espesor total de la pared de la *Guadua* tenga poca incidencia en la resistencia del elemento en el límite de proporcionalidad como se muestra en el diagrama de dispersión de la Figura 3.



**Figura 3.** Relación entre el espesor y carga en el límite proporcional (CPLP).

**Figure 3.** Thickness and limit charge ratio

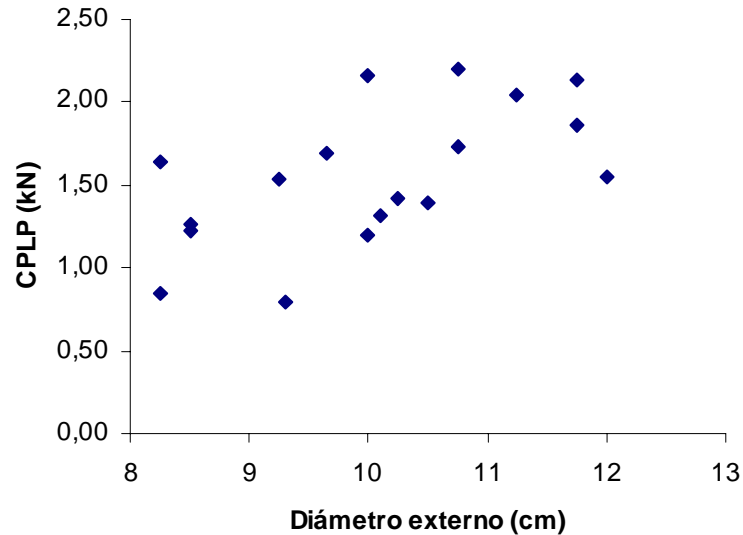


**Figura 4.** Relación entre la humedad y carga en el límite proporcional (CPLP).

**Figure 4.** Humidity and limit charge ratio

Para el rango de contenido de humedad considerados en esta investigación (9%-12%, base seca), los análisis estadísticos y los diagramas de dispersión (Figura 4), no mostraron efecto significativo del contenido de humedad sobre la variable la carga al

límite de proporcionalidad, presentando un coeficiente de correlación de 0,47 ( $\rho=0,47$ ).

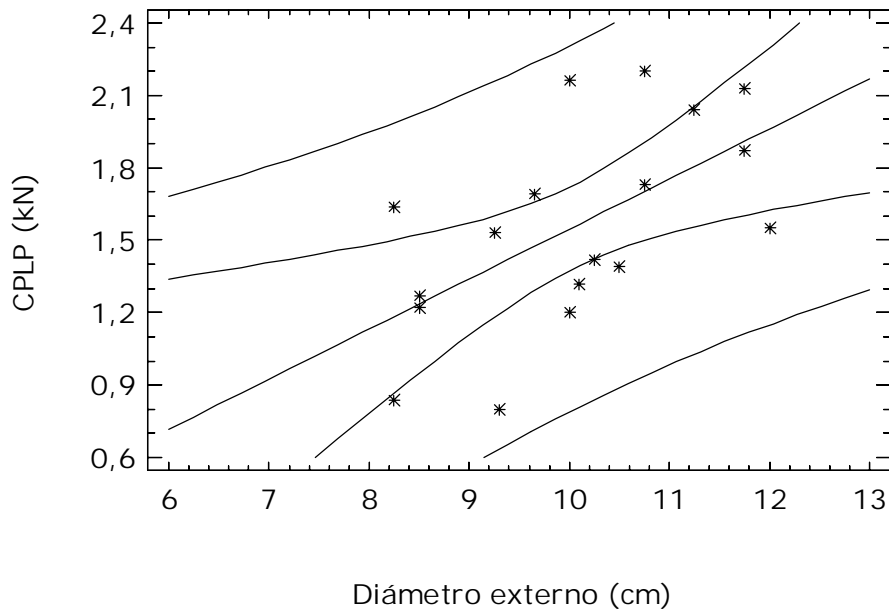


**Figura 5.** Relación entre el diámetro externo y carga en el límite proporcional.

**Figure 5.** External diameter and limit charge ratio

El análisis de varianza al 5% para las variables diámetro externo y longitud frente a la carga en el límite proporcional, muestra un valor significativo para el diámetro ( $P=0,0092$ ) y un valor no significativo para la longitud. De los parámetros físicos anteriormente analizados, es el diámetro que mejor correlación ( $\rho=0,6$ ) presenta con la variable dependiente carga en el límite proporcional. Lo anterior indica que al aplicar esfuerzos sobre elementos sometidos a flexión con longitudes que varían entre 2,5 m y 3,0 m, la mayor incidencia en la resistencia la ejerce el módulo de la sección del elemento, en función del diámetro externo. Una vez definido que el parámetro diámetro externo es el único que presenta incidencia en la carga, se realizaron ajustes por regresiones

lineales (Figura 6), encontrando que para elementos sometidos a flexión cuyas longitudes se encuentren entre los rangos anteriormente descritos y con diámetros externos entre 8 cm y 12 cm, por cada centímetro que aumente el diámetro, la resistencia del elemento en el límite de proporcionalidad aumenta en 206,58 N. Además, los análisis de dispersión (Figura 6) entre la carga en el límite de proporcionalidad y el diámetro externo del elemento, presentaron un coeficiente de determinación de 35,38%, lo que sugiere que no se puede realizar una predicción completa con cierto grado de precisión al respecto.



**Figura 6.** Diagrama de dispersión del diámetro-carga en el límite de proporcionalidad.

**Figure 6.** Dispersion diagram of diameter-limit charge

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dentro de los parámetros físicos y geométricos evaluados, el único que presenta una relación o incide directamente en la variación de la carga en el límite proporcional en elementos sometidos a flexión con longitudes entre 2,5 y 3,0 metros, y contenidos de humedad entre el 9% y el 12% en base seca, es el diámetro externo.

Del espesor total de la pared de la Guadua, la parte que mayor incide en la resistencia a la falla por aplastamiento del elemento es la capa externa o corteza, dado sus altos contenidos de fibra y de cuerpos de silicio, teoría tal que fue corroborada a partir de observaciones directas de falla y de los análisis estadísticos realizados.

Es importante adelantar mayores investigaciones en las cuales se involucren mayores intervalos de contenidos de humedad, longitudes, diámetros externos y donde se incorpore la variable de secado, con el fin de determinar la incidencia de estos parámetros y factores en el modelamiento del

comportamiento de la *Guadua angustifolia kunth* cuando es sometida a flexión.

## REFERENCIAS

- [1] Díaz, John y González C. Eugenia, Propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia kunth* (Tesis Ingeniero Agrícola). Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1992.
- [2] González C. Eugenia, Osorio S. Jairo Alexander y García, Eduard, Resistencia a la flexión de la *Guadua angustifolia kunth* a escala natural, Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 55, 1555-1572, 2002.
- [3] Janssen, Jules J. Mechanical Properties of Bamboo. Available: [www.bambus/new/eng/reports/mechanical\\_properties/referat2.html](http://www.bambus/new/eng/reports/mechanical_properties/referat2.html). [Citado 11 de agosto 2004]
- [4] Londoño, Ximena, Estudio anatómico de los diferentes órganos de la Guadua (*Guadua angustifolia kunth*) con énfasis en el culmo, Cenicafé, Colombia, 2002.

[5] López, Luis y Cheatle David, Diseño de uniones y elementos en estructuras de Guadua. Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Pereira, 2002.

[6] Mejía F. Fernando, Propiedades físicas y mecánicas de especies maderables en Caldas para su uso en la construcción, Manizales, 1985.

[7] Vijay, Raj, Treatise on utilization of bamboo as reinforcement in ferrocement, Journal of Ferrocement, 21, 371-382, 1991.