

Caracterización de la *Guadua Angustifolia Kunth* cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10

The *Guadua Angustifolia Kunth* Grown in Miraflores (Boyacá)'s Characterization, According to the NSR-10

Fecha de recepción: 6 de agosto de 2012
Fecha de aprobación: 7 de noviembre de 2012

Luis Alfredo Cely Moreno*
Wilmar Geovany Hernández Rojas**
Oscar Javier Gutiérrez Junco***

Resumen

La guadua es un material renovable, con características físicas, químicas y mecánicas extraordinarias; por ser un elemento natural, extrae sus nutrientes del suelo de cultivo. Se realizaron una serie de pruebas a la planta para determinar ciertos rasgos innatos de la guadua cultivada en el municipio de Miraflores (Boyacá). Además, se tomaron en cuenta los parámetros ambientales ideales del eje cafetero, y se compararon con los de la zona de estudio, con el fin de observar las diferencias entre los dos. Respecto a los ensayos practicados a la guadua se siguieron los lineamientos propuestos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5525 y el Reglamento sismo resistente de Colombia NSR-10 Título G. Los ensayos realizados fueron Físicos

Abstract

The *Guadua* is a renewable material with some extraordinary physical, chemical and mechanical characteristics, that being a natural resource draws its nutrients from the soil in which is cultivated. A series of tests were carried out, to determine the bamboo innate type grown in the Miraflores Boyacá municipality's characteristics. There were also taken into account the coffee region's ideal environmental parameters, compared with those of the area studied, in order to observe the differences between the two. The tests performed on the *Guadua*, followed the guidelines proposed by the Colombian Technical Standard NTC 5525 and the Colombian seismic-resistant NSR-10 Title G's regulations. The physical tests performed were: Moisture and Density in

* Ingeniero Civil (Candidato), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo de Investigación en Construcción Antisísmica GICA. luiscelymoreno@gmail.com

** Ingeniero Civil (Candidato), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo de Investigación en Construcción Antisísmica GICA. goher_16@hotmail.com

*** Ingeniero Civil. Especialista en Estructuras, Magister en Ingeniería Civil, Estructuras y Sísmica. Docente Investigador Grupo de Investigación en Construcción Antisísmica GICA. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. javier.gutierrez@uptc.edu.co

(Humedad y Densidad en secciones Cepa, Basa y Sobrebasa) y Mecánicos (Compresión paralela a la fibra, Tensión paralela a la fibra, Cortante paralelo a la fibra, Flexión estática con cuatro puntos de aplicación de la carga y Módulos de elasticidad a Compresión, Tensión y Flexión obtenidos de forma directa e indirecta). Y se determinó que la guadua es apta para ser utilizada como material de construcciones sismorresistentes, debido a que cumple con los valores de esfuerzos admisibles propuestos en la normatividad colombiana.

Palabras clave: Guadua *Angustifolia Kunth*, Guadua de Miraflores, Construcciones Sismo resistentes.

sections Cepa, Basa and Sobrebasa. And the Mechanical ones were: The grain parallel compression, tension and shear. A static bending with four load points application. And the tension, compression and bending's elasticity modules, obtained directly and indirectly. It was determined that the Guadua is suitable to be used as an earthquake resistant construction material, due that it meets the allowable stress values, proposed by the Colombian law

Keywords: Guadua *Angustifolia Kunth*, Guadua Miraflores (Boyaca)'s, Physical and Mechanical Properties, Seismic-Resistant Constructions.

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación que aquí se presenta se realizó con el objetivo de determinar las propiedades físicas y mecánicas de la especie de guadua *angustifolia* Kunth (Fig. 1), proveniente de las plantaciones establecidas en la vereda Buenos Aires, del municipio de Miraflores, Boyacá. En los últimos años esta gramínea ha tomado gran importancia en Colombia, y se han generado programas de pequeñas plantaciones para la protección de riberas de los ríos y de taludes, para el embellecimiento del paisaje, como materia prima para la elaboración de productos artesanales, etcétera. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), y otras instituciones gubernamentales, como la Corporación Autónoma Regional de Chivor (Corpochivor), son promotores de iniciativas más trascendentales desde el punto de vista social para el medio rural boyacense, especialmente en el desarrollo y promoción de plantaciones en algunos sectores de la provincia de Lengupá, de forma tal que de ellas se puedan generar suficiente materia prima para la construcción de viviendas, muebles y artesanías.



Foto 1. Selección de la guadua para corte

La especie del género *Guadua* más importante en Colombia por sus características y propiedades es la *angustifolia* Kunth, que se encuentra desde Panamá hasta Perú, es muy abundante y ampliamente usada en la construcción de vivienda en Colombia y en Ecuador. Tiene descrita una variedad *Guadua angustifolia*, la variedad bicolor, y solo se ha encontrado en Colombia [1]. Dentro de la especie se presentan pequeñas variaciones denominadas formas, las más comunes son las conocidas como **Macana** (culmos de paredes gruesas, muy resistentes, abundantes ramas inferiores espinosas) y **Cebolla** [2] (llamada también guadua balsa, tiene culmos de paredes más delgadas que las de la macana, a veces mayor diámetro, y pocas ramas inferiores espinosas).

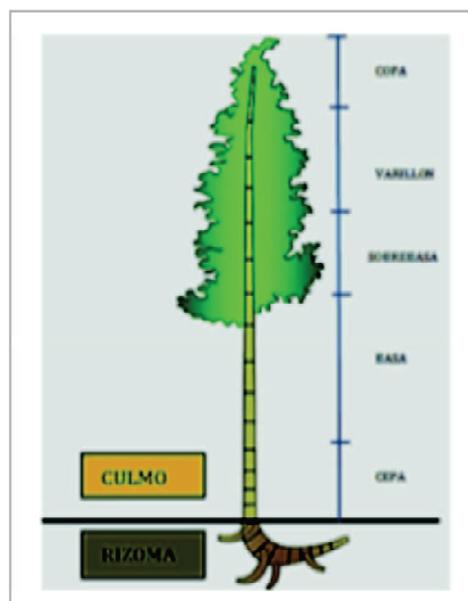


Figura 1. Partes de la guadua

La guadua es un material poroso de origen vegetal, cuyas fibras están dispuestas axial y longitudinalmente; es un material anisotrópico, ya que sus propiedades físicas, mecánicas y de laborabilidad varían según su sentido o plano considerado; presenta cambios de sus dimensiones debido a la expansión térmica, y cambio de volumen a causa de la humedad. Todo esto hace que la guadua se comporte similar a la madera.

Para obtener una guadua de excelente calidad estructural se deben seguir los siguientes pasos:

- Tener certeza de la edad de la guadua; para fines estructurales se aconseja que dicho material tenga un tiempo de cultivo de 3 a 5 años.
- El corte de la guadua se realizó cuando la luna estaba es su fase menguante, debido a que las fuerzas de gravedad disminuyen; esto hace se presente un descenso de los líquidos que circulan por el tallo, asentándose en sus raíces, lo cual facilita el secado del culmo (tallo).
- Una vez cortado el material se dejó curándose en el guadual durante alrededor de 30 días, en los cuales empieza cambiar su color, de un verde intenso a un amarillo ocre; esto indica que en el culmo hay ausencia de líquidos.
- Por último, se cortan varas de 6 m de longitud, las cuales son inmunizadas mediante inyecciones de 5 ml de una solución de Borax al 5%, en los nudos; esto para evitar la presencia de insectos xilófagos como el gorgojo.

La forma biológica de la guadua (foto 2) que se utilizó para los ensayos fue la macana, dado que estudios aseguran que crece con facilidad en terrenos con pendientes suaves a fuertes, características que predominan en la provincia boyacense de Lengupá; además de tener acanaladura visible y pronunciada hasta la mitad de entrenudo, diámetros exteriores que oscilan de 70 mm a 150 mm y pequeñas coloraciones blanquecinas [3]. Se realizó el estudio con el objetivo de caracterizar mediante ensayos normalizados la guadua cultivada en la provincia de Lengupá (Boyacá), y obtener valores de esfuerzos admisibles empleados en el diseño de edificaciones donde se utilice este material.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se realizó en Tunja, en las instalaciones del laboratorio de estructuras y resistencia de materiales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, a 2690 msnm, y condiciones de laboratorio a 17 °C de temperatura promedio y 77,3% de humedad relativa.

El material destinado para ensayos, una vez cortado, se trasladó de Miraflores a Tunja, donde se almacenó para vigilar las condiciones ambientales, con el fin de controlar aumentos en su contenido de humedad. Una vez seco el material se elaboraron las probetas para cada uno de los ensayos, siguiendo los lineamientos de la normas [5]. En la Fig. 4 se muestra la guadua en el momento de su corte para fabricar las probetas y el traslado hacia la universidad.



Foto 2. Guadua macana utilizada en el estudio



Foto 3. Guadua para ensayos (a) Corte de los Culmos (b) traslado del material.

Una vez cortadas y fabricadas las probetas destinadas para cada uno de los ensayos, se realizaron las pruebas físicas y mecánicas que se mencionan a continuación:

A. Propiedades físicas

Contenido de humedad. Esta propiedad relaciona la masa de agua contenida en la pieza y la masa de la misma en estado seco (anhidra), expresada en porcentaje [5]. Para obtener el contenido de humedad se tomó una muestra de la probeta cercana a la falla, y el procedimiento por seguir es el expresado en la Norma NTC 5525 [6]. El contenido de humedad puede obtenerse con la ecuación (1):

$$CH = \left(\frac{m - m_0}{m_0} \right) \quad (1)$$

Donde

m : masa antes de secado, expresada en g

m_0 : es la masa de la probeta, expresada en g

La foto 4 muestra el procedimiento realizado para obtener el contenido de humedad de cada una de las probetas.



Foto 4. Probetas humedad (a), Pesaje de la probeta (b), Secado de las probetas (c)

Densidad básica. Este ensayo se realizó según parámetros establecidos en la NTC 5525 en secciones cercanas a las fallas de todas las probetas. El peso de cada muestra se obtuvo mediante lectura directa en balanza electrónica, y se expresa en gramos [5]. El volumen se obtuvo mediante lectura directa de sus dimensiones: el ancho (a), la altura (h) y el espesor (t). Las lecturas de ancho y altura deben estar cercanas a los 25 mm, y el espesor de pared de cada probeta se expresó en mm. La densidad [6] (masa seca en horno, por unidad de volumen) de cada probeta se obtiene con la ecuación (2):

$$\rho = \left(\frac{m}{v}\right) * 10^6 \quad (2)$$

Donde:

ρ = Densidad en, kg/m³.

m = es la masa de la probeta seca en el horno, expresada en gramos.

v = es el volumen de la probeta, en milímetros.

B. Propiedades mecánicas

Para determinar las características mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth cultivada en Miraflores se realizaron los siguientes ensayos mecánicos:

Esfuerzo de Compresión Paralela a la fibra. Para todos los ensayos se utilizaron las tres primeras partes de la guadua (Cepa, Basa y Sobre Basa), ya que son las que se utilizan en elementos estructurales, debido a que sus diámetros y espesores no presentan grandes variaciones.



Foto 5. Máquina universal de ensayos

La rotulación de las probetas para todos los ensayos se hizo de la siguiente manera:

Probetas I: Hace referencia a la parte inferior del Culmo (Cepa).

Probetas M: Parte media del Culmo (Basa).

Probetas S: Parte Superior del culmo (Sobre Basa).

El equipo utilizado para tal ensayo fue la máquina Universal de Ensayos marca Shimadzu, con una

capacidad de carga de 500 kN, cuyos indicadores de desplazamiento tienen una precisión de 0,001 m.

El ensayo de determinación de la resistencia a la compresión axial o paralela a la fibra se realizó en probetas con una altura que debe ser el doble de su diámetro externo [7]. Las probetas se colocaron con especial cuidado buscando que la aplicación de la carga fuera realmente paralela a las fibras y evitando desviaciones y realizando una precarga de 1 kN, para

acomodar el cabezal móvil de la máquina universal (foto 5). La determinación del Módulo de Elasticidad a compresión debe tener instrumentación de medición con deformímetros electrónicos, y por lo menos dos por cada probeta deben hallarse entre el 10% y el 60% de la fuerza última [8]. Los datos obtenidos se procesaron para obtener valores de resistencia a la compresión axial calculada con la Ecuación (3):

$$\sigma = \left(\frac{F_{ULT}}{A} \right) \quad (3)$$

Donde:

σ : Esfuerzo en MPa

F_{ULT} : Carga en N

A: Área de la selección transversal, en mm²

El Área de la sección transversal está dada por la ecuación (4):

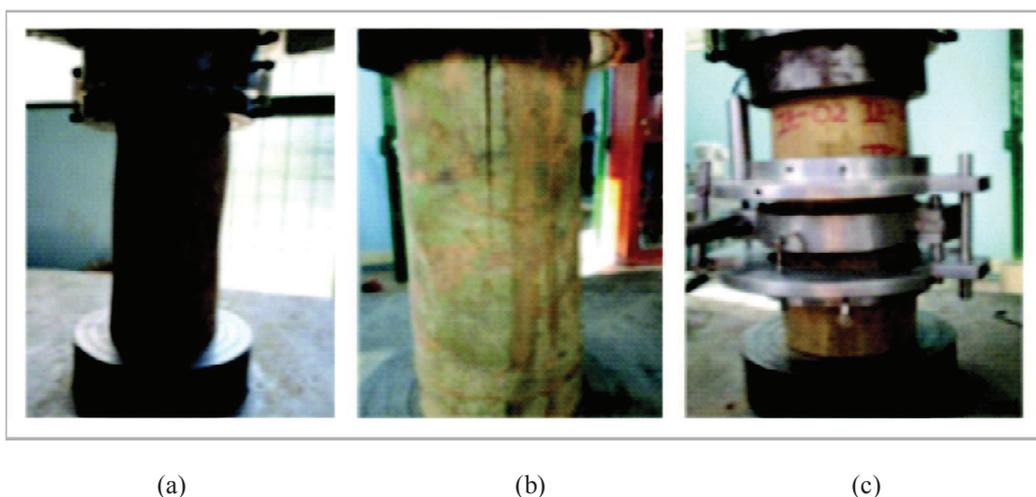
$$A = \frac{\pi}{4} * [(D^2 - (D-2t)^2)] \quad (4)$$

Donde:

D: Diámetro exterior de la probeta, expresado en mm

t: Espesor de la pared, medido en mm

La foto 6 muestra el ensayo a compresión paralela y, además, el montaje para determinar el módulo de elasticidad y la falla típica.



(a)

(b)

(c)

Foto 6. Ensayo de Compresión paralela (a), Falla por desprendimiento de las fibras (b), Montaje para determinación de Modulo de Elasticidad (c)

Esfuerzo a Tensión Paralelo a la Fibra. El ensayo de tracción paralela a la fibra se realizó con las probetas acopladas según la NTC 5525. Para determinar el Módulo de Elasticidad se utilizó un extensómetro ubicado en la longitud útil de la probeta. La velocidad de carga a la cual se realizó el ensayo fue de 0,01 mm/s [9]. Se fallaron solamente probetas M que tenían uno y dos nudos [10]. Los datos obtenidos se procesaron para obtener valores de resistencia a la tensión paralela que se calculan

de acuerdo con la ecuación (3), pero la determinación del área de la porción del ensayo se calcula con la ecuación (5).

$$A = b + t \quad (5)$$

Donde:

b: ancho de la probeta en la porción del ensayo, expresado en mm

t: espesor de la pared de la probeta, medido en mm



(a) (b) (c)

Foto 7. (a) Probetas Tensión, (b) Ensayo Tensión, (c) Falla Inclinada en nudo.

Esfuerzo Cortante Paralelo a la Fibra. El ensayo para determinar el esfuerzo cortante paralelo a la fibra se realizó según los parámetros expuestos en la NTC 5525. Las dimensiones escogidas para las probetas fueron: la altura igual al diámetro externo, y además con nudo y sin nudo [11]. Para que se produzca una falla en cortante es necesario adecuar la máquina universal con unas platinas (foto 8); las probetas debe quedar ubicadas en el 50% de la superficie de las platinas. La velocidad de la carga fue 0,01 mm/s.

Una vez obtenidos los datos, se procesaron para obtener el esfuerzo cortante paralelo a la fibra mediante la ecuación (6).

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\Sigma(t * L)} \quad (6)$$

Donde:

τ : Es la resistencia última al Corte en MPa, con aproximación de 0,5 MPa.

F_{ult} : El valor máximo de la carga aplicada en la cual falla la probeta, expresada en N.

$\Sigma(t * L)$: Es la suma de los cuatro productos de $t \times L$, donde L es la longitud de la probeta; se expresa en mm^2



Foto 9. Platinas para el Ensayo de Corte



(a)

(b)

Figura 9. (a) Ensayo Cortante Paralelo, (b) Falla Típica por Cortante.

Esfuerzo a Flexión o Módulo de Rotura (MOR).

El ensayo para determinar el esfuerzo a flexión se realizó siguiendo las recomendaciones de la NTC 5525. La longitud de la probeta fue 30 veces el diámetro exterior [12] para que la falla sea netamente en flexión. El ensayo se denomina «ensayo 4 puntos» (Fig. 11).

El esfuerzo último a flexión se calcula mediante la ecuación (7).

$$\sigma_{ult} = \frac{32 * M * D}{\pi * [D_e^4 - (D_e - 2t)^4]} \quad (7)$$

Donde:

σ_{ult} : Esfuerzo Último a Flexión, expresado en MPa, con una aproximación de 1 MPa
 M: Momento Máximo de la probeta, en N-mm
 D_e : Diámetro Externo de la Probeta, medido en mm
 t: Espesor de Pared, medido en mm

El esfuerzo en el Límite Proporcional está dado por la ecuación (8) [13]

$$ELP = \left(\frac{8 * FLP * L * D}{\pi * [D_e^4 - (D_e - 2t)^2]} \right) / 10^6 \quad (8)$$

Donde:

ELP: Esfuerzo en el Límite Proporcional, expresado en MPa
 FLP: Fuerza en el límite Proporcional, expresado en N, se toma el 60% de la Fuerza Última
 L: Longitud de la probeta, en m
 D: Diámetro exterior de la probeta, medido en m
 t: Espesor de pared, expresado en m

Por último se calculó el Módulo de Elasticidad (MOE) utilizando la ecuación (9)

$$MOE = \frac{23 * F * L^3}{1296 * \delta * I_B} \quad (9)$$

Donde:

MOE: Módulo de Elasticidad, expresado en MPa
 F: Es la Fuerza Máxima aplicada a la probeta en N
 L: Longitud de la probeta, medida en mm
 δ : Deflexión, medida en el punto medio de la luz, en mm
 I_B : Es el momento de inercia en mm⁴, se calcula como lo indica la ecuación (10)

$$I_B = \frac{\pi}{64} [(D^4 - (D - 2t)^4)] \quad (10)$$

D y t son iguales a la ecuación (7).



(a)

(b)

Foto 10. (a) Guadua flexionada. (b) Falla por flexión.

III. RESULTADOS

A. Contenido de humedad

Después de realizados los ensayos, se tabularon los datos obtenidos, y mediante un estudio estadístico se encontraron valores promedio en los distintos tipos de prueba. En las propiedades físicas para cada una de las partes de la guadua se obtuvo:

Los valores obtenidos para el contenido de humedad en las probetas de guadua estudiadas se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Humedad promedio obtenida en las probetas de guadua fallada.

HUMEDADES	PROBETA I		PROBETA M		PROBETA S	
	CON NUDO	SIN NUDO	CON NUDO	SIN NUDO	CON NUDO	SIN NUDO
Humedad Mínima (%)	18,4	18,6	13,2	13,1	10,8	11,7
Humedad Máxima (%)	20,3	21,7	17,1	15,9	16,8	15,7
Humedad Promedio(%)	19,4	20,1	14,9	14,5	14,6	13,2
Desviación Estándar (%)	0,9	1,6	1,7	4,1	2,6	2,1

B. Densidad seca

La Tabla 2 muestra los valores promedio obtenidos en la totalidad de las probetas y sin variaciones

superiores al 8%, que corresponden a la densidad seca de la guadua caracterizada:

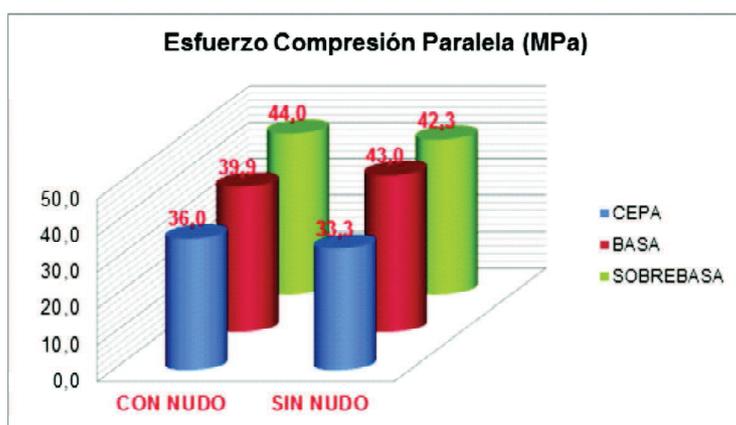
Tabla 2. Densidad seca promedio obtenida en las probetas de guadua fallada

DENSIDAD	PROBETA I		PROBETA M		PROBETA S	
	CON NUDO	SIN NUDO	CON NUDO	SIN NUDO	CON NUDO	SIN NUDO
Densidad Mínima (kg/m ³)	470	540	520	670	550	690
Densidad Máxima (kg/m ³)	580	610	840	950	850	830
Densidad Promedio (kg/m ³)	510	580	710	797	705	760
Desviación Estándar (kg/m ³)	61	36	150	142	124	70

C. Esfuerzo de Compresión Paralela a la fibra

Este ensayo permitió obtener gráficas que muestran el valor del esfuerzo de compresión paralela a la fibra para cada una de las probetas (Gráfica 1).

La Tabla 3 muestra los valores obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión paralela:



Gráfica 1. Esfuerzo de compresión paralela

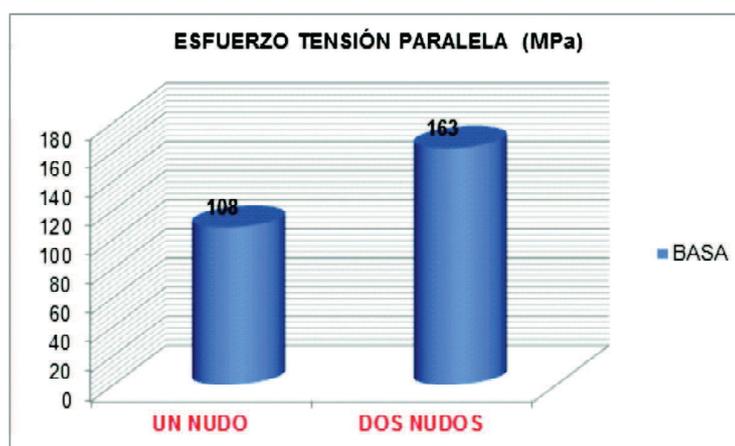
Tabla 3. Valores obtenidos en el ensayo de determinación de la resistencia a la compresión axial o paralela a la fibra de los especímenes fallados.

			DATOS ESTADÍSTICOS				
			NÚMERO DE DATOS	ESFUERZO MÍNIMO (MPa)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO PROMEDIO (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)
ESFUERZO ÚLTIMO	I	CON NUDO	3	34,5	37	36	1,32
		SIN NUDO	3	31	35	33,3	2,08
	M	CON NUDO	4	35,5	43	39,8	3,37
		SIN NUDO	3	38,5	46,5	43	4,1
	S	CON NUDO	4	40	51	43,6	5,02
		SIN NUDO	3	39	44	42,2	2,88
ELP	I	CON NUDO	3	20,5	32	26,83	5,84
		SIN NUD	3	21	29,5	25,8	4,3
	M	CON NUDO	4	30,5	33	31,88	1,11
		SIN NUDO	3	28	34	30,83	3,01
	S	CON NUDO	4	30,5	40,5	33,25	4,84
		SIN NUDO	3	31,5	39	36,17	4,07
MOE	I	CON NUDO	3	7126	11472	8822	2321
		SIN NUDO	3	12400	12470	12414	21,21
	M	CON NUDO	2	6116	15542	10826	6665
		SIN NUDO	2	8352	10529	9494	1541
	S	CON NUDO	3	6787	14524	9766	4146
		SIN NUDO	3	4247	13620	10084	5093

D. Esfuerzo a Tensión Paralelo a la Fibra

Los valores obtenidos en este ensayo permitieron generar la Gráfica 2.

La Tabla 4 muestra los valores promedio obtenidos en el ensayo de tensión paralela para el Esfuerzo último, el Esfuerzo límite proporcional (ELP) y el Módulo de elasticidad (MOE) obtenido por método directo (mediante el uso del extensómetro).



Grafica 2. Tensión paralela a la fibra

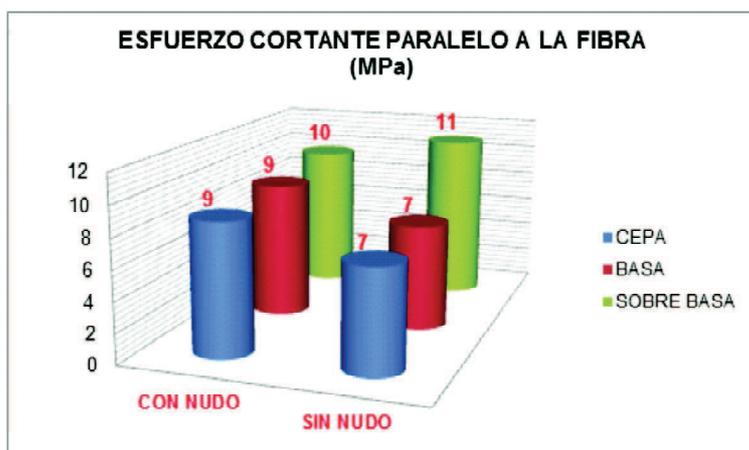
Tabla 4. Valores del ensayo de determinación de la tensión Paralela a la fibra en los especímenes de guadua fallada

			DATOS ESTADÍSTICOS				
			NÚMERO DE DATOS	ESFUERZO MÍNIMO (MPa)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO PROMEDIO (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)
ESFUERZO	M	CON NUDO	5	101,5	112,5	108	4,3
		CON 2 NUDOS	10	87	241,5	162,6	52,8
ELP	M	CON NUDO	5	86,5	95,5	91,9	3,525
		CON 2 NUDOS	10	74	205,5	138,3	44,944
MOE	M	CON NUDO	8	10157	33965	17595	9371
		CON 2 NUDOS	12	8487	45815	20241	12157

E. Esfuerzo Cortante Paralelo a la Fibra

Al realizar este ensayo se obtuvieron valores que generaron la Gráfica 3.

Los valores por conocer en este ensayo, según la norma y con fines de caracterización, son el esfuerzo límite proporcional (ELP) y el esfuerzo último, y se muestran en la Tabla 5:



Gráfica 3. Corte paralelo a la fibra

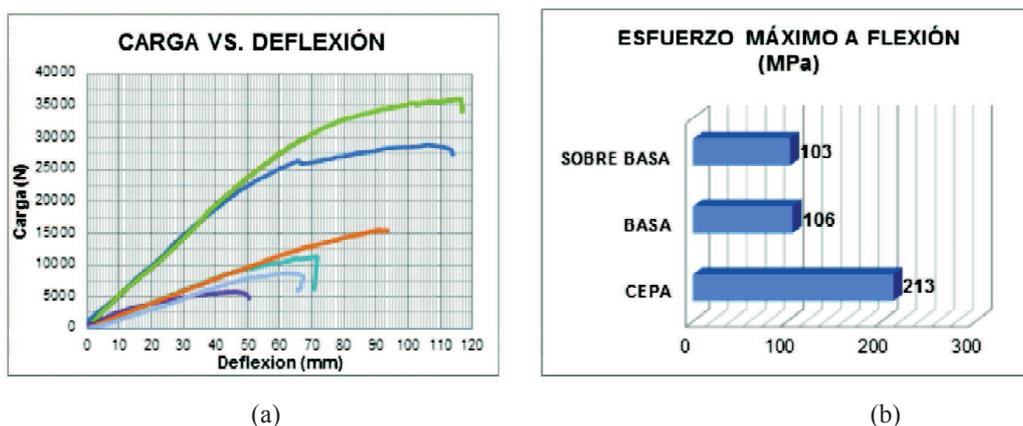
Tabla 5. Valores obtenidos en el ensayo de corte paralelo a la fibra en los especímenes de guadua fallada

			DATOS ESTADÍSTICOS				
			NÚMERO DE DATOS	ESFUERZO MÍNIMO (MPa)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO PROMEDIO (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)
ESFUERZO ÚLTIMO	I	CON NUDO	4	7	11,5	8,75	2,021
		SIN NUDO	4	5,50	9	6,875	1,702
	M	CON NUDO	4	7	12,5	9	2,415
		SIN NUDO	4	5	8	7	1,354
	S	CON NUDO	4	8	11	9,625	1,377
		SIN NUDO	4	10,5	11,5	11	0,408
ELP	I	CON NUDO	4	5	8	6,125	1,436
		SIN NUDO	4	3	7	4,875	1,75
	M	CON NUDO	4	4,5	7,5	6	1,472
		SIN NUDO	4	3	7	4,75	1,708
	S	CON NUDO	4	6	7,5	6,625	0,629
		SIN NUDO	4	6	8	7,25	0,866

F. Esfuerzo a Flexión o Módulo de Rotura (MOR)

Este ensayo produjo la Gráfica 4 que muestra el comportamiento de cada especie frente a esta prueba de resistencia.

La Tabla 6 muestra los valores obtenidos en el ensayo de flexión estática para el esfuerzo límite proporcional (ELP), el Esfuerzo último y el módulo de elasticidad obtenido en forma indirecta (MOE).



Gráfica 4. Ensayo flexión. (a) carga vs. deflexión. (b) Esfuerzo máximo a flexión

Tabla 6. Resistencia a la flexión de los especímenes de guadua fallada

		DATOS ESTADÍSTICOS				
		NÚMERO DE DATOS	ESFUERZO MÍNIMO (MPa)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO PROMEDIO (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)
I	MOR	3	192	230	213	19
	ELP	3	168	207	188	19,17
	MOE	3	18752	22365	20721	19
M	MOR	2	101	110	106	6
	ELP	2	82	91	86	6,53
	MOE	2	16262	17659	16961	988
S	MOR	2	99	107	103	6
	ELP	2	68	82	75	9,56
	MOE	2	20544	23593	22069	2156

Se hace necesario ajustar los datos obtenidos para ser comparados con los valores de esfuerzos admisibles expuestos en la NSR-10. El procedimiento se evidencia en el capítulo G.12.7.4, y consta de la utilización de coeficientes de modificación que básicamente establecen unos factores de seguridad para ser tenidos en cuenta en la modelación estructural. A continuación se mencionan algunos:

- CD: Coeficiente de modificación por duración de carga
- Cm: Coeficiente de modificación por contenido de humedad
- Ct: Coeficiente de modificación por temperatura
- CL: Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas
- CF: Coeficiente de modificación por forma

- Cr: Coeficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta
 Cp: Coeficiente de modificación por estabilidad de columnas
 Cc: Coeficiente de modificación por cortante
 Fi: Esfuerzo admisible en la sollicitación i
 Fi': Esfuerzo admisible modificado para la sollicitación

Los esfuerzos admisibles mínimos para el diseño de estructuras de guadua contemplados en la **NSR-10** se encuentran contenidos en la Tabla 7.

Tabla 7. Esfuerzos admisibles mínimos expuestos en la NSR-10 G-12

Flexión	Tracción	Compresión	Compresión	Corte
15	18	14	1,4	1,2

|| = compresión paralela al eje longitudinal.

⊥ = compresión perpendicular al eje longitudinal.

* La resistencia a la compresión perpendicular está calculada para entrenudos rellenos con mortero de cemento.

Los valores promedios obtenidos en los ensayos a la guadua fueron sometidos a los coeficientes de modificación con la metodología indicada en el capítulo G.12.7 de la NSR-10, y los esfuerzos admisibles se presentan en la Tabla 8.

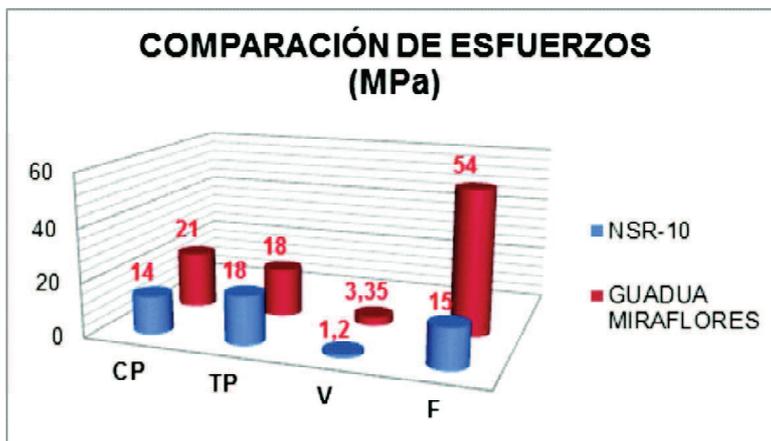
La Gráfica 5 muestra la comparación entre los esfuerzos admisibles obtenidos para la Guadua de Miraflores y los esfuerzos expuestos en la NSR-10, donde CP: Compresión Paralela, TP: Tensión Paralela, V: Cortante y F: Flexión.

IV. DISCUSIÓN

Con el fin de ponderar los resultados obtenidos, se compararon con los arrojados por maderas utilizadas en Boyacá para la construcción, como son: abarco, amarillo, cedro, eucalipto, guayacán y pino. Para esta comparación se tomó como referencia el trabajo de grado Caracterización de maderas usadas en Boyacá de acuerdo con la NSR-10 [14], realizado en la Uptc.

Tabla 8. Esfuerzos admisibles obtenidos en cada ensayo realizado

		PROBETA I		PROBETA M		PROBETA S	
		CON NUDO	SIN NUDO	CON NUDO	SIN NUDO	CON NUDO	SIN NUDO
COMPRESIÓN	ESFUERZO ADMISIBLE MODIFICADO (MPa)	14	12	17	14	17	21
TENSIÓN	ESFUERZO ADMISIBLE MODIFICADO (MPa)			18	12		
CORTANTE	ESFUERZO ADMISIBLE MODIFICADO (MPa)	1,623	0,964	1,520	1,324	2,192	3,348
FLEXIÓN	ESFUERZO ADMISIBLE MODIFICADO (MPa)	54	19	30			



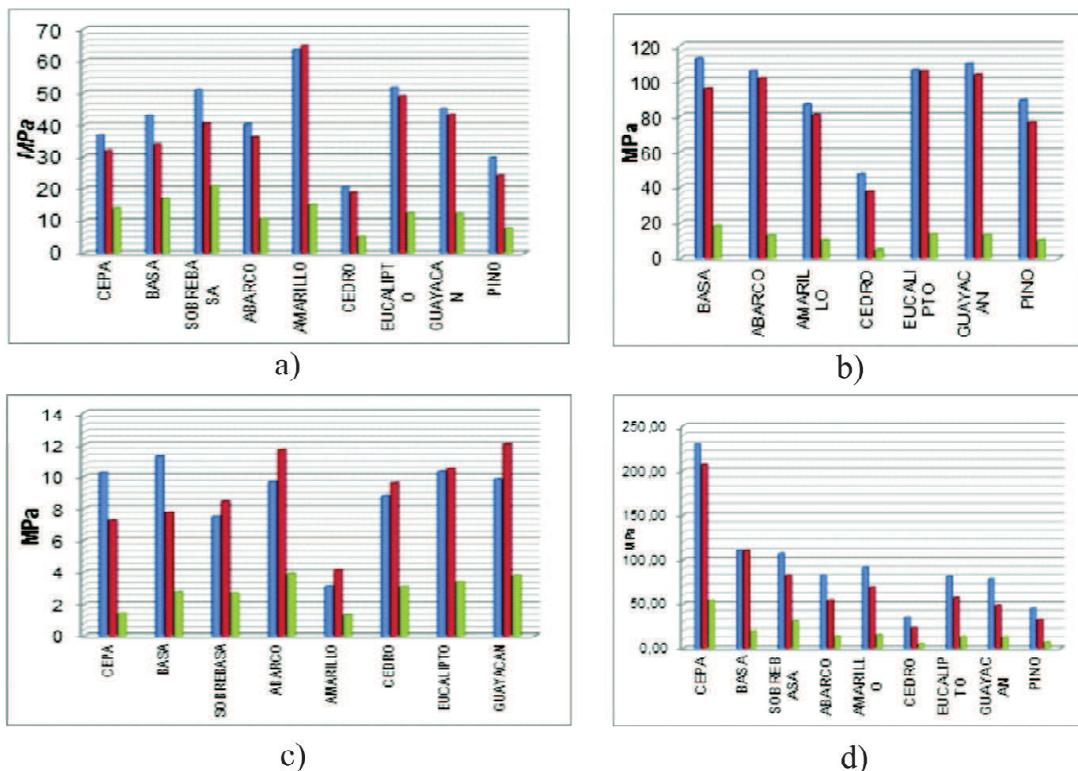
Gráfica 5. Comparación de esfuerzos

Tabla 9. Esfuerzos últimos y admisibles obtenidos en cada tipo de madera y guadua

	ESFUERZO ÚLTIMO				ESFUERZO ADMISIBLE			
	C	T	V	F	C	T	V	F
CEPA	37		10,25	230	14		1,3	54
BASA	43	112,5	10,25	110	17	18	1,422	19
SOBREBASA	51		11,25	107	21		2,77	30
ABARCO	40,21	105,40	7,50	82,08	10,70	12,50	2,70	13,50
AMARILLO	63,48	86,75	9,69	91,43	15,10	10,00	3,90	14,90
CEDRO	20,54	47,54	3,13	34,47	4,90	4,40	1,30	5,00
EUCALIPTO	51,68	106,03	8,75	81,09	12,50	13,10	3,10	13,00
GUAYACÁN	45,25	109,78	10,31	78,28	12,30	12,80	3,40	12,70
PINO	29,79	88,87	9,84	44,82	7,70	10,10	3,80	6,60

En la Gráfica 6 se muestra la comparación de los esfuerzos últimos, esfuerzo en el límite de proporcionalidad (ELP) y esfuerzos admisibles

para los ensayos de compresión paralela (C), tensión paralela (T), corte paralelo (V) y flexión (F) para cada una de las maderas y la tres primeras partes de la guadua analizada.



Gráfica 6. Comparación guadua Miraflores vs. maderas Boyacá. a) Ensayo compresión paralela. b) Ensayo tensión paralela. c) Ensayo cortante. d) Ensayo flexión.

V. CONCLUSIONES

Es importante conocer que la NSR-98 no contempla la guadua como material estructural, sino como material no estructural; en cambio, la NSR-10 dedica un capítulo entero al diseño de elementos sometidos a diferentes solicitaciones.

El contenido de humedad es de vital importancia en la resistencia de la guadua: entre mayor sea su contenido, menor será su resistencia ante cargas solicitadas, y menor será su esfuerzo admisible de acuerdo con la NSR-10.

Se puede observar que entre más alta sea la sección del culmo donde se extrajo la probeta, su contenido de humedad es menor; esto plantea que las partes

inferior y media de la guadua presentaron grandes cantidades de agua, de lo cual se infiere que se debe tener estricto control en el curado del material.

Se debe garantizar que el contenido de humedad de la guadua debe estar por debajo del 20%, ya que valores superiores afectarían de manera directa la estabilidad del elemento estructural.

Las probetas S arrojaron excelentes valores de esfuerzo a la compresión paralela; esta parte del culmo puede ser utilizada en elementos estructurales sometidos a compresión.

Contrariamente a lo que se pensaba, las probetas I fueron las que mostraron resultados menores, debido a que en ellas se presenta una mayor área, que es inversamente proporcional al esfuerzo.

En las probetas con nudo y sin nudo, los valores de esfuerzo a la compresión paralela no varían demasiado, lo que supone que el nudo únicamente se utiliza como elemento constructivo, y además ayuda al confinamiento de las fibras.

El máximo valor de Módulo de Elasticidad a compresión paralela se presentó en las probetas M.

En cuanto a los valores obtenidos del Esfuerzo a tensión paralela a la fibra, se obtuvo que las probetas con dos nudos arrojaron valores máximos, comparados con las probetas de un nudo; de esto se infiere que los nudos son altamente resistentes. Se puede pensar que esta sección de la guadua funciona muy bien en estructuras como puentes o armaduras.

En el caso del módulo de elasticidad (MOE) a tensión, se presenta el mismo comportamiento anterior.

Las probetas con los valores más altos en cuanto al esfuerzo cortante fueron las M y con nudo, lo que indica que un espesor medio y un buen confinamiento del nudo hacen que esta probeta soporte muy bien esta sollicitación.

El valor del esfuerzo cortante es muy importante a la hora de diseñar conexiones para unir elementos estructurales. Se recomienda que el traslapo de elementos, ya sea a compresión o a flexión, se haga en el nudo para evitar el cizallamiento.

Quizá, el esfuerzo a flexión de la guadua es el más representativo del material; para este caso se obtuvo que las probetas I son las que mejor se comportan frente a este tipo esfuerzo, ya que poseen espesores de pared y diámetros grandes, comparados con las otras partes del culmo.

El número de nudos que tenía la probeta no tiene alguna correlación con los valores obtenidos. Se debe controlar que la conicidad (relación entre los diámetros y su longitud) de la probeta no supere el 1%.

La separación de los nudos es vital para soportar la flexión, ya que a menor separación, el esfuerzo incrementa, debido a un confinamiento de las fibras, que actúa como flejes, haciendo una comparación con una viga de concreto.

En general, la guadua presenta valores de esfuerzos admisibles superiores a la NSR-10, con mayor relevancia en las probetas con nudo. Esto hace pensar que la guadua cultivada en la región de Miraflores (Boyacá) puede ser competitiva con otras, pero se deben adoptar procedimientos para la mejora del suelo y de las plantaciones.

REFERENCIAS

- [1] X. Londoño, *The American Bamboos with emphasis in the Genus Guadua*. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas, INCIVA, Cali, septiembre de 1989.
- [2] C. Saltaren y E. Montaña, *Características y propiedades físicas y mecánicas de especies de bambú del Valle del Cauca*. Documento de avance proyecto semilla 99CG5108. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira, 2000.
- [3] V. R. Ordoñez Candelaria e I. Salomón Quintana, «Consideraciones geométricas en la determinación de las propiedades en flexión estática de bambú», *Madera y Bosques* Vol.15, Núm.1, 2009, pp. 91-100, agosto 2009.
- [4] X. Londoño, «Caracterización anatómica del culmo de Guadua angustifolia Kunth», *Poaceae, Bambusoideae* N.º 12, Fundación Nacional de la Guadua Fundeguadua, (Armenia); pp. 12-27, 2002.
- [5] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Métodos de Ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth: Icontec, 2007. p. 3.

- [6] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Métodos de Ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth: Icontec, 2007. p. 5.
- [6] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Métodos de Ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth: Icontec, 2007. p. 8.
- [7] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Métodos de Ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth: Icontec, 2007. p. 15.
- [8] C. P. Takeuchi Tam y C. E. González, «Resistencia a la Compresión paralela a la fibra de la Guadua Angustifolia y determinación del Módulo de Elasticidad», *Revista Ingeniería*. Vol. 11, Núm.1, 2007, pp. 89-103, junio, 2007.
- [9] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Métodos de Ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth*: Icontec, 2007, p. 18.
- [10] J. L. Gabriele Padilla y H. D. Herrera Ortiz, *Parámetros de diseño de elementos de guadua cultivada en el municipio de Aratoca, Santander*. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 2004.
- [11] N. H. Pantoja Trujillo y D. F. Acuña Jiménez, *Resistencia al Corte Paralelo a la fibra de la Guadua Angustifolia*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 2005.
- [12] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Métodos de Ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth: Icontec, 2007, p. 23.
- [13] J. A. Osorio S, H. J. Ciro V, y J. M. Vélez, «Efectos de algunos parámetros físicos y geométricos en la resistencia de diseño a flexión de la guadua angustifolia Kunth», *Revista Ingeniería*, N.º 45, pp. 37-55, Medellín, marzo 2005.
- [14] J. Zárate, *Caracterización de maderas usadas en Boyacá de acuerdo a la NSR-10*. Tunja, Uptc, 2012.