

COMPORTAMIENTO DE MUESTRAS DE *Guadua angustifolia* Kunth CON DIAFRAGMA Y SIN DIAFRAGMA SOMETIDAS A ESFUERZO DE COMPRESIÓN

Guadua – Bamboo samples behaviour with diaphragm an without diaphragm Submitted to compression strain

RESUMEN

En esta publicación se presenta la metodología para la realización de pruebas a compresión de muestras experimentales con fines investigativos de la especie "*Guadua angustifolia*" Kunth, siguiendo las Normas Internacionales ISO/TR 22157-1 e ISO/TR 22157-2, presentando los resultados del análisis de la información aplicando el programa estadístico SPSS - 10. Se encontró que la guadua con diafragma y sin diafragma sometida a esfuerzo de compresión no presenta diferencias significativas lo que hace confiable este material para uso en el sector de la construcción.

PALABRAS CLAVES: Metodología, guadua, prueba de compresión.

ABSTRACT

In this publication the methodology is presented for the realization of tests to compression of experimental samples with investigative ends of the species "Guadua angustifolia" Kunth, following the International Norms ISO/TR 22157-1 and ISO/TR 22157-2, presenting the results of the analysis of the information applying the statistical program SPSS - 10. It was found that the guadua with diaphragm and without diaphragm subjected to compression strength, it doesn't present significant differences that it makes reliable this material for use in the construction sector.

KEYWORDS: methodology, guadua, compression test.

1. INTRODUCCIÓN

El esfuerzo de compresión en el Bambú se determina de acuerdo ISO 22 157-1:2004 [1] Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – Part 1, con un test de compresión paralelo al eje, en especímenes de Bambú, se determina el esfuerzo último de compresión en los culmos y el (MOE) Módulo de elasticidad.

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}; \text{MPa} \quad (1)$$

Donde: σ_{ult} = esfuerzo último de compresión, redondo para cerca de 0,5 MPa

F_{ult} = máxima carga en la cual se presenta la falla, en N.

A = área de sección transversal en mm².

Para determinar el (MOE) módulo de elasticidad, la lectura de deformación se hará en un mínimo de dos partes por tramo ensayado, cada una de ellas en el lado opuesto del tramo ensayado. Para Atrops J. L., (1969) [2] quien realizó pruebas de compresión al Bambú pero sin mencionar la especie, encontró una variación entre los resultados del MOE, el MOE de compresión fue menor que el de flexión y el de tracción. Para Sotela J., (1990, 1992) [3] con los ensayos realizados al la especie *Guadua angustifolia* en dos sitios de Costa Rica,

determinó que el MOE y el esfuerzo de compresión calculado fue similar para los dos sitios estudiados. el MOE promedio calculado en el ensayo de Flexión fue 35% superior que el MOE del ensayo de compresión simple.

Ota M. (1950) [4] hace las primeras recomendaciones para realizar las pruebas de ensayo de compresión, concluye que la forma óptima de trabajar los ensayos es con muestras pequeñas y que los especímenes de Bambú deben tener una relación de dimensión de $b/a = 1$, siendo b el ancho, a el espesor y h la altura (Ota M., 1953b) [5] propone unos factores que relacionan el esfuerzo de compresión con la densidad para las especies *Phyllostachis pubescens*, *edulis* y *nigra* var., así:

$$\sigma_c = \frac{\sigma_c}{\rho}; \quad (2)$$

Donde: σ_c = es el esfuerzo de compresión,

σ_c = relación entre esfuerzo y densidad,

ρ = densidad o gravedad específica.

$$\sigma_c = a e^{b \cdot u}; \quad (3)$$

Donde: u contenido de humedad, a y b son constantes experimentales, entre las especies estudiadas, b en rango

M.SC. HÉCTOR ÁLVARO GONZÁLEZ B.

Profesor Asociado

Escuela de Tecnología Mecánica.

Universidad Tecnológica de Pereira

e-mail: hagonza@utp.edu.co

PH.D, M.SC. JORGE AUGUSTO MONTOYA A.

Profesor Asistente

Facultad de Ciencias Ambientales.

Universidad Tecnológica de Pereira

e-mail: jorgemontoya@utp.edu.co

M.SC. JOSE RUBIEL BEDOYA

Profesor Asistente

Facultad de Ciencias Básicas.

Universidad Tecnológica de Pereira

e-mail: joserubiel@utp.edu.co

de promedio $-0,0450 \pm 0,00247$ y a se calcula de la relación de esfuerzo de compresión de su estado verde a seco en horno (a/σ_{cg}) que es de $2,19 \pm 0,049$ para las 3 especies mencionadas.

En general el incremento del esfuerzo de compresión paralelo al eje está directamente relacionado con el contenido de las capas exteriores y de la cantidad de haces vasculares en el tejido. Existe correlación del esfuerzo de compresión y el porcentaje de capas externas "C_{ext.}", con la siguiente ecuación, de acuerdo a Ota M., (1950) [4].

$$\sigma_c = 1051,8 + 88,7(C_{ext} - 3); \quad (4)$$

Los nudos en los culmos para Ota M., 1953a[6]; Limaye V. D., 1952[7]; Janssen J. A. A., 1981[8] no presentan diferencias significantes en ensayos de compresión con respecto a los tramos entrenudos. Sehkar A. C., (1960) [8] reporta la misma consideración, pero lo hace con base en los experimentos de Limaye.

Para Arce-Villalobos, O. A. (1993) [9] y posteriormente confirmado por Janssen J. A. A., (2000) [10] en pruebas de compresión sugieren emplear bases metálicas libres de fricción entre las caras, utilizando éstas revestidas con teflón o cera, para evitar la fuerza de fricción de rozamiento del espécimen o muestra con las caras metálicas que hacen la compresión; de esta forma la compresión se presenta paralela al eje del espécimen y se da en dirección radial hacia afuera. Esta deformación sin éstos revestimientos hace que las fibras de las capas exteriores del espécimen estén a tracción y las interiores a compresión.

Para Janssen J. A. A. (1981) [11] los esfuerzos de compresión son muy significativos de acuerdo al porcentaje de fibras y también la posición en el culmo, para él la compresión en el tope es mayor que en la base del culmo, también hace una diferencia entre la compresión paralela al eje (\parallel) y la perpendicular al eje (\perp) las distingue así: la compresión (\parallel) es alta en el Bambú, pero la compresión (\perp) al eje es menor (Atrops J. L., 1969[2]; Janssen J. A. A., 1981) [10]. En esta publicación se presenta la metodología para la realización de pruebas a compresión de muestras experimentales con fines investigativos de la especie "*Guadua angustifolia*" Kunth, siguiendo las Normas Internacionales ISO/TR 22157-1 e ISO/TR 22157-2, presentando los resultados del análisis de la información aplicando el programa estadístico SPSS - 10

2. MATERIALES Y METODOS

Las guaduas para esta investigación fueron obtenidas del guadual ubicado en el jardín botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira el cual comprende un área aproximada de cuatro hectáreas, posteriormente se les sometió a un proceso de secado en los secadores de las

instalaciones del laboratorio de procesos de Guadua ubicado en la facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira. Para la toma de dichas muestras se siguieron las normas descritas en la introducción.

La tabla 1 muestra las variables consideradas en la investigación

FACTOR	NIVELES		
	DIAFRAGMA	CON DIAFRAGMA	SIN DIAFRAGMA
EDAD	MADURA	SOBREMADURA	
TRAMO	CEPA	BASA	SOBREBASA

Tabla 1. Factores y niveles de selección de muestras

Las guaduas fueron cortadas en tramos de 2 m y marcadas según factores y niveles (ver tabla) para poder realizar el seguimiento de análisis estadístico de aleatoriedad. Para la selección de las probetas se hizo un diseño experimental factorial completamente aleatorio, los factores eran diafragma, edad y tramo y cada factor con diferentes niveles.

Después del corte se dejaron en pie las guaduas durante quince días en el guadual en un proceso de avinagrado, con el fin de que liberara agua, se deshidratará y así evitarse el ataque de insectos xilófagos para que pudieran ser sometidas a los ensayos mecánicos. Culminado el proceso de avinagrado se extrajo una probeta de cada uno de los tramos de guadua con máquina colilladora y siguiendo la norma ISO/TR 22157 -1,2 se tomaron en cuenta las siguientes especificaciones:

Un especial cuidado en que la longitud sea igual al diámetro exterior.

Tener en cuenta que el corte se hiciera de forma tal que el nudo quede en el centro de la probeta.

Garantizar un ángulo recto y un paralelismo de las tapas con respecto a la longitud del canuto.

Además de las siguientes recomendaciones:

Realizar el marcado de cada una de las probetas inmediatamente se les realizó el corte, para evitar confusiones y variaciones en el planeamiento estadístico. Un especial cuidado en el corte, manejo y transporte de los tramos de guadua; evitando el maltrato, abolladuras, fisuras y grietas de las muestras, previniendo efectos que generen concentradores de esfuerzos en las probetas.

Posterior al corte de las probetas se le extrajo el diafragma, (ver figura 2) al 50% de las probetas según planeado estadísticamente, utilizando una herramienta cortante fabricada en el laboratorio de máquinas herramientas de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira. La figura 3 muestra los dos tipos de probetas usadas en esta investigación, una con diafragma y la otra sin diafragma.



Figura 2. Extracción del diafragma

Posteriormente a la extracción del diafragma de las probetas, se les realizó un proceso de toma de datos del peso de cada probeta antes y después de salir de los secadores, para así poder determinar la cantidad de agua eliminada de la probeta durante el tiempo en los secadores. En el proceso de secado, las probetas permanecieron en los secadores por un tiempo de 48 horas a una temperatura constante de 40°C. Al salir del secador se tomaron los valores de humedad de las probetas empleando un Higrómetro y se identificó una humedad promedio del 35%, lo que condujo a dejar las probetas al aire libre por quince días, con el fin de lograr que estas tuvieran un porcentaje de humedad de alrededor del 15 % (ideal).

Ya que la humedad de la probeta no es homogénea, se realizaron dos mediciones en cada uno de los lados y se hizo un promedio. Para culminar este proceso de obtención y preparación de material de prueba, las probetas fueron movilizadas cuidadosamente hasta el laboratorio de resistencia de materiales de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira.



Figura 3. Probeta sin diafragma y con diafragma.

Los ensayos de compresión y la toma de la información fueron realizados por los estudiantes Luis Alfonso Cardona y Alexander Aguirre Requena de la Escuela de Tecnología mecánica en el laboratorio de resistencia de la Facultad de Ingeniería Mecánica en la Universidad Tecnológica de Pereira y quienes hacen parte del proyecto de investigación. Mediante el uso del higrómetro se llevó un estricto registro de los valores de

humedad de las probetas instantes antes de realizar cada una de las pruebas, además, la longitud previa en cada probeta para determinar la deformación total real al final de la prueba, y también el área transversal para el cálculo del esfuerzo máximo a compresión.

Probeta N°	Contenido de humedad Promedio (%)	Fuerza máxima F (KN)	Area de la sección A (mm ²)	Módulo elástico E (MPa)	Esfuerzo máximo a compresión σ (Mpa)
58	12.4	156,7897	3593,982	1947	43,6256
35	60.6	130,4196	7012,0348	603,05	18,5994

Tabla No. 2 Humedad mínima y máxima VS esfuerzo de compresión

La tabla 2 muestra la importante influencia del contenido de humedad en los resultados del esfuerzo de compresión, que confirman resultados de investigaciones anteriores en que una alta humedad disminuye la resistencia mecánica de la guadua, en este caso para el ensayo de compresión.

Al momento de determinar el área transversal de las probetas se tuvo en cuenta que el diámetro de la guadua no es homogénea en toda su longitud, para lo cual se seleccionaron de manera aleatoria cinco probetas a las cuales se les tomó medidas de diámetros tanto internos como externos en cuatro diferentes puntos para sacar un promedio y hallar un área transversal mas exacta.

Halladas estas áreas se calcularon los esfuerzos máximos de las probetas y se hizo una comparación con los esfuerzos máximos de dichas probetas determinados con el área calculada con un solo dato de diámetros, con lo cual se estableció que la variación de estas comparaciones no excedían el 5 % y se decidió que la variación era mínima al tener en cuenta que en ingeniería se puede trabajar con rango de variación del 10 % máximo.

Para ejecutar los ensayos de compresión, se utilizó la máquina universal de ensayos IBERTEST UNIB-600-SW, ubicada en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira. La máquina trabaja hidráulicamente y es accionada por un motor eléctrico, esto para la parte encargada de la aplicación de la carga a las probetas. La máquina de ensayos está equipada con un software para máquinas de ensayo el cual convierte el desplazamiento de la máquina obtenido por sensores en datos binarios, los cuales mediante software presenta las gráficas de carrera, tiempo, fuerza máxima, resistencia y deformación de las pruebas a realizar. Al menos una platina de la máquina deberá tener un apoyo hemisférico para obtener una distribución uniforme de las carga en los extremos de la probeta, como se ilustra en la figura 4.

Entre las dos platinas de acero de la máquina y los dos extremos de la probeta se debe de aplicar una capa intermedia para reducir al mínimo la fricción [1]. Aunque para éstas pruebas no se utilizaron los platos antifricción.

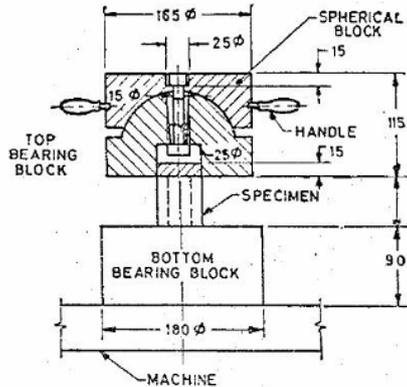


Figura 4. Apoyo hemisférico de la máquina universal.

La probeta se colocó de modo tal que el centro del cabezal inferior estuviera verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la probeta como se muestra en la figura 5; inicialmente se aplica a la probeta una precarga pequeña no mayor de 1kN. La carga se aplica continuamente durante el ensayo a una velocidad aproximada de 0.01 mm/s.

La figura 6 muestra una probeta de guadua después de ser sometida a un ensayo de compresión, se puede observar que a pesar de la fuerza a que fue sometida mantiene su forma original.



Figura 5. Posicionamiento de la probeta.

La tabla 5 y figura 8 muestran el comportamiento de las muestras de guadua con diafragma y sin diafragma Vs. Esfuerzo máximo de compresión en donde se evidencia que no hay diferencias significativas en los resultados de las pruebas realizadas a 60 muestras.



Figura 6. Probeta de ensayo a compresión después de la prueba.

Finalmente para el análisis estadístico se utilizó un diseño factorial completamente aleatorio con tres factores: el factor tramo de la guadua con tres niveles: cepa, basa y sobrebasa, el factor edad de la guadua con dos niveles: madura y sobremadura y el factor diafragma con dos niveles: con diafragma y sin diafragma. El análisis estadístico para la variable esfuerzo de compresión, se basa en un análisis de varianza (ANOVA) siguiendo un modelo lineal que tiene en cuenta el efecto de cada uno de los factores y las interacciones de segundo y tercer orden. El nivel de confiabilidad mínimo para los resultados es del 95% de confianza y los datos se procesaron en el software SPSS versión 10,0.

3. RESULTADOS

A continuación se presenta el resultado total, los resultados por factor, los resultados de interacciones de segundo orden (es decir de dos factores) y los resultados de interacción de tercer orden entre las diferentes variables de la investigación. La tabla 3 presenta el esfuerzo de compresión promedio global de todas las muestras. La tabla 4 establece la interacción entre la edad y el esfuerzo máximo de compresión.

Variable dependiente: Esfuerzo Máximo (N/mm²)

Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
		Límite inferior	Límite superior
28.788	.685	27.411	30.164

Tabla No.3 Esfuerzo de compresión promedio global.

Edad

Variable dependiente: Esfuerzo Máximo (N/mm²)

Edad	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
			Límite inferior	Límite superior
Madura	26.923	.968	24.976	28.870
Sobremadura	30.652	.968	28.705	32.599

Tabla No.4 Edad de la guadua VS esfuerzo máximo de compresión.

Diafragma

Variable dependiente: Esfuerzo Máximo (N/mm²)

	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
			Límite inferior	Límite superior
Diafragma				
Con diafragma	28.454	.968	26.508	30.401
Sin diafragma	29.121	.968	27.174	31.068

Tabla No.5 Con o sin diafragma VS esfuerzo máximo de compresión.



Figura No.8 Con o sin diafragma VS esfuerzo máximo de compresión.

La tabla 6 y figura 9 muestran el comportamiento de los tramos de las muestras de guadua con diafragma y sin diafragma Vs. Esfuerzo máximo de compresión.

Tramo de la Guadua

Variable dependiente: Esfuerzo Máximo (N/mm²)

Tramo de la Guadua	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
			Límite inferior	Límite superior
Cepa	24.429	1.186	22.045	26.814
Basa	30.141	1.186	27.756	32.525
Sobrebasas	31.793	1.186	29.409	34.178

Tabla No.6 Tramo de la guadua VS esfuerzo máximo de compresión.

La tabla 7 y figura 10 muestran el comportamiento de los tramos y la edad de las muestras de guadua con diafragma y sin diafragma Vs. Esfuerzo máximo de compresión.

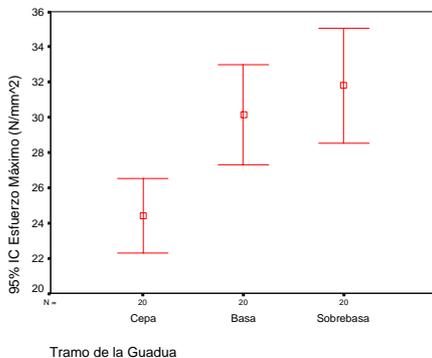


Figura No.9 Tramo de la guadua VS esfuerzo máximo de compresión.

Edad - Tramo de la Guadua

Variable dependiente: Esfuerzo Máximo (N/mm²)

Edad	Tramo de la Guadua	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
				Límite inferior	Límite superior
Madura	Cepa	24.088	1.677	20.716	27.460
	Basa	29.144	1.677	25.772	32.516
	Sobrebasas	27.538	1.677	24.165	30.910
Sobremadura	Cepa	24.770	1.677	21.398	28.142
	Basa	31.137	1.677	27.765	34.509
	Sobrebasas	36.049	1.677	32.677	39.421

Tabla No.7 edad y tramo de la guadua VS esfuerzo máximo de compresión.

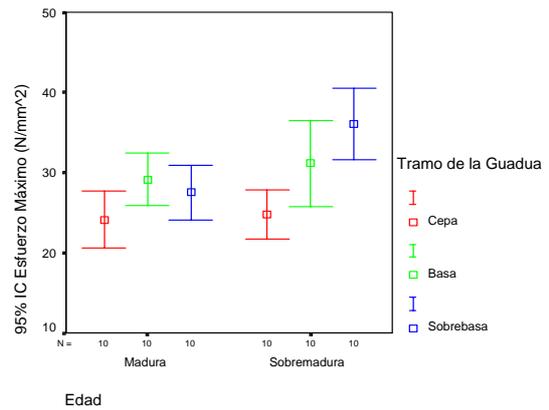


Figura No.10 edad y tramo de la guadua VS esfuerzo máximo de compresión.

Diafragma - Tramo de la Guadua

Variable dependiente: Esfuerzo Máximo (N/mm²)

Diafragma	Tramo de la Guadua	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
				Límite inferior	Límite superior
Con diafragma	Cepa	24.526	1.677	21.154	27.898
	Basa	29.574	1.677	26.201	32.946
	Sobrebasas	31.264	1.677	27.892	34.636
Sin diafragma	Cepa	24.332	1.677	20.960	27.704
	Basa	30.708	1.677	27.336	34.080
	Sobrebasas	32.323	1.677	28.951	35.695

Tabla No.8 edad y tramo de la guadua VS esfuerzo máximo de compresión.

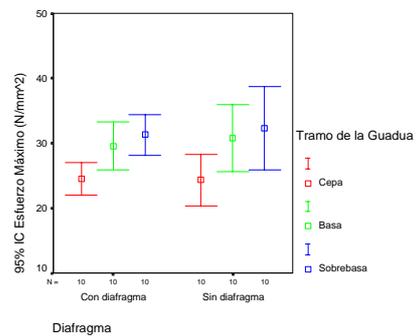


Figura No.11 Diafragma y tramo de la guadua VS esfuerzo máximo de compresión.

La tabla 8 y figura 11 muestran el comportamiento del diafragma y tramo de la guadua Vs. Esfuerzo máximo de compresión.

Se comprobaron los supuestos para la realización del análisis de varianza con los siguientes resultados. La homogeneidad de varianza se revisó con la prueba de Levene, cuyo resultado fue la no significancia ($p = 0,232$) indicando con esto que se puede asumir homogeneidad de varianzas entre los tratamientos; los errores se pueden asumir con distribución normal, ya que la prueba de Kolmogorov – Smirnov no fue significativa ($p = 0,20$) y la independencia se puede asumir debido a que la toma de cada dato fue independiente y en diferentes guaduas.

Esfuerzo de compresión: el análisis de varianza muestra diferencias significativas en los esfuerzos máximos promedio de los diferentes tratamientos del experimento ($p < 0,001$), los factores edad y tramo de la guadua son significativos (ambos con un $p < 0,001$), aunque el factor diafragma no es significativo ($p = 0,629$) se debe tener en cuenta las interacciones entre los factores. Las interacciones presentan el siguiente comportamiento: interacción entre edad y diafragma es significativa ($p = 0,021$); interacción entre edad y tramo no es significativa ($p = 0,053$) sin embargo es de cuidado ya que el valor de p es muy cercano a 0,05; la interacción entre diafragma y tramo no es significativa ($p = 0,906$) y la interacción entre los tres factores no es significativa ($p = 0,167$).

4. CONCLUSIONES Y DISCUSION

El comportamiento de las muestras de guadua con diafragma y sin diafragma Vs. Esfuerzo máximo de compresión evidencia que no hay diferencias significativas en los resultados de las pruebas realizadas a 60 muestras, con lo cual se puede afirmar con certeza que el proceso de preservación por inmersión cuando se realiza las perforaciones a la guadua no afecta en ningún caso las propiedades físico mecánicas de la guadua, confirmando también que la guadua soporta sus esfuerzos en la corteza exterior y no en el diafragma.

El comportamiento del diafragma y tramo de la guadua Vs. Esfuerzo máximo de compresión presentó unos resultados que confirman que entre cepas con diafragma y sin diafragma no hay diferencias significativas en los valores del esfuerzo a compresión

La variable esfuerzo de compresión presenta diferencias significativas en sus promedios de esfuerzo máximo según la edad, en donde las sobremaduras presentan un mayor promedio.

Los promedios de esfuerzo máximo también presentan diferencias significativas de acuerdo al tramo de la guadua, en donde la Cepa presenta el promedio más bajo, la basa y la sobrebasa tienen promedios similar y mayor un mejor promedio y además similar

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ISO/TR 22157-1 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties. Part 1: Requirements. Primera edición, 19 páginas, ISO 2004.
- [2] Atrops J. L. (1969) Elastizität und Festigkeit von Bambusrohren. Der Bauingenieur 44 Heft 6, pp. 220-225.
- [3] Sotela Motero, J. (1990): Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del Bambú de la especie Guadua de dos zonas de Costa Rica. Proyecto PNUD-COS 87/001, San José de Costa Rica. 65 pp.
- [4] Ota M. (1950): Studies on the Properties of Bamboo Stem (Part 7). The influence of the percentage of structural elements on the specific gravity and compressive Strength of Bamboo Splint. Bulletin N° 19 Kyushu University, Japan. 25-47 pp.
- [5] Ota M. (1953a): Studies on the Properties of Bamboo Stem (Part 8). The Variation of the Specific Gravity and the compressive Strength of Bamboo Splint in Node-interval. Bulletin N° 21 Kyushu University, Japan. 121 – 131 pp.
- [6] Ota M. (1953b): Studies on the Properties of Bamboo Stem (Part 13). On the Relation between Shearing Strength Parallel to Grain and Moisture Content of Bamboo Splint. Bulletin N° 25 Kyushu University, Japan. 121 – 131 pp.
- [7] Limaye V. D. (1952): Strength of Bamboo (*Dendrocalamus strictus*). Indian Forest Records, Vol. 1 N° 1, Forest Research Institute, Dehra Dun India. 17 pp.
- [8] Janssen J.J.A. (1981): Bamboo in Building Structures. Thesis to obtain the degree of Doctor of Technical Sciences at the Eindhoven University, Nijmegen Netherlands. 235 pp.
- [9] Arce-Villalobos O.A. (1993): Fundamentals of the design of bamboo structures. Dissertation. Eindhoven, Netherlands: Technische Universiteit. 261pp.
- [10] Janssen J.J.A. (2000): Designing and Building with Bamboo. INBAR Technical Report No 20, Beijing China, 207 pp.
- [11] González Betancourt. Héctor Álvaro & Montoya A. Jorge Augusto. Metodología de preparación de muestras experimentales en procesos investigativos con *Guadua angustifolia Kunth*. Ciencia y Técnica _ Universidad Tecnológica de Pereira Volumen 31. Año 2006.
- [12] Ferrán, Aranz. Magdalena. SPSS para Windows, Análisis estadístico. Universidad Complutense de Madrid. Editorial McGraw Hill. España. 2001.
- [13] Montgomery. Douglas C. Diseño y análisis de experimentos, II edición. Universidad Estatal de Arizona. Editorial Limusa Willey. México. 2002.