

externas, las externas son el doble de esfuerzo a tensión que las internas, no se menciona la especie, luego Sioti Uno (1932) en Hidalgo-López O. (2003) [3] en Japón encuentra que el mayor esfuerzo de tensión del Bambú es en la mitad del culmo, es decir en el centro es mayor que la base y el tope, además con la especie *Bambusa stenostachysa*, las capas exteriores son 5,5 veces más fuertes que las capas interiores. (Hidalgo-López O., 2003) [3] propone un método para testar especímenes de Bambú para determinar sus propiedades mecánicas, página 93, parte 2, sección 6.

Los esfuerzos a tensión en los nudos de los culmos para Arce-Villalobos, O. A., (1993) [4] presentan diferencias con respecto a los entrenudos, el MOE en el nudo es 40% menor que el MOE de los entrenudos paralelo al eje y el (MOR) esfuerzo de tensión paralelo al eje del nudo es el 30% del internudo, es decir es mayor en ambos casos el entrenudo que el nudo, razón por la que para ésta investigación no se testaron probetas con nudos, sino que todas fueron de entrenudos.

Para Janssen J. A. A. (1981) [5] el esfuerzo de tensión (\parallel) al eje es la propiedad más fuerte del Bambú, (Atrops J. L., 1969) [6] realizó pruebas de tensión y encontró que los especímenes de Bambú del tope presentaron hasta un 12% menor en esfuerzo de tracción que las de la base, para encontrar el módulo de elasticidad a la tensión, el empleo la siguiente ecuación:

$$E_t = \frac{(P_2 - P_1) * l_0}{F_0 * l}; \text{ (Kp. /cm}^2\text{)} \quad (2)$$

Donde: P_1, P_2 , fuerzas que producen es esfuerzo.

l_0 distancia de alargamiento.

l es el espacio libre entre apoyos.

F_0 sección transversal de la prueba.

2. MATERIALES Y METODOS

El material usado en esta investigación es de la especie *Guadua "angustifolia"*, fue seleccionado y posteriormente extraído de los guaduales que actualmente posee el vivero de la Universidad Tecnológica de Pereira. Este sembrado se encuentra a una altura de 1414 metros sobre el nivel del mar y a una temperatura promedio de 23 °C.

Para la experimentación se tomo como variable importante la edad de la guadua, con el objetivo de analizar el comportamiento del material en cada una de las etapas de este proceso, por tanto, se decidió cortar una guadua verde, otra madura y otra sobre madura, para la fabricación de las probetas. El proceso de corte se realizó siguiendo un procedimiento que no afectara el guadual, y se puede consultar en la referencia [7], al igualmente se hizo trazabilidad de las muestras. Otra variable importante a considerar en el experimento fue el

ambiente de climatización y para el efecto se organizaron dos lotes de probetas, uno en un ambiente normal (65%/20°C de humedad relativa y temperatura) que dio como resultado un (CH) contenido de humedad del material de ~ 10% y otro en ambiente tropical o húmedo (85%/20°C de humedad relativa y temperatura) que dio como resultado un (CH) contenido de humedad del material de ~ 15 % .

En la figura 2 se localizan los tramos de la guadua, y allí se muestra la zona de Cepa, Basa y Sobrebasa, que son las de mayor aplicación comercial. Se cortaron tramos de un metro de longitud y como se aprecia en la figura 2 de la periferia de la guadua se cortaron las probetas para prueba en tensión, con el objeto de comprobar la resistencia de las fibras de la guadua en su sentido longitudinal, siguiendo la metodología sugerida en la norma ISO mencionada anteriormente.

La forma de la probeta para la prueba de tensión se muestra en el esquema de la figura 3

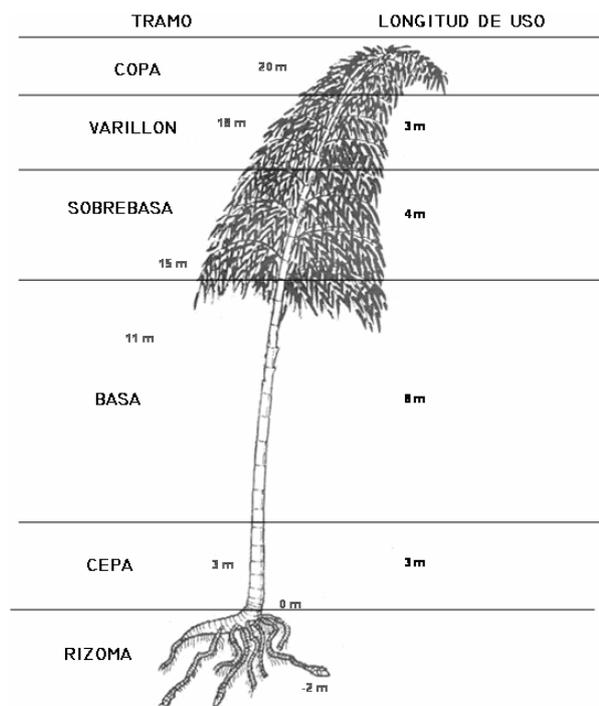


Figura 2. Tramos en que se divide una guadua

La probeta de la figura 3, presenta una variación con la sugerida en la norma figura 4 en la zona central, en donde se ha realizado una sección de menor área o garganta, con el objeto de lograr la rotura de la probeta (a cizalladura), que no se lograba con la planteada en la norma ISO.

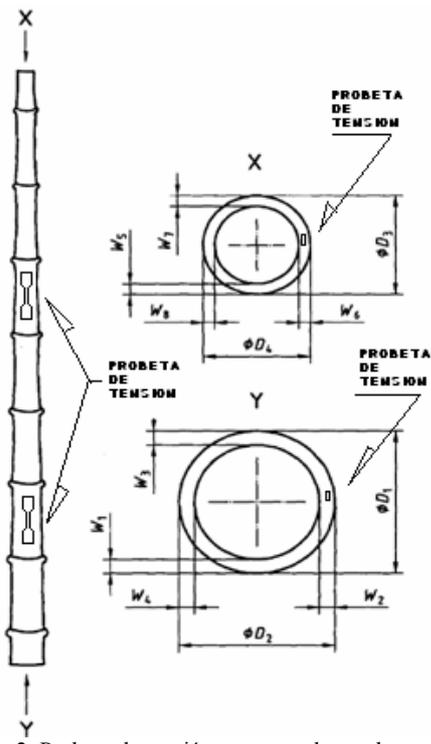


Figura 2. Probeta de tensión en tramo de guadua

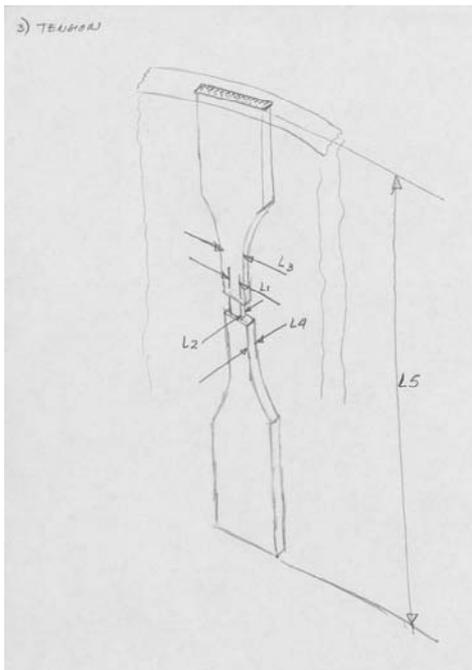


Figura 3. Esquema probeta de tensión

Las medidas típicas en mm. de esta probeta son:
 L1: 8 Longitud tangencial (garganta)
 L2: 4 Longitud radial (garganta)
 L3: 10 Longitud tangencial
 L4: 8 Longitud radial
 L5: 290 Longitudinal

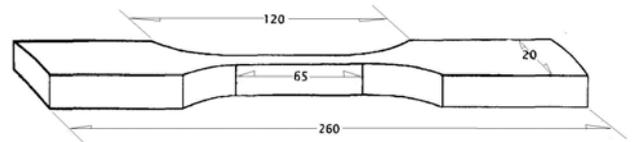


Figura 4. Probeta sugerida por la norma ISO 22 157 2

La figura 5 muestra el paso final en la elaboración de la probeta de tensión para dar la forma, tal como lo sugiere la norma ISO 22 157 - 1: 2004.

De acuerdo a la norma ISO 22 157 - 1: 2004, para la prueba, la tensión es una fuerza externa paralela a las fibras de la probeta que las estira. La determinación del *Esfuerzo último* de tensión se realiza incrementando gradualmente la fuerza de tensión a la probeta, hasta destruirla. El *esfuerzo último* de tensión σ_{ult} será determinado en MPa con la formula igual a la prueba de compresión (ver ecuación 1):

Metodológicamente, las medidas de tensión serán leídas un número suficiente de veces para ser capaces de trazar un diagrama exacto de *deformación - carga* para el cual el módulo de elasticidad E debe ser calculado.

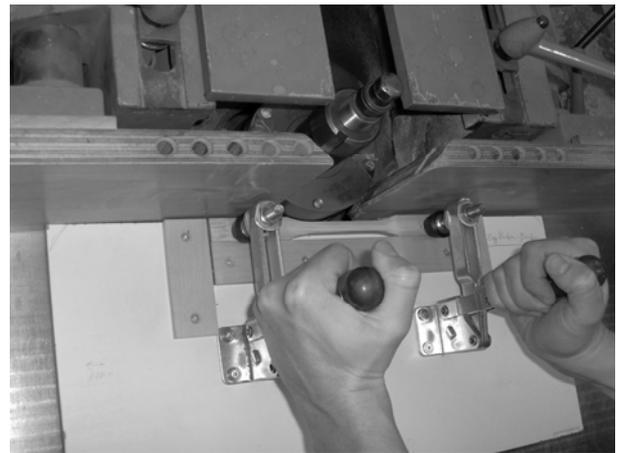


Figura 5. Fabricación probeta para prueba de tensión.

El módulo de elasticidad E será calculado del valor medio de las lecturas de las medidas de tensión, como una relación lineal entre la tensión y el esfuerzo entre el 20 % y el 80 % de F_{ult} .

Para esto se necesitó que los agarres de la máquina de tensión aseguren que la carga es aplicada a lo largo del eje longitudinal de la pieza, y pueda prevenir el giro longitudinalmente de la pieza. Los agarres presionarán la pieza perpendicularmente a las fibras en una dirección radial. La carga será aplicada continuamente durante la prueba a una velocidad de movimiento del cabezal móvil de 0,01 mm/s. La carga fue medida con 1 % de tolerancia.

Las dimensiones de la sección transversal de la parte medida de la pieza fueron medidas con una exactitud de 0,1 mm. La preparación de las probetas, fueron tomadas

de la parte inferior, la parte media y la parte superior de cada culmo. Estas piezas fueron marcadas con los números 1,2 y 3 en sentido de abajo hacia arriba.

Para el análisis estadístico de los datos, como metodología, se utilizó la formación de bloques en un diseño factorial, en donde los bloques están dados por la edad de la guadua, formando tres bloques de materia prima para realizar las pruebas, los bloques fueron: verde, madura y sobremadura [8], [9]. En cada bloque se asignaron aleatoriamente los 6 tratamientos generados por los dos factores que se tuvieron en cuenta en la realización del experimento, el factor tramo de la guadua con tres niveles: cepa, basa y sobrebasa y el factor ambiente con dos niveles: normal (65% de humedad relativa) y húmedo o tropical (85% de humedad relativa). El análisis estadístico se hace con base en un análisis de varianza (ANOVA) siguiendo un modelo lineal que tiene en cuenta el efecto de cada uno de los factores, el efecto del bloqueo y la interacción entre los dos factores. El número de unidades analizadas fue de 18, 3 repeticiones por tratamiento, una en cada bloque. 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

Las tablas 1 y 2 muestran los valores obtenidos en la prueba de tensión para los diferentes tramos de la guadua (1: cepa, 2: basa, 3: sobrebasa) y también las diferentes edades (V: viche, M: madura, SM: sobremadura). En la tabla 1 la condición de humedad es normal y en la tabla 2 la condición de humedad es la del trópico.

Las figuras 6 a 9 muestran los principales resultados del análisis de las pruebas de tensión en “*Guadua angustifolia* Kunth”.

La fuerza de Falla con relación al tramo se muestra en la figura 6. El análisis de varianza implica diferencias significativas en las fuerzas promedios de los diferentes tratamientos del experimento ($p = 0,001$), la interacción entre los factores tramo de la guadua y ambiente no es significativa ($p = 0,177$), el factor ambiente no es significativo ($p = 0,124$), mientras que el factor tramo de la guadua si lo es ($p < 0,001$), los bloques (edad de la guadua) muestran un aporte importante en la variabilidad.

Ambiente (%HR/T°C)	Tramo	Fuerza de Falla(N)	Intervalo de confianza al 95%. N	
		Media	Límite inferior	Límite superior
Normal (65/20)	Cepa	10295.0	8938.1	11651.9
	Basa	6118.3	4761.4	7475.3
	Sobrebasa	5436.7	4079.7	6793.6
Húmedo (85/20)	Cepa	8051.3	6694.4	9408.3
	Basa	6201.7	4844.7	7558.6
	Sobrebasa	5093.3	3736.4	6450.3

Tabla 1. Resultados Fuerza de Falla

Ambiente (%HR/T°C)	Tramo	Módulo de Elasticidad (N/mm ²)	Intervalo de confianza al 95%. (N/mm ²)	
		Media	Límite inferior	Límite superior
Normal (65/20)	Cepa	17139.2	13968.1	20310.2
	Basa	21066.3	17895.3	24237.4
	Sobrebasa	20281.8	17110.8	23452.9
Húmedo (85/20)	Cepa	13695.4	10524.3	16866.5
	Basa	18081.7	14910.6	21252.7
	Sobrebasa	15856.5	12685.5	19027.6

Tabla 2. Resultados Módulo de Elasticidad

Ambiente (%HR/T°C)	Tramo	Esfuerzo (N/mm ²)	Intervalo de confianza al 95%. (N/mm ²)	
		Media	Límite inferior	Límite superior
Normal (65/20)	Cepa	161.5	134.7	188.3
	Basa	191.6	164.7	218.4
	Sobrebasa	172.8	146.0	199.6
Húmedo (85/20)	Cepa	154.8	127.9	181.6
	Basa	187.7	160.8	214.5
	Sobrebasa	164.9	138.2	191.8

Tabla 3. Resultados Esfuerzo de Tensión

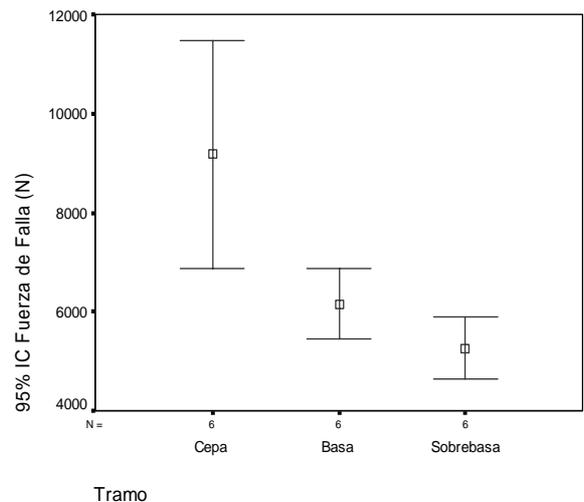


Figura 6. Fuerza de Falla Promedio por Tramo de la Guadua

El Módulo de Elasticidad con relación al ambiente se muestra en la figura 7, y en la figura 8 con relación al tramo. El análisis de varianza implica diferencias significativas en los módulos de elasticidad promedios de los diferentes tratamientos del experimento ($p = 0,04$), la interacción entre los factores no es significativa ($p = 0,876$), tanto el factor ambiente ($p = 0,011$), como el factor tramo de la guadua ($p = 0,043$) son significativos.

El Esfuerzo de Rotura con relación al tramo se muestra en la figura 9. El análisis de varianza para este caso no muestra diferencias significativas en los esfuerzos de

rotura promedio de los diferentes tratamientos del experimento ($p = 0,311$), la interacción entre los factores no es significativa ($p = 0,986$), las diferencias de los factores ambiente ($p = 0,546$) y tramo de la guadua ($p = 0,069$) no son significativos.

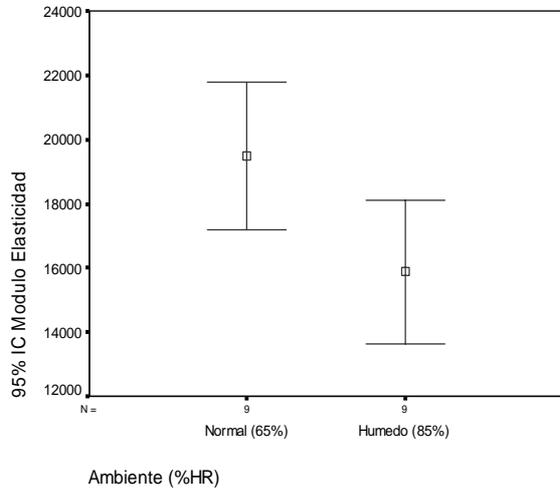


Figura 7. Modulo de Elasticidad (MOE) por Ambiente en % de Humedad Relativa, presenta diferencias significativas

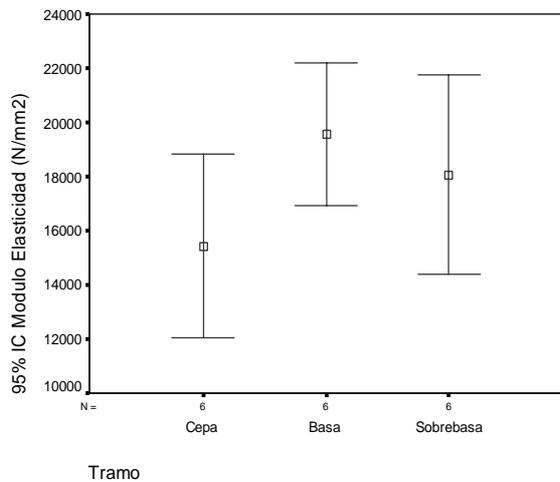


Figura 8. Modulo de Elasticidad (MOE) por Tramo de la Guadua

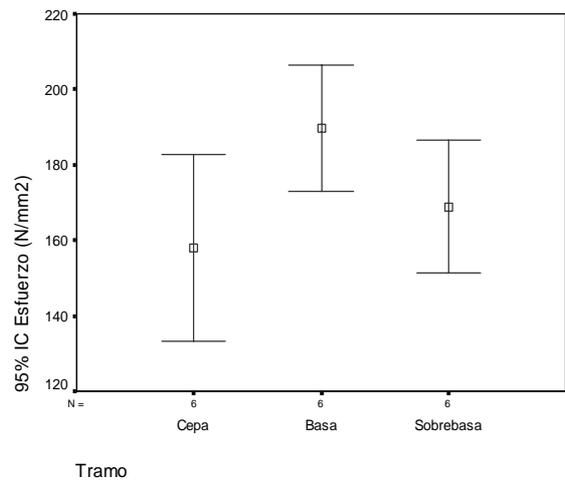


Figura 9. Esfuerzo de Rotura (MOR) por tramo de la Guadua.

La figura 10 muestra probetas fracturadas usadas en la prueba de tensión, en una maquina de tracción universal.

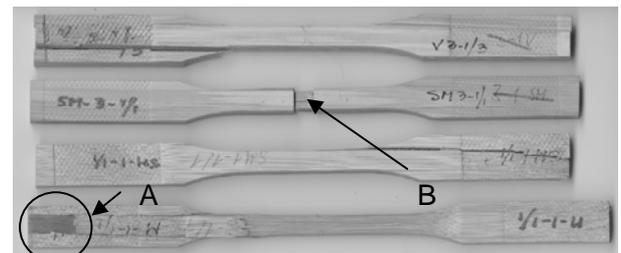


Figura 10. Probetas fracturadas a tensión, pero con desplazamiento de sección A y desplazamiento en garganta B.

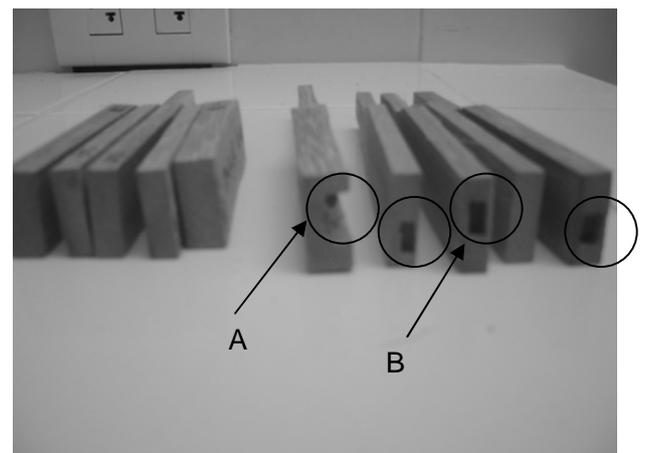


Figura 11. Probetas fracturadas a tensión, mostrando el área de deslizamiento por cizalladura, equivalente al área de la garganta.

4. CONCLUSIONES Y DISCUSION

Los resultados obtenidos de éste experimento son similares y están en los rangos con los obtenidos por [3] (Hidalgo-López O., 2003) ; [4] (Arce-Villalobos O.A., 1993); [6] (Atrops J. L., 1969).

Comparando los resultados obtenidos en éste experimento, con los obtenidos por Hidalgo O. (1973) en (Jansen J.J.A., 1981) [5] para las especies *Bambusa tulda* y *Dendrocalamus strictus*, el Módulo de Elasticidad fue 19.300 N/mm² y 17.400 N/mm² respectivamente, los valores en el ambiente de 65%/20°C con 10% de CH, dan un resultado muy similar al de *Bambusa tulda*. Los resultados del ambiente 85%/20°C, con 15% de CH están por debajo de las especies mencionadas, no especifican el contenido de humedad de las muestras. Se puede concluir que las condiciones ambientales influyen directamente con el contenido de humedad e inversamente con la resistencia a la tensión, presentando diferencias significativas.

Haciendo un comparativo con los datos obtenidos por Sioti Uno (1930) en Hidalgo O., (2003) [3] el Esfuerzo a tensión y el Módulo de Elasticidad, para 8 especies de Bambú, diferentes a la *Guadua angustifolia* ; los resultados coinciden en que la basa (mitad) 189,6 N/mm² y MOE de 19574 N/mm² es mayor que la cepa y sobrebasa.

Para el caso de fuerza de falla el tramo de la guadua muestra diferencias significativas en sus promedios, siendo la cepa, el tramo de mayor fuerza promedio y se diferencia de los otros dos niveles. La basa es un poco mayor que la sobrebasa, pero su diferencia no es significativa.

El Módulo de Elasticidad presenta diferencias significativas en sus promedios según el ambiente, en donde el ambiente normal (65%/20° C) es mayor que el húmedo (65%/20° C). Las diferencias también se presenta de acuerdo al tramo de la guadua, donde la cepa se diferencia de la basa (siendo la basa mayor), pero no de la sobrebasa, además la basa y la sobrebasa no presentan una diferencia significativa.

En el caso de Esfuerzo de Rotura no hay diferencias significativas, sin embargo se nota una tendencia alta a diferenciarse según el tramo de la guadua. En la cepa el esfuerzo de rotura promedio muestra una tendencia a ser menor que el de la basa, entre los demás tramos no se notan estas tendencias.

En los ensayos de tensión en el proceso de experimentación las fibras longitudinales de las muestras de *Guadua angustifolia* no se rompieron a tracción o tensión, sino que se comportaron como esfuerzos de

cizalladura o corte en las células parénquima, que son las células vecinas a los haces vasculares, estructuras estas de menor resistencia, como se aprecia en las figura 11.

Para próximas investigaciones, es importante tener en cuenta una revisión de la norma ISO/TR 22157-1 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties. Part 1: Requirements, debido a que la forma de la probeta de experimentación recomendada, presenta problemas de no rotura en la sección delgada y hay cizalladura en la zona de las mordazas. Este problema se mejoró adoptando la forma presentada en la figura 3, realizando una garganta en la probeta. Además realizar éste experimento con mayor número de probetas y que sean microprobetas de una o varias fibras o haces vasculares, con el objeto de evitar la cizalladura de las células parénquima.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ISO/TR 22157-1 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties. Part 1: Requirements. Primera edición, 19 páginas, ISO 2004.
- [2] ISO/TR 22157-2 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties. Part 2: Laboratory manual. Primera edición, 21 páginas, ISO 2004.
- [3] Hidalgo-López O. (2003): Bamboo - The gift of the goods. Bogota, Colombia: Hidalgo, O.. 553 p.
- [4] Arce-Villalobos O.A. (1993): Fundamentals of the design of bamboo structures. Dissertation. Eindhoven, Netherlands: Technische Universiteit. 261pp.
- [5] Jansen 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.
- [6] Atrops J. L. (1969) Elastizität und Festigkeit von Bambusrohren. Der Bauingenieur 44 Heft 6, pp. 220-225.
- [7] González Betancourt. H. A. & Montoya Arango. J. A. (2006): Metodología de preparación de muestras experimentales en procesos investigativos con *Guadua Angustifolia Kunth*. Scientia et Technica _ Universidad Tecnológica de Pereira Volumen 31. Año 2006, 6 pp.
- [8] Ferrán Aranaz M. (2001): SPSS para Windows, Análisis estadístico. Universidad Complutense de Madrid. Editorial McGraw Hill. España, 2001.
- [9] Montgomery D. C. (2002): Diseño y análisis de experimentos, II edición. Universidad Estatal de Arizona. Editorial Limusa Willey. México, 2002.