

DUREZA BRINELL Y LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE, DE LA EDAD Y LA ALTURA A LO LARGO DEL TRAMO EN LA ESPECIE DE BAMBÚ *Guadua angustifolia* Kunth.

RESUMEN

En esta publicación se presentan las pruebas de Dureza Brinell con fines investigativos, para muestras experimentales de la especie "*Guadua angustifolia*"; siguiendo la Norma Internacional DIN EN 1534 (2004). La información se presenta aplicando el programa estadístico SPSS - 10.

La Dureza Brinell varía con la humedad del ambiente y su contenido de humedad. A menor humedad relativa (65%/20°C), el contenido de humedad del material también es menor ~10% y la Dureza Brinell mayor, este valor se encuentra entre 40,0 a 45,0 N/mm² para la cara exterior del diámetro.

Además se comprobó que la Dureza Brinell, aumenta con la edad y es alta en cualquier tramo de la cara exterior de la Guadua. Para cepa, basa y sobrebasa se encuentra entre 30,0 a 40,0 N/mm².

PALABRAS CLAVES: Dureza Brinell, Guadua, tramo, humedad relativa, contenido de humedad.

ABSTRACT

In this publication the tests of Hardness Brinell is presented with investigative ends, for experimental samples of the species "Guadua angustifolia"; following the International Norma DIN IN 1534 (2004). The information is presented applying the statistical program SPSS - 10.

The Hardness Brinell varies with the humidity of the atmosphere and its content of humidity. To smaller relative humidity (65%/20°C), the moisture content of the material is also smaller 10% and the Hardness Brinell bigger, this value is among 40,0 to 45,0 N/mm² for the external face of the diameter.

It was also proven that the Hardness Brinell, increases with the age and it is high in any tract of the external face of the "Guadua". For "base", "middle" and "top" is among 30,0 to 40,0 N/mm²

KEYWORDS: *hardness Brinell, Guadua, section, relative humidity, moisture content.*

1. INTRODUCCIÓN

Las pruebas de Dureza Brinell en materiales de fibra natural como las maderas y los Bambúes, son de gran importancia en las aplicaciones industriales, principalmente en la producción de pisos en parquet. La *Guadua Angustifolia* con sus buenas propiedades físico-mecánicas es un material con excelentes posibilidades de aplicación industrial.

Dentro de las especies de Bambú, el *Phyllostachys Pubescens* es una de las más estudiadas en los países asiáticos para la producción de pisos. En muestras de pisos de parquet de ésta misma especie se conocen algunas investigaciones en el BFH-Instituto Federal de Investigaciones de Alemania. El resultado en Dureza Brinell que se obtuvo fue de: 29,9 N/mm² (MPa) en 80 muestras con un CV de 6,1% en muestras de color natural. Para muestras del mismo color, pero con laca, el resultado fue prácticamente igual obteniéndose un valor de 30,0 N/mm² (MPa) con un CV de 5,9%, la densidad de las muestras fue de 0,67 y 0,68 g/cm³ respectivamente.

En muestras de la misma especie en color café (carbonizadas), la Dureza Brinell fue de 31,7 N/mm² (MPa) en 80 muestras, con un CV de 8,4% y para muestras del mismo color pero con laca fue de 34,0 N/mm² (MPa) con un CV de 8,6%; la densidad fue de 0,73 y 0,76 g/cm³ respectivamente [1]. Estas muestras en su proceso de producción fueron tratadas con alta temperatura en el proceso de blanqueo y carbonizado, tratamiento que aumenta sus propiedades físico-mecánicas. Este mismo experimento comparó los resultados de algunas especies de madera como Roble y Haya donde los resultados obtenidos de Dureza Brinell fueron para el Roble de 22,9 N/mm² (MPa) en 72 muestras con un CV de 4,8% y para la madera Haya fue de 23,8 N/mm² (MPa) un CV de 3,1%; la densidad obtenida fue de 0,63 y 0,67 g/cm³ respectivamente.

Schwab E. (1990) en [1], encontró una relación experimental de tipo lineal entre la Dureza Brinell y la densidad para especies de madera foliares con densidad entre 0.58 y 1.04 gr/cm³, que se muestra en la ecuación 1.

**JORGE AUGUSTO
MONTROYA ARANGO**
Ph.D. M.Sc.

Profesor Asistente
Facultad de Ciencias Ambientales.
Universidad Tecnológica de Pereira
jorgeama@utp.edu.co

**HÉCTOR ÁLVARO
GONZÁLEZ B.**

M.Sc. Profesor Asociado
Escuela de Tecnología Mecánica.
Universidad Tecnológica de Pereira
hagonza@utp.edu.co

**JOSE RUBIEL BEDOYA
SÁNCHEZ**

Lic. Profesor Auxiliar
Facultad de Ciencias Basicas.
Universidad Tecnológica de Pereira
joserubiel@utp.edu.co

$$HB = 76,2\rho_N - 24,5; \quad \text{N/mm}^2 \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Donde; **HB** : Dureza Brinell.

ρ_N : Densidad de la Madera ó Bambú.

En la producción de pisos de parquet la densidad de la *Guadua angustifolia*, se encuentra en un rango promedio de 0.58 gr/cm³ y permite hacer uso de la ecuación 1.

Otros métodos existentes para determinar la Dureza Brinell en los metales son la ASTM E-10, la ISO 6506 y esta dureza se encuentra en los rangos entre 50 a 750 MPa

2. MATERIALES Y METODOS

El material usado en esta investigación es de la especie "*Guadua angustifolia*" del biotipo cebolla el cual fue seleccionado y posteriormente extraído de los guaduales que actualmente posee el Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Para la experimentación se escogió 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. 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 para no afectar el Guadual, y se puede consultar en la referencia [2], igualmente se hizo trazabilidad de las respectivas muestras. Otra variable importante a considerar en el experimento fue el ambiente de climatización y para tal 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 final del material de ~ 10% y otro en ambiente simulando el tropical o húmedo (85%/20°C de humedad relativa y temperatura) que dio como resultado un (CH) contenido de humedad final del material de ~ 15 %.

La descripción de cómo se localizan los tramos de la guadua, se encuentra en la referencia [3]

La figura 1 muestra el principio físico del experimento y cálculo de la Dureza Brinell en un material, y la ecuación 2 muestra como se realiza dicho cálculo.

Las pruebas de Dureza Brinell se iniciaron en Suecia en el año 1900 por le Dr. J.A. Brinell. La prueba se usa para materiales metálicos y normalmente se aplican fuerzas entre 5000 y 30000 N con bolas de diámetro entre 5 y 10 mm. Para materiales más blandos como la madera y la guadua se usan fuerzas más pequeñas y en países Europeos se usa una fuerza de 600 N con una bola de 10 mm de diámetro

El procedimiento planteado en la norma DIN EN 1534 e ISO 6506 para la prueba de dureza es el siguiente [4] [5]:

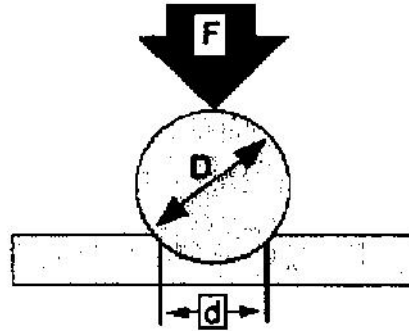


Figura 1. Medida de la Dureza Brinell

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2)$$

Donde:

HB = Dureza Brinell en [N/mm²] o en [MPa]

F = Fuerza constante sobre el material en [N]

D = Diámetro de la bola en [mm]

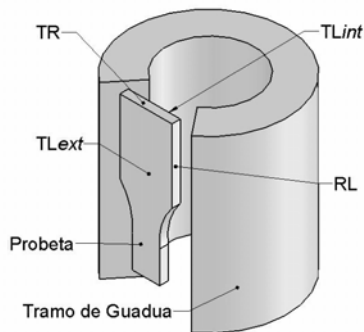
d = Diámetro de la huella en [mm]

- La bola o indentador de diámetro D ejerce presión contra la probeta con una fuerza de prueba controlada. Para este ensayo esa fuerza fue de 600 N y el diámetro D de 10 mm.
- La fuerza se mantiene por un tiempo especificado mínimo de 10 a 15 segundos. Para este ensayo se usó un tiempo de 30 segundos. Después de pasado el tiempo se retira la fuerza y la probeta.
- Posteriormente se mide el diámetro de la huella dejada en la probeta por el indentador, utilizando un método óptico para tener buena precisión en la medida. Se miden dos diámetros en diagonal y se promedia la medida.
- La Dureza Brinell es función de la fuerza aplicada dividida por el área de la superficie curva indentada sobre la probeta (ver ecuación 1).

Los valores de Dureza Brinell en unidades de MPa para metales están normalmente entre 50 a 750 MPa, pero para madera oscilan entre 20 y 50 MPa. en promedio.

La forma de la probeta y las convenciones para la prueba de Dureza Brinell son las que se muestran en el esquema de la figura 2

En esta investigación no se consideró relevante probar la dureza de la cara tangencial radial TR porque no es una superficie de aplicación en el uso industrial y comercial de la Guadua.



TR: Cara Tangencial Radial,
RL: Cara Radial Longitudinal,
TL_{ext}: Cara Tangencial Longitudinal exterior,
TL_{int}: Cara Tangencial Longitudinal interior.

Figura 2. Convenciones probeta de dureza en tramo de Guadua

En la probeta de la figura 2 se observa que la cara tangencial longitudinal exterior TLezt es la de mayor concentración o densidad de las fibras y es allí donde se presume se encuentran los mayores valores de dureza, por lo tanto es la cara útil para la producción de laminados utilizada para pisos.

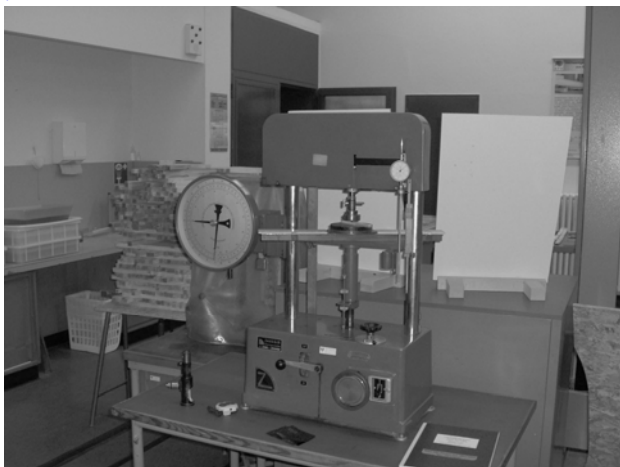


Figura 3. Máquina de ensayos de dureza marca Zwick.

La figura 3 muestra la máquina de ensayo de Dureza Brinell marca Zwick con la cual se realizaron los ensayos de dureza [6].

La figura 4 muestra el momento en que se realiza el ensayo de Dureza Brinell. La fuerza constante de 600 N sobre el material debe ser sostenida por un tiempo de 30 segundos para permitir la penetración de la bola de material metálico, con diámetro constante de 10 mm. Una vez que se ha retirado la probeta se debe proceder a medir el diámetro de la huella con el fin de realizar el cálculo de la Dureza Brinell del material.

En la figura 5 se muestra un juego de probetas ensayadas en la prueba de Dureza Brinell, se observan los puntos oscuros que son la huella dejada por la bola que penetra el material.

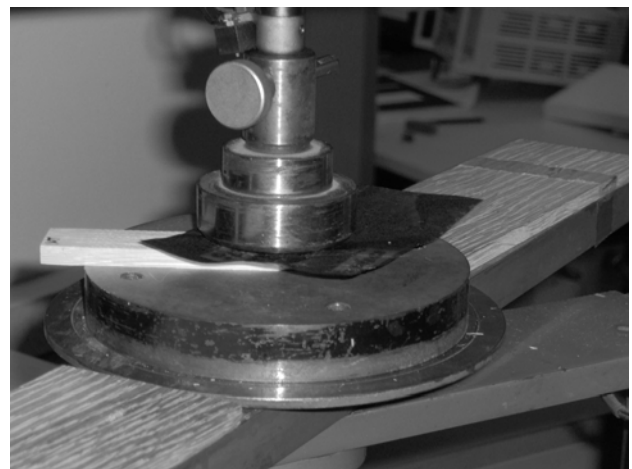


Figura 4. Papel carbón como medio de contraste.

Algunas huellas son de mayor diámetro que otras y esto se debe a que en una zona de material poco dura la bola penetra más.

El análisis estadístico de las medidas de dureza Brinell en las caras transversal longitudinal exterior e interior se realizó basado en un experimento cuyo diseño fue la formación de bloques en un diseño factorial[7], en donde los bloques están dados por la edad de la guadua, formando tres bloques para realizar las pruebas, los bloques fueron: verde (menor que tres años), madura (entre tres y cinco años) y sobremadura (mayor de cinco años) [8]. 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 a 20° C) y húmedo o tropical (85% de humedad relativa a 20° C).



Figura 5. Probetas de Dureza Brinell ensayadas.

Se realizó 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 [7]. El número de unidades

analizadas fue de 18, 3 repeticiones por tratamiento, una en cada bloque. Para el análisis de las medidas de dureza Brinell en la cara radial longitudinal se utilizó un diseño con un solo factor, el ambiente, con dos niveles: normal y húmedo definidos anteriormente, aquí se analizaron 8 unidades, no se utilizó el mismo diseño que en las otras caras debido a la falta de información. El nivel de confiabilidad mínimo para los resultados es del 95% de confianza y los datos se procesaron con el software SPSS versión 10,0 [9].

3. RESULTADOS

Dureza Brinell en la cara TLExterior: El análisis de varianza implica diferencias significativas en la dureza promedio de los diferentes tratamientos del experimento ($P = 0,011$), la interacción entre los factores tramo de la guadua y ambiente no es significativa ($P = 0,267$), el factor ambiente es significativo ($P = 0,007$), mientras que el factor tramo de la guadua no lo es ($P = 0,157$), los bloques (edad de la guadua) muestran un aporte importante en la variabilidad.

Dureza Brinell en la cara TLInterior: El análisis de varianza implica diferencias significativas en la dureza promedio de los diferentes tratamientos del experimento ($P < 0,001$), la interacción entre los factores es significativa ($P < 0,001$), tanto el factor ambiente ($P < 0,0001$), como el factor tramo de la guadua ($P = 0,003$) son significativos. La edad no muestra un aporte muy importante.

Dureza Brinell en la cara RLlateral: El análisis de varianza para uno sólo factor (ambiente) muestra diferencias significativas entre los tratamientos ($P = 0,024$), con una diferencia de medias entre los dos ambientes (normal y húmedo) estimada en 6,47.

Los resultados que se presentan en la figura 6, comparan la Dureza Brinell en las caras TLExterior (Tangencial-Longitudinal exterior) y TLInterior (Tangencial-Longitudinal interior) en cepas, basas y sobrebasas, los resultados evidencian que no hay diferencias significativas entre los diferentes tramos de Guadua, pero se aprecia diferencias de magnitud entre TLExterior y TLInterior, donde para la TLExterior la Dureza HB está en un rango de 30,0 a 40,0 N/mm^2 y para TLInterior la Dureza HB está en el rango de 21,0 a 24,0 N/mm^2 . Las tablas 1 y 2 muestran los rangos mínimos y máximos de la Dureza Brinell para las caras Tlint. y Tltext y los valores promedio.

Tabla 1 TLint. rangos de Dureza Brinell limite superior e inferior

Ambiente (%HR/T°C)	Tramo	Dureza Brinell (N/mm ²)	Intervalo de confianza al 95% (N/mm ²)	
		Media	Límite inferior	Límite superior
Normal (65/20)	Cepa	27.0	25.6	28.3
	Basa	23.2	21.9	24.6
	Sobrebasa	22.9	21.6	24.2
Húmedo (85/20)	Cepa	19.9	18.5	21.2
	Basa	18.6	17.3	20.0
	Sobrebasa	23.8	22.4	25.1

Tabla 1 Tltext. rangos de Dureza Brinell limite superior e inferior

Ambiente (%HR/T°C)	Tramo	Dureza Brinell (N/mm ²)	Intervalo de confianza al 95% (N/mm ²)	
		Media	Límite inferior	Límite superior
Normal (65/20)	Cepa	36.2	25.9	46.5
	Basa	40.1	29.8	50.4
	Sobrebasa	51.0	40.7	61.3
Húmedo (85/20)	Cepa	25.2	14.8	35.5
	Basa	34.4	24.1	44.7
	Sobrebasa	29.5	19.2	39.8

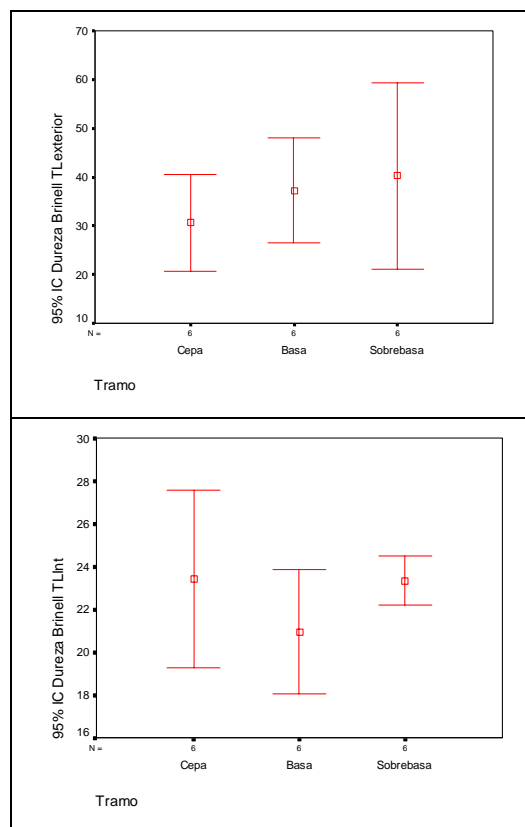


Figura 6. Comparación de la Dureza Brinell en las caras TLExterior y TLInterior, para Cepa, Basa y Sobrebasa.

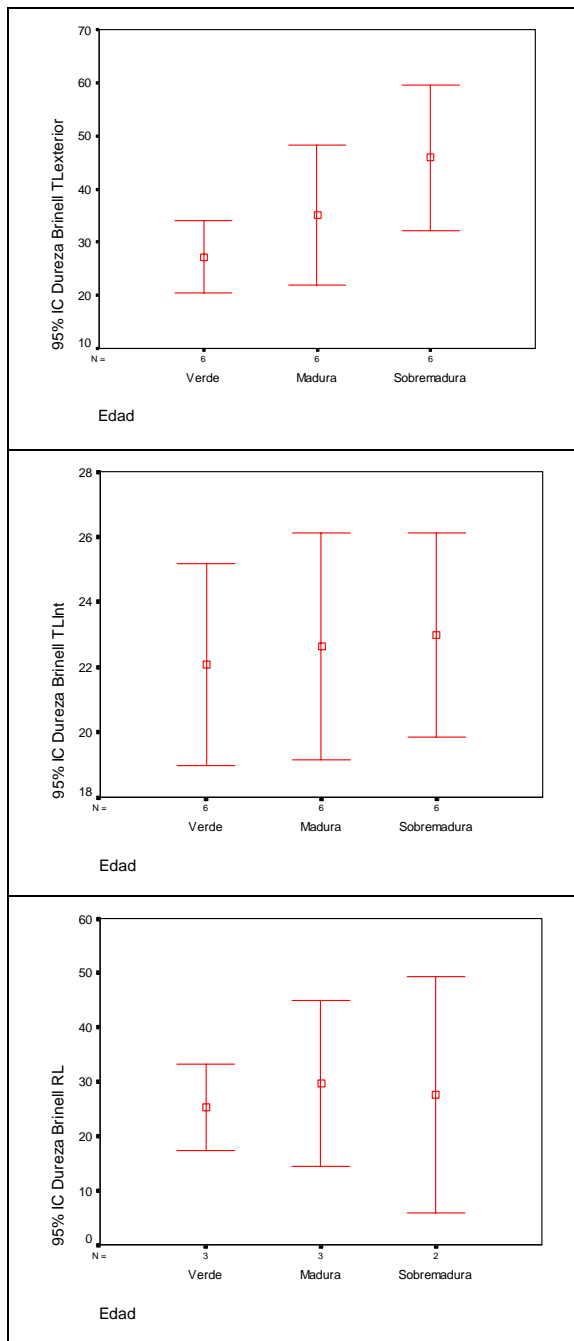


Figura 7. Comparación de la Dureza Brinell en las caras TLe exterior, TL interior, RL para Guadua Verde, Madura y Sobremadura.

Los resultados que se presentan en la figura 7, comparan la Dureza Brinell en las caras TLe exterior, TL interior y la RL (Radial Longitudinal), para los diferentes estados de verde, madura y sobremadura. Los resultados evidencian diferencias significativas en la cara TLe exterior entre la Guadua verde con la madura y la verde con la sobremadura obteniéndose promedios para verde, madura y sobremadura de 27,2; 35,0; 45,8 N/mm² respectivamente. Para la cara TL interior no se evidencia diferencias significativas entre los estados de verde, madura y sobremadura, el valor promedio oscila entre los

tres es solo entre 22,0 ~ 23,0 N/mm²; mientras que la cara RL oscila entre 25,0 ~ 30,0 N/mm².

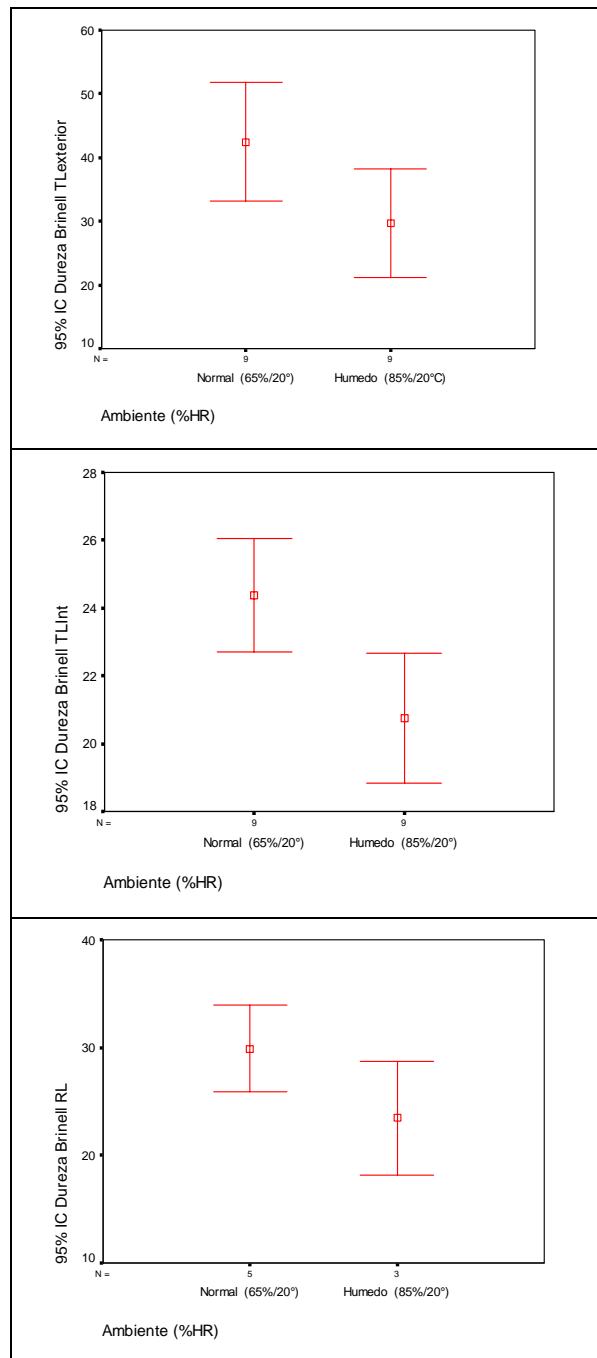


Figura 8. Comparación de la Dureza Brinell en las caras TLe exterior, TL interior, RL para los ambientes Normal y húmedo.

Los resultados que se presentan en la figura 8, comparan la Dureza Brinell en las caras TLe exterior, TL interior y la RL entre los ambientes normal de (65%/20° C) y el húmedo (85%/20° C). Para las tres caras se evidencia en los tres gráficos diferencias significativas entre los ambientes (P< 0,05). Para el caso de la cara exterior TLe exterior que es el caso con mayor resultado, la Dureza Brinell para el ambiente normal (65%/20° C) fue de 42,4

N/mm² y para el húmedo (85%/20° C) fue de 29,6 N/mm².

4. CONCLUSIONES Y DISCUSION

Como conclusión de la figura 6 en las caras TLEterior y la TLinterior son diferentes, la cara interior tiene valores muy similares entre Cepas, Basas y Sobrebasas pero de magnitud menor, la Dureza HB está en el rango de 21,0 a 24,0 N/mm², estos valores se comparan con los obtenidos por [1], para las maderas de roble y haya, ésta disminución en la Dureza HB a la cara TLinterior se debe principalmente a la poca densidad de fibra al interior y la presencia de tejido parénquima [10]. Para la TLEterior la Dureza HB está en un rango de 30,0 a 40,0 N/mm², son valores que están por encima de *Phyllostachys pubescens* en [1], a pesar de no tener tratamiento adicional. La cara TLEterior los mejores resultados son para la Guaduas maduras y sobremaduras.

De la figura 7, se puede concluir que para la TLEterior no hay diferencias significativas entre las maduras y sobremaduras pero si hay con las verdes. La madura y sobremadura presentan datos de Dureza de 35,0 y 45,8 N/mm² respectivamente, éstos datos son evidentes con la edad, la Guadua entre más madura, es decir sobremadura, el resultado es excelente en la cara exterior, esto debido al incremento de la densidad en el tejido y a la lignificación de las fibras [9], la presencia mayor de cristales de sílice principalmente en las capas exteriores y alrededor de los haces vasculares [11]. Los resultados para TLinterior y la RL (Radial Longitudinal) de la figura 8 entre verdes, maduras y sobremaduras no presentan diferencias significativas entre sí.

Como conclusión de la figura 8 en las caras TLEterior, TLinterior y RL lateral, se evidencian en los tres gráficos una diferencia significativa entre los ambientes normal de (65%/ 20° C) y el húmedo (85%/20° C) en la Dureza Brinell, es decir que a menor humedad relativa del ambiente aumenta las propiedades físicas de Dureza Brinell en la *Guadua angustifolia*.

Para próximas investigaciones, se recomienda realizar éste experimento con mayor número de probetas tomadas de mayor número de Guaduas y que tengan un tratamiento con alta temperatura para determinar el grado de incremento de la Dureza antes y después de tratadas las muestras. A pesar de ser muestras sin tratar la cara exterior en Guaduas maduras y sobremaduras la Dureza Brinell de la *Guadua angustifolia* fue de 35,0 a 45,0 N/mm² superior a la del *Phyllostachys pubescens* de 29,9 a 34,0 N/mm² con tratamiento carbonizado con vapor durante 20 a 30 min. a 5 kg/cm² y a 150°C. [12].

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Schwab E. & Schlusen K. (1999): Eigenschaften von Bambus-Parkett-Elementen, Holz als Roh- und Werkstoff 57, Springer-Verlag, pp 63-68.
- [2] 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.
- [3] González Betancourt. H. A., Montoya Arango. J. A. Bedoya, José Rubiel (2006): Esfuerzo de tensión y la influencia de la humedad relativa del ambiente y la altura a lo largo del tramo en la especie de bambú *Guadua angustifolia Kunth*. Scientia et Technica _ Universidad Tecnológica de Pereira Volumen 32. Año 2006, 6 pp.
- [4] DIN EN 1534 (2004): - Bestimmung des Eindruckwiederstandes (Brinell) Prüfmethode Deutsche Fassung EN 1534:2000-04, 4 seiten EN, April 2004.
- [5] INSTRON. On line, Disponible en la Web: http://www.instron.com/applications/test_types/hardness/brinell.asp
- [6] ZWICK. On line, Disponible en la Web: <http://www.zwick.com/frame/Control.php>
- [7] Montgomery D. C. (2002): Diseño y análisis de experimentos, II edición. Universidad Estatal de Arizona. Editorial Limusa Willey. México, 2002.
- [8] NTC 5300 (2004): Cosecha y Poscosecha en culmos de *Guadua angustifolia Kunth*, ICONTEC, Santafe de Bogotá, 2004.
- [9] Ferrán Aranaz M. (2001): SPSS para Windows, Análisis estadístico. Universidad Complutense de Madrid. Editorial McGraw Hill. España, 2001.
- [10] Liese W. & Kumar S. (2003): Bamboo preservation compendium. INBAR –CIBART, ABS-Technical Report N° 22, New Delhi India. 231 pp.
- [11] Sanchis Gritsch C. & Murphy R. (2004): Anatomical culm Analysis of *Guadua angustifolia* in relation age, site and physico-mechanical properties. Simposio Internacional Guadua UTP, Pereira – Colombia, pp 188-197.
- [12] Gnanaharan G. & Mosteiro A. P. (1977): Equipment and Technologies for Processing Bamboo and Rattan, an Illustration Manual. INBAR Technical Report N°9, New Delhi, pp 83.