

Efecto de la preservación con mezclas de bórax-ácido bórico y urea formaldehído sobre las propiedades físico mecánicas y el ataque de insectos en guadua (*Guadua angustifolia* Kunth)

*Effect of preservation with borax-boric acid and urea formaldehyde mixtures on the physical-mechanical properties and the attack of insects in guadua (*Guadua angustifolia* Kunth)*

LUIS PEÑA V.¹,
AMARILIS BURGOS²,
AURA GONZÁLEZ F.¹ y
STYLES WILL VALERO³

1 Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Mérida, Venezuela, E-mail: gonzaura@ula.ve
2 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela Técnica Superior Forestal, Mérida, Venezuela, E-mail: are@ula.ve
3 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, E-mail: styles@ula.ve

Recibido: 17-06-09 / Aceptado: 11-12-09

Resumen

La *Guadua angustifolia* Kunth es una gramínea con propiedades de resistencia y flexibilidad, que permiten utilizarla en usos diversos, tanto en Venezuela como a nivel mundial. Se pretende modificar algunas de sus propiedades internas, para lograr mejorar su aplicación. En el presente trabajo se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas, siguiendo las normas DIN y ASTM. La guadua fue tratada para su preservación por el método de inmersión con bórax-ácido bórico y urea formaldehído. La concentración al 2% en peso relación 1:1 de bórax-ácido bórico resultó ser óptima para el control del *Dinoderus minutus*. Se comprobó que dicha mezcla también erradicó enfermedades biológicas superficiales, al compararla con guadua sin tratamiento. El tratamiento con urea formaldehído al 2%, reportó mayor absorción y retención que el de bórax-ácido bórico al 2%; además estas propiedades disminuyen en la guadua desde la zona apical a la zona basal. El Módulo de Ruptura (MOR) en flexión para probetas preservadas por ambos tratamientos, aumentó en una proporción superior al doble del presentado sin preservación. La Resistencia Máxima (RM) en compresión paralela a la fibra para ambos tratamientos presentó valores muy cercanos y el doble al compararlas con las muestras sin tratamiento.

Palabras clave: *Guadua angustifolia* Kunth, bórax, ácido bórico, urea formaldehído, preservación de bambú, propiedades físico-mecánicas.

Abstract

The *Guadua angustifolia* Kunth is a grass species. It has resistance and flexibility properties that permit varied uses. Internal properties of guadua are expected to be changed to achieve the improvement of its applications, in Venezuela and all over the world. Some physical and mechanical properties were assessed in this paper, following the DIN and ASTM Standards. The guadua was treated by means of the immersion method with: borax-boric acid and urea-formaldehyde. The concentration at 2% in weight relation 1:1 of borax-boric acid was the optimum concentration for the control of *Dinoderus minutus*. This mixture also provided the elimination of biological superficial diseases, when comparing it with guadua with no treatment. The urea formaldehyde treatment at 2% showed higher absorption and retention than the borax-acid boric treatment at 2%; besides, these properties diminish in guadua from the apical to the basal zone. The Modulus of Rupture (MOR) in flexion for preserved test pieces, in both treatments, increased in a proportion higher than the double with respect to that with no preservation. The Maximum Resistance (MR) in compression parallel to the grain for both treatments had very close values and it doubled when comparing it to the samples with no treatment.

Key words: *Guadua angustifolia* Kunth, borax-boric acid, urea formaldehyde, bamboo preservation, physical mechanical properties.

1. Introducción

El bambú es una gramínea gigante que posee una singular estructura como lo son sus tallos cilíndricos, huecos, con tabiques que le brindan resistencia y flexibilidad para diversos usos; por esta razón es nombrado el acero vegetal (Hidalgo, 1974). De los géneros de bambú nativo, la guadua constituye el más importante de América tropical, es endémica del continente americano con aproximadamente 30 especies distribuidas desde México pasando por Colombia y Venezuela hasta llegar a Argentina; se encuentra en un rango de altitud que va desde el nivel del mar hasta los 2.200 msnm (Londoño, 1998). Es considerado el tercer bambú más grande del mundo, siendo superado únicamente por dos especies asiáticas. La guadua presenta miles de utilidades que van desde material para la construcción de casas, puentes, pulpa para fabricar papel hasta utilizarse como catalizador en reacciones químicas (Colin *et al.*, 2007), alabes en los aviones o como fibra para carrocería de vehículos. La durabilidad natural de la guadua es de uno a tres años, si se emplea en la construcción en contacto con el suelo y de cuatro a siete años, si se utiliza en las partes interiores (Lantican *et al.*, 1987). La vida útil del bambú aumenta con los tratamientos de preservación. Así, según Tewari (1992) y Carmiol (1998) el bambú tratado puede durar como mínimo 15 años, aún en condiciones extremas, o hasta 30 y 50 años sin estar en contacto con la humedad. En muchas ocasiones se utiliza el bambú sin tratamiento de preservación por desconocimiento de las posibilidades y ventajas, también por la ausencia de mercado para bambú preservado (Liese y Kumar, 2003). Es necesario, después de haber seleccionado las especies de interés comercial, preferentemente con buena resistencia al ataque de insectos y otros patógenos, determinar los preservantes y la técnica de tratamiento según las posibilidades existentes. Al preservar la guadua se logra mejorar sus características, otorgándole una mayor resistencia a la biodegradación.

En muchos trabajos se mencionan los métodos de preservación para impartir durabilidad y resistencia a la guadua. Por lo tanto, es importante el estudio del uso de la guadua una vez preservada. En este trabajo se evaluó el efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas, así como el ataque de insectos en *Guadua angustifolia* Kunth

preservada con mezclas de bórax-ácido bórico y urea formaldehído. Para la preservación se utilizó el método de inmersión, siendo éste económico, práctico, sencillo, efectivo y permite preservar mayor número de tallos al mismo tiempo. Una vez preservado el material, se determinó la densidad, el contenido de humedad, el Módulo de Ruptura (MOR) en resistencia a la flexión estática y la Resistencia Máxima (RM) en compresión paralela a las fibras. Asimismo, se estudió su susceptibilidad al ataque de insectos, una vez tratada. Además se determinó la absorción y retención de los preservantes, todos con resultados positivos.

2. Materiales y métodos

2.2 Localización

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (Labonac), Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

2.3 Metodología

2.3.1 Selección y preparación de la guadua

2.3.1.1 Lugar de extracción de las muestras y condiciones ambientales

El material usado en la investigación es la especie *G. angustifolia* Kunth, fue obtenida de guaduales naturales ubicados en el municipio Ezequiel Zamora de la parroquia Santa Bárbara de Barinas, estado Barinas.

2.3.1.2 Edad de las muestras

Para la investigación se tomó en cuenta el grado de maduración de la guadua. La edad es importante para la resistencia de la guadua (Liese y Kumar, 2003). Con el objetivo de analizar el comportamiento del material maduro, se decidió cortar cuatro guaduas, según las especificaciones en la norma técnica colombiana NTC 549-03 (2002).

2.3.1.3 Tramo respecto a la altura

Las guaduas seleccionadas para la investigación, dependiendo de la altura sobre la longitud, se seccionaron en tres tramos: basal, medio y apical. De cada tramo se obtuvo una muestra con una longitud

de aproximadamente 1,5 m. No se tomó en cuenta el último tramo (varillón), debido a lo delgado de su diámetro. El proceso de corte se realizó siguiendo la Norma NTC 549-03 (2002). Cada muestra mencionada anteriormente se seccionó en dos partes, para ser transportadas al Labonac, asegurando en todo momento su trazabilidad mediante una convención de identificación adecuada.

2.3.2 Procedimiento de secado

Para mejorar las condiciones de aplicabilidad de los preservantes y acondicionar las piezas para determinar las propiedades físicas y mecánicas, es necesario reducir el contenido de humedad (CH%) de los tallos, hasta alcanzar valores entre 8 y 12 CH% (Arroyo, 2003). El secado se realizó en el cuarto de acondicionamiento de la Sección de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera del Labonac. Las piezas permanecieron en el cuarto de acondicionamiento por periodos de uno a tres meses. Posteriormente se retiraron las piezas de guadua del cuarto de acondicionamiento y se realizó una medición del contenido de humedad en forma aleatoria, por el método gravimétrico, según la Deutsche Industrie Norm (DIN) definido en su Norma DIN 52182 Standard (1976) (Cuadro 1).

La metodología para la investigación se dividió en dos etapas: en la primera etapa se preservaron 20 muestras de la especie *G. angustifolia* Kunth con tratamiento a base de una mezcla de bórax-ácido bórico en concentraciones del 1, 2, 4 y 6%, sometiéndolas al ataque de coleópteros taladradores *Dinoderus minutus*, lo que permitió seleccionar la concentración más eficiente de la mezcla bórax-ácido bórico, para su eliminación.

La exposición a *D. minutus* se hizo colocando 25 probetas entre tratadas y no tratadas en

peceras de vidrio. Se ubicaron cinco probetas por concentración de bórax-ácido bórico y se colocaron 20 coleópteros por cada concentración de bórax-ácido bórico. Los coleópteros se recolectaron en el Municipio Cruz Paredes del estado Barinas y se acondicionaron en la Escuela Técnica Superior Forestal (Etsufor) adscrita a la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes. Las peceras se cubrieron con malla o velo de tela que impidió la fuga de los coleópteros y permitió la entrada de aire. Para el estudio de mortalidad de los *D. minutus* se comparó durante un (1) mes, la mortalidad de éstos en muestras con y sin tratamiento. Para calcular la mortalidad del coleóptero se utilizó la ecuación 1:

$$\text{Mortalidad (\%)} = \frac{\text{Coleópteros Muertos}}{\text{Coleópteros Iniciales}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

En la segunda etapa se preservaron muestras con bórax-ácido bórico al 2% y urea formaldehído al 2%. A estas muestras se les determinó propiedades físicas y mecánicas y la absorción y retención de los preservantes. Finalmente, se evaluó la influencia de los tratamientos preservantes sobre las propiedades físicas y mecánicas en las muestras preservadas.

2.3.3 Procedimiento para tratamientos químicos

Posterior al procedimiento de secado se realizaron dos ensayos con diferentes soluciones; en el primero se utilizaron mezclas preservantes de bórax y ácido bórico (1:1), calculadas para concentraciones de 1, 2, 4 y 6 %. Por ejemplo para preparar la solución 2% en peso relación 1:1, se pesó: 1 kg de bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) y 1 kg de ácido bórico (H_3BO_3), ambos grado técnico de química Erbal, y se afora con agua hasta 100 litros. Siguiendo los requisitos establecidos en la Norma NTC 5301 (2007), los

Cuadro 1. Número de muestras de guadua analizadas.

Tratamientos	Concentración (%)	<i>Dinoderus minutus</i>	Hongos	Flexión Estática	Compresión paralela a las fibras
Bórax-acido bórico	1	5			
Bórax-acido bórico	2	5	6	96	120
Bórax-acido bórico	4	5			
Bórax-acido bórico	6	5			
Urea formaldehído	2			96	120
Sin tratamiento (S/T)		5	6	50	
Total		25		242	240

diafragmas de los nudos dentro del culmo, se perforaron longitudinalmente con una varilla de 1/2 pulgada. Luego los culmos se sumergieron en las soluciones preservantes por un período de cinco días, para garantizar una retención mínima de 4 kg-EAB/m³, donde EAB es el equivalente de ácido bórico. En el segundo ensayo se empleó urea formaldehído. Para este tratamiento se pesó y sumergió el material en agua potable hasta lograr completa saturación o peso constante (entre 2 y 4 días). Luego se sumergió por un periodo de tres días a temperatura ambiente en una solución de agua y resina sintética (urea formaldehído) al 2% en relación 1:1; 1 kg de urea (CH₄N₂O, grado analítico, química Erbal), y 1 litro de formaldehído (CH₂O, grado técnico de química Erbal) y se afora con agua hasta 100 litros.

Después de tratadas las muestras se dejaron escurrir por 24 horas, se pesaron y se secaron a 80°C para polimerizar la resina, siguiendo la metodología empleada por Belandria (1983), Villegas (2002) y García (2003).

La tratabilidad de la guadua se evaluó por la absorción neta o retención de los preservantes y el grado de penetración. La absorción se mide por la cantidad de solución preservante que queda en la guadua después del tratamiento; mientras que la retención, que es la cantidad de preservante neto, se obtiene multiplicando la absorción por la concentración de los preservantes. La penetración se evaluó colorimétricamente usando el reactivo de coloración para el boro indicado en Junac (1988).

2.4 Ensayos de flexión estática y compresión paralela a las fibras

Los ensayos de flexión y compresión se efectuaron en una prensa universal hidráulica, marca Baldwin-Lima-Halmilton modelo 12-H con una capacidad de 6.000 kg de carga máxima. Los ensayos de resistencia en flexión se realizaron a 242 probetas distribuidas así: 50 probetas sin tratamiento preservante; 96 probetas con urea formaldehído al 2% y 96 probetas con bórax-ácido bórico al 2%. El material usado en el ensayo de flexión estática se preparó siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D-143-94 "Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber", con probetas de 41 cm de largo x 2,5 cm de ancho y el espesor según la pared de la guadua; siendo climatizadas

en un ambiente normal (65 CH%/20 °C; humedad relativa y temperatura) que dio como resultado un contenido de humedad de aproximadamente 12 CH%. Antes de cada ensayo se midió el ancho, espesor y largo de cada probeta, así como también su peso para calcular la densidad (Cuadro 2) y contenido de humedad correspondiente.

Según (Arroyo, 2003) el esfuerzo de rotura en flexión o Módulo de Ruptura (MOR) se calcula según la ecuación 2.

$$\text{MOR} = \frac{3 \times P_2 \times L}{2 \times a \times h^2} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

MOR = Módulo de Ruptura, en kg/cm²

P₂ = Máxima carga de ruptura aplicada en kg (el total de la carga aplicada en dos puntos de apoyo)

L = Longitud entre apoyos de la probeta en cm

a = Ancho de la probeta en cm

h = Espesor de la probeta en cm

Los ensayos de resistencia en compresión paralela a las fibras se realizaron en 240 probetas distribuidas así: 120 tratadas con urea formaldehído al 2% y 120 con bórax-ácido bórico al 2% como preservante. El ensayo de compresión paralela se realizó con probetas rectangulares de 10 cm de largo x 2,5 cm de ancho y el espesor según la pared de la guadua (D-143-94). Las probetas se acondicionaron a 12% de contenido de humedad. La Máxima Resistencia a la Compresión (MRC) en kg/cm² se determinó según la ecuación 3:

$$\text{MRC} = \frac{P_2}{A} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

MRC = Máxima Resistencia a la Compresión en kg/cm²

P₂ = Carga máxima o de ruptura en kg

A = Área de la sección transversal de la probeta antes de realizar el ensayo en cm²

Tanto el módulo de ruptura como la máxima resistencia a la compresión paralela a las fibras se ajustaron al 12% de contenido de humedad.

Para la representación de los resultados se utilizaron dos tipos de gráficos de control: por atributos y por variables. Los gráficos por atributos están basados en la presencia o ausencia de una

Cuadro 2. Data de la densidad en la guadua tratada por mezclas preservantes y sin tratamiento.

Densidad según tratamiento aplicado			
Zona	Bórax- Ácido Bórico 2% (kg/m ³)	Urea formaldehído 2% (kg/m ³)	Sin Tratamiento (kg/m ³)
Apical	805,46 ± 61,40	930,59 ± 88,08	278,07±46,34
Medio	736,53 ± 28,08	827,63 ± 39,14	343,02±15,08
Basal	740,78 ± 51,95	795,84 ± 33,40	315,55±0,19
Promedio	760,92 ± 58,18	851,35 ± 53,54	312,21±20,54

determinada característica, por ejemplo, estimar la mortalidad de *D. minutus* en presencia de preservantes. Los gráficos por control de variable se refieren a la medida de parámetro del producto como por ejemplo la absorción que se obtiene al medir características como el peso antes y después del tratamiento.

3. Resultados y discusión

3.1 Selección de la concentración óptima del bórax-ácido bórico

En la figura 1 definida como la mortalidad de *D. minutus* con relación a la concentración de bórax-ácido bórico, se observa una mortalidad de aproximadamente el 90% de *D. minutus* a la concentración de 2% en peso de bórax-ácido bórico. A concentraciones mayores (4 y 6%), la mortalidad fue del 100%. En virtud de ello se establece que la concentración 2% en peso es óptima, ya que concentraciones mayores para preservar involucran

un mayor gasto de preservante, cuando a la concentración de 2% en peso casi toda la población de insectos ha muerto.

El uso de material preservado es de vital importancia ante el ataque de plagas a fin de usarlo en múltiples aplicaciones y aumentar la confianza en constructores, ingenieros, arquitectos y diseñadores industriales. Autores como Sanint (1996), Carmiol (1998), Liese y Kumar (2003) y Pirez (2005), reportaron que el *D. minutus* es considerado una de las plagas más comunes que ataca los tallos de la guadua cortados y en pie; por lo tanto, la concentración de bórax-ácido bórico 2% en peso permitió control de este insecto.

En la figura 2, se puede observar que las muestras a y c (no tratadas) y expuestas a la intemperie evidencian la presencia de moho, manifestada por un crecimiento algodonoso en la superficie de la muestra y manchas oscuras en el interior de la caña, según Sanint (1996) son indicativos del ataque de hongos (mohos y cromógenos). Las probetas tratadas b y d presentan una apariencia sin moho ni manchas. Algunos autores como Camero

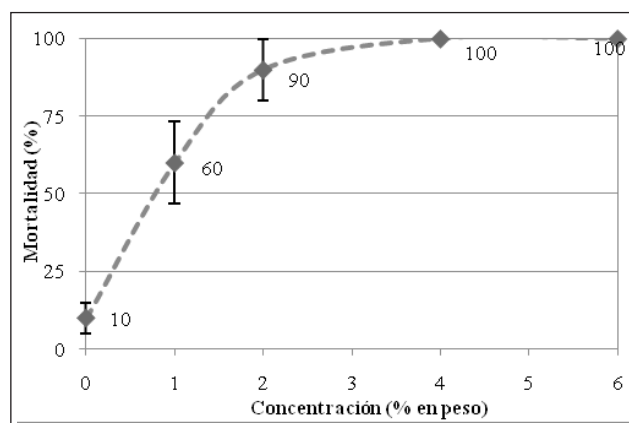


Figura 1. Mortalidad de *Dinoderus minutus* con relación a la concentración de bórax-ácido bórico.

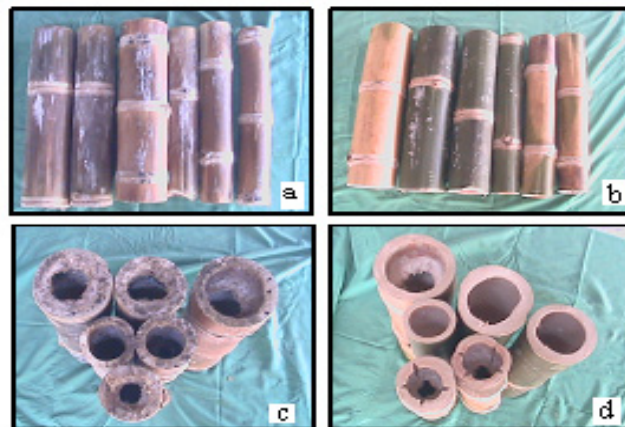


Figura 2. Detalle interno y externo de probetas de bambú (a y c sin tratamiento; b y d con tratamiento). Fotos: Amarilis Burgos.

y Novoa (2001) y Berrocal *et al.* (2004), determinaron que la preservación con sales de bórax-ácido bórico son efectivas y económicas en la preservación de la guadua.

En el cuadro 2 que reporta la densidad de la guadua en muestras tratadas (bórax-ácido bórico y urea formaldehído) y no tratadas, se observa que la densidad aumenta en proporción de tres a cuatro veces para las probetas tratadas con respecto al valor sin tratamiento químico, para cualquiera de los tratamientos preservantes empleados en este trabajo; evidenciando de forma cuantitativa que existe compuesto retenido en las células del material tratado. Estos resultados están en concordancia con lo expuesto por Arroyo (2003).

En el cuadro 2, también se observa en las muestras tratadas que la zona apical siempre presenta mayor densidad que las zonas media y basal. Sin embargo no se reporta lo mismo para las muestras sin tratar, donde se observa que en la zona apical es menor la densidad, esto es un indicativo que la zona apical absorbió más solución inmunizante que las zonas media y basal como también fue reportado por Camero y Novoa (2001). Además, Briceño (2005) y Gutiérrez y Velásquez (2005), obtuvieron resultados similares para la guadua sin tratar. Es posible que en la zona apical las células sean de paredes delgadas y lúmenes amplios permitiendo mayor entrada de preservantes.

En el cuadro 3 de absorción y retención por zonas y por promedio de todos los culmos según tratamiento aplicado a la guadua, se observa que tanto la absorción como la retención es mayor en la zona media-alta con respecto a la zona basal, cualquiera haya sido el tratamiento, ya que al estar la fibra más compacta es más difícil la absorción, corroborando de esta manera las conclusiones obtenidas por Camero y Novoa (2001). Para la zona media los vasos de metaxilema son más grandes

en el segmento medio del culmo que en el segmento basal, según Londoño *et al.* (2002); se sabe que el tamaño y área de los vasos de metaxilema son determinantes en la conductividad del agua en los bambúes e importantes para la preservación de culmos frescos cuando se utiliza el método de inmersión, aprovechando la capilaridad del material (Liese, 1998).

Según los resultados obtenidos, la absorción y retención fue mayor en el tratamiento con la resina polimérica urea formaldehído que con la mezcla bórax-ácido bórico. Estos resultados son los esperados, puesto que la reacción con urea formaldehído se hace *in situ*, con la guadua hidratada, lo que permite que haya una mayor absorción de la resina. La reacción es continua hasta agotarse uno de los constituyentes. La solución de resina aparentemente se difunde en toda la guadua pasando a través de las membranas de las paredes y penetrando en las fibrillas por ósmosis, mientras que el bórax presenta menor disolubilidad en agua.

En el caso del bambú seco, la absorción de resina es escasa. Probablemente el agua de la solución de resina pasa a través de la membrana formando una capa de moléculas de resina en la parte exterior del culmo, que luego se une con otra y que según Belandria (1983), impediría la penetración de nuevas moléculas de resina a través de la membrana. Para que la infiltración de la resina fuera gradual, el tratamiento de la guadua se efectuó con una previa inmersión en agua.

3.2 Módulo de Ruptura para Flexión

En la figura 3, el Módulo de Ruptura (MOR) para flexión, se observa que al efectuar los tratamientos preservantes en guadua, éste aumenta considerablemente en una proporción superior al doble del presentado en probetas sin preservar. Este aumen-

Cuadro 3. Absorción y retención por zonas y por promedio de todos los culmos según tratamiento aplicado a la guadua.

Zona	Absorción (Kg sol/m ³)		Retención (Kg químico/m ³)	
	Bórax-ácido bórico (2%)	Urea formaldehído (2%)	Bórax-ácido bórico (2%)	Urea formaldehído (2%)
Apical	164,8 ± 44,5	269,8 ± 61,3	3,3 ± 0,89	4,8 ± 0,49
Media	173,9 ± 32,2	198,5 ± 60,5	3,5 ± 0,6	3,97 ± 1,21
Basal	121,1 ± 18,9	168,2 ± 32,2	2,4 ± 0,4	2,4 ± 0,4
Promedio de todos los culmos	153,28 ± 23,02	212,19 ± 42,61	3,06 ± 0,46	4,24 ± 0,85

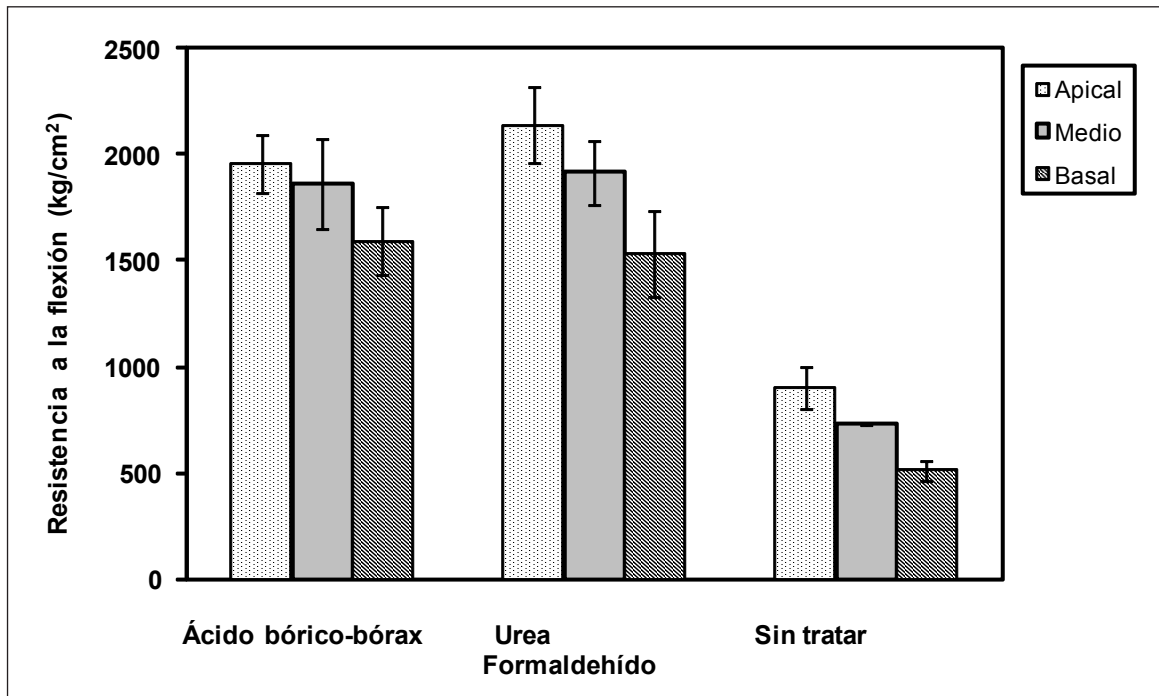


Figura 3. Módulo de ruptura (MR) para flexión, promedio y por zonas para distintos tratamientos de compuestos preservantes.

to se debe a que la retención del compuesto químico le proporciona mayor resistencia al bambú, al unirse con la fibra los enlaces del compuesto químico y los componentes de la guadua. El mayor valor para el MOR se presentó en las probetas tratadas con la mezcla urea formaldehído, aunque la diferencia del valor del MOR en el tratamiento con la mezcla de bórax-ácido bórico, no es significativa. De acuerdo a los resultados, se asume que la mezcla bórax-ácido bórico es más adecuada, al ser más amigable al ambiente que la resina urea formaldehído. Los boratos tienen características únicas de solubilidad, durabilidad, volatilidad y toxicidad, que los hacen idóneos para ser usados como preservantes de la madera. Por otra parte, los tratamientos con boratos, tienen el potencial de promover una mayor utilización de maderas de baja durabilidad natural en usos interiores tales como muebles y algunos compuestos de madera como tableros de partículas, tableros de fibras y otros (Berrocal *et al.*, 2004).

Es importante mencionar que el MOR es mayor en la zona apical y disminuye al descender en el culmo de la guadua hasta llegar a la zona basal, atribuyendo este fenómeno a la propiedad de la guadua de ser más flexible en el ápice (zona superior) que le permite ondear con el aire con facilidad (Prieto y Sánchez, 2001; Uribe y Durán, 2002).

3.3 Resistencia Máxima en Compresión Paralela a las Fibras

En el cuadro 4 se presenta la Resistencia Máxima (RM) para el ensayo de compresión paralela, mostrando el módulo de ruptura en las distintas zonas de la guadua, para los tratamientos realizados a dos condiciones de humedad: 17,47 CH% (sin ajuste), y el obtenido bajo la normalización al 12 CH% (ajustado). Se evidencia que el valor de RM ajustado es mayor al no ajustado, en cada zona de la guadua. Esto se explica por existir una relación inversa entre la RM y la humedad, es decir, que a medida que la humedad disminuye, el RM aumenta por tener menos agua en la fibra del material, que le resta resistencia. Esto aplica tanto para la compresión paralela, como para la flexión estática (Arroyo, 2003).

Los resultados de RM para el ensayo de compresión paralela a las fibras mostrados en el cuadro 4 de los tratamientos con bórax-ácido bórico y urea-formaldehído al 2%, aplicados a diversas probetas de bambú, indican valores promedio muy cercanos. Se reportó en el tratamiento de urea formaldehído una RM (ajustados) de $525,09 \pm 84,31$ kg/cm² y para el bórax-ácido bórico de $530,97 \pm 62,06$ kg/cm², los cuales muestran un incremento

Cuadro 4. Data de modulo de ruptura (MR) en compresión paralela a las fibras en guadua tratadas al 2% por mezclas preservantes comparadas con las guaduas sin tratamiento reportadas por Briceño (2005).

Zona	Bórax-Ácido Bórico Ajustado *	Urea formaldehído Ajustados *	Bórax-Ácido Bórico Sin ajustar **	Urea formaldehído Sin ajustar **	Briceño (2005)
Apical	500,66 ± 56,12	500,43 ± 115,43	451,37 ± 69,50	485,83 ± 97,91	264,78
Medio	568,61 ± 103,06	551,08 ± 83,08	488,43 ± 79,99	547,28 ± 81,61	269,27
Basal	523,65 ± 27,01	523,76 ± 54,42	454,55 ± 27,89	514,19 ± 60,79	260,32
Promedio	530,97 ± 62,06	525,09 ± 84,31	464,79 ± 59,12	515,77 ± 80,10	264,79

* Valores de MR ajustados a 12% de contenido de humedad. ** Valores de MR a 17,47% de contenido de humedad.

de aproximadamente el doble, en esta propiedad si se comparan con los resultados obtenidos por Briceño (2005) en guadua sin tratamiento de la misma zona (Cuadro 4). Estos incrementos se apreciaron en todas las zonas de la guadua. Cabe destacar que los mayores resultados de RM se obtuvieron en la zona media de la guadua.

Además Gutiérrez y Velazquez (2005), usando una especie similar de bambú de la zona de Barinas, obtuvieron resultados muy parecidos a los conseguidos por Briceño (2005). Por otro lado Botero (1985) y González y Díaz (1992), encontraron menores valores de RM definidos como 450 kg/cm² y 339,5 kg/cm² respectivamente, para bambú de la misma especie sin ningún tratamiento químico preservante.

4. Conclusiones

En la investigación realizada, se encontró que la concentración de 2% en peso de bórax-ácido bórico, resultó suficiente para controlar el 90% de mortalidad de los coleópteros taladradores *D. minutus* en *G. angustifolia* Kunth. La mezcla bórax-ácido bórico como preservante protegió la guadua de la proliferación de mohos.

La densidad aumenta en proporción de tres a cuatro veces para las probetas tratadas con respecto a las probetas sin tratamiento, indistintamente sea la mezcla bórax-ácido bórico o urea-formaldehído. En las probetas tratadas se observa que la densidad es mayor en la zona apical con respecto a la media y basal.

La absorción y retención fue mayor en la zona media alta que en la zona basal para ambos tra-

tamientos; mientras que la densidad, absorción y retención fue mayor en el tratamiento con resina polimérica urea formaldehído que con la mezcla bórax-ácido bórico.

El Módulo de Ruptura (MOR) en flexión de las probetas preservadas por cualquiera de los tratamientos, aumentó en una proporción superior al doble del presentado en probetas de bambú sin preservación. El MOR es mayor para la zona apical y disminuye al descender en el culmo de la guadua hasta llegar a la zona basal.

Por su parte en los ensayos de la Resistencia Máxima (RM) en compresión paralela a las fibras para los tratamientos con bórax-ácido bórico y urea-formaldehído, ambos al 2%, presentaron valores promedios muy cercanos entre si. La RM en compresión paralela resultó ser el doble al comparar las muestras tratadas con las probetas sin tratamiento.

Aunque en la investigación no se estudiaron hongos, se observó que en segmentos de aproximadamente 40 cm de largo, de guadua no tratados, apareció el ataque de mohos y manchas. Estos segmentos se encontraban bajo las mismas condiciones de secado al aire durante treinta (30) días.

5. Agradecimiento

Agradecimiento al CDCHT por su apoyo financiero a través del proyecto I-1105-08-01- F.

6. Referencias bibliográficas

- ARROYO, J. 2003. *Propiedades físico-mecánicas de la madera*. Comisión de publicaciones de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 158 p.
- American Society for Testing and Materials (ASTM).1998. Standard methods of testing small clear specimens of timber. D 143-94: In: *Annual Book of ASTM Standards. Section 4. construction*. Vol. 04.10 wood. ASTM. West Conshohocken. 22-52 pp.
- BELANDRIA, P. 1983. *Perspectivas del uso del bambú en la fabricación de pulpa*. Trabajo especial de grado. Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 116 p.
- BERROCAL, A., F. MUÑOZ y G. GONZÁLEZ. 2004. Ensayo de penetrabilidad de dos preservantes a base de boro en madera de melina (*Gmelina arborea*) crecida en Costa Rica. Kurú. *Revista Forestal Costa Rica* 1(3): 1-12.
- BOTERO, P. 1985. *La Guadua como elemento estructural*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Bogota, Colombia. 70 p.
- BRICEÑO, N. 2005. Estudio preliminar de las propiedades mecánicas de la especie *Guadua angustifolia* proveniente del fundo El Limón ubicado en el sector Anime arriba parroquia José Félix Rivas, municipio Pedraza del estado Barinas. Trabajo especial de grado. Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 51 p.
- CAMERO, C. y J. NOVOA. 2001. *Evaluación de algunos métodos de inmunización para la guadua*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 65 p.
- CARMOL. V. 1998. *Muebles en bambú Phyllostachys aurea*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 169 p.
- COLIN X., J.L. FARINET, O. ROJAS y D. ALAZARD. 2007. Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support. *Bioresource technology* 98(8): 1602-1607.
- GARCÍA, R. 2003. *Preservación de la Guadua*. Publicaciones de la Universidad San Buenaventura. Cali, Colombia. 20 p.
- GONZÁLEZ, E. y J. DIAZ. 1992. Propiedades Físicas y Mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth. Trabajo especial de grado. Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 103 p.
- GUTIÉRREZ, L. y M. VELAZQUEZ. 2005. Estudio preliminar de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Guadua angustifolia* del Estado Barinas. Trabajo especial de grado. Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 75 p.
- HIDALGO. O. 1974. *Bambú su cultivo y aplicaciones en: Fabricación de Papel, Construcción, Arquitectura, Ingeniería y Artesanía*. Estudios Técnicos Colombianos LTDA. Bogotá, Colombia. 318 p.
- JUNAC. 1988. *Manual del grupo andino para la preservación de maderas*. Proyecto subregional de promoción Industrial de la madera para construcción. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú. 330 p.
- LANTICAN, B., A. PALIJON y C. SALUDO. 1987. Bamboo research in the Philippines. In: *Recent Research on Bamboo. Proceedings of the International Bamboo Worksho. Hangzhou, China, 6-14 October 1985*. A.N. Rao, G. Dhanarajan y C.B. Sastry (eds). Chinese Academy of Forestry, Beijing, China; International Development Research Centre, Ottawa, Canada. 50-60 pp.
- LIESE, W. 1998. *The Anatomy of Bamboo Culms*. INBAR Technical Report N° 18. International Network for Bamboo and Rattan. Beijing, China. 204 p.
- LIESE, W. y S. KUMAR. 2003. *Bamboo preservation compendium*. Inbar-Cibart, ABS-Technical. Report No 22. New Delhi, India. 231 p.
- LONDOÑO, X. 1998. A decade of observations of a *Guadua angustifolia* plantation in Colombia. *The Journal of the American Bamboo Society* 12(1): 37-42.
- LONDOÑO, X., G. CAMAYO, N. RIAÑO y Y. LÓPEZ. 2002. Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. Bamboo Science and Culture. *The Journal of the American Bamboo Society* 16(1): 18-31.
- NORMA DIN 52182 STANDARD. 1976. *Testing of Wood; Determination of Density*. Beuth Verlag GmbH. Berlin und Köln. 46 p.
- NORMA NTC 549-03. 2002. *Norma para Cosecha y pos-cosecha de la Guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá, Colombia. 32 p.
- NORMA NTC 5301. 2007. *Norma para la preservación y secado del culmo de la Guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá, Colombia. 5 p.
- PIREZ M. 2005. Entomofauna asociada al cultivo de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth y *G. amplexifolia* j. presl) y bambú (*Bambusa vulgaris* scharde ex wendl) en San Javier, estado Yaracuy. Trabajo especial de grado. Facultad de Agronomía, Universidad

- Centro-occidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Venezuela. 53 p.
- PRIETO, E. y J. SÁNCHEZ. 2001. Comportamiento de la Guadua angustifolia Sometida a Flexión. Trabajo especial de grado. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional. Bogotá, Colombia. 70 p.
- SANINT, A. 1996. *La Guadua su Cultivo, Manejo y Aprovechamiento*. Universidad Nacional Experimental Ezequiel Zamora. Barinas, Venezuela. 266 p.
- TEWARI, D. 1992. *A monograph on bamboo. Intl.* Book Distributors. Dehra Dun, India. 498 p.
- URIBE, M. y A. DURÁN. 2002. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. Trabajo especial de grado. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. 96 p.
- VILLEGAS, M. 2002. *Bamboo for suitable development*. Editorial Villegas. Bogotá, Colombia. 930 p.