

Propiedades físico mecánicas de la especie *Guadua amplexifolia* Presl tratada con ácido bórico y licor negro

Physical-mechanical properties of *Guadua amplexifolia* Presl bamboo species treated with boric acid and black liquor

Moreno, Nilda¹; Burgos, Amarilis²; Valero, Styles²; Amundarain, Milena³; Celis, María-Teresa⁴; González Aura Marina^{1*}

¹Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Mérida, Venezuela

²Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela

³Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería, Barcelona, Anzoátegui, Venezuela

⁴Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Lab. Polímeros y Coloides (POLY-COL). Mérida, Venezuela

⁴Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería, Barcelona, Anzoátegui, Venezuela

*gonzaurita@gmail.com

Resumen

Durante esta investigación se estudió la especie Guadua amplexifolia Presl proveniente del estado Yaracuy en Venezuela, con el fin de determinar su comportamiento físico-mecánico luego de ser tratada químicamente, evaluando densidad, dureza y compresión perpendicular a la fibra. Para determinar estas propiedades se utilizaron muestras de 15, 50 y 75 cm de la especie, las cuales fueron sometidas a preservación mediante método de inmersión en dos soluciones distintas: solución de ácido bórico-bórax en relación 1:1 al 5 % p/v y solución de licor negro al 6% p/v. La absorción fue mayor cuando el tratamiento se hizo con ácido bórico-bórax, mientras que la retención fue más elevada con licor negro. En cuanto a las propiedades físicas, se evaluaron secciones del culmo de 10 cm de largo (Normas DIN-52182); se observó que la densidad disminuye en muestras verde, seca al aire y seca al horno luego del tratamiento con ácido bórico-bórax. Por otra parte, las propiedades mecánicas evaluadas según los lineamientos de la Norma ASTM-D-143, con probetas de 5 cm de ancho y 15 cm de largo, demostraron que los tratamientos de preservación disminuyeron la resistencia a la dureza, mientras aumentaron la resistencia a la compresión perpendicular. Con respecto a la dureza fue: 245,3 kg/cm² al ser tratada con ácido bórico-bórax, y de 239,2 kg/cm² al ser tratada con licor negro y sin tratar 287,39 kg/cm². Mientras que la resistencia a la compresión perpendicular registrada fue: 27,96 kg/cm² para la tratada con ácido bórico-bórax, y de 29,31 kg/cm² para la tratada con licor negro y sin tratar 22,93 kg/cm². Además, se determinó el tiempo óptimo de inmersión en la solución de ácido bórico-bórax mediante un análisis espectrofotométrico, siendo sólo 26,5 h suficientes para que el bambú alcance la saturación máxima, por lo tanto, es innecesario inmersiones más prolongadas.

Palabras clave: *Guadua amplexifolia*, propiedades físico y mecánicas, preservación, ácido bórico, bórax y licor negro

Abstract

During this research, Guadua amplexifolia Presl from the Yaracuy state in Venezuela was studied, in order to determine its physical-mechanical behavior after being chemically treated to evaluate density, hardness and compression perpendicular to the fiber. To determine these properties, 15, 50 and 75 cm samples of the species were used, which were subjected to preservation by immersion method in two different solutions: boric acid-borax solution in a 1:1 ratio at 5% p/v and black liquor solution at 6% w/v. Absorption was higher when the treatment was done with boric acid-borax, while retention was higher with black liquor. Regarding the physical properties, 10 cm long sections of the culm were evaluated (DIN-52182 Standards); it was observed that the density decreases in green, air-dried and oven-dried samples after treatment with boric acid-borax. On the other hand, the mechanical properties evaluated according to the guidelines of the ASTM-D-143 Standard, with 5 cm wide and 15 cm long specimens, showed that the preservation treatments decreased the resistance to hardness, while they increased perpendicular compressive strength. Regarding hardness, it was: without treatment 287.39 kg/cm², treated 245.3 kg/cm² with boric acid-borax and 239.2 kg/cm² with black liquor. While the perpendicular compressive strength recorded was: untreated 22.93 kg/cm², treated 27.96 kg/cm² with boric acid-borax and 29.31 kg/cm² with black liquor. In addition,

the optimal immersion time in the boric acid-borax solution was determined by spectrophotometric analysis, being only 26.5 h sufficient for the bamboo to reach maximum saturation, therefore, longer immersions are unnecessary.

Keywords: *Guadua amplexifolia*, physical-mechanical behavior, preservation, boric acid-borax solution and black liquor

1 Introducción

El bambú es una gramínea gigante que se encuentra distribuida alrededor del mundo. Posee características anatómicas y propiedades físico-mecánicas muy particulares, que lo hacen ser un material muy versátil, siendo posible usarlo en: construcción, diseño y producción de muebles, artesanía, parquet, instrumentos musicales, vasos, carrocería para carros, bicicletas, carcasas para computadores, pulpa para papel, entre otros (Paredes, 1991). Bambúes leñoso, como la guadua, abunda en América, con 20 géneros y 429 especies que se encuentran en muchos países, incluidos Brasil, Colombia, Venezuela, Ecuador, Costa Rica, México y Perú (UNCTAD, 2022). Sin embargo, la guadua por ser un material orgánico es susceptible a la degradación producida por la acción de organismos biológicos tales como hongos e insectos (Mejía, 2002). Por ello, debe ser secado y curado, o tratado químicamente para aumentar su durabilidad, de esta manera incrementar el valor agregado del producto final. Con esta investigación se pretende evaluar la influencia de la preservación en el comportamiento físico-mecánico de una especie de la subtribu Guadinae, *Guadua amplexifolia* Presl oriunda del Estado Yaracuy- Venezuela. El método de preservación consistió en la inmersión del material en dos soluciones diferentes, una solución de sales de boro, ácido bórico: bórax y otra de licor negro. Se estudió la resistencia a la compresión perpendicular a la fibra y la dureza de la especie *Guadua amplexifolia* Presl, con y sin tratamiento. Además, se calculó la absorción y la retención de ambas soluciones, junto con un estudio espectrofotométrico para evaluar la variación en la concentración de boro.

Marco Teórico

2.1 Generalidades.

El bambú es una gramínea gigante, distribuida en Asia, América, Oceanía, y África, empleada con fines medicinales, alimenticios y estructurales, además como complemento para agricultura, instrumentos de arte, ceremonias, entre otros. Desde el punto de vista taxonómico, el bambú pertenece a la Sub-Familia Bambusoideae. Esta se divide en tres Tribus: Arundinarieae que comprende a los bambúes leñosos templados o de estaciones, Bambuseae a los bambúes leñosos tropicales y Olyreae a los bambúes herbáceos (Clark, Londoño y Ruiz-Sanchez, 2015).

2.2 Descripción.

El bambú está compuesto por ejes segmentados que forman una serie de nudos y entrenudos, variando en su morfología según corresponda al rizoma, al tallo o a las ramas (Hidalgo, 1974). El término culmo se refiere al eje segmentado que emerge del rizoma y tiene forma cilíndrica, los nudos y entrenudos modifican su tamaño y longitud de acuerdo a la sección de la planta donde se encuentren ubicados. El culmo se divide en tres secciones principales: basal, media y apical, a través de las cuales el diámetro va disminuyendo con la altura (Londoño y col., 2002).

Todo bambú posee una epidermis dura y cutinizada, constituida por sílice, lignina y cutina, cubierta por una capa cerosa (pectina y celulosa) (Paredes, 1991, Sanint, 1996). Al realizar un corte transversal del culmo se observan haces vasculares (vasos conductores), que están rodeados por grupos de células esclerenquimáticas (fibras) en forma de escudos, los cuales se encuentran en una masa de tejido parenquimático (Liese, 1987).

2.3 Preservación del bambú.

El bambú es susceptible a la degradación producida por la acción de organismos biológicos tales como hongos o insectos, esta degradación puede manifestarse con cambios de coloración, pudrición o disminución de la resistencia (Mejía, 2002). Por ello, debe ser sometido a procedimientos que aumenten su durabilidad, los métodos más usados son: secado, curado o tratamiento químico.

El tratamiento químico es llevado a cabo con diferentes clases de inmunizantes que pueden ser de tipo aceite o acuoso. Según Mejía, 2002, estos deben ser fungicidas e insecticidas; estables, para mantener su grado de toxicidad a través del tiempo; y no deben alterar las propiedades físico-mecánicas de la madera, según la aplicación requerida. Dentro del tipo acuoso, una de las soluciones más usadas está compuesta por derivados de boro. Finalmente, el grado de protección de la solución preservante se mide a través de la absorción y la retención.

2.4 Propiedades físico-mecánicas.

El estudio de las propiedades físico mecánicas del bambú, permite predecir el comportamiento del mismo como producto elaborado.

Las propiedades físicas de la madera dependen de cantidad de sustancia y de agua en la pared celular, proporción, cantidad y naturaleza de las sustancias extrañas en la

pared celular y finalmente, al tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células. Dentro de este grupo se encuentra: el contenido de humedad (C.H), el peso específico y la densidad (Arroyo, 1983).

Por su parte, las propiedades mecánicas son la expresión del comportamiento del material bajo aplicación de fuerzas y cargas, este comportamiento se modifica de acuerdo a los tipos de fuerzas o cargas aplicadas, y depende de la organización estructural de la madera (Gutiérrez y Velásquez, 2005).

2 Procedimiento Experimental

3.1. Selección.

El material estudiado fue tomado en la población de San Javier-municipio San Felipe, estado Yaracuy, Venezuela. Se seleccionaron seis (6) culmos de *Guadua amplexifolia* Presl de los cuales se tomaron porciones de 150 a 180 cm aproximadamente de cada sección (basal, media y apical). Todas las secciones fueron sometidas a condiciones de aclimatación preestablecidas: temperatura: $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa: $65\% \pm 2\%$, con el fin de alcanzar el contenido de humedad de equilibrio (CHE). Se determinó la masa de cada sección, dato usado luego para el cálculo de la absorción y retención de la solución preservante.

3.2 Tratamiento químico

El método de preservación consistió en un proceso de inmersión durante un lapso de cinco días, empleándose dos tipos de soluciones inmunizantes: solución de ácido bórico-bórax a 5% p/v en relación 1:1, ambos reactivos de grado técnico y una mezcla de licor negro al 6% p/v en hidróxido de sodio grado analítico. Durante el tratamiento químico con la solución de ácido bórico-bórax, se tomó una muestra de solución cada 4 u 8 horas, con el objetivo de conocer el cambio de concentración experimentado durante el proceso de inmersión.

De los 6 culmos seleccionados, solo fueron sometidos a tratamiento 4. El tamaño de las secciones tratadas en solución de sales de boro fue de 50 y 75 cm, mientras que, en licor negro, las muestras fueron de 15 cm.

Posterior al tratamiento, se dejó escurrir las secciones por un lapso de dos días, seguidamente se llevaron a acondicionamiento, hasta peso constante (CHE), finalmente una porción fue empleada para determinar propiedades físicas y otra fue utilizada para el estudio de propiedades mecánicas.

3.3 Propiedades físicas

La determinación de las propiedades físicas se realizó mediante una adaptación de la norma DIN-52182 para madera, empleándose probetas de forma cilíndrica de 10

cm de longitud (Fig.1). Inicialmente, a las probetas verdes (recién cortadas) se les determina la masa y el volumen. Luego, se repite en la condición seca al aire (12% C.H.) y en la condición seca al horno. En el caso de las probetas sometidas a tratamiento se consideró antes del tratamiento y luego que ha perdido el exceso de solución inmunizante, es decir, después de escurrir.



Fig. 1. Probeta utilizada para propiedades físicas.

Las propiedades físicas estudiadas para probetas tratadas con ácido bórico-bórax y probetas sin tratamiento fueron:

- Densidad (g/cm^3):

$$\rho_i = \frac{P_i}{V_i} = \text{g}/\text{cm}^3$$

Donde: ρ_i = Densidad de la probeta en condición i

P_i = Peso de la probeta en condición i

V_i = Volumen por desplazamiento en condición i

i = condición verde (v) o

condición seca al aire (sa)

condición seca al horno (sh)

- Contenido de humedad:

$$C.H.(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100$$

Donde: C.H. (%) = Porcentaje de contenido de humedad

P_h = Es la masa en condición húmeda o actual, ya sea verde o seco al aire

P_s = Es la masa de la muestra seca al horno

- Peso específico básico (Peb):

$$P.e.b = \frac{P_{sh}}{V_v \cdot \rho_{H_2O}}$$

Donde: P.e.b.= Peso específico básico

P_{sh} = Peso seco al horno (g)

v_v = Volumen verde por desplazamiento (cm^3)
 ρ_{H_2O} = Densidad del agua = 1 g/cm^3

3.4 Determinación de parámetros de protección: absorción y retención

El cálculo se realiza mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Absorción} = \frac{(P_F - P_I)}{V} \quad [=] \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

P_F = Masa de la muestra después de inmersión.

P_I = Masa de la muestra antes de inmersión.

V = Volumen de la muestra.

$$\text{Retención} = \text{Absorción} * \text{Concentración}(\%) / 100$$

3.5 Determinación del tiempo óptimo de inmersión

La determinación del tiempo óptimo de inmersión se realizó mediante un análisis colorimétrico del boro en solución (Goldman, Taormina y Castillo, 1975), el procedimiento fue el siguiente:

- Tomar una muestra de la solución de ácido bórico –bórax cada cuatro u ocho horas a lo largo del proceso de inmersión.
- Diluir las muestras, de tal forma que la concentración de la dilución debe oscilar entre 0,05 mg/L y 0,02 mg/L.
- Preparar reactivos para análisis colorimétrico:
 - ✓ Reactivo de curcumina (0,003% p/v): Disolver 3 mg de curcumina en 100 mL de ácido acético (glacial JT Baker) mediante un ligero calentamiento. Luego la solución resultante es filtrada y almacenada en una botella oscura.
 - ✓ Solución básica: Hidróxido de sodio (Merck) a 10% p/v
 - Solución ácida (1:1, 100% v/v): en este caso se mezclan 50 mL de ácido sulfúrico (Sigma Aldrich) y 50 mL de ácido acético (glacial JT Baker). La adición debe realizarse lentamente debido al calor generado durante la reacción.
 - ✓ Solución extractante: preparar una mezcla de metil-etil-cetona con cloroformo, en relación de volumen 5:2. Luego agregar 10 mg de fenol a 100 mL de esta solución. La preparación debe realizarse diariamente.
- Tomar 5 mL de la solución diluida, añadirle 1 mL de la solución básica y calentarla hasta sequedad.
- Agregar 3 mL del reactivo de curcumina y colocarla en la estufa durante 10 min a 100°C . Agitar ocasionalmente.
- Dejar enfriar a temperatura ambiente y añadir 3 mL de la solución ácida. Mezclar bien y luego esperar por 20 min.
- Agregar 20 mL de agua destilada y lavar con 80 mL más en un embudo de decantación.
- Realizar el proceso de extracción, para ello añadir 10 ml de solución extractante, agitar durante 1 min. Luego realizar adiciones de 6 ml de la misma solución.

- Todo el extracto obtenido es colocado en una celda, y se mide a 555 nm.
- Repetir procedimiento para soluciones patron de ácido bórico y bórax, a fin de poder evaluar la concentración de boro en las muestras.

3.6 Propiedades mecánicas.

Para el estudio de la propiedades mecánicas se empleó una Prensa universal marca Baldwin-Lima-Hamilton modelo 12-H mediante la cual se aplica la carga necesaria para cada prueba.



Fig. 2. Prensa universal marca Baldwin-Lima-Hamilton modelo 12-H

Las dimensiones de las probetas empleadas para la realización de los ensayos mecánicos se encuentran especificadas por las normas de la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (American Society for Testing Materials, ASTM) para madera, sin embargo, se procedió a realizar una modificación, debido a la anatomía propia del bambú. En este caso, las probetas de ambos ensayos eran de 15 cm de longitud, 5 cm de ancho y espesor variable. Antes de la realización de los ensayos, se pesó y se le midió ancho, espesor y largo a cada probeta.



Fig. 3. Probeta empleada en ensayos mecánicos.

3.6.1 Resistencia a la dureza.

La carga necesaria para que penetre una semiesfera metálica de un cm^2 de área, representa la dureza de la madera. En cada probeta se realizaron dos penetraciones, una de cada lado calculándose el promedio entre los lados (Norma ASTM D-143/83-87).



Fig. 4. Collar móvil para ensayo de Dureza

3.6.2 Resistencia en compresión perpendicular a la fibra

La carga se aplica por medio de una placa de metal de 5,05 cm de ancho perfectamente centrada, sobre la cara externa de la probeta. Se registraron los valores de deformación para cada incremento de carga (generalmente de 100 kg) hasta que se perdió la proporcionalidad entre carga y deformación (Norma ASTM D-143/77-82).



Fig. 5. Ensayo para compresión perpendicular a la fibra.

Posteriormente se trazó la curva Carga vs. Deformación, en donde se ubicó la carga al límite proporcional, dato empleado para el cálculo del esfuerzo de las fibras al límite proporcional

$$\sigma_{Lim\ pro} = \frac{P_1}{A} = \frac{kg}{cm^2}$$

Donde:

$\sigma_{Lim\ pro}$ = Esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular a la fibra

P_1 = Carga al límite proporcional (kg)

A = Área de compresión (cm^2)

= Ancho de la probeta * Ancho de la placa de metal

En los casos, en los cuales las probetas se rompieron, se utilizó este valor como la carga máxima soportada.

En ambos casos, luego de la realización de las pruebas mecánicas se procedió a determinar el contenido de humedad de las probetas, con el fin de ajustar los esfuerzos calculados a 12% de humedad.

3 Discusión y Resultados

4.1 Diferenciación cualitativa entre probetas tratadas y no tratadas

A simple vista es evidente que en las probetas sin tratamiento (Fig.6) existe pelusilla de diversos colores en la superficie externa de las mismas. Estas proliferaciones algodonosas, que van desde verde claro a negro, se deben a diversos tipos de mohos que proliferan en la superficie del bambú cuando existe alta humedad en el ambiente. Sin embargo, no pareciera haberse producido ningún tipo de pudrición, por tanto, se descarta la acción de hongos xilófagos.



Fig. 6. Probetas *Guadua amplexifolia* Presl sin tratamiento

Por otra parte, en las probetas tratadas con ácido bórico y bórax (Fig. 7.) se evidencia la ausencia de manchas, de mohos. Lo que indica la efectividad del tratamiento químico. Además, se observa que la solución preservante, no modifica la coloración propia del material, lo que permite su uso en cualquier tipo de aplicaciones.



Fig. 7. Probetas *Guadua amplexifolia* Presl tratadas con ácido bórico y bórax

En contraparte, en las probetas tratadas con licor negro, aún y cuando no se observó la acción de ningún tipo de microorganismos, la guadua, se oscurece ligeramente. En la Fig. 8 se observan dos probetas, la primera (izquierda) tratada con ácido bórico y bórax mientras la segunda (derecha) se trató con licor negro. Entre ambas probetas, se evidencia que el licor, da una coloración ligeramente más oscura a la característica del bambú.



Fig. 8. Comparación entre probetas tratadas con ácido bórico y bórax (izquierda) y licor negro (derecha)

4.2 Propiedades físicas

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos del estudio de las propiedades físicas de la especie *Guadua amplexifolia* Presl, se observa que el contenido de humedad en la condición verde de la zona basal, tiene el valor más alto entre las tres secciones, lo cual es de esperarse debido a la gran cantidad de células parenquimáticas existentes en esta sección (Liese, 1987). Asimismo, Londoño y col., 2002, señalan que en todos los bambúes el tamaño de los haces vasculares decrece notoriamente comparando la basa con el ápice, por ello observamos que el contenido de humedad es menor en la sección apical.

Tabla 1. Contenido de humedad de probetas tratadas y probetas sin tratamiento de la especie *Guadua amplexifolia* Presl

C.H (%) en condición verde		
Sección	Tratadas	Sin tratamiento
B	104,55±23,29	67,61±15,42
M	68,13±12,22	55,921±1,28
A	80,57±5,07	58,87±4,97
C.H (%) en condición seca al aire		
Sección	Tratadas	Sin tratamiento
B	11,11±0,36	18,443±2,84
M	11,50±0,17	14,394±2,44
A	14,26±4,06	15,434±1,46

En el caso de la condición seca al aire, el contenido de humedad registrado para las probetas tratadas de todas las secciones es muy similar, esto se debe a la condición de equilibrio alcanzado por las probetas en el cuarto de acondicionamiento.

Para estas mismas probetas, (véase Tabla 2) se determinó la densidad en condición verde, seca al aire y seca al horno. En general, se observa que la densidad disminuye desde la condición verde hasta la condición seca al horno, debido a la pérdida de humedad. Siendo la densidad de las probetas sin tratamiento mayor que la densidad de las probetas sometidas a tratamiento. Por otra parte, La densidad del bambú varía con las diferentes especies y a lo largo del culmo debido a la variación en la fracción de volumen de los haces vasculares en el culmo y la fracción sólida dentro de los haces vasculares (Dixon y Gibson, 2014), por tanto, se observa un

ligero aumento de la misma desde la sección basal a la zona apical (Sánchez, Guerra y Lozano 2020).

Tabla 2. Densidad de probetas tratadas con Ácido bórico-bórax y probetas sin tratamiento de la especie *Guadua amplexifolia*

Densidad en condición verde (g/cm ³)		
Sección	Tratadas	Sin tratamiento
B	1,04±0,05	1,12±0,02
M	1,06±0,03	1,17±0,01
A	1,00±0,08	1,15±0,02
Densidad en condición seca al aire (g/cm ³)		
Sección	Tratadas	Sin tratamiento
B	0,61±0,07	0,97±0,01
M	0,73±0,06	0,96±0,01
A	0,70±0,06	0,98±0,02
Densidad en condición seca al horno (g/cm ³)		
Sección	Tratadas	Sin tratamiento
B	0,57±0,06	0,94±0,4
M	0,70±0,05	0,88±0,04
A	0,65±0,03	0,88±0,01

Comparando los resultados obtenidos con otras investigaciones, se observa que Daud y col., 2018, en el estudio de la especie *Gigantochloa scortechinii* tratada con ácido bórico-bórax, obtuvo que el contenido de humedad y la densidad luego del tratamiento se incrementaron, este comportamiento en nuestro caso solo se evidenció en el contenido de humedad para la condición verde (véase Tabla 1). Además, se corrobora que la sección basal usualmente tiene el contenido de humedad más alto, así como la densidad es mayor en la sección apical.

Finalmente, en cuanto al peso específico, se observa que es mayor en la zona apical que en la zona basal, esto es atribuible al aumento de concentración de los haces vasculares con la altura (Londoño y col., 2002). Además, se observa que los valores más altos los poseen las probetas testigo, posiblemente producto de ser probetas no pareadas, por tanto, es de esperarse que estas tengan mejor desenvolvimiento mecánico, ya que a medida que el peso específico aumenta, mayor es la resistencia del material (Arroyo, 1983). Los valores registrados son similares a los obtenidos por Ordóñez y Barcenás, 2014, para *Guadua amplexifolia* mexicana, en donde el peso específico básico fue para la sección basal 0,427, sección media 0,476 y sección apical 0,576.

Tabla 3. Peso específico probetas tratadas y sin tratar de *G. amplexifolia*.

Peso específico básico		
Sección	Tratadas	Sin tratamiento
B	0,57±0,07	0,67±0,05
M	0,71±0,07	0,75±0,01
A	0,64±0,07	0,72±0,01

4.3 Absorción y retención de las soluciones inmunizantes

En las tablas 4 y 5 se observan los valores de absorción y retención obtenidos luego del tratamiento químico con ácido bórico-bórax y licor negro, respectivamente. La absorción aumenta desde la sección basal hacia el ápice del culmo. Esto se debe al tamaño de los haces vasculares, en la zona apical al tener pocos haces y con diámetros pequeños, la solución preservante llena todos los espacios vacíos en el mismo lapso de tiempo que tardaría llenando parcialmente los vasos de las probetas medias y basales. Asimismo, esto también está relacionado con el contenido de humedad, mientras más bajo el contenido de humedad de la probeta, la absorción y la retención es mayor, por tanto, al tener menor contenido de humedad la sección apical, la absorción y retención de solución en esta es sección mayor.

Tabla 4 Absorción y retención de ácido bórico-bórax a 5% p/v

Sección	Absorción (kg /m ³)	Retención (kg /m ³)
B	103,22±49,60	5,16±2,43
M	120,54±34,32	6,03±1,72
A	212,65±33,65	10,63±1,69
Promedio	145,47±48,03	7,27±2,40

Al comparar los valores de absorción calculados luego de cada tratamiento, se observa que el resultado promedio más alto es alcanzado por las probetas tratadas con ácido bórico y bórax (145,47 kg/m³). Esto puede atribuirse a una posible diferencia de viscosidad, entre la solución ácida y la solución de Licor negro, ya que si la menos viscosa, posiblemente penetró más rápidamente a través de los vasos conductores, de la probeta (Hunt y Garratt, 1962).

De acuerdo a Simisterra y col., 2022, los valores de retención aumentan a medida que aumenta el tiempo de inmersión, de esta manera, los resultados obtenidos corresponden a un tiempo mayor de 48 horas de tratamiento

Tabla 5. Absorción y retención de Licor Negro a 6% p/v

Sección	Absorción (kg sol/m ³)	Retención (kg Químico/m ³)
B	122,73±33,24	7,37±1,99
M	145,14±45,29	8,71±2,54
A	141,33±44,76	8,47±2,69
Promedio	136,40±9,79	7,36±0,59

Finalmente, la retención promedio es similar entre las soluciones de licor negro e hidróxido de sodio.

4.4 Propiedades mecánicas.

El estudio de las propiedades mecánicas del bambú es de vital interés para dislucidar el comportamiento del mismo en diferentes aplicaciones, las propiedades que se estudian con mayor frecuencia son resistencia a la compresión paralela a la fibra, resistencia a la tensión, resistencia al corte y resistencia a la flexión, ya que con estas se determina su

aplicabilidad. Cordero y col., 200, comprobó que la especie *Guadua amplexifolia* Presl posee alta resistencia a la tracción y a la compresión paralela a sus fibras, con un valor de esfuerzo admisible a la compresión de 101,4 kg/cm². Así mismo, Sanchez, Espuna y Roux, 2016 al evaluar el comportamiento de la misma especie observaron que los esfuerzos últimos de falla para compresión, cortante y tensión paralela a la fibra y flexión en la zona apical son más elevados que en otras secciones del culmo. Esto se relaciona con que la densidad es mayor en la zona apical.

En cuanto a la evaluación mecánica de especies de bambú tratadas químicamente, existen pocos antecedentes, uno de ellos es Daud y col., 2018, quienes estudiaron resistencia a la compresión paralela a la fibra, resistencia al corte y resistencia a la flexión de la especie *Gigantochloa scortechinii* tratada con ácido bórico-bórax, comprobándose que en el caso de la resistencia a la compresión esta aumenta luego del tratamiento. Por su parte Gauss y col., 2019, analizaron el efecto del tratamiento con octaborato de disodio tetrahidratado en la especie *Dedrocalamus asper*, obteniéndose que la resistencia a la compresión paralela se incrementa hasta un 35% luego del tratamiento.

Los resultados obtenidos del ensayo de propiedades mecánicas se presentan en la figura 9 y figura 11. En el caso de la resistencia a la dureza (Figura 9), puede observarse que la dureza es menor en la sección apical que en la basal del culmo, debido a que la pared del culmo decrece a lo largo del mismo, ya que se incrementa la susceptibilidad a la ruptura al aplicar un esfuerzo. En cuanto al tratamiento químico, se observa que las probetas sin tratamiento de todas las secciones, poseen mayor dureza que las probetas tratadas. En términos generales, es probable un ablandamiento de la pared celular durante el tratamiento (Hunt y Garratt, 1962), producto de una elevada concentración de sales o un excesivo tiempo de inmersión. Sin embargo, es posible que el ablandamiento sea despreciable, debido a la ampliación de la vida útil del material.

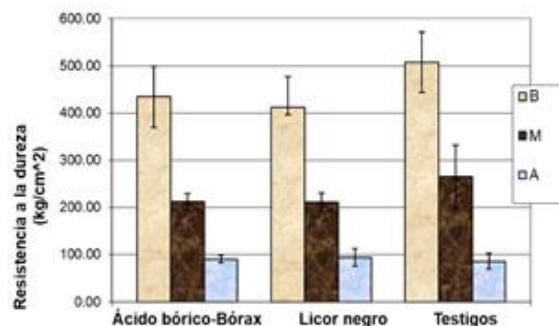


Figura 9. Dureza en probetas de *Guadua amplexifolia* Presl tratadas con ácido bórico-bórax y licor negro

Al comparar los valores obtenidos con otras investigaciones, observamos que García y col., 2015, obtuvieron una dureza de 18,92 kg/mm² para la especie *Guadua amplexifolia*

Presl sin tratamiento, este valor difiere del nuestro, sin embargo, se puede atribuir la diferencia al origen de las muestras, edad del culmo y a la metodología de ensayo empleada. Además, se evidencia que el tratamiento con preservante, independientemente del tipo, produce una disminución de la dureza del material.

En la Figura 10, se muestran los esfuerzos ajustados de la compresión perpendicular a la fibra de probetas tratadas con ácido bórico-bórax, licor negro y probetas sin tratamiento. En esta se evidencia una disminución de la resistencia desde la sección basal a la sección apical, como una consecuencia del aumento del número de fibras en esta dirección del culmo (Liese, 1987). Además, la resistencia de la sección basal aumenta luego del tratamiento, siendo de 55,61 kg/cm² con la solución de ácido bórico-bórax y 53,29 kg/cm² con la solución de licor negro, esto indica que la inmunización beneficia la resistencia a la compresión perpendicular, estando los resultados obtenidos directamente relacionados con la absorción de solución inmunizante, ya que los vasos al estar saturados de sales o sólidos incrementan la fuerza de oposición a la carga aplicada. Corroborado con los resultados de Daud y col., 2018, y Gauss y col., 2019, que, aunque estudiaron otras propiedades obtuvieron mayor resistencia luego del tratamiento.

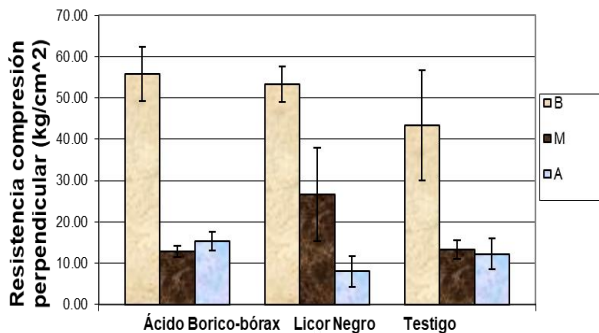


Figura 10. Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra de *G. amplexifolia* tratadas con ácido bórico-bórax, Licor negro y sin tratar

En el caso de las secciones medias., la carga soportada por la sección media tratada con licor negro, triplica, tanto los esfuerzos ajustados para la misma sección al comparar con el otro tratamiento, y los de probetas sin tratamiento, de ello se infiere que el espesor de la probeta influye en gran magnitud sobre el resultado, ya que la probetas medias preservadas con licor negro tenían mayor espesor, resultado demostrado en el estudio realizado por Daud y col., 2018, donde la resistencia a la compresión paralela fue más alta en la sección con mayor espesor de pared del culmo.

Por su parte García y col., 2015, registraron valores promedio de 9,93 kg/cm² de resistencia a la compresión perpendicular, valores similares a los determinados por Sanchez, 2019.

Si se establece una comparación entre estos

resultados y las durezas registradas, se observa un comportamiento antagónico, de allí se puede inferir que los tratamientos favorecen la resistencia a la compresión mientras disminuye la resistencia a la dureza.

4.5 Tiempo óptimo de inmersión

Desde el punto de vista cualitativo, se observó que la coloración de los patrones se hacía más tenue a medida que la concentración de boro aumentaba, ejemplo de ello es que el blanco era de color rojo-anaranjado, mientras que el extracto obtenido a partir de la solución más concentrada (0,05 mg/L) era rosado claro. Esto evidencia que el complejo formado, llamado rosocianina, absorbe menos luz a medida que la concentración de boro aumenta. Al analizar las absorbancias de los extractos de las muestras tomadas durante el tratamiento de ácido bórico-bórax se observa que la absorbancia presenta un comportamiento ascendente donde alcanza un máximo, luego desciende de manera irregular. Esto indica que la concentración de boro en solución fue disminuyendo durante un tiempo de 26,5 horas, luego se observa un comportamiento irregular producto de la disolución de diversos compuestos presentes en la estructura del culmo, tales como: celulosa, hemicelulosa lignina, azúcares. Por tanto, se considera que el tiempo óptimo de inmersión es 26,5 h, lo que permite concluir que inmersiones más prolongadas son innecesarias.

Conclusiones

- La sección basal del culmo posee el mayor contenido de humedad.
- La densidad verde, seca al aire y seca al horno, aumenta desde la zona basal a zona apical y disminuye luego del tratamiento con ácido bórico.
- El peso específico básico se incrementa desde la sección basal a la sección apical.
- La absorción de ácido bórico-bórax como preservante fue más alta, mientras que la retención fue más elevada cuando el tratamiento se hizo con licor negro.
- La resistencia a la dureza disminuye luego del tratamiento químico obteniéndose 245,3 kg/cm² para las probetas tratadas con ácido bórico, 239,2 kg/cm², para las probetas tratadas con licor negro y 287,39 kg/cm² para las probetas sin tratamiento.
- La resistencia a la compresión perpendicular aumenta luego del tratamiento químico, siendo con ácido bórico-bórax de 27,93 kg/cm², con licor negro de 29,31 kg/cm² y sin tratar, 22,93 kg/m²
- Los valores de resistencia obtenidos, para la especie *Guadua amplexifolia* Presl, luego del tratamiento químico son similares.
- El tiempo óptimo de inmersión es 26,5 h para la inmersión en ácido bórico-bórax, por tanto se considera que


luego de este lapso de tiempo el tratamiento químico es innecesario.

Referencias.

- Arroyo, J. (1983). Propiedades físico-mecánicas de la madera. Comisión de publicaciones de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.
- Clark LG, Londoño X, Ruiz-Sanchez E. (2015). Bamboo taxonomy and habitat. In: Liese W, Köhl M, eds. Bamboo: The plant and its uses, Vol. 10. Springer International Publishing, Switzerland, pp. 1-30. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6_1
- Cordero, J., Gichtters, A. y Téllez, M. (2009). Capacidad resistente del bambú *Guadua amplexifolia*, para propósitos constructivos. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Puras e Ingenierías. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Daud, N., Nor, N., Yusof, M., Bakhri, A., Shaari, A. (2018). The Physical and Mechanical Properties of Treated and Untreated *Gigantochloa Scortechinii* Bamboo. AIP Conference Proceedings **1930**, 020016, <https://doi.org/10.1063/1.5022910>
- Dixon, PG., Gibson, LJ (2014). La estructura y mecánica del material de bambú Moso. Revista de la interfaz de la Royal Society, **11**. <https://doi.org/10.1098/rsif.2014.0321>
- García, E., Silva, E., Reyes, J., Arcocha, E., Buenfil, C., Bolívar, Cortés, G. (2015). Caracterización físico mecánica del recurso natural Bambú presente en el Estado de Campeche, México. Revista Iberoamericana de Ciencias, **2**, (7), pp. 25-38. <http://www.reibci.org/publicados/2015/dic/1400110.pdf>
- Gauss, C. Kadivar, M., Savastrano, H. (2019) Effect of disodium octaborate tetrahydrate on the mechanical properties of *Dendrocalamus asper* bamboo treated by vacuum/pressure method. Journal of Wood Science, **65**, (27), pp: 2-11. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1804-6>
- Goldman, E., Taormina, S., Castillo, M. (1975). A modified curcumin method for determining trace amount of boron. Journal American Water Works Association, **67**, (1), pp. 14-15.
- Gutiérrez, L., Velásquez, M. (2005). Estudio preliminar de las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Guadua angustifolia*, proveniente del sector Palma Sola, asentamiento Ticoporo, municipio autónomo Antonio José Antonio de Sucre, Estado Barinas. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.
- Hunt, G. M., Garratt G. (1962). Preservación de la madera. España: Salvat
- Liese, W. (1987). Anatomy and properties of bamboo. En International Bamboo Workshop Proceedings: Recent researchs on bamboos, pp.196-208. Hangzhou, China: Chinese Academy of Forestry.
- Londoño, X., Camayo G., Riaño N., López Y. (2002). Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society **16**, (1), pp. 18-31.
- Mejía, C. (2002). Notas de Preservación. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Laboratorio de Productos Forestales.
- Ordóñez, V., Bárcenas, G. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*). Madera y bosques, **20**, (2), pp.111-125. <https://www.re-dalyc.org/pdf/617/61732072009.pdf>
- Paredes, E. (1991). Estudio florístico preliminar del bambú en los estados Portuguesa- Cojedes-Yaracuy. Tesis de pregrado Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.
- Sánchez Escobar, L. C. (2020). Comparación de las propiedades físico-mecánicas del bambú *Guadua angustifolia* Kunth de diferentes municipios de Colombia. *Ciencia*, **22**, (1), pp. 34-56. <https://doi.org/10.24133/ciencia.v22i1.1289>
- Sanchez, M., Espuna, J., Roux, R. (2016). El bambú como elemento estructural: La especie *Guadua amplexifolia*. Nova Scientia, **Nº17**, **8**, (2), pp. 657-677 <https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v8n17/2007-0705-ns-8-17-00657.pdf>
- Sanint, A. (1996). La guadua: Su cultivo, manejo y aprovechamiento. Tres sistemas para la construcción de viviendas económicas. Barinas: Ediciones Universidad Ezequiel Zamora.
- Simisterra, J., Cervantes, R., Ona, L., Lajones, A. (2022). Impregnación de bórax y ácido bórico en caña *Guadua angustifolia* Kunth por el método de inmersión. Manglar, **19**, (1), pp. 91-98.
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2022). Commodities at a glance. Special issue on bamboo. Nº 15, pp, 17-19.

Recibido: 10 de diciembre de 2022

Aceptado: 20 de marzo de 2023

Moreno, Nilda Elena. Ingeniero Químico. Magister Scientiae en Química de Medicamentos de la Universidad de Los Andes. Mérida –Venezuela. Investigación: propiedades físico-mecánicas de *Guadua* tratada químicamente, análisis de la actividad de bacterias por Biospeckle, análisis de trazas de cefalosporinas. Correo electrónico: nildamorenoren@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0002-2131-9400>

Burgos F., Amarilis: Ingeniero Forestal Universidad de Los Andes. Magister Scientiarum en Tecnología de Productos Forestales. Profesora asociada Escuela Técnica Superior

Forestal. Profesora de la Unidad curricular: Tecnología de la madera. Miembro del grupo de investigación "Gicon" del Laboratorio Nacional de Productos Forestales en Mérida. Investigación y extensión: Preservación y secado de madera, presentación en ponencias en eventos científicos, 7 artículos publicados en revistas indexadas. Tutorías y evaluación de pasantías, premios PEI. Dictado de talleres sobre preservado de bambú. Correo electrónico: amari.lis.guadua@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-2358-1094>

Valero Styles Will: Ingeniero Forestal Universidad de Los Andes. Magister Scientiarum en Tecnología de Productos Forestales, ULA. Profesora asociado Escuela de Ingeniería Forestal. Profesor de las unidades curriculares: Propiedades Físico - Mecánicas de la Madera y Aprovechamiento e Industrias Forestales. Investigación y extensión en propiedades físico mecánicas de la madera, secado de la madera, tutorías y evaluación de tesis y pasantías, premios PEI, Autor de diferentes artículos relacionados con la Tecnología de Productos. Correo electrónico: estaylesv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6467-6355>

González F., Aura Marina: Doctora en Ciencias Aplicadas a la Ingeniería. Profesora titular en el departamento de Química industrial y Aplicada con experiencia en el área de la Química analítica, Análisis Instrumental, y en los laboratorios, de Química General, Química inorgánica, Química Industrial, instrumental, Analítica, Físico Química. Magister Scientiarum en Química Aplicada en espectroscopia molecular, ULA. Experiencia de campo e investigación: Tratamiento de efluentes, evaluación de alimentos, preservación de maderas, materiales con actividad superficial, espumas, dispersiones etc. Presentación en ponencias y congresos nacionales e internacionales, 16 artículos publicados en revistas indexadas, 19 publicaciones en memorias de congresos arbitradas monografías, libro, asesorías y tutorías en tesis de pre y post grado 30, pasantías, evaluador de concursos de Personal docente, técnico y estudiantil. Premios PEI, PPI.

<https://orcid.org/0009-0003-4147-1044>

Celis, María-Teresa. Ingeniero Químico Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela-1981; Master en Ingeniería Química, 1997, University of South Florida (USF), USA; Ph.D. en Ingeniería Química 2000, USF, USA; Post. Doc. (Water-based, Natural Polymer Surfactants: Implications for Deepwater Horizon Oil Spill Dispersions and Cleanup Operations), 2012, USF, USA; Directora Laboratorio de Polímeros y Coloides, Facultad de Ingeniería (ULA), Coordinadora técnica Laboratorio FIRP, Facultad de Ingeniería (ULA), Profesora Titular, Facultad de Ingeniería ULA. Investigadora y experta en el área de polímeros, emulsiones y caracterización de sistemas dispersos usando espectroscopia, Miembro correspondiente estatal de la Academia de Mérida. Correo electrónico: celismt@ula.ve

<https://orcid.org/0000-0003-3618-3569>

Amundarain, Milena: Ingeniero Químico con estudios de postgrado en Ingeniería Química de la Universidad de Oriente, Barcelona, estado Anzoátegui. Profesora Asociada, en la cátedra de Tratamiento de aguas residuales en pregrado y postgrado y Coordinadora del Postgrado de Ingeniería Química la Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui. Correo electrónico: milena.amundarain@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-2002-531X>