

EVALUACIÓN Y AJUSTE DEL PROCESO DE PRESERVACIÓN DE GUADUA POR INMERSIÓN CON SALES DE BORO

RESUMEN

Se evaluó la influencia de los principales parámetros que afectan la preservación de la principal especie de bambú en Colombia (*Guadua angustifolia* Kunth) por el método de inmersión con sales de boro.

La concentración de la solución preservante, el contenido de humedad, la densidad y el tiempo de inmersión muestran efectos significativos sobre la difusión y retención de sales de boro.

PALABRAS CLAVES: Guadua, preservación, bórax, ácido bórico

ABSTRACT

The influence of the principle parameters for the preservation of the Colombian main bamboo species Guadua Angustifolia Kunth with the soak method (submersion of poles in boron aqueous solution) was analyzed.

The concentration of the boron solution, moisture contents, submersion time and density shows a significant influence on the diffusion and retention

KEYWORDS: Bamboo, preservation, borax, boric acid

1. INTRODUCCIÓN

La preservación es uno de los eslabones críticos dentro del proceso de transformación y adición de valor a los productos obtenidos a partir de los culmos de guadua adulta cosechada. La guadua rolliza puede ser considerada como el producto con mayor potencial en los mercados locales, nacionales e internacionales [3]. En general, los mercados de la guadua exigen adecuados métodos de preservación y secado que garanticen la permanencia del producto por largos periodos de tiempo. Adicionalmente, cada vez más personas se concientizan de la importancia de consumir productos con bajos niveles de impacto sobre el ambiente y la salud humana.

En el marco de las investigaciones realizadas por la UTP, en trabajo desarrollado en el año 2001 [9], se destaca que dentro de los métodos de preservación ambientalmente sanos, la preservación por el método de inmersión con sales de boro es muy efectiva para condiciones donde la guadua no esté expuesta a humedades altas y se encuentre protegida de los rayos del sol [5].

En general, los productores de guadua rolliza en el Eje Cafetero han optado por preservar con sales de boro por el método de inmersión, sin embargo, los productores enfrentan la dificultad de conocer como funciona su proceso de preservación, en donde ha sido plenamente identificados problemas relacionados con el manejo de la concentración de la solución preservante, el tiempo de inmersión y los costos por preservación. Esta investigación busca atender las necesidades de estos productores y mejorar el conocimiento del proceso de preservación por el método de inmersión con sales de

boro que permita mayor calidad del producto con un costo razonable.

Actualmente los productores de guadua no tienen herramientas prácticas que les permitan controlar el proceso de preservación y se puede decir que existe cierto grado de empirismo que puede conducir a problemas de calidad de los productos con una consecuente pérdida de credibilidad por parte de los compradores.

El objetivo de esta investigación fue determinar los aspectos más importantes para ser considerados en el proceso de preservación de guadua, por el método de inmersión con sales de boro, que afectan la calidad final del producto y su vida útil. Se pretende que a mediano plazo con ayuda de esta investigación, las empresas que preservan con este método, estén en capacidad de certificar la calidad del producto, con registros, gráficos, análisis de laboratorio de acuerdo a normas y especificaciones técnicas previamente establecidas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Diseño del experimento

Se realizó un experimento con el propósito de conocer los efectos de la concentración de la solución preservante y el tiempo de inmersión en el contenido final de boro en guadua preservada con el método de inmersión. Como unidad experimental se trabajaron muestras de guadua con dos secciones internodales y de dos piezas de la guadua definidas como muestra de cepa y muestra de basa (Figura 1).

TITO MORALES PINZÓN

Administrador del Medio Ambiente,
Profesor Auxiliar M.Sc
Universidad Tecnológica de Pereira
tito@utp.edu.co



Figura 1. Muestras de guadua tratadas en los experimentos.

En el experimento 1 se evaluó el efecto de la concentración de la solución en diferentes tiempos de inmersión. Se realizó un diseño de bloques aleatorios correspondientes a dos procedencias de dos guaduales con características de crecimiento distintas (Sitio 1: Finca Nápoles; Sitio 2: Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira-UTP) (Tabla1).

Tratamiento	Concentración de la solución (ácido bórico-bórax)*	Tiempo de inmersión
T1	3% (2:1)	3 días
T4	3% (2:1)	4 días
T7	3% (2:1)	5 días
T2	6% (4:2)	3 días
T5	6% (4:2)	4 días
T8	6% (4:2)	5 días
T3	9% (6:3)	3 días
T6	9% (6:3)	4 días
T9	9% (6:3)	5 días

Tabla 1. Diseño experimental 1.

*Concentraciones aproximadas. Para preparar una solución al 3% se preparó 100 l de agua y se disolvieron 2 kg de ácido bórico y 1 kg de bórax.

Como covariables se tomaron el contenido de humedad de la madera al inicio del proceso y la densidad de las muestras guadua preservada. Los resultados se analizaron con análisis de varianza y el Test de Tukey para comparar pares de tratamientos a un nivel de significancia del 5%.

2.2 Medición de la penetración y la retención

La evaluación del grado de protección que se da a las muestras de guadua se puede medir determinando la absorción, retención y penetración obtenidos en los diferentes tratamientos [10]. En este estudio solo se

evaluaron la retención y la penetración por ser considerados como las más aplicables.

La evaluación se realizó en los puntos centrales de los entrenudos obteniendo la muestra necesaria para el análisis cuantitativo de contenido de boro en laboratorio y en este mismo punto se evaluó la penetración aplicando una solución de cúrcuma, la cual reacciona cambiando de color en contacto con el boro [2]. Todas las muestras fueron analizadas por el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Tecnológica de Pereira.

La cuantificación del contenido de boro se hizo por el método de la azometina H, empleando un espectrofotómetro para realizar las lecturas, el cual es un método empleado en laboratorio para análisis de foliares y ya había sido probado con éxito anteriormente en una tesis de Tecnología Química [1].

Para medir la penetración se empleó cúrcuma comercial, un colorante natural que reacciona con el boro cambiando el color de tonalidad amarilla a naranja y roja en zonas de mejor penetración.

2.3 Concentración de la solución preservante

Se realizaron pruebas de conductividad vs concertación de la solución preservante y se construyeron modelos de regresión lineal que permiten la evaluación rápida de la concentración en tanques de preservación a partir de lecturas de un conductímetro calibrado.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Evaluación de la penetración de la solución preservante

En la mayoría de las muestras de guadua tratadas se dio una penetración total, sin embargo, se observó una zona de mayor concentración que ha sido llamada en este estudio zona de penetración alta, definida como aquella zona de la guadua donde el colorante empleado (cúrcuma) dio una tonalidad mayor, evidenciando un alto contenido de boro superior a los contenidos normales de las plantas (>20ppm) [4], siendo esta la variable tomada para analizar el comportamiento de la penetración según la concentración de la solución y el tiempo de inmersión.

La penetración del preservante se evaluó de dos formas: la primera se ha definido como la penetración desde el interior hacia el borde externo de la muestra (expresada en centímetros de pared interna con mayor grado de protección) y la segunda como el porcentaje de sección circular con penetración alta (Figura 3).

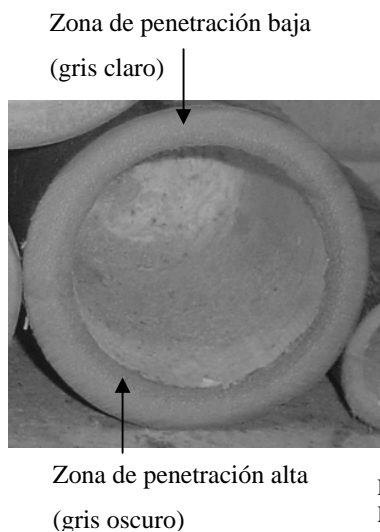


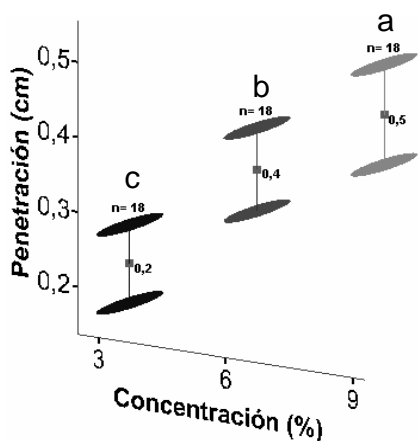
Figura 2. Penetración de la solución

preservante.

Según la clasificación empleada para maderas [5] la penetración de sales se dio de forma total regular, con altas concentraciones en el borde interior de las muestras tratadas para los diferentes niveles de concentración y tiempos de preservación evaluados.

3.1.1 Evaluación de la penetración de sales de boro

Se encontraron diferencias significativas para la penetración ($p < 0,05$) entre las diferentes concentraciones (Figura 4) y no se evidenció el efecto del tiempo de inmersión. El análisis muestra que tiempos de preservación entre 3 y 5 días no presentan diferencias estadísticamente significativas para las zonas de penetración altas (Figura 5).



Letras distintas indican diferencias significativas, test de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 3. Penetración de sales de boro según concentración de la solución preservante.

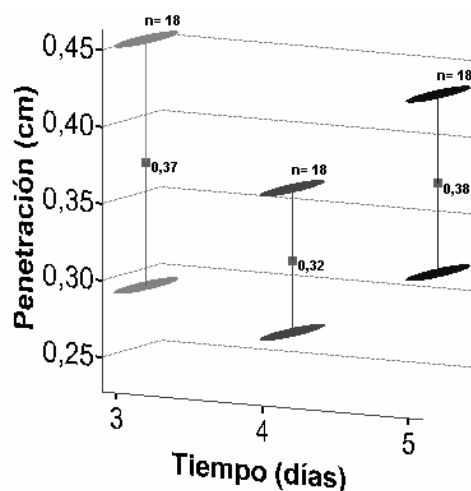


Figura 4. Penetración según tiempo de inmersión.

La humedad y la densidad de la guadua evaluadas no mostraron efecto significativo sobre la penetración medida como espesor de la penetración ($p > 0,05$). Sin embargo, en otros análisis realizados se encontró que existe un efecto significativo de el espesor de la pared en la penetración, lo cual se puede explicar debido a que en la pared interior de la guadua existe una mayor porosidad y menor densidad, la cual varía hacia el exterior de la guadua disminuyendo la porosidad y aumentando la densidad haciendo más difícil la penetración del preservante (Figura 6). Este efecto fue comprobado igualmente al evaluar la penetración según la pieza de guadua tratada (Cepa y Basa), encontrando mayores penetraciones en cepa con respecto a la basa, indicando que efectivamente paredes mayores presentes en la cepa con una mayor área de baja densidad permiten una mayor penetración del preservante (Figura 7).

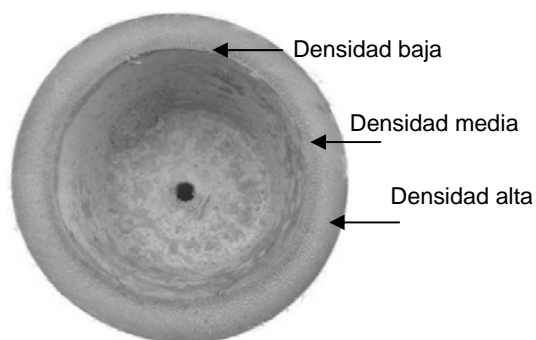
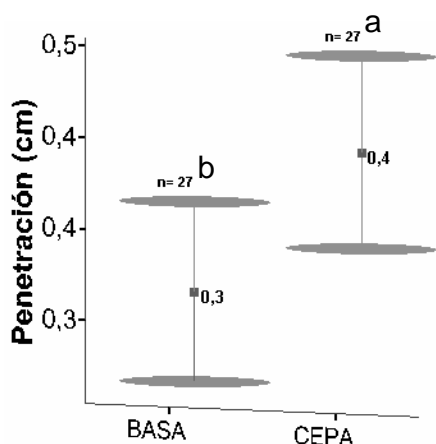


Figura 5. Diferencias de densidad encontradas en un corte longitudinal de guadua.



Letras distintas indican diferencias significativas, test de Tukey (p<0,05).

Figura 6. Penetración de sales de boro según pieza de guadua.

3.2 Evaluación de la retención de sales bajo diferentes concentraciones y tiempos de preservación

Del total de muestras analizadas se encontró un promedio de retención de 5,3 kg/m³ con una desviación estándar de 4,1 kg/m³. Los valores máximo y mínimo son 0,65 kg/m³ y 15,01 kg/m³. Para concentraciones de solución mayores al 6% se obtuvieron retenciones en un rango adecuado (1 a 4 kg/m³ de Equivalente de Ácido Bórico-EAB) [6] [8], aunque también se alcanzaron mayores valores que se ajustan a esquemas más rigurosos (8 kg/m³) [7].

Variables independiente	Variable dependiente
	EAB (kg/m ³)
%CH	-0,50**
Densidad (g/cm ³)	-0,41**

**Coeficientes de correlación de Pearson, estadísticamente significativos (p<0,01)

Tabla 2. Medidas de asociación entre las covariables contenido de humedad y densidad con respecto a la retención de sales de boro.

Se encontraron diferencias significativas (p<0,05) para los tratamientos evaluados, mostrando que la retención de sales en la guadua preservada es afectada por la concentración de la solución preservante, la humedad y la densidad de la guadua, mientras que el tiempo de inmersión actúa como variable importante en el proceso y puede marcar una tendencia que indica mejores retenciones del preservante a mayor tiempo de inmersión logrando ser significativo su efecto para concentraciones de 3 y 6% (Figuras 8 y 9).

Se realizó un análisis de correlación entre el contenido de humedad, la densidad y la retención de sales, encontrando coeficientes de correlación significativos, que indican que a menor contenido de humedad y menor densidad menor retención (Tabla 2).

Letras distintas indican diferencias significativas, test de Tukey (p<0,05).

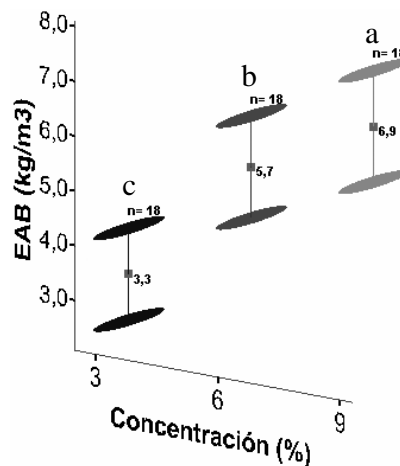


Figura 7. Efecto de la concentración de la solución preservante en la retención de sales de boro.

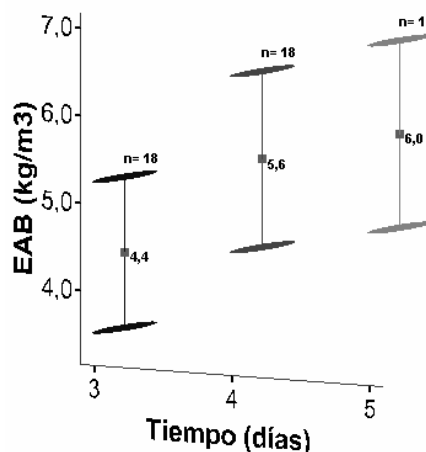


Figura 8. Efecto del tiempo de inmersión en la retención de sales de boro para concentraciones de solución de 3 y 6%.

Se construyeron tres modelos de regresión lineal para explicar la retención de sales de boro en la guadua preservada por inmersión. Todos presentan un alto grado de aplicación y pueden ser utilizados para pronosticar la retención de sales de boro en un lote de guadua rolliza preservado por el método de inmersión con concentraciones de boro en solución entre 0,46 y 1,39% y tiempos de inmersión entre 3 y 5 días.

Modelo 1: Considera como variables independientes la densidad, el contenido de humedad, la concentración de la solución y el tiempo de inmersión.

$$EAB = 17,35 - 0,097 \times \% CH - 17,20 \times Densidad + 4,394 \times \% Boro + Tiempo_inmersión$$

$$R^2_{(corregida)} = 0,630$$

Modelo 2: Considera como variables independientes la densidad, el contenido de humedad y la concentración de la solución.

$$EAB = 21,21 - 0,093 \times \% CH - 17,39 \times Densidad + 4,4 \times \% Boro$$

$$R^2_{(corregida)} = 0,596$$

Modelo 3: Considera como variables independientes la densidad y el contenido de humedad.

$$EAB = 24,13 - 0,092 \times \% CH - 15,87 \times Densidad$$

$$R^2_{(corregida)} = 0,435$$

3.3 Conductividad de la solución de bórax y ácido bórico

Se encontró que la conductividad depende de la concentración de bórax, de la concentración del ácido bórico y de la temperatura. Se construyó un modelo de regresión lineal múltiple que es capaz de explicar el 98,4% de la variabilidad encontrada en las mediciones de conductividad de soluciones distintas. Un segundo modelo con un potencial mayor de aplicación en empresas productoras de guadua, se desarrolló a partir de la concentración de bórax como única variable regresora encontrando que este modelo explica el 97,5% de la variabilidad siendo de muy buena calidad y apropiado para estimar la concentración de bórax a partir de la conductividad de la solución (Figura 2).

De acuerdo con los resultados es posible estimar la conductividad empleando alguno de los siguientes modelos:

Modelo 1: Regresión Lineal Múltiple (Conductividad vs concentración de sales)

$$Conductividad(\mu s / cm) = -1700,9 + 297541,4 \times Bórax - 18284,6 \times A.Bórico + 94,6 \times T^{\circ}$$

$$R^2 = 0,984$$

Donde el bórax y ácido bórico se expresan en términos de la proporción presente en la solución.

Modelo 2: Regresión Lineal Simple (Conductividad vs Bórax)

$$Conductividad(\mu s / cm) = 315 + 2929 \times \% Bórax$$

$$R^2 = 0,975$$

Este modelo puede tener una mejor aplicación al obtener una expresión que permita estimar el contenido de bórax a partir del valor de conductividad medido en la solución, lo cual permitiría a los productores controlar una variable importante en las piscinas de preservación.

$$\% Bórax = \frac{Conductividad - 315}{2929}$$

Esta expresión es adecuada cuando la conductividad es evaluada a un rango de temperaturas entre 22 y 24 °C.

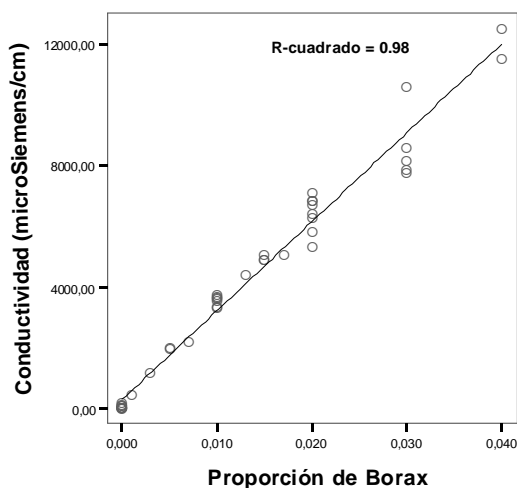


Figura 9. Modelo 2 de regresión lineal para evaluar la concentración de la solución a partir de lecturas de conductividad

Una vez estimada la concentración de Bórax, es igualmente importante estimar la concentración de Ácido Bórico y poder así mantener una adecuada relación de estas sustancias en la solución preservante.

Se construyó un modelo de regresión lineal múltiple para estimar el pH a partir de la concentración de Bórax y Ácido Bórico en la solución el cual permite explicar el 88,8% de la variabilidad.

Modelo 3: Regresión Lineal Simple (pH vs sales de Boro)

$$pH = 8,339 - 48,291 \times \text{Ácido_Bórico} + 30,183 \times Bórax$$

$$R^2 = 0,90$$

A partir de esta expresión y con el conocimiento de la concentración de Bórax, es posible estimar la concentración de Ácido Bórico presente en la solución.

$$\% \text{Ácido}_B = \frac{8,339 + 30,183 \times \text{Bórax} - pH}{48,291} \times 100$$

Estos modelos pueden ayudar al productor a controlar la concentración de la solución y poder mantener condiciones adecuadas para una buena preservación de la guadua.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La conductividad de la solución preservante es una herramienta adecuada para valorar el contenido de sales de boro presentes en un tanque de preservación.

La conductividad aportada por las sustancias presentes en la guadua y por el agua común son despreciables y se puede entonces estimar el contenido de sales como un indicador del estado de la concentración de la solución.

La conductividad en las piscinas de preservación está principalmente determinada por la concentración de bórax

Del estudio se concluye que la retención de sales de boro se ve afectada por la concentración de la solución preservante, el contenido de humedad, la densidad de la guadua y en menor grado el tiempo de inmersión.

La retención de sales en piezas de guadua para concentraciones de solución entre 3% y 9% pueden cumplir con los mínimos valores requeridos para que actúe como preservante (1 a 4 kg EAB/m³), sin embargo los mejores resultados se obtienen con concentraciones entre 6% y 9% con tiempos de preservación entre 3 y 5 días.

El tiempo de inmersión evaluado de 3 a 5 días no afectó de forma significativa la penetración ni la retención de sales, sin embargo se observó una tendencia a tener mejores promedios de retención a medida que aumenta el tiempo de inmersión.

La densidad y la humedad de la guadua al inicio del proceso afectan la efectividad del proceso de preservación, encontrando que a menor densidad y menor contenido de humedad se dan los mejores resultados.

Basado en los resultados del estudio se recomienda aplicar estos modelos para realizar el control de las piscinas de preservación y mantenerla en un estimado entre 6% y 9% de concentración de sales de boro y manejar tiempos de inmersión entre 4 y 5 días.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARIAS C., Diana Patricia. Determinación del contenido de boro en la guadua después de inmunización. Universidad Tecnológica de Pereira, Tesis de Tecnología Química. 2001.
- [2] BARRERO, Maricela M y CARREÑO, Rafael J. Evaluación de pigmentos de curcuma cultivada en Venezuela. *Agronomía tropical* 49(4): 491 – 504. 1999.
- [3] GIRALDO, Edgar y SABOGAL, Aureliano. Una alternativa sostenible, la guadua. *Técnicas de Cultivo y Manejo*. 192p. 1999.
- [4] HERNANDEZ G. Rubén. Nutrición mineral en las plantas. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. 58p. 2002.
- [5] JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). Manual del Grupo Andino para La Preservación de Maderas. Proyecto Sub-Regional de Promoción Industrial de la Madera para la construcción. Lima-Perú. 150 p. 1988.
- [6] LIESE, Walter y KUMAR, Satish. Bamboo preservation compendium. 231 p. 2003.
- [7] MEJÍA, Luis Carlos. Notas sobre preservación de maderas. 72p. 2002.
- [8] MILLONES R., Juan Ramón; FLOREZ G., RAÚL y CUELLAR F., Florencio. Valor eficaz de un preservante (compuesto bórico) en el tratamiento de tres maderas comerciales de baja durabilidad natural.
- [9] MONTOYA, J.A y MORALES, T. Investigación tecnológica en métodos de preservación de la guadua. 2001.
- [10] VACA de Fuentes, Rosa Beatriz. *Técnicas para la preservación de maderas*. 58p. USAID. 1998.

5. AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a las entidades que hicieron posible esta investigación. La Agencia de Cooperación Técnica Alemana GTZ, el Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos –CIEBREG, la Universidad Tecnológica de Pereira y la Facultad de Ciencias Ambientales.