



Impregnación de bórax y ácido bórico en caña *Guadua angustifolia* Kunth por el método de inmersión

Borax and boric acid impregnation into *Guadua angustifolia* Kunth cane by immersion method

Juan Pablo Simisterra Borja¹; Roberto Enrique Cervantes Proaño¹; Lorena E Ona Yanez^{1,*}; Digmar Alfredo Lajones Bone¹

¹ Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Estación Experimental Mutile, Km 18 Vía al Aeropuerto, Esmeraldas, Ecuador.

*Autor corresponsal: lorena.ona@utelvt.edu.ec (L. E. Ona Yanez).

ID ORCID de los autores

J. P. Simisterra Borja:  <https://orcid.org/0000-0001-5544-4627>

R. E. Cervantes Proaño:  <https://orcid.org/0000-0003-4865-7370>

L. E. Ona Yanez:  <https://orcid.org/0000-0001-5958-9057>

D. A. Lajones Bone:  <https://orcid.org/0000-0002-8143-8578>

RESUMEN

La caña *Guadua angustifolia* Kunth es un material con un gran potencial de industrialización que no ha sido objeto de estudio en el ámbito de la preservación por lo que se carece de una guía técnica sobre este procedimiento. El objetivo de esta investigación fue cuantificar niveles de impregnación del preservante elaborado con sales de boro aplicado por el método de inmersión en caña *Guadua angustifolia* Kunth. Para ello se utilizaron probetas de caña fresca en etapa madura que fueron secadas al horno y sumergidas durante diferentes períodos de tiempo de preservación en una solución de bórax y ácido bórico al 4%. Para el análisis cualitativo, las probetas se cortaron a la mitad transversalmente y los segmentos se expusieron a sustancias reveladoras elaboradas a partir de *Curcuma longa* y ácido clorhídrico. Adicionalmente, la dimensión de la coloración obtenida tras esta reacción química fue evaluada a través del análisis cuantitativo mediante el uso de fórmulas. Los principales resultados demostraron que para obtener niveles de absorción superiores a los 200 kg/m³ es necesario que las muestras se encuentren con un contenido de humedad inferior al 15% previo a la preservación; además, se estableció que un tiempo de inmersión de al menos 72 horas garantiza alcanzar un nivel tóxico de retención efectiva de 0,40 a 0,50 kg/m³ de producto activo.

Palabras clave: impregnación; caña guadua; preservante; boro.

ABSTRACT

Guadua angustifolia Kunth cane is a material that has a great potential for industrialization, but it lacks a technical guide for its preservation. The objective of this research was to quantify impregnation levels of the boron salt preservative applied by the immersion method in *Guadua angustifolia* Kunth cane. Fresh mature cane test tubes were used, which were oven-dried and submerged during different time periods in a solution made of borax and 4% boric acid. For the qualitative analysis, the specimens were cut in half crosswise and the segments were exposed to revealing substances made from *Curcuma longa* and hydrochloric acid. Additionally, the dimension of the coloration obtained after this chemical reaction was evaluated through quantitative analysis using formulas. The main results showed that, in order to obtain absorption levels higher than 200 kg/m³, it is necessary that the samples have a moisture content of less than 15% prior to preservation. In addition, it was established that an immersion time of at least 72 hours guarantees reaching an effective retention toxic level of 0.40 to 0.50 kg/m³ active product.

Keywords: Impregnation; guadua cane; preservative; boron.

Recibido: 17-10-2021.

Aceptado: 10-02-2022.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

La *Guadua angustifolia* Kunth es una especie de la familia de los bambúes que es cultivada en regiones tropicales del Ecuador continental, es considerada el tercer bambú más grande del mundo y puede alcanzar alturas de hasta 30 m y 22 cm de diámetro (Añazco, 2019). El género *Guadua* corresponde al bambú nativo más importante de América tropical con aproximadamente 30 especies distribuidas desde México hasta Argentina, las cuales se pueden encontrar en un rango de altitud que va de 0 hasta los 2.200 m.s.n.m. (Moreno et al., 2006).

Hoy en día la construcción de viviendas con *Guadua angustifolia* Kunth es bastante común, especialmente en países latinoamericanos como Venezuela, Colombia, Brasil, Perú y Ecuador (Céspedes et al., 2020; López et al., 2021). En la provincia de Manabí - Ecuador, es muy evidente cómo la guadua o caña brava se ha convertido en el nuevo acero vegetal para las construcciones (Bello & Villacreses, 2021). Muchos expertos señalan que este tipo de caña, adecuadamente preservada, cumple con todos los requisitos para ser un material de construcción sostenible e incluso se ha ensayado su resistencia al fuego, evidenciando que es más resistente al fuego que los tableros de madera aglomerada (García et al., 2021; Mena et al., 2012). Se han realizado pruebas y se ha determinado que este tipo de caña presenta buena resistencia a la tensión, adherencia, es liviana, buena absorción y por su rugosidad también puede ser empleada en matrices poliméricas (Espitia et al., 2018), todas estas características hacen de la caña *Guadua angustifolia* Kunth un material idóneo para construcciones y estructuras. Sin embargo, este material tiene una alta vulnerabilidad al ataque de insectos como el escarabajo *Dinoderus minutus* (Watanabe et al., 2015); plagas y enfermedades como las termitas xilófagas y los hongos de pudrición que varían en función de los factores abióticos (Añazco, 2013) y que pueden provocar grandes daños a nivel estructural, ya que al alimentarse de la lignina y celulosa (Silva et al., 2020), presentes en el bambú, provocan que los culmos pierdan resistencia en sus paredes y se vuelvan quebradizos (Cortez et al., 2019). Otra desventaja de acuerdo con Morales et al. (2012) es que los procesos de preservación y secado de esta caña presenta varios problemas que generan un producto sin calidad garantizada.

Estos hechos demandan la aplicación de métodos de preservación y secado adecuados, para prolongar la vida útil de este recurso (Morán, 2015). Varios registros han demostrado que, desde la antigüedad, se han utilizado métodos químicos para la conservación de la madera y el bambú, considerándose los más apropiados para este objetivo. Se ha establecido que existe una gran cantidad de materiales químicos que se han empleado para preservar la madera y el bambú, contra el ataque de agua, insectos y hongos, e incluso como retardante del fuego (Gauss et al., 2019). La función de los preservadores químicos es, básicamente, inhibir el desarrollo y la vida de los

microorganismos, sin afectar los tejidos, ni cambiar el color natural del material (Cortez et al., 2019).

Morales et al. (2012) afirman que los compuestos de boro son las sustancias más utilizadas en la preservación de culmos de bambú y sus productos derivados en algunas empresas del Eje Cafetero Colombiano, donde se emplean soluciones de bórax y ácido bórico como preservantes, pues son compuestos favorables por su baja toxicidad para las personas y el medio ambiente, así como por su efectividad para la protección de la madera (Sotomayor & Ávila, 2020). Otra ventaja es que son de fácil acceso para la mayoría de los productores. En casi todos los casos el boro es el químico más apropiado para tratar el bambú, ya que este tiene propiedades insecticidas y fungicidas, su efectividad es tan elevada que en todos los métodos de preservación la solución puede reutilizarse varias veces y cualquier solución residual puede ser diluida en agua y utilizarse como fertilizante en plantaciones (Kaminski et al., 2016).

Hay que resaltar que la preservación de este material no solo tiene que ver con la utilización de las sustancias preservantes, se basa en una serie de procesos con características específicas y conocimientos ancestrales como: el proceso de selección de la guadua dentro del guadual para ofrecer un producto que satisfaga el mercado (Méndez & Palominos, 2005); luego, el corte en secciones transversales establecidas según la demanda de los clientes, este corte se lo realiza en luna menguante para que descendan los líquidos presentes en sus cavidades por la disminución de la gravedad (Cely et al., 2012); posteriormente se realiza el secado para reducir el contenido de humedad y mejorar su resistencia al ataque de hongos e insectos que por lo general atacan desde el momento del corte. El secado puede ser al aire libre o al horno teniendo en cuenta que debe ser lo más lento posible para que el bambú se encoja uniformemente (Kaminski et al., 2016). Finalmente, la preservación de las secciones que son sometidas al tratamiento por inmersión con los agentes y preservantes químicos como: hidróxidos, sulfatos, cloruros, alcoholes, ácidos, extractos botánicos entre otros, estos se emplean a diferentes concentraciones de acuerdo con los parámetros deseados y la variedad de bambú tratada (Kaur et al., 2016; Sulaeman et al., 2018).

Estos datos muestran que la caña *Guadua angustifolia* Kunth es un producto muy versátil que requiere de un procedimiento técnico para su preservación que contribuya a incrementar su resistencia y durabilidad, generando productos de calidad con alto valor agregado permitiendo el desarrollo económico de los productores que se dedican al uso y transformación de este material. Por ello, este estudio tiene como objetivo cuantificar niveles de impregnación del preservante elaborado con sales de boro aplicado por el método de inmersión en caña *Guadua angustifolia* Kunth para definir lineamientos técnicos en la preservación de este tipo de bambú.

MATERIAL Y MÉTODOS

Recolección de muestras

La caña guadua fue obtenida en el bosque seco tropical Mútile, ubicado en la parroquia San Mateo, cantón y provincia Esmeraldas en Ecuador. Los ensayos de laboratorio se llevaron a cabo en el Laboratorio de Propiedades Físicas de la Madera de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas.

Como muestras se tomaron secciones de 30 cm de *Guadua angustifolia* Kunth, de 4 años en estado fresco y madura, como se muestra en la (Figura 1).



Figura 1. Probetas de *Guadua angustifolia* Kunth

Preparación de soluciones

Se utilizó el preservante hidrosoluble conocido como pentaborato. Morán (2009) determinó que por cada 100 L de agua se requieren 2 kg de cada elemento sustancia. Para este estudio se mezclaron 0,5 kg de bórax y 0,5 kg de ácido bórico y se utilizaron 25 L de agua para disolverlos, obteniendo una solución al 4%.

Para el análisis de impregnación, se emplearon las soluciones reveladoras de sales de boro descritas por Berrocal et al. (2004) que consisten en: A) 10 g de cúrcuma en 100 ml de alcohol al 90% y B) 20 mL de ácido clorhídrico a una concentración de 34%, 6g de ácido salicílico disueltos en 100ml de alcohol al 90%.

Fase de preservación

Una vez obtenidas las probetas frescas de *Guadua angustifolia* Kunth, se realizó la perforación de los nudos que se encontraban en cada una de ellas para facilitar el ingreso y penetración del preservante (Morales, 2007; Owoyemi & Kayode, 2008). Posteriormente, se tomó las medidas de peso, circunferencia y espesor, para ingresarlas al horno de secado precalentado a 80 °C en dos períodos de 24 horas con el objetivo de disminuir al 30% el contenido de humedad, medida deliberada como punto de saturación de la fibra en caña guadua.

De acuerdo con Sánchez & Morales (2019), el contenido de humedad se determinó al final de los períodos de secado mediante la siguiente fórmula:

$$Ch = \frac{Psh - Pf}{Psh} * 100 \quad (1)$$

Donde:

Ch: Contenido de humedad
Pf: Peso Fresco (pre secado)
Psh: Peso seco al horno

Seguidamente, se sumergieron las muestras en el

preservante de acuerdo con los diferentes períodos de tiempo de cada tratamiento (12, 24, 36, 48, 60, 72 y 84 horas), se dejó escurrir para eliminar el exceso solución y se volvió a ingresar al horno a 80 °C por 12 horas con el fin de disminuir la producción de moho por exceso de humedad.

Previo al análisis de impregnación se procedió a seccionar transversalmente las probetas preservadas (Landauro et al., 2016).

Análisis de impregnación

La evaluación de la impregnación se realizó a través de tres parámetros: absorción, retención y penetración del preservante. Proceso que se realizó mediante dos métodos de verificación uno cualitativo y otro cuantitativo que se detallan a continuación.

En el método cualitativo, la técnica consistió en aplicar la solución "A", con un aspersor sobre la superficie de la caña guadua. Se dejó secar a temperatura ambiente por 10 min, para luego aplicar la solución "B" sobre las áreas coloreadas de amarillo por la solución "A" (Gauss et al., 2019).

La (Tabla 1) muestra las tres escalas de coloración que se determinaron de acuerdo con el nivel de retención del preservante.

Tabla 1

Parámetros de clasificación de los niveles de retención de acuerdo con la coloración

Nivel de retención	Características
Baja	Cambio leve, amarillento
Media	Cambio color naranja
Alta	Cambio color rojo

Fuente: Morales et al. (2012).

La penetración se determinó midiendo con un calibrador el desplazamiento de los colores en el espesor de cada probeta y se clasificaron de acuerdo con los parámetros establecidos en la (Tabla 2).

Tabla 2

Parámetros de clasificación del nivel de penetración según la intensidad de color

Nivel de penetración	Características de color
Total regular	Coloración uniforme total
Total irregular	Pequeñas lagunas intensas
Parcial regular	Periférica y uniforme
Parcial irregular	Difusa y no se rige al patrón
Nula	Penetración insignificante

Fuente: Posada (2015).

En el método cuantitativo, se determinó la cantidad de solución retenida mediante el uso de las fórmulas establecidas por la Junta del Acuerdo de Cartagena (1988).

El cálculo de la retención requiere previamente la determinación de la absorción. De acuerdo a Sotomayor (2020) la absorción (A) se define como la cantidad total de preservante que queda en la caña después de la impregnación y se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$A = \frac{P2 - P1}{V} \tag{2}$$

Donde:

P1: Peso de la probeta antes del tratamiento en kg.

P2: Peso de la probeta después del tratamiento en kg.

V: Volumen de la madera en m³.

La retención (R) se define como la cantidad de producto activo retenido en la probeta preservada (Sotomayor & Villaseñor, 2016), mientras que el término retención efectiva (Re) se emplea para definir la cantidad de producto realmente tóxico que ha quedado impregnado (Landauro et al., 2016).

$$R = A * \frac{C\%}{100} \tag{3}$$

$$Re = A * \frac{C\%}{100} * \frac{F}{100} \tag{4}$$

Donde:

A: Absorción, expresada en kg/m³

C%: Concentración del preservante expresado %

F: factor tóxico expresado como H₃BO₃.

La clasificación de las probetas según su capacidad de absorción se efectuó utilizando la escala que se muestra en la (Tabla 3).

Cabe aclarar que la clasificación de los niveles de absorción se lo realizó utilizando unidades de kilogramos de producto activo retenido (Nivel de retención).

Tabla 3

Rangos de clasificación por absorción de preservante

Categorías de absorción del preservante	
Absorción alta (Aa):	> 10 kg de producto activo/m ³
Absorción buena (Ab):	8-10 kg de producto activo/m ³
Absorción mala (Am):	4-8 kg de producto activo / m ³
Absorción nula (An):	< 4 kg de productos activos / m ³

Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena (1988).

Análisis estadístico

Para determinar el grado de protección que otorga el bórax y ácido bórico en las probetas de caña *Guadua angustifolia*, se establecieron siete tratamientos, uno por cada período de tiempo (12, 24, 36, 48, 60, 72 y 84 horas) empleando una concentración constante de preservante. La unidad experimental correspondió a una probeta de 30cm y cada tratamiento fue aplicado a dos unidades experimentales, dando un total de 14 pruebas de preservación.

La evaluación de los datos obtenidos fue realizada mediante el cálculo de la media aritmética (Sotomayor & Ávila, 2020) y el coeficiente de correlación del contenido de humedad entre las variables absorción, retención y penetración, permitiendo categorizar los datos siguiendo los parámetros de clasificación presentados anteriormente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo de reducción del contenido de humedad

Las probetas mostraron una significativa pérdida de peso al ser sometidas al primer turno de secado (Psh1) a una temperatura de 80 °C por 24 horas, provocando que en algunos casos el contenido de humedad disminuyera más del 30% que se tenía previsto (Tabla 4), parámetro que el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) (2016) tiene proyectado como límite para alcanzar el punto de saturación de la fibra en Guadua. Adicionalmente, en el segundo turno de secado se comprobó que el peso (Psh2) seguía disminuyendo y por consiguiente el contenido de humedad (Ch2), alcanzando en varias probetas, niveles que fueron inferiores al 15%, cumpliendo en cierta parte con lo descrito por Salazar et al. (1997) donde determinan que se requiere entre un 10% y 15% de humedad en los tallos al momento de la preservación para incrementar la absorción de los preservantes e impedir el ataque de hongos e insectos.

De acuerdo con Gutiérrez & Takeuchi (2014) se puede determinar que las variaciones de contenido de humedad en las probetas de estudio se deben a que estas fueron obtenidas de la cepa, basa y sobre basa de un culmo de guadua, donde la sección de cepa en estado verde es la que cuenta con una mayor cantidad de tejido parenquimático que es el encargado de absorber grandes cantidades de agua, a diferencia de la sección de basa y sobre basa

que tienen una menor capacidad de absorción. La (Tabla 4) resume los datos obtenidos del proceso de secado:

Tabla 4

Contenido de humedad de las probetas

Probeta	Pv	Psh1	Ch1 %	Psh2	Ch2 %	DF
P1T1	1,54	1,069	44,06	0,911	17,34	
P2T1	1,5	1,147	30,78	0,833	37,70	X
P1T2	1,69	1,42	19,01	1,136	25,00	
P2T2	1,68	1,226	37,03	1,044	17,43	
P1T3	2,801	2,29	22,31	2,043	12,09	X
P2T3	1,864	1,753	6,33	1,474	18,93	
P1T4	1,967	1,544	27,40	1,389	11,16	
P2T4	1,81	1,628	11,18	1,268	28,39	X
P1T5	1,596	1,08	47,78	0,924	16,88	
P2T5	1,48	1,06	39,62	0,854	24,12	X
P1T6	2,314	1,984	16,63	1,809	9,67	
P2T6	2,802	2,428	15,40	2,059	17,92	X
P1T7	2,167	1,886	14,90	1,568	20,28	
P2T7	2,404	2,191	9,72	1,973	11,05	

Pv: Peso Verde (pre secado) en kg.

Psh1: Primer peso seco al horno en kg.

Psh2: Segundo peso seco al horno en kg.

Ch1: Contenido de humedad después del primer secado

Ch2: Contenido de humedad después del segundo secado.

DF: Agrietamiento.

En el primer secado, el 100% de las probetas cambiaron su color de verde a amarillo opaco, y a su vez el 33% sufrieron daños en su estructura física evidenciando un ligero agrietamiento a partir del primer turno de secado, coincidiendo con lo descrito por Mendez & Palominos (2005) quienes

indican que una ventaja del proceso de secado al horno es la velocidad del secado y la desventaja es la posibilidad que agrietamiento y deformación de los culmos. Varios investigadores recomiendan realizar el secado del bambú lo más lento posible para que no se produzcan grietas y rajaduras (Kaminski et al., 2016).

Análisis cualitativo de impregnación

Al analizar este parámetro se evidenció, a lo largo del espesor, el cambio de color que han sufrido las probetas al aplicarles las sustancias reveladoras, tal como lo describe Posada (2015), quien especifica que un cambio de coloración de amarillo a rojo es un indicador de la presencia de boro retenido en las cañas como se muestra en la (Figura 2).



Figura 2. Reacción del boro frente a las sustancias reveladoras. A la izquierda: borde de la probeta que estuvo frente a frente con el preservante. A la derecha: Parte intermedia de la misma probeta.

El cambio de coloración de cada muestra fue medido en todo su espesor para poder realizar el análisis de retención que se presenta a continuación (Figura 3).

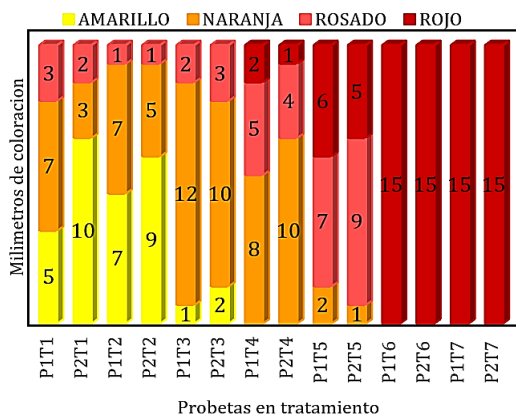


Figura 3. Retención del preservante medido en milímetros en el espesor de las probetas de caña *Guadua angustifolia* Kunth.

a. Retención

Estos resultados muestran que existe una relación directa entre el tiempo de inmersión en preservante y la cantidad de preservante retenido. De acuerdo con la escala de clasificación de Morales et al. (2012) (Tabla 1) se pudo establecer que los tratamientos T1 y T2 tienen un nivel de retención bajo por su coloración amarilla. El T3 presentó una

retención media por mayor influencia del color naranja y el T4 presentó una retención media alta, con una coloración naranja que alcanzó el rojo claro. A partir del T5 se pudo observar niveles de retención altas seguidos del T6 y T7 donde toda su superficie se mostró completamente roja, lo que permite asegurar que en estos dos últimos tratamientos la penetración del preservante fue total. Estos resultados coinciden con la investigación de Posada (2015) quien afirma que una coloración intensa, en tonos rojo vino, es indicador de una presencia importante de ácido bórico retenido. Los resultados de esta prueba logran ser útiles para dar una idea de la forma en la que está retenido el boro en el espesor de la caña guadúa en función del tiempo de exposición al preservante.

b. Penetración

En referencia a los datos de penetración obtenidos en la investigación de Posada (2015) mediante una prueba preliminar en probetas de *Guadua angustifolia* que fueron preservadas en un período de 2 horas determinó que la penetración puede ser total con ciertas irregularidades o total con una distribución uniforme. Afirmación que no coincide con los resultados obtenidos en esta investigación, ya que como se observa en la Tabla 5, dichos niveles de penetración se obtuvieron en los tratamientos 5, 6 y 7 correspondientes a 60, 72 y 84 horas de inmersión, respectivamente. La explicación más probable a este hallazgo es que dicha diferencia se debe a que Posada al aplicar las sustancias reveladoras no dividió las probetas en secciones (Figura 2) como lo recomienda Zaldívar et al. (2014) y analizó únicamente los extremos de las probetas, lo cual arrojó datos erróneos de penetración, ya que los extremos estuvieron en contacto directo con la sustancia preservante y fueron los primeros en saturarse del producto a pocas horas de inmersión, es por ello que al aplicar las sustancias reveladoras se observó que las muestras se encontraban totalmente preservadas, pero aquella aseveración solo se puede garantizar para los extremos de la caña y no para la parte media.

Tabla 5
Nivel de penetración del preservante

Tratamientos	Tiempo (h)	Penetración
P1T1	12	Nula
P2T1	12	Parcial Regular
P1T2	24	Parcial Regular
P2T2	24	Parcial Regular
P1T3	36	Parcial Regular
P2T3	36	Parcial Regular
P1T4	48	Parcial Regular
P2T4	48	Parcial Regular
P1T5	60	Total Irregular
P2T5	60	Total Irregular
P1T6	72	Total Regular
P2T6	72	Total Regular
P1T7	84	Total Regular
P2T7	84	Total Regular

Análisis cuantitativo de impregnación

a. Absorción

Para la determinación de la retención, fue necesario realizar previamente el cálculo de la absorción. Conforme a los datos calculados a partir de la ecuación de absorción, se pudo evidenciar una tendencia de absorción creciente conforme aumentaba el tiempo de inmersión tal como ocurrió en el análisis cualitativo, es decir que, existe una relación directa entre el tiempo de inmersión y la absorción del preservante, no obstante Sotomayor & Villaseñor (2016) mencionan que la capacidad de absorción depende más de la especie estudiada que de su densidad o porosidad. Como se puede observar en la (Figura 4), en los tratamientos 6 y 7 se presentaron los mayores niveles de absorción de preservante, estos tratamientos son los que involucraron mayores tiempos de exposición al preservante; adicionalmente, se encontró que, el contenido de humedad exhibe una relación indirecta en la capacidad de absorción de las probetas.

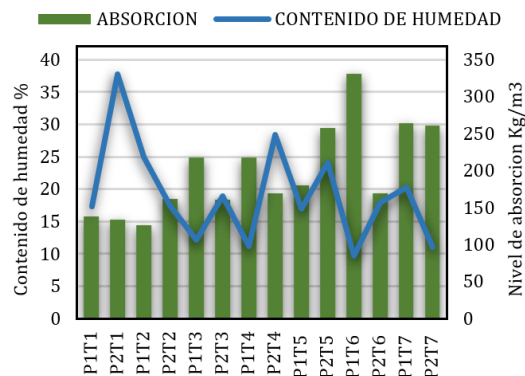


Figura 4. Influencia del contenido de humedad en la absorción

b. Influencia del contenido de humedad en la absorción

El contenido de humedad es un factor limitante en el proceso de preservar la guadua o cualquier otro tipo de material. Los datos obtenidos permiten

comprobar esta hipótesis, observándose una alta tendencia de absorción en las probetas que poseen contenidos de humedad bajos, sin que tenga mucha influencia el tiempo de preservación al que se han sometido. También se tiene en cuenta la hipótesis descrita por Gutiérrez et al. (2018), quienes manifiestan que las probetas que corresponden a la parte de cepa del culmo de guadua, tienen abundante tejido parenquimático que tiene la capacidad de absorber grandes contenidos de humedad, factor que sería responsable de la cantidad de solución absorbida por algunas de las probetas de esta investigación. En la figura 4 se puede observar claramente como las probetas P1T3, P1T4, P1T6 y P2T7 que contaban con un contenido de humedad inferior al 15% fueron las que presentaron los mayores niveles de absorción, esto da una clave precisa sobre el verdadero punto de saturación de la fibra en la caña *Guadua angustifolia*, parámetro que permitiría alcanzar los niveles óptimos de preservación de este material. Con este dato se separa a la caña guadua del argumento de Keil (2004) quien afirma que, para una absorción adecuada de sustancias preservantes hidrosolubles, la madera debe tener al menos 20% de humedad.

c. Retención

La norma de clasificación especificada por la Junta del Acuerdo de Cartagena (1988) (Tabla 3) determina que la absorción es mala (Am) cuando se presentan niveles de 4 a 8 kg/m³ de producto activo retenido, lo que permite ubicar al T1, T2, T3 y T4 en esta categoría, coincidiendo con el análisis cualitativo hecho anteriormente donde los niveles de retención en estos 4 tratamientos no presentan una coloración aceptable para codificarlos en una retención alta, seguidamente el T5 se ubica en la categoría de absorción buena (Ab), ya que su nivel promedio de retención fue de 8 a 10 kg/m³ y por último está el T6 y T7 con niveles de absorción altos (Aa) por sus medidas de retención superiores a los 10 Kg/m³. Estos resultados (Tabla 6) coinciden, con Landauro et al. (2016) quienes definen una relación directa entre el tiempo de inmersión y la retención calculada.

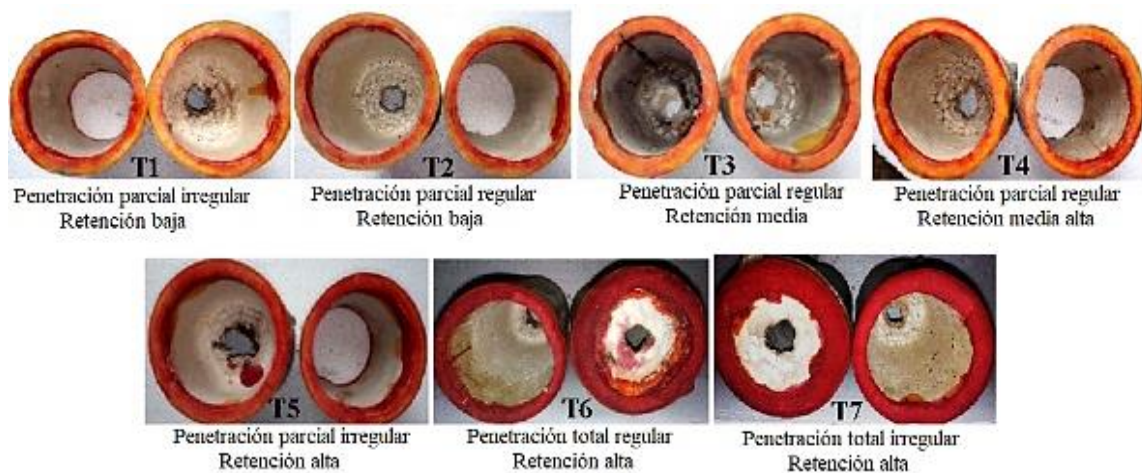


Figura 5. Niveles de retención y penetración en cada tratamiento.

Tabla 6
Resultados obtenidos en la evaluación cualitativa y cuantitativa

Tratamientos	Variables independientes Tiempo inmersión (h)	Método cualitativo		Método cuantitativo			
		Retención	Penetración	Retención (Kg/m ³)	Retención Efectiva (kg/m ³)	Penetración (%)	Contenidos de humedad (%)
P1T1	12	Baja	Nula	5,52	0,22	0	17,34
P2T1	12	Baja	Parcial Regular	5,34	0,21	0	37,70
P1T2	24	Baja	Parcial Regular	5,03	0,20	0	25,00
P2T2	24	Baja	Parcial Regular	6,45	0,26	0	17,43
P1T3	36	Media	Parcial Regular	8,73	0,35	0	12,09
P2T3	36	Media	Parcial Regular	6,43	0,26	0	18,93
P1T4	48	Media alta	Parcial Regular	8,71	0,35	13,3	11,16
P2T4	48	Media alta	Parcial Regular	6,78	0,27	6,7	28,39
P1T5	60	Alta	Total Irregular	7,19	0,29	40	16,88
P2T5	60	Alta	Total Irregular	10,30	0,41	33,3	24,12
P1T6	72	Alta	Total Regular	13,22	0,53	100	9,67
P2T6	72	Alta	Total Regular	6,79	0,27	100	17,92
P1T7	84	Alta	Total Regular	10,58	0,42	100	20,28
P2T7	84	Alta	Total Regular	10,43	0,42	100	11,05

d. Penetración

El nivel de penetración cuantitativa se determinó midiendo el porcentaje de espesor de caña que estaba totalmente coloreada de rojo intenso (Figura 5). Berrocal et al. (2004) mencionan en su investigación que para considerar una penetración como adecuada, el preservante debe haber alcanzado al menos la mitad del espesor de la pieza de madera tratada. Es decir que esta tonalidad es un indicador para determinar si la caña tiene un nivel alto de retención del preservante (Zaldívar et al., 2014) y las áreas que se encuentren impregnadas de este color reflejarán el nivel de penetración de la muestra (Ermawati et al., 2021). Como se observa en la figura 5, en ocho de las catorce muestras del estudio se evidenció la coloración deseada (T4, T5, T6 y T7), pero en la mayoría de los casos esta coloración no abarcaba todo el espesor de las muestras. En el tratamiento cuatro, con tiempo de inmersión de 48 horas, se pudo observar como la impregnación solo había alcanzado 13,3% y 6,7% de espesor en las muestras; algo similar a lo que ocurrió en el tratamiento cinco, con tiempo de inmersión de 60 horas, donde se observó un 40% y 33,3% de espesor preservado, siendo distinto en los tratamientos seis y siete con tiempos de inmersión de 72 y 84 horas, respectivamente, donde se alcanzó el 100% de impregnación (coloración rojo intenso) en todo el espesor de las muestras, siendo estas muestras catalogadas con un nivel de penetración total (Morales et al., 2012).

Relación entre métodos de evaluación

De acuerdo con el análisis de las variables absorción, retención y penetración del preservante

evaluadas a través de los métodos cualitativo y cuantitativo, se pudo determinar cuál de los tratamientos empleados presentó los niveles más altos de impregnación en probetas de caña *Guadua angustifolia* Kunth.

Como se puede observar en la Tabla 6 los datos obtenidos por el método cualitativo y cuantitativo tienen una estrecha relación, es evidente que los niveles más altos de retención se sitúan en los tiempos de inmersión de 60, 72 y 84 horas con penetraciones totales regulares e irregulares y retenciones efectivas calculadas superiores a los 0,40 kg/m³, permitiendo confirmar la hipótesis desarrollada por Landauro et al. (2016) quienes definen que un método de preservación por inmersión solo es efectivo si se lleva a cabo por al menos 72 h. Sin embargo, otros autores como Morales (2007) y Zaldívar et al. (2014) han planteado en sus investigaciones que las secciones de caña que serán tratadas mediante el proceso de inmersión prologada en sales de boro deben permanecer de 4 a 12 días sumergidas en la solución para lograr una buena penetración. De igual manera el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) (2016) especifica que la guadúa rolliza se debe someter a inmersión por un tiempo de al menos 5 días a temperatura ambiente para lograr su preservación total. Datos que son diferentes a los obtenidos en esta investigación. Landauro et al. (2016) manifiestan que durante 72 horas de inmersión en el preservante de pentaborato con una concentración de 2% se alcanzan dosis tóxicas con una retención efectiva de 0,55 kg de boro/m³ anhidro, que protegen a las probetas de bambú del ataque de termitas de la especie *Cryptotermes brevis*.

CONCLUSIONES

La evaluación de 7 tratamientos de preservación en probetas de caña *Guadua angustifolia* Kunth sometidas a inmersión durante diferentes períodos de tiempo, demostró que el máximo nivel de impregnación se alcanzó a partir de 72 horas de inmersión, obteniendo un nivel de retención promedio de 0,40 kg/m³.

El análisis de las variables cualitativas y cuantitativas en cada uno de los tratamientos determinó que la relación entre el contenido de humedad y el tiempo de inmersión son los factores claves para lograr altos niveles de absorción y retención de preservante. Adicionalmente, el contenido de humedad óptimo para lograr el punto

de saturación de la fibra en caña *Guadua angustifolia* Kunth debe ser inferior al 15% pues permite elevar al máximo los niveles de absorción del preservante.

Para poder determinar si el grado de protección presentado es verdaderamente efectivo ante el

ataque de insectos y hongos se propone someter a prueba muestras preservadas de caña *Guadua angustifolia* Kunth bajo los niveles de retención efectiva propuestos en esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Añazco, M. (2013). Estudio de la vulnerabilidad del bambú (*Guadua angustifolia*) al cambio climático en la costa del Ecuador y norte Perú. INBAR.
- Añazco, M. (2019). Vulnerability of ecosystems with *Guadua angustifolia* in Ecuador in light of climate changes. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 49, 1-10.
- Bello, J., & Villacreses, C. (2021). Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social. *Polo del Conocimiento*, 6(9), 1987-2011.
- Berrocal, A., Muñoz, F., & González, G. (2004). Ensayo de penetrabilidad de dos preservantes a base de boro en madera de melina (*Gmelina arborea*) crecida en Costa Rica. *KURÚ Revista Forestal*, 1(3), 1-12.
- Cely, L., Hernández, W., & Gutiérrez, O. (2012). Caracterización de la *Guadua angustifolia* Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10. *Facultad de Ingeniería*, 21(33), 53-71.
- Céspedes, N., Carda, J., Cervantes, L., & Gil, J. (2020). Análisis del desarrollo innovador para el aprovechamiento de la (*Guadua angustifolia* Kunth) en la sustitución de cultivos ilícitos. *Ciencia en desarrollo*, 11(2), 97-109.
- Cortez, J., Martínez, E. A., Arakaki, K., Lancarovic, A. C., Almeida, V., Gava, M., & Nivaldo, J. (2019). Tratamientos de preservación de *Bambusa vulgaris vittata* contra el ataque de *Dinoderus minutus*. *Madera y bosques*, 25(2), 1-10.
- Espitia, M., Sjogreen, C., Rodríguez, N., Calderón, J., Benavides, A., Pereza, R., Espitia, G., & Nemocon, R. (2018). Mechanical and physical characterization of *Guadua angustifolia* 'Kunth' fibers from Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 33-39.
- Ermawati, F. U., Prahani, B. K., Dzulkifli, Yantidewi, M., & Zainuddin, A. (2021). The performance of turmeric paper as an indicator of the borax content in crackers. *Journal of Physics: Conference Series*, 2110(012014), 1-10.
- García, R., González, C., Pérez, C., Forero, D., Mahecha, G., Herrera, L., & Nieto, C. (2021). *La guadua (Guadua angustifolia) Kunth: El oro verde por descubrir*. Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- Gauss, C., Kadivar, M., & Savastano, 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(1), 1-11.
- Gutiérrez, M., Bonilla, J., Cruz, M., & Quintero, J. (2018). Expansión lineal y punto de saturación de las fibras de la *Guadua angustifolia* Kunth. *Colombia forestal*, 21(1), 69-80.
- Gutiérrez, M., & Takeuchi, C. (2014). Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú *Guadua angustifolia* Kunth. *Scientia et Technica*, 19(3), 245-250.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1988). *Manual del Grupo Andino para la preservación de maderas*. Lima, Peru.
- Kaminski, S., Lawrence, A., & Trujillo, D. (2016). Structural use of bamboo. Part 2: Durability and preservation. *The Structural Engineer*, 94(10), 38-43.
- Kaur, P., Satya, S., Pant, K., & Naik, S. (2016). Eco-friendly preservation of bamboo species: Traditional to modern techniques. *BioResources*, 11(4), 10604-10624.
- Landauro, D., Araujo, M., & Trujillo, F. (2016). Características de preservación por el método de inmersión del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth (bambú), proveniente del distrito de La Florida, Cajamarca. *Revista Forestal de Perú*, 31(2), 47-57.
- López, N., Aguilar, P., Pérez, J., López, L., Romero, C., & Montesinos, V. (2021). Sustitución del hormigón armado por bambú en viviendas sociales en Ecuador, usando conexiones resistentes a momento. *Gaceta Técnica*, 22(1), 31-51.
- Mena, J., Vera, S., Correal, J. F., & Lopez, M. (2012). Assessment of fire reaction and fire resistance of *Guadua angustifolia* kunth bamboo. *Construction and Building Materials*, 27(1), 60-65.
- Méndez, J., & Palominos, M. (2005). Curado y preservación de la caña guadua seleccionando agentes y preservantes químicos [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/416>.
- Morales, T. (2007). Preservation of the *Guadua angustifolia* Kunth by submersion in aqueous boron solutions: The influence of temperature, concentration and duration of submersion in aqueous boron solutions on the effectiveness of the preservation of Colombian bamboo *Guadua*. *Bamboo Science & Culture*, 20(1), 21-25.
- Morales, T., Duran, L., & Alzate, C. (2012). Efectividad de la preservación de *Guadua angustifolia* en el Eje Cafetero colombiano por el método de inmersión-difusión. *Recursos naturales y Ambiente*, (65), 51-55.
- Morán, J. (2009). *Construir con Guadua- Manual de Construcción* (2da ed.). INBAR.
- Morán, J. (2015). *Construir con Bambú -Caña de Guayaquil- Manual de construcción* (3ra ed.). INBAR.
- Moreno, L., Osorio, L., & Trujillo, E. (2006). Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de *Guadua angustifolia*. *Ingeniería y desarrollo: revista de la División de Ingeniería de la Universidad del Norte*, (20), 125-133.
- Owoyemi, J. M., & Kayode, J. O. (2008). Effect of incision on preservative absorption capacity of *Gmelina arborea* wood. *Biotechnology*, 7(2), 351-353.
- Posada, R. (2015). *Desarrollo de métodos alternativos de valoración de la calidad de la preservación, empleando sales de borax en la Guadua angustifolia Kunth*. [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia]. Repositorio Universidad Tecnológica de Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/items/2af3825c-c5e8-4204-9e28-7a74581ecc4f>.
- Salazar, J., & Díaz, G. (1997). Inmunización de la guadua. *Ingeniería e Investigación*, (38), 14-20.
- Sánchez, M., & Morales, L. (2019). Influence of moisture content on the mechanical properties of *Guadua* Culms. *INGE CUC*, 15(1), 99-108.
- Silva, F., Paes, J., da Silva Oliveira, J., Chaves Arantes, M., & Dudecki, L. (2020). Chemical characterization and biological resistance of thermally treated bamboo. *Construction and Building Materials*, 262, 120033.
- Sotomayor, J., & Ávila, L. (2020). Impregnación con sales de boro de la madera de *Spathodea campanulata* P. Beauv, *Fraxinus americana* L. y *Albizia plurijuga* (Standl.) Britton & Rose. Evaluación con ultrasonido de la velocidad de onda y del módulo dinámico. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 8(45), 1-11.
- Sotomayor, J. R. (2020). Efecto del preservado de la madera con boro sobre el módulo dinámico (evaluación por medio de ultrasonido). *Científica*, 24(1), 67-76.
- Sotomayor, J., & Villaseñor, M. (2016). Retention and absorption of boron salts solution of ten Mexican woods. *Acta Universitaria*, 26(2), 12-19.
- Sulaeman, A., Dungani, R., Nurudin, N., Hartati, S., Karliati, T., Aditiawati, P., ... Sulistyono. (2018). Review on quality enhancement of bamboo utilization: Preservation, modification and applications. *Asian Journal of Plant Sciences*, 17(1), 1-18.
- Watanabe, H., Yanase, Y., & Fujii, Y. (2015). Evaluation of larval growth process and bamboo consumption of the bamboo powder-post beetle *Dinoderus minutus* using X-ray computed tomography. *Journal of Wood Science*, 61(2), 171-177.
- Zaldívar, P., Cautle, L., Medina, E., Enríquez, F., & García, A. (2014). Preservación del bambú por el método de inmersión en la región de Cuetzalan del progreso Puebla, México. *Biológico Agropecuario Tuxpan*, 2(21), 382-390.