

Concentraciones de una solución preservante a base de ácido bórico y bórax. Evaluación en culmos de *Guadua angustifolia*

Leidy Johanna Guzmán¹; Rodrigo Urbano Enríquez¹; Oscar Marino Mosquera²; Juan Carlos Camargo³

Resumen

El presente trabajo informa de la validación de una técnica potenciométrica que permitió determinar la concentración ideal de una solución preservante a base de ácido bórico y bórax para la preservación de guadua (*Guadua angustifolia*) en la región del Eje Cafetero de Colombia. Se midieron concentraciones de 3% a 11% m/V; a cada solución se les midió pH, conductividad y temperatura. Se dedujo que la conductimetría es la mejor técnica para predecir la concentración de la solución preservante. Se obtuvieron cuatro modelos lineales a partir de la conductividad y la temperatura de la solución; sin embargo, el modelo más práctico es el que solo involucra la medición de la conductividad y una temperatura tomada con un termómetro común. Teniendo en cuenta que para cada valor de conductividad existe un valor de pH asociado, se representó la relación existente entre estas variables por medio de un gráfico de dispersión simple; así se obtuvo un modelo que permite ajustar la concentración ideal de la solución preservante.

Palabras claves: *Guadua angustifolia*; ácido bórico; bórax; conservantes de la madera; potenciometría; conductividad térmica; pH; modelos lineales; Colombia.

Abstract

Concentrations of a preservative solution based on borax and boric acid; evaluation on *Guadua angustifolia*. This study informs about the validation of a potentiometric technique that allowed determining the ideal concentration of a preservative solution based on borax and boric acid, used for preserving guadua culms (*Guadua angustifolia*) in the coffee region of Colombia. Concentrations ranged from 3% to 11% m/V; variables measured were pH, conductivity and temperature. Conductimetry showed to be the best technique to predict the concentration of the preservative solution. Four linear models were obtained basing on conductivity and temperature of the solution; nonetheless, the most practical was the one that implied mensuration of conductivity and a temperature value taken with a common thermometer. Considering that for each conductivity value there is an associated pH value, the relationship between these variables was assessed using a simple graphic dispersion; in this way, a model to set the ideal concentration of the preservative solution was obtained.

Keywords: *Guadua angustifolia*; boric acid; borax; wood preservatives; potentiometry; thermal conductivity; pH; linear models; Colombia.

¹ Universidad Tecnológica de Pereira. leidy915@hotmail.com y urbarod@hotmail.com

² Grupo de Biotecnología-Productos Naturales (GB-PN). Escuela de Tecnología Química. Facultad de Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira. AA 097. La Julita, Colombia. omosquer@utp.edu.co

³ Profesor Titular Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. jupipe@utp.edu.co

Introducción

La guadua es un bambú espinoso perteneciente a la familia Poaceae, subfamilia Bambusoideae, tribu Bambuseae (Martínez 2005). *Guadua angustifolia* Kunth es una de las especies de bambú de mayor demanda y mejor aceptación por parte del sector productivo debido a su capacidad de propagación, rápido crecimiento, utilidad y tradición de uso y el enorme potencial para la construcción, elaboración de muebles, artesanías, fabricación de papel, pisos, modulares y biocombustible. Además, presenta características benéficas para el medio ambiente, por lo que es una especie que podría satisfacer las necesidades más apremiantes de la población (Martínez 2005).

En Colombia la guadua es la especie forestal nativa con mayores posibilidades económicas, ya que su utilización como materia prima en la construcción y la industria permite reducir costos (Pérez 2003). Asimismo, sus excelentes propiedades físico-mecánicas, durabilidad a pesar del ataque de insectos, mohos y hongos; belleza escénica y, quizás lo más importante, la diversidad de aplicaciones no igualadas por ninguna especie forestal, hacen de ella una alternativa económica que ha coadyuvado a mitigar la problemática social en el campo (Vélez 2006).

Para lograr un producto de mayor duración es necesario aplicar a la guadua procesos de preservación que garanticen una mayor protección contra plagas, insectos y microorganismos. La preservación de los culmos de guadua se ha realizado por medio de diferentes métodos, como el corte en fase lunar, curado, secado, inmersión en sales, inyección de sales y Boucherie modificado (Montoya 2008). La inmersión salina es el método más empleado debido a su economía, practicidad, simplicidad y alto grado de efectividad (Cruz 1994). La

solución preservante contiene dos químicos cuya actividad principal es fungicida para controlar la aparición de hongos que sirven de alimento a las larvas de insectos xilófagos. Además, actúa como modificador del pH en el culmo de la guadua, de manera que el insecto no encuentra el medio ideal para alimentarse. La ventaja de las sales de boro radica en su acción residual perenne, ya que la solución se cristaliza y se fija en las microcavidades de la guadua, con lo que se altera químicamente el contenido y el pH (Rojas 2003).

Para conocer la eficiencia de estas soluciones salinas se recomienda monitorear su desempeño mediante técnicas analíticas como la potenciometría y conductimetría. Los métodos potenciométricos de análisis se basan en la medida del potencial o fuerza electromotriz de celdas electroquímicas sin paso de corriente apreciable. Durante casi un siglo, la potenciometría se ha usado en la identificación de puntos finales de valoraciones. En los métodos más recientes, las concentraciones iónicas se miden directamente a partir del potencial de electrodos de membrana selectivos de iones. Estos electrodos están relativamente libres de interferencias y constituyen una forma apropiada y no destructiva de determinación cuantitativa de numerosos aniones y cationes de importancia (Skoog 2005). El instrumento de medición del pH tiene por objeto transformar el potencial del electrodo en una indicación correspondiente al pH de la solución a medir. Para este fin es necesario adaptar el instrumento de medición a la curva característica del respectivo electrodo de medición de pH utilizado (Castro 2011). El experimento se fundamenta en la ecuación de Handerson – Halselbalch (1), en donde el pH depende de una relación entre la sal y el ácido (Skoog 2005).

$$pH = pK_a + \log \left(\frac{[Sal]}{[Ácido]} \right) \quad (1)$$

La conductividad de una disolución es una medida de su facilidad para transportar corriente, pues los electrones son transportados por los iones. Los positivos, como el M⁺ migran a través de la disolución hacia el cátodo, en tanto que los aniones A⁻ se dirigen hacia el ánodo; así se crea un flujo de electrones a través de la disolución (Castro 2011). La conductividad de la disolución depende de dos factores: el número de electrones que cada ion puede desplazar, y la velocidad del ion a través de la disolución (Skoog 2001). La conductividad es directamente proporcional y lineal a la concentración y es altamente dependiente de la temperatura. Esta tiene un doble efecto sobre los electrolitos, ya que influye en su disolución y en la movilidad iónica pues, según Gómez (2010), la conductividad de una disolución aumenta con la temperatura.

El objetivo de este estudio es evaluar, por medio de modelos predictivos, nueve diferentes concentraciones de solución preservante a base de ácido bórico y bórax; los parámetros considerados fueron pH, conductividad y temperatura de la solución. Se espera que los productores de guadua preservada realicen un monitoreo del desempeño de la solución a través del tiempo para determinar su nivel de eficacia.

Concentraciones

Se prepararon soluciones de concentraciones al 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10% y 11% en m/V, mezclando ácido bórico y bórax en relación 1:1 para cada solución. A cada muestra se le midió el pH, la conductividad y la temperatura seis veces, en un número de cuatro réplicas.

Para un segundo experimento se prepararon soluciones al 5% m/V, pero se varió la proporción de ácido bórico y bórax (1:1; 1:4; 4:1; 2:3; 3:2).

Parámetros estadísticos evaluados

Los parámetros estadísticos evaluados fueron los siguientes: precisión, exactitud, repetitividad, reproducibilidad, límite de detección, límite de cuantificación y linealidad, con el fin de validar la técnica de conductimetría (Ministerio de Salud sf, Miller y Miller 2002).

Se recolectaron los datos por medio de un conductímetro Fisher Scientific AB 30 y un pH-metro Fisher Scientific AB 15. Para el análisis se hicieron curvas de calibración obtenidas a partir de serie de patrones.

Resultados y discusión

Se construyeron modelos a partir de regresiones lineales con los datos de conductividad y temperatura (Cuadro 1). El modelo 4 fue el más práctico al momento de realizar el cálculo, puesto que solo involucra la medición de la conductividad y una temperatura que puede ser tomada con un termómetro común.

Los valores de error cuadrático medio (MSE) representan una medida de variabilidad de la conductividad que no es explicada por la

recta de regresión; es decir, lo que el modelo no puede predecir. Como se observa en el Cuadro 1, estos valores son pequeños, por lo que se puede deducir que el ajuste del modelo es adecuado. Este estadístico también indica que la técnica guarda un alto grado de la precisión. El valor del coeficiente de Pearson para los modelos anteriores se encuentra muy próximo a $R = 1,000$, lo que indica una fuerte correlación directa. En cuanto al coeficiente de determinación, en el caso del modelo 1 por ejemplo, el 99,7% de la variable dependiente (conductividad) se explica por el modelo de regresión obtenido (Caberon et al. 2008).

Las concentraciones más utilizadas por los productores de guadua preservada fueron las de 3% y 5% m/V en relación 1:1 (bórax: ácido bórico). El estudio permitió encontrar valores aproximados de pH y conductividad para ambas concentraciones; en el primer caso: $pH \approx 8,08$ y conductividad $\approx 4,39$ mS; en el segundo caso, $pH \approx 7,9$ y conductividad $\approx 6,49$ mS. Estos valores pueden ser considerados como una base para el monitoreo de las soluciones preservantes.

Parámetros estadísticos evaluados

Precisión y exactitud: los parámetros de calidad calculados se detallan en el Cuadro 2. Los resultados del coeficiente de variación permiten afirmar que la técnica es precisa, pues los valores son inferiores al 5% para todas las concentraciones. La técnica es también repetible y reproducible ya que hay poca variación entre los datos tomados en un mismo día y los que fueron tomados en condiciones diferentes. La exactitud se reporta como error relativo para cada concentración; estos valores son inferiores al 5%, lo que indica que la técnica de conductimetría es precisa y exacta.

Límite de detección y cuantificación: estos parámetros se calcularon con la desviación estándar de las concentraciones del blanco (agua destilada). Los resultados indican que los modelos empleados lograron detectar y cuantificar bajas concentraciones de los iones, por lo tanto el cálculo de la concentración con esta técnica es muy adecuado, partiendo de que la concentración mínima que utilizan para preservar es de 3% m/V (Cuadro 3).

Linealidad: para observar la linealidad del método, son de gran ayuda el coeficiente de Pearson y el coeficiente de determinación. Un valor cercano a 1,000 indica muy buena relación lineal entre las variables. Se encontró una relación directamente proporcional entre estas las dos variables y se obtuvo un modelo de regresión lineal que permitirá hacer el ajuste en la concentración de la solución. En la Figura 1 se grafica la relación entre las variables de respuesta, conductividad y pH en mS^4 .

El modelo obtenido a partir de la relación entre pH y conductividad fue el siguiente:

Modelo	R	R2	√MSE
$pH = 8,456 - 0,089 \text{Conductividad}$	0,993	0,986	0,028

Cuadro 1. Modelos para determinar la concentración de la solución preservante por medio de la conductividad

Modelos predictivos	√MSE	R	R2
1. $\sigma = -0,874 + 1,005 [\%m/V] + 0,101 \text{TpH}$	0,141	0,999	0,997
2. $\sigma = -0,452 + 1,010 [\%m/V] + 0,083 \text{T}\sigma$	0,158	0,998	0,996
3. $\sigma = -1,013 + 1,000 [\%m/V] + 0,030 \text{T}\sigma + 0,083 \text{TpH}$	0,141	0,999	0,997
4. $\sigma = -0,965 + 1,000 [\%m/V] + 0,106 \text{T}$	0,141	0,999	0,997

MSE: error cuadrático medio
 R²: coeficiente de determinación
 [% m/V]: concentración
 Tσ: temperatura reportada del conductímetro

R: coeficiente de Pearson
 σ: conductividad en mS
 TpH: temperatura reportada del pH-metro
 T: temperatura promedio

Cuadro 2. Parámetros de calidad para la precisión y exactitud

Concentración %m/V	Conductividad									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
N	24	24	24	24	24	15	15	15	15	
Promedio	4,395	5,514	6,514	7,563	8,378	10,13	10,886	11,706	12,686	
% CV	1,411	1,433	1,044	0,926	1,456	0,257	0,781	0,666	1,521	
Varianza S ²	0,004	0,006	0,005	0,005	0,015	0,001	0,007	0,006	0,037	
%Error relativo	1,27	1,62	1,40	1,43	2,48	0,66	2,19	2,01	4,99	

4 La conductividad se reporta en milisiemens (mS) pero en el Sistema Internacional de Unidades (SI) se reporta en Siemens por metro (S/m).

Cuadro 3. Límite de detección y cuantificación para cada modelo predictivo usado

Modelo	Concentración del blanco (% m/V)	Desviación Estándar	LD (% m/V)	LC (% m/V)
1	-1,5242	0,0562	0,1687	0,5624
2	-1,5346	0,0045	0,0136	0,0455
3	-1,5771	0,0442	0,1327	0,4423
4	-1,5869	0,0245	0,0734	0,2447

Cambio en la conductividad y pH con respecto a la proporción

Como se observa en la Figura 2, al aumentar la proporción de bórax aumentan también la conductividad y el pH, debido a que este compuesto es mejor conductor que el ácido bórico y, además, es una base que predomina sobre este ácido débil. Puesto que el experimento se fundamenta por la ecuación de Handerson – Halselbalch (1), la aproximación en cuanto a la proporción de mezcla ácido bórico-bórax en la solución se hará por medio del pH.

Propuesta para ajustar la concentración de solución preservante

Este ajuste se debe hacer para mantener la solución en un estado eficaz de concentración. Para ello se siguen los pasos que se describen a continuación:

- Extraer del tanque una muestra de solución de volumen conocido y medir pH, conductividad y temperatura.
- Elegir de los modelos presentados (Cuadro 1) el que mejor se acople con los datos recolectados y hallar la concentración.
- Con el dato de conductividad, hallar el pH asociado por medio del modelo antes definido ($\text{pH} = 8,456 - 0,089\text{Conductividad}$).
- Si el pH medido en la solución es mayor que el pH asociado hallado, el ajuste deberá realizarse con ácido bórico; hay que agregarlo poco a poco hasta llegar al pH calculado en el paso anterior. Si el pH medido en la solución es menor que el pH asociado, el ajuste deberá realizarse con bórax. Asegúrese de anotar la cantidad de ácido bórico o bórax utilizado.
- Si se requiere ajustar la solución a una concentración mayor de la hallada, el ajuste deberá realizarse con una mezcla sólida 1:1 de ácido bórico y bórax. Agregue poco a poco hasta obtener la conductividad de la concentración deseada. Si se requiere ajustar a una concentración menor, el ajuste deberá realizarse adicionando agua.
- Efectuar el cálculo estequiométrico para determinar la cantidad del compuesto adicionado que se debe suministrar a toda la solución presente en el tanque, ya sea bórax, ácido bórico, mezcla 1:1, o agua.



Foto: Grupo GATA

Proceso de inmersión de culmos de guadua en tanque de preservación

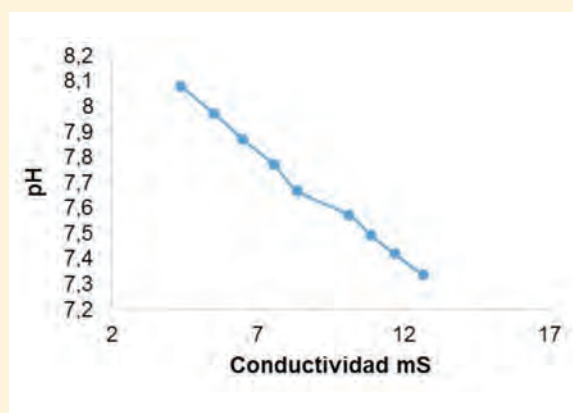


Figura 1. Relación entre pH y conductividad

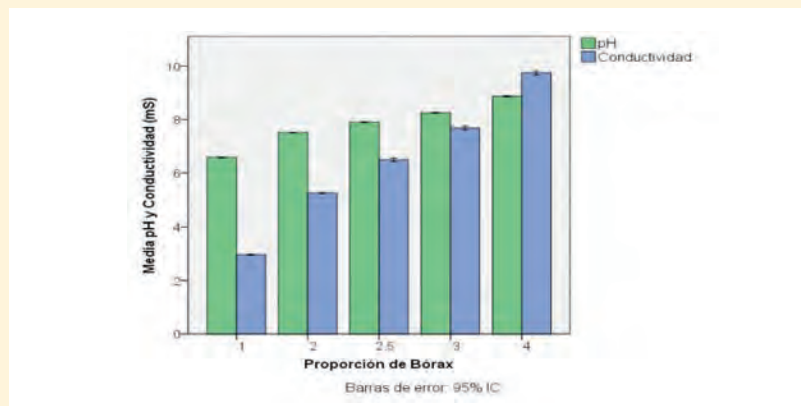


Figura 2. Medias de conductividad y pH vs. proporción de bórax

Para disolver la mezcla de sales en los pasos 1 y 2, se debe agitar en forma mecánica, sin importar el tiempo que se tarde pues, si la solución se calienta, se incrementa la conductividad e induce al error. Para disolver las sales para toda la solución presente en el tanque, según lo determinado con el paso 6, se toma una cantidad de solución extraída del tanque y se mezcla; durante este procedimiento sí se puede calentar la solución.

Conclusiones

De los cuatro modelos evaluados se recomienda emplear el modelo 4 por ser el más práctico, ya que solo involucra la medición de la conductividad y una temperatura que puede ser tomada con un termómetro común.

Para predecir la concentración a partir de los modelos que involucran la medición de la conductividad y proceder a ajustar la solución, es necesario al menos un equipo que mida la conductividad y el pH. La temperatura puede tomarse con un termómetro común.

Es necesario que la solución preservante se mantenga en un nivel de concentración ideal durante todo el tiempo que dure el proceso. Con este fin se definió una serie de pasos para realizar el ajuste de la concentración.



Foto: Grupo GATA

Culmos de guadua inmersos en tanque de preservación. Se utilizan bloques de concreto para sumergir los culmos totalmente

Literatura citada

- Caberon, T.; Quintín, M.; Santana, Y. 2008. Tratamiento estadístico de datos con SPSS. Madrid, España, Thomson. 450 p.
- Castro, F. 2011. Análisis instrumental. Pereira, Colombia, UTP. 471 p.
- Cruz, H. 1994. La guadua: nuestro bambú. Armenia, Colombia, Fudegraf. 291p.
- Gómez, C. 2010. Conductividad de las disoluciones electrolíticas. Valencia, España, Universidad de Valencia. 8 p.
- Martínez, H. 2005. La cadena de la guadua: una mirada global de su estructura y dinámica. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 26 p.
- Miller, N.; Miller, J. 2002. Estadística y quimiometría para química analítica. 4 ed. Madrid, España, Prentice Hall. 286 p.
- Ministerio de Salud (S.f.). Guía de validación de métodos analíticos. Consultado en septiembre, 2014. <http://www.ministeriodesalud.gov.cr/empresas/protocolos/guiavalidacionmetodosanaliticos.pdf>
- Montoya, J.A. 2008. Evaluación de métodos para la preservación de *Guadua angustifolia* Kunth. Scientia Et Technica XIV(38): 5p.
- Pérez, C. 2003. La cadena de la guadua en Colombia. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 28 p.
- Rojas, R. 2003. Preservación de la guadua. Cali, Colombia, Universidad San Buenaventura. 10 p.
- Skoog, D. 2001. Principios de análisis instrumental. 5 ed. Madrid, España, McGraw-Hill. 1024 p.
- Skoog, D. 2005. Fundamentos de química analítica. 8 ed. México, Cengage. 1065 p.
- Vélez, S. 2006. La guadua *angustifolia* "bambú colombiano". Consultado junio 2012. http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6130/06_ESD_Cos_pp_35_81.pdf?sequence=6