



Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 1(3), 2004

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Ensayo de penetrabilidad de dos preservantes a base de boro en madera de melina (*Gmelina arborea*) crecida en Costa Rica.

Alexander Berrocal¹
Freddy Muñoz¹
Guillermo González¹

Resumen

Los preservantes a base de boro son una excelente alternativa para maderas que van a ser utilizadas en interiores, dadas sus ventajas comparativas con otros productos; no cambian el color de la madera, son poco tóxicos para los seres humanos, no son inflamables y protegen a la madera de la acción destructora de los hongos e insectos. En la presente investigación se evaluó la penetrabilidad de dos preservantes para madera a base de boro (sales orgánicas e inorgánicas de boro), empleando los métodos de inmersión-difusión y brochado-difusión. Se encontraron diferencias altamente significativas asociadas al contenido de humedad de la madera (CH) y al tiempo de difusión. También se determinó el tiempo de difusión necesario para asegurar una buena penetración de ambos preservantes en la madera. Estos resultados son importantes, debido a que permiten generar el conocimiento para el uso de este tipo de preservantes en la madera de melina.

Palabras clave: *Gmelina arborea*, Preservación de la madera, Aminopoliborato, Bórax, Ácido bórico, Inmersión-difusión, Sales de boro, Costa Rica, Protección de la madera.

Abstract

Boron compounds are used as indoor wood preservatives, they have some advantages compared to other products such as: do not change the natural color of the wood, low toxicity for humans, fire retardant properties and highly effective against decay fungi and insects. In this research the penetrability of two boron compounds in wood (borax and boric acid solution and organic-poliborate solution), was evaluated. Treatment methods used were dip-diffusion and brush-diffusion. Significant differences on penetrability associated to moisture content of wood (MC) and diffusion period were found. Also, suitable diffusion periods for both preservatives, assuring a good penetration of preservative into the wood, was determined. These results are important because make it possible to generate knowledge for the use of both preservatives in melina lumber.

Key words: *Gmelina arborea*, Wood preservation, Organic-poliborates, Borax, Boric acid, Dip-diffusion process, Boron compounds, Costa Rica, Wood protection.

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica. aberrocal@itcr.ac.cr, fmunoz@itcr.ac.cr, ggonzalez@itcr.ac.cr

INTRODUCCIÓN

La posibilidad de preservar madera, permite utilizar especies que tradicionalmente han sido consideradas de baja durabilidad natural, así como madera de albura de especies procedentes de plantaciones, lo cual representa una parte importante del volumen industrializado actualmente. Al preservar la madera se logra mejorar sus características, otorgándole una mayor resistencia a la biodegradación. El principal objetivo de la preservación es incrementar la vida útil de la madera en servicio, disminuyendo los costos de mantenimiento por reemplazos frecuentes de las piezas de madera deterioradas (FAO, 1986).

Contrario a lo que muchos afirman, la madera no es degradada o destruida por el paso del tiempo, sino por la acción de factores externos; un buen ejemplo de lo anterior son los árboles vivos, en los cuales la mayor parte de la madera está muerta, pero permanece en buen estado por muchísimo tiempo (Tsoumis, 1991).

Para que un preservante de la madera se considere apropiado, debe cumplir los siguientes requerimientos: toxicidad para un amplio rango de organismos degradantes de la madera; alto grado de permanencia (baja volatilidad, resistencia a la lixiviación y estabilidad química); alta penetrabilidad y retención en la madera; que no sea corrosivo y sobre todo que sea económico. Los preservantes usados en la actualidad cumplen con la mayoría de los requerimientos, aunque no con todos ellos (Haygreen y Bowyer, 1996).

Existen diversas formas de clasificar los preservantes para la madera, aunque tradicionalmente se hace de acuerdo con su origen o uso. Dos grandes grupos lo constituyen los productos oleosolubles y los hidrosolubles (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

El uso de preservantes oleosolubles (como el pentaclorofenol y la creosota) ha ido en disminución, debido a los riesgos que tienen para los seres humanos y el ambiente. Lo anterior ha permitido un crecimiento en el uso de los preservantes hidrosolubles, los cuales presentan menos riesgos industriales y producen menos contaminación, debido a que pueden reutilizarse los efluentes (residuos líquidos), que se producen en el proceso de preservación de la madera (Johnson, 1999).

Dentro del grupo de los preservantes hidrosolubles están las sales orgánicas e inorgánicas de boro, este elemento constituye una de las principales sustancias preservantes para la madera de uso interior (Chen, *et al* 1986), relativamente eficiente contra hongos pudridores e insectos xilófagos (Willerding y Vianez, 2003) sin contar con su probada capacidad como retardantes del fuego (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

Los boratos tienen características únicas de solubilidad, durabilidad, volatilidad y toxicidad; que los hacen idóneos para ser usados como preservantes de la madera (Grace, 1997); además de que los riesgos para aves, peces y mamíferos son mínimos, aunque deben tomarse ciertas precauciones al manipularlos (Currie, 1999). Por otra parte, los tratamientos con boratos, tienen el potencial de promover una mayor utilización de maderas de baja durabilidad natural (Hong y Wong, 1994), en usos interiores tales como mueblería y algunos compuestos de madera como tableros de partículas, tableros de fibras y otros (Wong y Grace, 2004). A pesar de todos los beneficios de estos preservantes, los estudios de la resistencia de la madera preservada con boratos son relativamente escasos (Grace 1997, Laks y Manning 1997), una importante cantidad de estos han sido llevados a cabo por el Centro de Investigación en Integración Bosque Industria del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Leandro, *et al* 2002).

Es importante hacer notar que el uso del tratamiento de inmersión difusión con boratos no es algo nuevo; lo que es novedoso en este caso, es la utilización del aminopoliborato (sal orgánica de



boro) como preservante de la madera. En esta investigación, se aplicaron dos preservantes a base de boro, uno del tipo sales inorgánicas (ácido bórico y borato de sodio) y el otro con sales orgánicas (aminopoliborato).

OBJETIVO

El objetivo de este ensayo fue evaluar la penetrabilidad de ambas soluciones en la madera de melina a dos contenidos de humedad (verde y bajo el punto de saturación de las fibras), a través del tiempo.

METODOLOGÍA

La madera utilizada para este estudio proviene de La Rita de Guápiles (Zona Atlántica de Costa Rica), de una plantación de 1200 ha, con una edad de 7 años y es propiedad de la empresa ENVACO, dedicada a la elaboración de tarimas tipo americano para la exportación de banano.

De este material se obtuvo 105 semibloques que se aserraron en corte radial y corte tangencial, seleccionándose al azar 25 probetas de 5,0 x 2,5 x 50,0 cm para cada uno de los dos tratamientos y a dos contenidos de humedad (condición verde 130,4% y bajo el punto de saturación de la fibra 26,6%).

Preparación de la solución preservante a base de sales inorgánicas de boro

La solución preservante utilizada tuvo una concentración del 12% (120 g de sales de boro/litro de agua) y se preparó de la siguiente manera:

1. La solución preservante se obtuvo al mezclar una parte de ácido bórico con una parte y media de borato de sodio; lo que significa 48 g de ácido bórico y 72 g de borato de sodio por litro de agua.
2. Posteriormente se determinó el volumen del recipiente en que se aplicó el tratamiento (en litros), así fue posible saber la cantidad de ácido bórico y borato de sodio que se utilizaría.
3. Las dos sales fueron mezcladas previamente en seco.
4. A la mezcla preparada se le fue agregando al agua, mientras que se agitaba, hasta obtener las sales totalmente disueltas.
5. El recipiente en que se llevó a cabo la preservación fue llenado hasta la mitad con la solución preservante, para evitar que se derrame al sumergir la madera.

Preparación de la solución preservante a base de sales orgánicas de boro

Las sales orgánicas de boro (aminopoliborato) vienen en solución acuosa, éstas pueden ser aplicadas concentradas o en disoluciones al 75, 50 o 25% según sea el método de aplicación (con brocha o rodillo, pistola, compresor o bomba de atomizar). En este caso el producto se aplicó sin disolver, lo que significa una concentración de boro elemental del 10%.

Métodos de tratamiento de la madera

Los métodos utilizados para preservar las probetas fue el de inmersión-difusión para el caso de las sales inorgánicas de boro, el cual consistió en sumergir las probetas en un recipiente que contiene el preservante por un periodo de cinco minutos. Luego se dejó escurrir para eliminar los sobrantes del preservante y posteriormente se almacenó para iniciar el proceso de difusión. Mientras que para el aminopoliborato se utilizó el método de brochado-difusión, el cual es muy similar al anterior,

sólo que en vez de sumergir las probetas en el preservante, éste se aplica con brocha (Velásquez, 1993).

La madera que fue tratada con las soluciones preservantes se apiló y se cubrió con plástico (material impermeable), para evitar la evaporación y así, permitir la difusión del preservante desde la superficie hacia el interior de las probetas.

Determinación de la penetración del preservante en la madera

El control de la penetración se llevó a cabo haciendo cortes transversales en la probeta cada 5 días por un periodo total de 30 días (AWPA, 1997); se obviaron los primeros 10 cm de la probeta desde los extremos hacia el centro (Figura 1), para evitar el sesgo en las mediciones, producto de la difusión que se da en el plano longitudinal de las probetas (flujo axial).

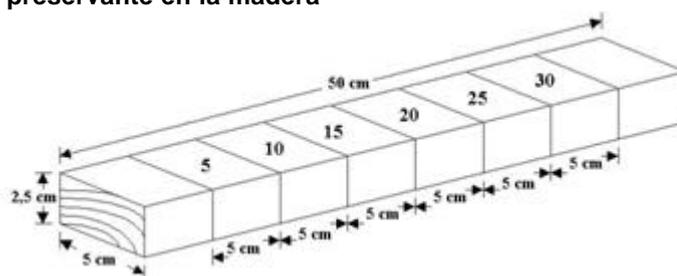


Figura 1. Probeta utilizada para determinar la penetrabilidad de dos preservantes a base de boro en madera de melina.

Para determinar la penetración del preservante en la madera, se realizó una prueba colorimétrica reveladora del boro, aplicando dos soluciones indicadoras: solución A (10 g de cúrcuma disuelta en 100 ml de etanol, el cual debe tener una concentración mayor al 90%) y solución B (6 g de ácido salicílico disuelto en una mezcla de 80 ml de etanol y 20 ml de ácido clorhídrico concentrado) sobre la sección trasversal de cada probeta. Los sitios donde se presenta el preservante en la madera se torna de color rojo y aquellos donde no existe sustancia preservante, la madera adquiere un tono amarillo.

La penetración del preservante se determinó midiendo el ancho de la franja coloreada desde el exterior de la muestra hacia el interior de la misma (desplazamiento en mm); para lo cual se utilizó un calibrador digital Mitutoyo CD-6" B. Finalmente se determinó el porcentaje de penetración para cada una de las probetas. Este valor debe ser, en la medida de lo posible, igual a la mitad del espesor de la pieza de madera preservada, para que sea considerado como buena penetración.

También, es importante saber que la coloración tomada en la madera por la sustancia reveladora, está relacionada con la retención que posean las muestras. Las siguientes coloraciones muestran la retención de boro por m^3 (CIIBI, 2002).



Figura 2. Retención ABE (p/v) según coloración en la madera de melina con sustancia reveladora de boro (ABE = Equivalencia de Ácido Bórico).

De acuerdo a FAO (1986) la retención de ABE igual o superior a $0,96 \text{ kg/m}^3$ (p/v) es suficiente para brindar una protección eficiente a la madera para uso interior.

Análisis estadístico

Se evaluaron dos preservantes (tratamientos), a dos contenidos de humedad de la madera y 6 periodos de difusión (5, 10, 15, 20, 25 y 30 días), se trabajó con un total de 25 probetas para cada tratamiento (100 en total). Se procedió a hacer un análisis de varianza de dos factores y una

regresión lineal cuadrática, con un nivel de confianza del 95%, para cada uno de los tratamientos (no se evaluaron diferencias entre tratamientos ya que éstas no se circunscriben dentro del objetivo del ensayo) y así identificar si existen diferencias significativas asociadas al contenido de humedad de la madera y al periodo de difusión para cada uno de los preservantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Preservante a base de sales inorgánicas de boro (Bórax-Ácido bórico)

Como ya ha sido ampliamente reportado en la literatura, el tratamiento a base de sales inorgánicas de boro es una buena opción para la preservación de la madera (Forest Products Laboratory, 1999), dado que tanto el bórax como el ácido bórico son fáciles de adquirir en el mercado, su preparación es muy sencilla y el tratamiento puede ser realizado en diferentes lugares, sin necesidad de equipo especial; de ahí que se decidió aplicar este tratamiento como parámetro de referencia en este ensayo.

Tratamiento en madera con bajo contenido de humedad.

Al aplicar el tratamiento con sales inorgánicas de boro en la madera con un contenido de humedad bajo el punto de saturación de la fibra (CH de 26,6%), visualmente no se observó una penetración satisfactoria del preservante al cabo de 30 días de tratamiento, tal y como lo muestra la Figura 3.

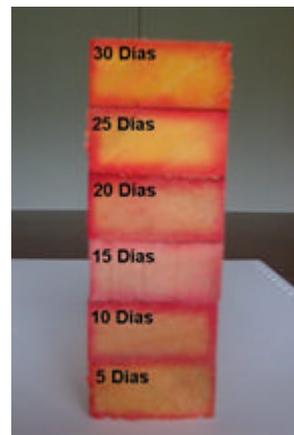


Figura 3. Secuencia de penetración de un preservante a base de sales inorgánicas de boro en madera seca de melina (CH: 26,6%).

Claramente se puede apreciar que sólo se presentó una franja roja de unos 2 mm alrededor de la periferia de las probetas, mientras que el resto del área no mostró presencia de boro (porción color amarillo). Es importante resaltar el hecho de que no se observó variación en la penetración del preservante en los 30 días que duró el ensayo, el espesor de la franja roja se mantuvo constante a través del tiempo, este tipo de penetración se clasifica de acuerdo a la Junta del Acuerdo de Cartagena (1988) como penetración parcial regular.

Al evaluar la penetración en términos de porcentaje, se observa que ésta no alcanzó el 35% del área tratada, tal y como lo muestra la Figura 4, lo cual significa una penetración del preservante de apenas 3 mm.

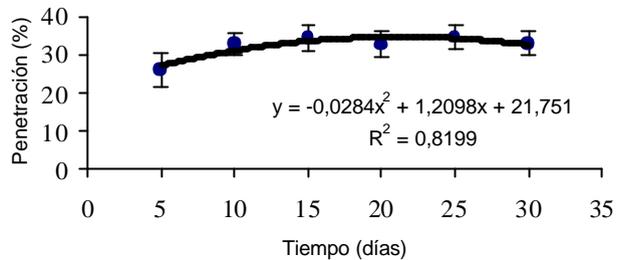


Figura 4. Curva de penetración a través del tiempo de un preservante a base de sales inorgánicas de boro en la madera seca de melina (CH: 26,6%).

Este comportamiento es lógico, si se toma en cuenta que para que el proceso de difusión tenga lugar en la madera, es necesario que haya humedad en ésta, de lo contrario lo único que se obtendrá es una penetración muy superficial. El hecho que se diera solamente un pequeño porcentaje de penetración, puede deberse a que la madera al estar seca absorbió parte del agua de la solución.

Tratamiento en madera con alto contenido de humedad.

Caso contrario se dio cuando la madera presentaba un alto contenido de humedad (130,4%), bajo estas condiciones si se dio una penetración total del preservante a los 20 días de realizado el tratamiento.

Se pudo observar que aproximadamente con diez días de proceso de difusión, prácticamente el boro había penetrado más de la mitad del espesor de las piezas (Figura 5), quedando sólo una pequeña área amarilla (sin preservar), la cual se redujo aún más en los siguientes 15 días; a los 20 días de tratamiento la penetración se clasificaría como total regular (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

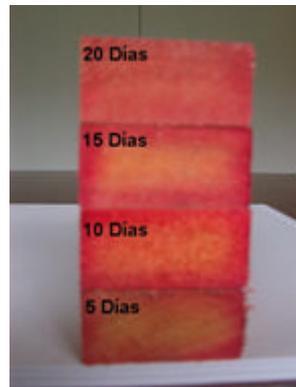


Figura 5. Secuencia de penetración de un preservante a base de sales inorgánicas de boro en madera húmeda de melina (CH: 130,4%).

La coloración roja intensa, muestra que igualmente se logró una buena retención ABE (Equivalencia de Ácido Bórico) del producto, superior a 0,96 kg/m³, lo que garantiza que la madera quedará protegida contra el ataque de termitas y hongos.

Al analizar la curva de penetración a través del tiempo, se obtuvo que a los 5 días de tratamiento, la penetración del boro en la madera alcanzó el 40% del área transversal (3,4 mm); este valor se incrementó a casi un 60% (6,7 mm) a los 10 días y 80% (10 mm) a los 15 días (Figura 6).

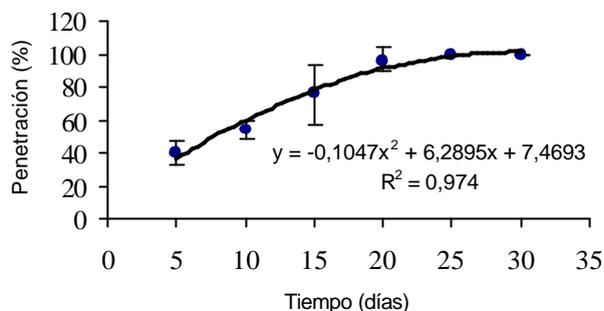


Figura 6. Curva de penetración a través del tiempo de un preservante a base de sales inorgánicas de boro en la madera húmeda de melina (CH: 130,4%).

A los diez días de tratamiento, se alcanzó una penetración del 50% del espesor de la pieza, la cual puede considerarse como buena; sin embargo, cuanto mayor sea la zona penetrada por el preservante, mejor será la protección de la madera, de ahí que se considere que un plazo de 20 días de difusión, es óptimo para lograr una completa penetración del preservante en piezas de 25 mm de espesor.

Claramente se observan diferencias en el tratamiento y dado que están interviniendo dos factores muy puntuales: el contenido de humedad de la madera y el tiempo de difusión, se decidió hacer un análisis de varianza para estos dos factores y evaluar su efecto en la penetración total. Los tres factores evaluados presentan diferencia significativa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) de dos factores para la penetración de un preservante a base de sales inorgánicas de boro en la madera de melina.

Factor evaluado	Valor-p
Contenido de humedad (CH)	1.488E-163
Tiempo de difusión (T)	4.4921E-97
Interacción entre CH y T	1.3106E-80

El análisis de varianza mostró diferencia altamente significativa asociada a la interacción entre el contenido de humedad y el tiempo de difusión. Gráficamente esta interacción puede apreciarse en la Figura 7.

El tiempo de difusión es una variable que debe ser tomado en cuenta, dado que este factor es el que permite una mayor o menor penetración; cuanto más tiempo se le de al proceso, se obtendrá mayor penetración del preservante.

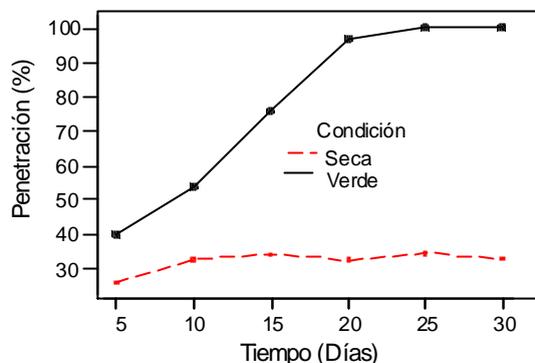


Figura 7. Interacción entre tiempo de difusión y CH de la madera para la penetración del preservante a base de sales inorgánicas de boro.

Por otra parte, quedó demostrado que en la madera con un contenido de humedad bajo el punto de saturación de la fibra, no se obtiene buena penetración del preservante a base de sales inorgánicas de boro.

Sales orgánicas de boro (Aminopoliborato)

Las sales orgánicas de boro (aminopoliborato), se han utilizado tradicionalmente como abono foliar, sin embargo tienen un excelente potencial para ser usadas como preservantes para la madera, debido a que presentan una alta concentración de boro, son hidrosolubles y al ser una solución acuosa, es posible aplicarlos en forma concentrada con brocha o se puede diluir en agua y aplicarse con bomba de espalda, compresor o pistola; para obtener así un mayor rendimiento del producto.

Tratamiento en madera con bajo contenido de humedad

Al aplicar el tratamiento de preservación con sales orgánicas de boro o aminopoliborato en la madera con bajo contenido de humedad, se lograron resultados relativamente similares a los obtenidos con las sales inorgánicas de boro (Figura 8).

La penetración del boro en la madera fue parcialmente regular y la prueba colorimétrica detectó una franja roja de pocos milímetros en la periferia de las muestras. Se puede observar que la mayor parte de la superficie quedó sin tratar (color amarillo). No se notaron diferencias en esta tendencia, a través de los 30 días que duró el ensayo.



Figura 8. Secuencia de penetración de un preservante a base de sales orgánicas de boro en la madera seca de melina (CH: 26,6%).

La penetración del aminopoliborato fue inferior al 40% del área transversal de las probetas (esto corresponde a una penetración lineal de 3,3 mm en cada una de las caras de la probeta) al cabo de los 30 días de estudio (Figura 9). Este comportamiento se debe exclusivamente al bajo contenido de humedad de la madera, lo que provocó que no se diera una buena difusión del preservante en la madera.

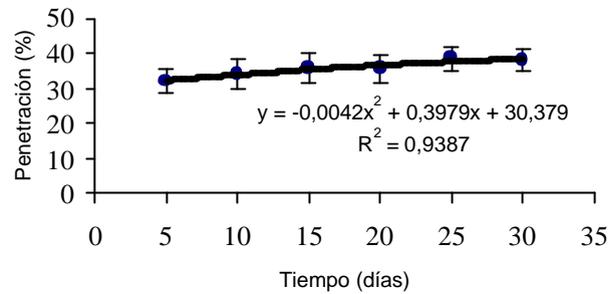


Figura 9. Curva de penetración a través del tiempo de un preservante a base de sales orgánicas de boro en la madera seca de melina (CH: 26,6%).

Tratamiento en la madera con alto contenido de humedad

En la Figura 10 se muestra la secuencia de difusión del preservante a base de sales orgánicas de boro en la madera húmeda a través del tiempo.

Este tipo de preservante mostró excelentes resultados en la madera con alto contenido de humedad, al cabo de 10 días ya se había dado una muy buena penetración, la cual se completó a los 20 días.

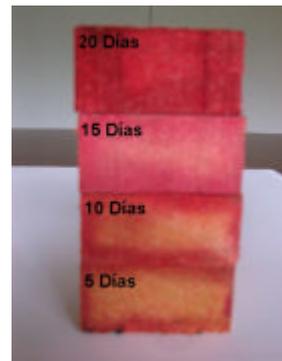


Figura 10. Secuencia de penetración de un preservante a base de sales orgánicas de boro en la madera húmeda de melina (CH: 130,4%).

Debido a que el preservante se aplicó concentrado, la retención del mismo fue muy alta, superior a 1,28 kg/m³; de ahí que se considera la posibilidad de utilizar soluciones acuosas concentradas al 50% ó 25%, dado que bajo estas proporciones se reducen los costos del tratamiento y éste continua siendo idóneo para proteger la madera contra el ataque de hongos de pudrición y termitas, objetivo que se busca al aplicar este tratamiento.

En la curva de penetración de este tratamiento a través del tiempo, se muestra que a los 5 días el porcentaje de penetración fue cercano al 55% del área tratada (5,8 mm). A los 15 días éste se incrementó hasta un 85% del área (9 mm); para finalmente completar el 100% de penetración a los 20 días de difusión (Figura 11).

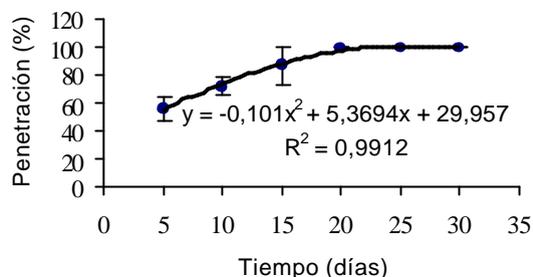


Figura 11. Curva de penetración a través del tiempo de un preservante a base de sales inorgánicas de boro en la madera húmeda de melina (CH: 130,4%).

En el Cuadro 2 se resume el análisis de varianza realizado para determinar la influencia del contenido de humedad y el tiempo de difusión en el porcentaje de penetración de las sales orgánicas de boro en la madera. Los tres factores evaluados presentan diferencia significativa.

Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) de dos factores para la penetración de un preservante a base de sales orgánicas de boro en la madera de melina.

Factor evaluado	Valor-p
Contenido de humedad (CH)	1.216E-195
Tiempo de difusión (T)	1.8843E-85
Interacción entre CH y T	2.0772E-64

El análisis de varianza para el tratamiento de preservación a base de sales orgánicas de boro, mostró diferencia altamente significativa asociada a la interacción del CH de la madera y el tiempo de difusión, tal y como se muestra en la Figura 12.

El preservante a base de aminopoliborato tampoco mostró buenos resultados en la madera seca, no importa el tiempo que se le diera al proceso de difusión. Por su parte, en la madera verde el tiempo de difusión es fundamental para garantizar una óptima penetración del producto.

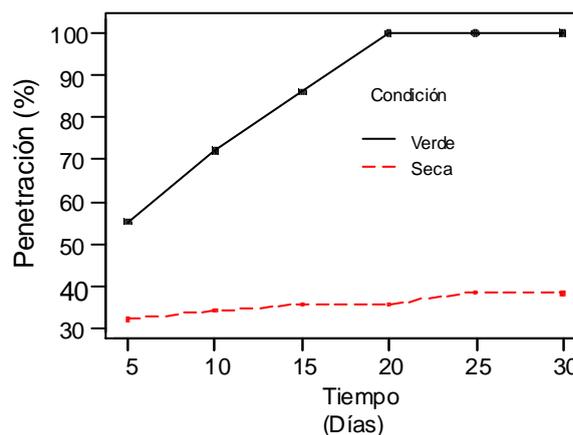


Figura 12. Interacción entre tiempo de difusión y CH de la madera para la penetración del preservante a base de sales orgánicas de boro.



Se considera que para la madera de 25 mm de espesor, 20 días es el tiempo idóneo para lograr una completa penetración del preservante en la madera.

CONCLUSIONES

Ambos preservantes (sales orgánicas e inorgánicas de boro), no mostraron buena penetración en la madera de melina con contenidos de humedad bajo el punto de saturación de la fibra, de ahí que su uso debe limitarse a madera con altos contenidos de humedad, para garantizarse una adecuada penetración y protección de la misma.

En los dos casos para madera con espesor de 25 mm, se requieren al menos 20 días para que se de una penetración total. Se estima que para mayores espesores será necesario dejar más tiempo la madera cubierta con el plástico en el proceso de difusión y así, obtener una penetración completa.

El uso de sales orgánicas a base de boro como el aminopoliborato, constituye una excelente opción para la preservación de la madera de melina, este producto cuenta con ventajas tales como: fácil aplicación, relativamente económico, ampliamente disponible en el país y promete tan buenos resultados como los que se obtienen con las sales inorgánicas de boro, para la preservación de la madera utilizada en interiores.

El Centro de Investigación en Integración Bosque Industria (CIIBI), estará desarrollando proyectos de investigación relacionados con la preservación de la madera de otras especies de plantación, con lo cual se buscará consolidar y promocionar esta metodología, como una excelente alternativa para incrementar la calidad y vida útil de diversas maderas.

BIBLIOGRAFÍA

- American Wood-Preservers' Association Standard (AWPA). 1997. Standard methods for determining penetration of preservatives and fire retardants. Selma, US, American Wood-Preservers' Association Standard A3-80 4p.
- Chen, G; Esenther, G; Rowell, R. 1986. Termite resistance of wood treated with copper (II) compounds derived from tri- and dialkylamine-boric acid complexes. *Forest Products Journal*. 36(5):18-20
- CIIBI (Centro de Investigación en Integración Bosque Industria, CR). 2002. Guía práctica No 1. Preservación de madera de melina utilizando el método de inmersión difusión con sales de boro. Proyecto FC-0011-200: Evaluación de las características y propiedades tecnológicas para la melina (*Gmelina arborea*) provenientes de plantaciones forestales. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. sp.
- Currie, WE. 1999. The environmental advantages of using diffusible preservatives. *Wood Care Systems*. Article Library (en línea). Consultado 19 ago. 2004. Disponible en: www.ewoodcare.com/article_library/advantage_using_borates.html
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1986. Wood preservation manual. Mechanical wood products branch. Forest industries division. Rome, IT, FAO. Forestry Department. 152 p.
- Forest Products Laboratory. 1999. Wood Handbook. Wood as engineering material. Madison, Wisconsin, US, USDA. Wood Preservation Chapter 14, 28 p.
- Grace, JK. 1997. Review of recent research on the use of borates for termite prevention. In *International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives and Pesticides*. (2nd, 1997, Madison, Wisconsin). Proceedings. Madison, Wisconsin, US, Forest Products Society. pp 85-92



- Haygreen, JG; Bowyer, JL. 1996. Forest products and wood science. An introduction. Iowa, US, Iowa State University Press. 484 p.
- Hong, LT; Wong, AHH. 1994. Biodeterioration and preservation of rubberwood (*Hevea brasiliensis*). Stockholm, SW, International Reserach Group on Wood Preservation Document No: IRG/WP 94-10084. sp.
- Johnson, B. 1999. Alternatives to pentachlorophenol-treated utility poles. Palo Alto, California, US, EIP Associates. 21 p.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del Grupo Andino para la preservación de maderas. Lima, PE, Editorial Carvajal. sp.
- Laks, PE; Manning, MJ. 1997. Update on the use of borates as preservatives for wood composites. In International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives and Pesticides. (2nd, 1997, Madison, Wisconsin). Proceedings. Madison, Wisconsin, US, Forest Products Society. pp 62-68.
- Leandro, L; Moya, R; Canessa, E. 2002. Características de la preservación de la madera de melina (*Gmelina arborea*) con el método de inmersión-difusión utilizando boro y el método de vacío-presión utilizando CCA-C. Informe # 6. Proyecto FC-0011-2000: Evaluación de las características y propiedades tecnológicas para la melina (*Gmelina arborea*) proveniente de plantaciones forestales. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Centro de Investigación en Integración Bosque Industria. 94 p.
- Tsoumis, G. 1991. Science and technology of wood. Structure, properties, utilization. New York, US, Chapman & Hall. 494 p.
- Velásquez, C. 1993. Preservación de madera verde por el método de difusión de boratos: Guía para el técnico forestal. Turrialba, CR, CATIE-RENARM/Madera. Producción en Bosques Naturales. MADELEÑA-3. 27 p.
- Willerding, AL; Vianez, BF. 2003. Borax diffusion treatment in the preservation of sumauma (*Ceiba pentantra* (L.) Gaertn.) veneer. Revista Árvore. 27(3):321-326.
- Wong, AHH; Grace, K. 2004. Laboratory evaluation of the formosan subterranean termite resistance of borate-treated rubberwood chipboard. (35th, 2004, Slovenia). Proceedings. Ljubljana, SI, Annual Meeting. pp 1-6.