

HUMEDAD ÓPTIMA EN LA MADERA DE *PINUS PATULA*, *EUCALYPTUS UROPHYLLA* Y *ACACIA MANGIUM* TRATADAS CON COMPUESTOS DE BORO MEDIANTE DIFUSIÓN SIMPLE

Optimum moisture content in Pinus patula, Eucalyptus urophylla and Acacia mangium woods treated with boron compounds and simple diffusion treatment

OSWALDO ERAZO, OSWALDO ENCINAS Y YOLY MOLINA

Grupo de Investigación en Protección de la Madera (GICOM). Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela

Recibido Marzo 2.016. Aceptado Agosto 2.016

Resumen

Los tratamientos por difusión de la madera utilizando compuestos de boro son métodos de fácil aplicación y bajo costo que proporcionan una buena protección a la madera contra agentes de biodeterioro, siempre que las piezas tratadas no permanezcan en contacto con una fuente continua de humedad, por lo que es conveniente conocer cuál es el contenido de humedad (CH) óptimo de la madera para determinar su influencia sobre la retención y penetración del producto en la madera. Se utilizaron probetas de la madera de *Acacia mangium*, *Eucalyptus urophylla* y *Pinus patula*, con dimensiones de 25 mm x 25 mm x 100 mm que se obtuvieron de tres posiciones en el árbol (base, media y ápice) que se colocaron en cuartos de acondicionamiento con temperaturas y humedades relativas controladas hasta alcanzar tres contenidos de humedad diferentes (seca, húmeda y verde). Las probetas fueron inmersas por una semana en soluciones de H_3BO_3 y $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ al 5% p/p, proceso conocido como difusión simple, determinando la retención a partir del peso de las probetas antes y después del proceso; para la penetración se hicieron cortes en la dirección transversal de las probetas (10 %, 20 % y 50 % de su longitud), utilizando curcumina para determinar la presencia de boro. La retención considerando la posición en el árbol y CH fueron mayores para *P. patula*, seguido de *A. mangium* y *E. urophylla*, que presentó valores muy bajos, especialmente en la condición verde. La penetración total regular predominó en los cortes al 10 % de la longitud; pero no en los cortes al 20 % y 50 % de la longitud, predominando una distribución irregular del boro. En general, las piezas en la condición verde mostraron alta presencia de boro en la madera. Se obtuvo buena penetración hasta la tercera parte de la longitud de las probetas, confirmando que las condiciones de humedad de la madera condicionan la distribución del boro dentro de las maderas ensayadas.

Palabras claves: proceso de difusión, contenido de humedad, ácido bórico, bórax.

Abstract

Protection of wood using boron compounds and simple diffusion treatment is an easy and low-cost method to provide excellent protection to wood, as long as wood is not exposed to continue sources of humidity, because boron compounds do not fix chemically into wood structure. To test various moisture content in wood from *Acacia mangium*, *Eucalyptus urophylla* and *Pinus patula*, samples with dimension of 25 x 25 x 100 mm, were prepared taken wood from different positions in the tree (base, middle and apex) and stored in acclimatization rooms until dry, wet and green states were got it. Samples were preserved with 5 % w/w boric acid and sodium tetra borate pentahydrate compound using simple diffusion for a week. Influence of such different moisture content in wood was evaluated. Retention considering both tree position and moisture content was higher in *P. patula* samples, followed by *A. mangium*, and *E. urophylla* especially in green condition; to evaluate wood boron penetration, treated samples were cut at half and third part of the length and curcumin solution was applied to revealing boron in wood. For all wood species regular penetration was predominant. No regular distribution of boron compound was found at third part of the samples length, and major presence of boron was observed in green samples. In general, this method allows a good penetration up to third part of the length of pieces and more humidity in wood allow more boron presence.

Keywords: Diffusion treatment, moisture content, boron compounds

1. Introducción

Actualmente existen pocos productos preservantes de madera que sean amigables con el ambiente; siendo muchos restringidos a uso interior, donde la humedad es muy baja; entre estos destacan los compuestos de boro que como preservantes han ganado gran aceptación en la preservación de maderas, ya que son altamente efectivos contra los insectos y hongos de pudrición, no causan riesgos de salud a los seres vivos, permiten a la madera mantener su apariencia original, son económicos y se adquieren con gran facilidad (Williams y Mitchoff, 1990). Su gran desventaja es que, por su naturaleza química, se adhieren a la estructura de la madera mediante puentes de hidrógeno, lo que hace que se lixivie fácilmente al entrar en contacto con una continua fuente de humedad. Así, la mayoría de los boratos que son solubles en agua permanecen móviles en la madera después del tratamiento. Esta movilidad hace posible que los compuestos de boro penetren en la madera utilizando procesos de difusión, como la simple inmersión, hasta con maderas que refractarias o difíciles de tratar (Melo *et al.*, 1992, Tamblyn, 1985).

En los procesos de difusión, las moléculas de ciertos compuestos, como los compuestos de boro disueltos en agua, penetran en la madera a través de las punteaduras, buscando los lúmenes celulares; el proceso ocurre porque los boratos disueltos tienen mayor concentración que el agua de la madera, diferencias que disminuyen dentro de la madera sin la aplicación de fuerza externa como sucede en los tratamientos a presión (Williams, 1996). El proceso de difusión simple usando compuestos de boro ha sido comercialmente aceptado en Nueva Zelanda, Australia y Nueva Guinea desde hace décadas, aportando el 28 % de toda la madera tratada en estas regiones (Vinden *et al.*, 1997).

Desafortunadamente, los productos de boro introducidos en la madera a través del proceso de difusión son susceptibles a la lixiviación, ya que pueden lixivarse fácilmente durante el tiempo de servicio. Por lo tanto, la madera tratada por el método de difusión solo se puede utilizar en obras que no impliquen contacto con la humedad o estén sin contacto con el suelo (Vinden, 1990).

La sencillez del método, los materiales utilizados en el proceso, la economía del proceso y la posibilidad de usar productos preservantes compatibles con el ambiente han permitido recomendar su uso a los empresarios que elaboran productos y mobiliarios de madera. No obstante, la única limitante en su empleo es la exigencia de que la madera debe poseer cierto grado de humedad por lo que este trabajo pretende determinar cuál es el efecto de diversos grados de humedad en la madera sobre la efectividad del tratamiento. Es de particular importancia considerar que la madera que está siendo utilizada por la pequeña y mediana industria maderera proviene de plantaciones de rápido crecimiento, particularmente de acacia, pino y eucalipto; además, su grado de aprovechamiento permite organizar un flujo de materia prima que pueda garantizar un adecuado contenido de humedad en la madera. Adicionalmente, interesa conocer cuál porción del árbol tiene la humedad que facilite el proceso de difusión simple.

2. Materiales y Métodos

2.1. Procedencia de la madera

La madera de *Acacia mangium* y *Eucalyptus urophylla* proviene de plantaciones del año 2.000 de la Finca DEFORSA perteneciente a la empresa Desarrollos Forestales San Carlos II, S.A, ubicada en San Carlos, estado Cojedes. La madera de *Pinus patula* se obtuvo de las instalaciones del Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

2.2. Preparación de las probetas de madera

En este ensayo se usaron tres árboles por cada especie, los cuales se seccionaron en tres diferentes posiciones: base (B), media (M) y ápice (A). De cada sección se obtuvieron listones de madera que fueron dimensionados a probetas de 25 mm x 25 mm x 100 mm. Se tuvo cuidado de que las probetas estén libres de corteza, nudos y otros defectos, además de estar sin ataques de hongos o de insectos.

Una vez obtenidas las probetas de madera se codificaron y se conformaron en tres grupos de piezas. Cada grupo fue ensayado a un determinado contenido de humedad. El grupo 1, codificado como CH Seca, estaba conformado por probetas con contenido de humedad entre 22 % y 26 %, es decir por debajo del punto de saturación de la fibra (PSF), el siguiente grupo (2) con un CH Húmeda entre 32 % y 35% y el último grupo (3) con piezas de madera en su estado verde, CH verde, es decir recién cortado el árbol.

Las piezas de los grupos 1 y 2 fueron acondicionadas controlando la humedad relativa y la temperatura, para alcanzar y mantener los contenidos de humedad establecidos. Obtenido el CH promedio, se calculó el peso seco al horno de la muestra. Con este

valor y al sustituir el CH deseado se obtuvo el peso verde requerido a través de pesadas sucesivas.

2.3. Preparación del tratamiento de preservación

Se preparó una mezcla al 5 % p/p de concentración de ácido bórico (H_3BO_3) y tetraborato sódico pentahidratado ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$), en proporción 4:6 respectivamente para obtener 0,84 % de ácido bórico equivalente (ABE). Luego, las piezas de madera fueron tratadas por difusión sumergiendo las piezas en la solución preservante durante 48 horas. Transcurrido este tiempo, las probetas de madera fueron colocadas en bolsas plásticas, se sellaron y almacenaron durante siete días para obtener la mayor difusión y distribución posible de los compuestos de boro en la madera.

2.4. Determinación de la retención y penetración

Extraídas las piezas de madera de las bolsas plásticas se pesaron. La retención del boro se obtuvo de la diferencia de peso de la madera tratada y sin tratar entre el volumen de la pieza, por la concentración de la solución. Posteriormente, las probetas tratadas fueron cortadas trasversalmente en tres secciones, la primera a una distancia equivalente al 10 % de la longitud de la probeta, la siguiente al 20 % y la tercera a la mitad, es decir al 50 % de la longitud de la muestra. Para conocer la penetración del boro en la madera se siguió la norma AWPA 03-05, método 1 (AWPA, 2005), que indica que el boro en la madera se observa al tornarse la misma en un color rojizo.

2.5. Análisis estadístico

Los datos se procesaron con el programa estadístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS para Windows). Se aplicó un test de diferencia de medias (DHS de Tukey). Los análisis de varianza (ANOVA) se realizaron para encontrar las posibles diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las medias de la retención para los contenidos de humedad y las posiciones en el árbol.

3. Resultados y discusión

La madera es un material altamente heterogéneo, varía no solamente de una especie a otra, sino también dentro del mismo árbol, sus propiedades físicas y naturaleza química presentan una alta variabilidad dependiendo de la posición donde se estudie; esto puede beneficiar o afectar su comportamiento cuando es sometida a diversos procesos de transformación o tratamiento y es un factor que se refleja en el valor de la desviación estándar del valor medio de cualquier medición.

En el Cuadro 1 se muestran los valores de la retención para las tres posiciones y los tres contenidos de humedad ensayados. En general, las menores desviaciones estándar se obtienen en la madera de eucalipto y los más altos en la madera de pino.

Cuadro 1. Retenciones promedios en kg*m⁻³ de acacia, eucalipto y pino patula

Posición	Especie	Contenido de Humedad			N
		Seca	Húmeda	Verde	
Base	Acacia	8,424(0,67)	7,997(0,78)	0,906(0,21)	12
	Eucalipto	3,376(0,36)	3,226(0,23)	0,259(0,07)	12
	P. patula	21,775(3,79)	20,414(1,89)	13,530(3,12)	24
Media	Acacia	5,568(0,60)	5,389(0,62)	1,040(0,32)	12
	Eucalipto	4,213(0,70)	3,489(0,33)	0,594(0,06)	12
	P. patula	19,001(3,63)	11,133(1,99)	5,821(0,92)	24
Ápice	Acacia	3,708(0,53)	2,967(0,23)	0,927(0,26)	12
	Eucalipto	5,159(0,44)	3,930(0,36)	0,146(0,05)	12
	P. patula	9,181(1,89)	9,536(2,10)	6,003(1,04)	24
Total	Acacia	5,900	5,491	0,958	
	Eucalipto	4,249	3,548	0,333	
	P. patula	16,652	13,694	8,451	

Nota: Valores de la desviación estándar entre paréntesis

3.1. Retenciones de los compuestos de boro en la madera de acacia (*Acacia mangium*) según el contenido de humedad y la posición en el árbol

Los valores promedios de retención varían para las tres condiciones de humedad, así como para la posición dentro del árbol. Al considerar el contenido de humedad en las tres posiciones, se tiene que en las condiciones seca y húmeda los promedios de retención son más altos: 5,900 kg/m³ y 5,491 kg/m³ respectivamente, en contraste al valor de la condición verde de 0,958 kg/m³. En relación a la posición en el árbol, se observa tanto para la condición seca como húmeda una disminución de la retención desde la base hacia el ápice. De nuevo, la condición seca retuvo la mayor cantidad de preservante, Cuadro 1. En la condición verde, los valores de retención son muy bajos; esto se debe a que al estar la madera con alto contenido de humedad, tiene menor capacidad de absorber la solución preservante por tener menor disponibilidad de espacios libres.

En la madera de acacia si bien el contenido de humedad tiene influencia sobre la cantidad de preservante que puede retener la madera, también tiene importancia la posición en el árbol de donde procede; la madera procedente de la parte basal retiene más preservante (8,424 kg/m³) que las maderas de las posiciones media y apical (5,568 y 3,708 kg/m³).

Al evaluar el efecto individual y el conjunto de los factores, se obtiene que los efectos individuales de la posición y contenido de humedad presentan valores estadísticos que

Oswaldo Erazo *et al.*

indican que poseen retenciones significativamente diferentes ($\text{Sig.} = 0,000 < 0,05$), lo mismo que las interacciones entre posición y contenido de humedad (F asociado un nivel crítico de 0,000) lo cual indica que tales interacciones poseen un efecto significativo sobre la retención.

El procedimiento de Tukey para las tres posiciones consideradas en la investigación muestra que existen diferencias significativas entre sí ($\text{Sig.} = 0,000 < 0,05$), por lo que cada posición conforma subconjuntos diferentes, lo mismo que para el contenido de humedad de las maderas. Es evidente que la retención varía en las diferentes posiciones del árbol, factor muy importante a considerar cuando se proyecta realizar tratamientos de preservación con esta especie.

3.2. Retenciones de los compuestos de boro en la madera de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) según el contenido de humedad y la posición

La retención promedio en la madera de eucalipto en cada una de las condiciones de humedad disminuyeron (Cuadro 1) desde la condición seca ($4,250 \text{ kg/m}^3$), húmeda ($3,548 \text{ kg/m}^3$) a la verde ($0,333 \text{ kg/m}^3$). En lo que respecta a la posición, sucedió completamente lo contrario, en el ápice se presentaron los mayores valores ($3,079 \text{ kg/m}^3$), seguido por la parte media ($2,766 \text{ kg/m}^3$) y finalmente en la parte basal con $2,287 \text{ kg/m}^3$.

Al comparar los valores de retención en la condición verde con los observados en acacia se destaca que en ambas especies la retención es menor comparada con las otras condiciones, pero, en eucalipto sus valores son más bajos.

Al evaluar los efectos individuales de los factores posición y contenido de humedad los niveles críticos ($\text{Sig.} = 0,000 < 0,05$) indican que poseen retenciones significativamente diferentes. En referencia al efecto interacción entre Posición por CH, el estadístico F tiene asociado un nivel crítico de 0,000, lo cual indica que tales interacciones poseen un efecto significativo sobre la retención.

Según la prueba de Tukey las posiciones resultaron estadísticamente significativas ($\text{Sig.} = 0,000 < 0,05$), en consecuencia las posiciones fueron separadas en tres subconjuntos. De nuevo, esto indica que la difusión de los compuestos de boro varía en las diferentes posiciones del árbol. Del mismo modo, para los tres contenidos de humedad las diferencias en la condición verde difieren de la condición seca y húmeda, y éstas a su vez entre sí, por lo que las medias resultaron significativas, formando sub grupos homogéneos.

3.3. Retenciones de los compuestos de boro en la madera de pino patula (*Pinus patula*) según el contenido de humedad y la posición

La madera de pino patula es muy permeable por lo que se obtuvieron valores de retención más altos en comparación con las otras dos maderas ensayadas, Cuadro 1. En esta madera la retención disminuye a medida que la madera tiene mayor contenido de

humedad, es decir en la condición seca el promedio fue 16,653 kg/m³, en la condición húmeda 13,694 kg/m³ y 8,451 kg/m³ en la condición verde.

El efecto del contenido de humedad y la posición en el árbol se refleja en valores que varían significativamente entre sí, lo mismo que la interacción posición en el árbol y contenido de humedad, que se comprueba con la prueba de Tukey que indica que no existe separación de una media con respecto a otra.

Al analizar en conjunto las tres especies, se observa que la madera de pino patula presentó las retenciones más altas (12,933 kg/m³), considerando tanto los contenidos de humedad, como la posición, seguida por acacia (4,103 kg/m³) y eucalipto (2,711 kg/m³), Figura 1. La retención disminuye desde la condición seca hacia la condición verde. Por otra parte, la madera de pino patula destaca de las otras dos especies al presentar una mayor retención en sus diferentes contenidos de humedad. En las distintas posiciones se presentan las máximas retenciones en orden descendente para pino patula y acacia. Sin embargo en el eucalipto los valores disminuyen desde el ápice hacia la base.

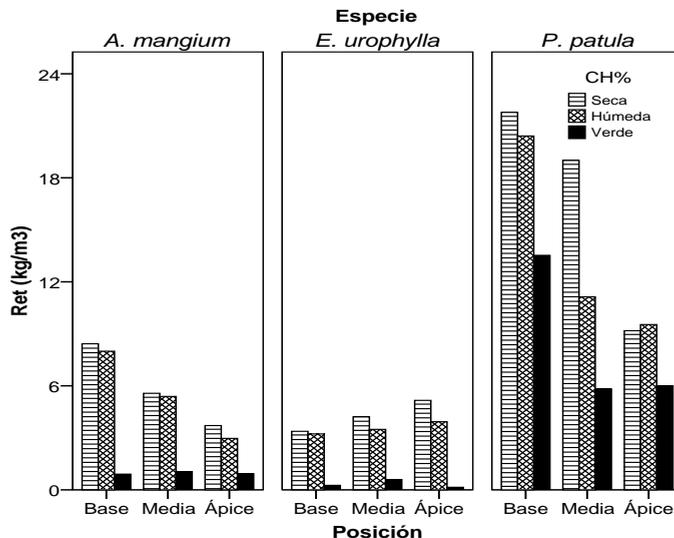


Figura 1. Retención de las especies acacia (*A. mangium*), eucalipto (*E. urophylla*) y pino patula (*P. patula*) según la posición y contenido de humedad

Para explicar las variaciones en las retenciones se debe recordar que existe variabilidad en las especies según su estructura anatómica y química. Acacia y eucalipto son especies latifoliadas y tienen variados contenidos de sustancias extraíbles como gomas y tálides en sus vasos que aumenta la resistencia a la penetración de sustancias preservantes, menos aun cuando se ha ensayado el método de difusión que no utiliza presión. En el

caso del pino patula, conífera, su naturaleza anatómica y densidad facilita la penetración de preservantes reflejado en los niveles de retención obtenidos.

3.4. Penetración de los compuestos de boro en la madera de acacia

La profundidad que alcanza el preservante en la madera es fundamental para determinar su grado de protección. Esta prueba se realizó con curcumina, la cual a través de una reacción química (coloración rojiza) revela la presencia de boro en la madera. Las maderas ensayadas presentaron cuatro tipos de penetración según los tipos de penetración de JUNAC (1988): Total Regular (TR), Total Irregular (TI), Parcial Regular (PR) y Parcial Irregular (PI). La relación entre las variables categóricas permite elaborar una tabla de contingencia para cada una de las secciones de madera: 10 %, 20 % y 50 % de la longitud de la pieza, Cuadro 2.

Cuadro 2. Tipo de penetración en madera de acacia

CH	Posición	10 %	20 %				50 %			
		TR	TR	TI	PR	PI	TR	TI	PR	PI
Seca	Base	100	83,3	16,7	-	-	16,7	66,7	8,3	8,3
	Media	100	66,7	33,3	-	-	16,7	50,0	8,3	25,0
	Ápice	100	25,0	58,3	16,7	-	-	75,0	25,0	-
Húmeda	Base	100	41,7	50,0	8,3	-	8,3	33,3	41,7	16,7
	Media	100	58,3	33,3	-	8,3	-	66,7	25,0	8,3
	Ápice	100	58,3	41,7	-	-	-	25,0	50,0	25,0
Verde	Base	100	-	91,7	-	8,3	-	66,7	8,3	25,0
	Media	100	41,7	58,3	-	-	-	66,7	25,0	8,3
	Ápice	100	58,3	25,0	16,7	-	-	75,0	16,7	8,3

En las secciones correspondientes al 10 % las piezas presentaron en su totalidad penetración total regular (TR), para todas las condiciones de humedad sí como para las posiciones de donde procede la madera. En las piezas cortadas al 20 % de longitud de las probetas el boro se presenta de forma irregular, con disminución del número de piezas con penetración total regular, y aparecen piezas con penetración total irregular (TI) seguida de parcial regular (PR). Al desplazarse hacia el centro de la pieza (50 % de longitud de las piezas), los compuestos de boro no se distribuyen uniformemente, por lo que, en la mayoría de las probetas se presentaron parches sin evidencia de boro (Figura 2), característico de la penetración TI, inclusive, en esta sección se incrementa considerablemente el número de muestras con penetración parcial regular e irregular. A pesar de no presentar un 100 % de penetración TR, la humedad en la madera ayuda a desplazar a los compuestos de boro dentro de la estructura de la madera (Robinson y Barlow, 1.993). Berrocal *et al.*, (2.004) encontraron que en piezas de melina con humedad superior al 100 % en 10 días de proceso de difusión, el boro había penetrado más del

50 % del largo de la pieza. En las condiciones seca y húmeda, la penetración TI presenta los máximos valores porcentuales.



Figura 2. De izquierda a derecha, secciones de una pieza de acacia al 10 %, 20 % y 50 % de la longitud de la pieza. Obsérvese como disminuye la presencia de boro a medida se avanza en profundidad

3.6. Penetración de los compuestos de boro en la madera de eucalipto

La madera de eucalipto no permite una penetración TR en el 100 % de las piezas. Sin embargo, se observa que en las piezas que tienen mayor humedad hay un incremento en porcentaje con penetración total regular; tal como lo reportan Smith y Williams (1.969) la difusión se incrementa a medida que aumenta el contenido de humedad. Este incremento, a su vez, disminuye al desplazarse hacia el centro de la pieza, es decir, 20 % y 50 % de su longitud (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tipo de penetración en madera de eucalipto

CH	Posición	10 %			20 %			50 %			
		TR	TI	PR	TR	TI	PR	TR	TI	PR	PI
Seca	Base	50	50	-	16,7	33,3	50	-	25	75	-
	Media	50	41,7	8,3	8,3	25	66,7	-	25	58,3	16,7
	Ápice	50	50	-	-	41,7	58,3	-	8,3	91,7	-
Húmeda	Base	100	-	-	75	16,7	8,3	-	16,7	83,3	-
	Media	58,3	16,7	25	16,7	41,7	41,7	-	16,7	83,3	-
	Ápice	33,3	50	16,7	16,7	16,7	66,7	-	-	100	-
Verde	Base	91,7	8,3	-	91,7	8,3	-	8,3	75	16,7	-
	Media	100	-	-	75	25,0	-	41,7	58,3	-	-
	Ápice	83,3	16,7	-	83,3	16,7	-	58,3	58,3	-	-

Las penetraciones total irregular y parcial regular (Figura 3) se hacen más evidentes en esta especie, hay clara evidencia que la presencia de tñlides en la estructura de la madera impide la distribución normal del boro, puesto que las mismas impiden distribución uniforme del agua en la madera; por lo tanto, a un bajo contenido de humedad el agua

libre no constituye una fase continua, así que la transferencia del boro es obstaculizada (Krabbenhoft *et al.*, 2004). Existen factores que se pueden controlar, como el CH, la temperatura, la concentración de la solución y el período de difusión; sin embargo, los factores relacionados con las características físicas, químicas y anatómicas no se pueden controlar, éstas en definitiva determinan la distribución de los compuestos del boro (Ra *et al.*, 2002).

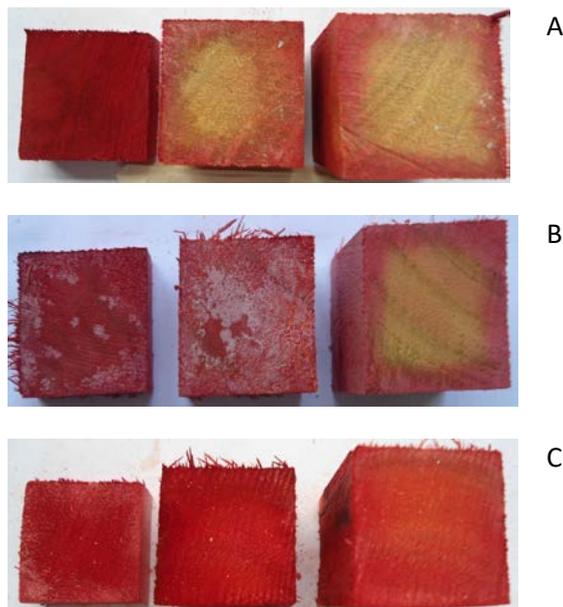


Figura 3. De izquierda a derecha, secciones de *E. urophylla* al 10, 20 y 50 %
A. Condición seca, B. Condición húmeda y C. Condición verde

3.7. Penetración de los compuestos de boro en la madera de pino patula

La madera de pino patula no solamente presentó los valores de retención más altos, sino también el mayor número de piezas con penetración total regular en todas las secciones, Cuadro 4.

Existe una tendencia en la disminución del porcentaje de muestras con penetración TR desde la porción del 20 % hasta el 50 %. Sin embargo, la condición verde, a pesar de tener un porcentaje alto, sigue siendo menor a los reportados para las condiciones seca y húmeda, es decir, no necesariamente en esta especie la humedad alta puede favorecer el proceso de difusión y por ende, la distribución de los compuestos de boro. No obstante mediante el método de preservación utilizado se pueden alcanzar excelentes resultados hasta una profundidad del 20 %, independientemente de la humedad ensayada, aunque es importante destacar que una mayor difusión del boro comienza a un contenido de humedad superior al 20 % (Morrell *et al.*, 1990) (Figura 4).

Cuadro 4. Tipo de penetración en madera de *Pinus patula*

CH	Posición	10 %	20 %			50 %			
		TR	TR	TI	PI	TR	TI	PR	PI
Seca	Base	100	95,8	4,2	-	91,7	8,3	-	-
	Media	100	91,7	8,3	-	83,3	16,7	-	-
	Ápice	100	83,3	16,7	-	79,2	20,8	-	-
Húmeda	Base	100	83,3	16,7	-	79,2	20,8	-	-
	Media	100	100	-	-	83,3	16,7	-	-
	Ápice	100	100	-	-	83,3	12,5	4,2	-
Verde	Base	100	91,7	4,2	4,2	87,5	8,3	-	4,2
	Media	100	79,2	20,8	-	58,3	41,7	-	-
	Ápice	100	83,3	16,7	-	75	25	-	-

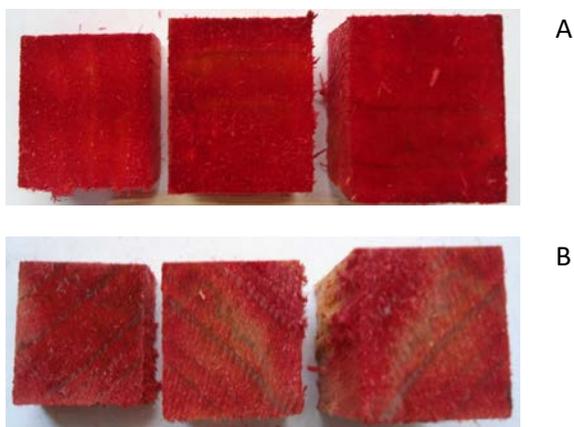


Figura 4. Penetración de la madera de pino patula. A. Penetración total regular en la condición verde. B. Presencia de resina en la madera que dificulta la distribución del boro

4. Conclusiones

A nivel de especie la madera de pino patula presentó los mayores niveles de retención seguido por las maderas de acacia y eucalipto. En relación a la posición, la parte basal predominó sobre la parte media y ápice de pino y acacia. El pino permitió niveles de retención significativamente más altos en comparación con las otras dos especies; en contraste, la máxima retención en la madera de eucalipto fue encontrada en la parte apical, seguida de la sección media siendo ligeramente superior a la parte basal.

Tanto las especies como las diferentes posiciones presentaron diferencias significativas en la ubicación de las piezas en el árbol, lo que determina o influye en gran medida en la cantidad de preservante que pueda retener. La humedad presente en la madera es otro

Oswaldo Erazo *et al.*

factor de gran relevancia para determinados tipos de procesos de preservación, puesto que ejerce un efecto sobre la retención, hay una disminución gradual desde la condición seca hasta la madera verde, tendencia presentada para todas las especies.

La estructura anatómica y composición química de la madera determinan en mayor o menor grado la facilidad para que un preservante puede desplazarse dentro de la madera. Así mismo, los métodos de preservación contribuyen a la movilización y retención de los ingredientes activos. Las distintas condiciones de humedad de una madera deben ser consideradas cuando se proyecta su utilización bajo determinados ambientes. El método de preservación por difusión simple, es sencillo y práctico, puede ser recomendado a los artesanos o pequeñas empresas de transformación mecánica de la madera tomando en cuenta, por una parte, la alta demanda de bienes y acabados de una vivienda de madera, y por otro parte, la carencia de equipos de preservación y la poca cultura hacia la protección de la madera.

5. Referencias bibliográficas

- AMERICAN WOOD-PRESERVERS' ASSOCIATION (AWPA). 2005. Standard methods for determining penetration of preservatives and fire retardants. Standard A3-05.Method 1. Method for determining penetration of boron-containing preservatives and fire retardants. AWPA Book of Standards 2005. Selma, Alabama.
- BERROCAL, A., F. MUÑOZ y G. GONZÁLEZ. 2004. Ensayo de penetrabilidad de dos preservantes a base de boro en madera de melina (*Gmelina arborea*) crecida en Costa Rica. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 1(3): 1-12.
- JUNAC. 1988. *Manual del Grupo Andino para la Preservación de maderas*. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú. 193 p.
- MELO, R., J. CESPEDES y C. ZAROR. 1992. Diffusion of boron salts in heartwood specimens of Chilean-grown *Eucalyptus globulus*. *Wood Protection* 2(1): 9-14.
- MORELL, J., C. SEXTON y A. PRESTON. 1990. Effect of moisture content of Douglas-fir heartwood on longitudinal diffusion from fused borate rods. *Forest Products Journal* 40(4):37-40.
- KRABBENHOFT, K., P. HOFFMERYER, C. BECHGAARD y L. DAMKILDE. 2004. Finite element analysis of boron diffusion in wooden poles. *Wood Fiber Science* 36(4):573-584.
- ROBINSON, W. y R. BARLOW. 1993. Diffusion of disodium octaborate tetrahydrate into southern yellow pine to control wood-infesting beetles. Proceedings of the First International Conference on Urban Pests. K.B. Wildey and W. H. Robinson (editors).187-191.

- SMITH, W. y A. WILLIAMS. 1.969. Wood preservation by the boron diffusion process the effect of moisture content on the diffusion time. *J. Int. of Wood Sci.* 22(4):37–40.
- TAMBLYN, N. 1.985. Treatment of wood by diffusion, In: “Preservation of Timber in the Tropics”, Ed. W.P.K. Findlay, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk, Whitechurch, England. Chapter 6.121p.
- VINDEN, P. 1.990. Diffusion treatment adaptations for small volume treaters. In: Proceedings, 1st international conference on wood protection with diffusible preservatives. Madison, WI: Forest Products Society: 80-86pp.
- VINDEN, P., J. ROMERO y H. HUAN. 1.997. Double diffusion treatments. In: Proceedings, 2nd international conference on wood protection with diffusible preservatives and pesticides. Madison, WI: Forest Products Society: 79-84 p.
- WILLIAMS, L. y M. MITCHOFF. 1990. In: ‘First International Conference on Wood protection Diffusible Preservatives’, Proceedings 47355. Forest Product Res. Soc. Madison, WI. USA.136 p.
- WILLIAMS, L. 1996. Borate wood-protection compounds: A review of research and commercial use. *APT Bulletin* 27(4): 46-51.