

Cuando se analizan los resultados de la compresión paralela, la madera de pino ponderosa presenta valores muy bajos a medianos para el caso de MOR y muy bajos en el caso de MOE. En el caso de la compresión perpendicular, los valores de MOR encontrados la indican como una madera con valores mayores a $9,8 \text{ N/mm}^2$. Los valores determinados para el estudio del corte paralelo indican a la madera del pino ponderosa como poco resistente a la rotura.

Los parámetros físico-mecánicos encontrados permiten inferir un comportamiento aceptable de la madera de pino ponderosa para usos estructurales como madera maciza y encolada. Se plantea la importancia de continuar con estudios en madera estructural, continuando con métodos destructivos y experimentando métodos no destructivos que permitirían profundizar sobre la variación intra-específica de la especie, bajo diferentes sistemas de manejo, incorporando los sistemas silvopastoriles como alternativa productiva para la región. La complementación de estos trabajos a nivel intra-individual (variación radial y en altura) resulta relevante para la determinación de la edad a la cual las propiedades comienzan a estabilizarse. Incorporar estos resultados a la herramienta de toma de decisiones permitiría no solo establecer la cantidad de madera a obtener bajo diferentes propuestas de manejo silvícola, sino además, la calidad de los productos maderables.

Comportamiento a la impregnación por vacío y presión de la madera juvenil de pino ponderosa (Gabriel Keil, María Mercedes Refort, Ricardo Cámara, Ismael Andía - LIMAD, FCAyF-UNLP, Empresa Química Bosques S. A., AUSMA-UNCOMA)

Las maderas de especies forestales cultivadas pueden ampliar sus aptitudes de usos con la incorporación de sustancias químicas tendientes a mejorar su durabilidad natural, densidad, dureza y resistencia al fuego, entre otras características de importancia (Keil 2002). Asimismo, la madera en servicio, está expuesta a ataques de agentes destructores, principalmente insectos y hongos xilófagos, lo cual requiere prever el empleo de tratamientos de protección adecuados mediante la aplicación de productos eficaces y seguros para el hombre y el ambiente. La selección de estos tratamientos implica conocer, la estructura, composición y durabilidad de la madera como así también las condiciones a las que estará expuesta.

La preservación de la madera incrementa su vida útil, mediante procesos físico-químicos, con la incorporación de un producto fungicida y/o insecticida que puede ser una sustancia activa, una formulación o un dispositivo (Andía & Keil 2004). En este sentido, los métodos de preservación pueden ser con o sin presión, siendo el método Bethell o “célula llena” (proceso con presión) el más conocido y empleado en la industria de la impregnación en Argentina (Andía & Keil 2004).

Dentro de los productos preservantes, el arseniato de cobre cromatado (CCA), ha tenido amplia difusión mundial, aunque en la actualidad, se encuentra prohibido para su empleo en viviendas de Europa y EEUU, siendo la tendencia actual la búsqueda de productos ambientalmente más seguros. En este sentido, los compuestos hidrosolubles de boro (inicialmente utilizados como retardadores del fuego) representan un menor compromiso ambiental (considerándose más seguros), entre las alternativas de protección disponible para madera. Estos compuestos protegen a la madera de hongos e insectos, principalmente termitas; sin



Proceso, producto y gestión de la madera de pino ponderosa

embargo, su utilidad en madera para uso en exteriores es limitada a causa de su facilidad para lixiviarse, limitándose su uso a lugares secos, protegidos del intemperismo o interior. En este contexto, países como EE.UU., Alemania y Suecia han optado por el reemplazo del CCA por productos alternativos, como el CCB (Cromo Cobre Boro), ACQ (compuestos de cobre cuaternarios alcalinos), con la desventaja de su mayor costo y con la escasa disponibilidad de datos sobre su comportamiento e impacto ambiental (Borrallo Jiménez et al. 2007).

Dentro de las limitantes en el uso de la madera de esta especie para fines constructivos, se puede mencionar su baja durabilidad natural y bajas densidades. Otra limitante la constituye el alto porcentaje de madera juvenil actualmente comercializable (Zingoni et al. 2007), con valores de contracciones moderadas y susceptibilidad a los agentes causantes de la mancha azul y agentes xilófagos, afectando en este último caso la durabilidad de la madera. Sin embargo la penetrabilidad de la albura puede mencionarse como una ventaja de interés económico-industrial; su duramen es moderadamente resistente a dichos tratamientos (INFOR 1988).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento de la madera juvenil de pino ponderosa a la impregnación (en autoclave) con distintas soluciones protectoras.



Figura 7 Dimensiones de probetas (10 x 10 x 150 mm, 10 x 50 x 200 mm, 15 x 100 x 400 mm, 50 x 50 x 150 mm, 20 x 20 x 400 mm) a impregnar con las diferentes soluciones y autoclave utilizada.

Se emplearon soluciones hidrosolubles impregnantes de paraformaldehído; mezcla a base de boro (10% de fosfato ácido de amonio, 60% de sulfato de amonio, 20% de ácido bórico y 10% de borato de sodio); mezcla fosfato borato (6,8% de fosfato monoamónico, 1,2% de decaborato de sodio y C.S.P. H₂O (100g)); CCA y Biopreservante (preservante biodegradable de la línea de “Química Verde”; desarrollado por la UNL-CONICET en trámite de patentamiento (Murguía 2012).

Para la realización del ensayo se realizaron las siguientes disoluciones de los productos mencionados:

- **Solución 1** = paraformaldehído al 100% (P 100)
- **Solución 2** = paraformaldehído al 50% (P 50)
- **Solución 3** = paraformaldehído al 25% (P 25)
- **Solución 4** = mezcla a base de boro al 15% (B 15)
- **Solución 5** = mezcla a base de boro al 10% (B 10)
- **Solución 6** = mezcla fosfato borato al 8% (F 8)



- **Solución 7** = CCA al 2% (C 2)
- **Solución 8** = biopreservante al 5% (BP 5).

Las probetas fueron impregnadas aplicando el método de Bethell o “célula llena”. Fueron secadas (debajo del punto de saturación de las fibras) y colocadas dentro del cilindro de impregnación. Se generó vacío de 600 mm de Hg durante 10 minutos, se inundó el cilindro con la solución impregnante y se aplicó presión hasta alcanzar un nivel máximo de 0,49 N/mm², manteniéndola por 5 minutos. Luego se drenó lentamente el cilindro del sobrante de solución que no ingresó en la madera, disminuyendo la presión gradualmente. Se realizó un vacío final, de la misma magnitud y tiempo que el inicial.

Inmediatamente posterior a la impregnación, el 20% de las probetas fueron cortadas por la mitad de su longitud a fin de corroborar la penetración del impregnante, realizando una observación visual y sin reactivos en la escuadría de las mismas. Previo y posteriormente a la impregnación, se pesaron las probetas (Pi: peso inicial y Pf: peso final, respectivamente) en balanza analítica de 0,01 g de precisión, y se determinó el volumen (V) con calibre micrométrico, para determinar el valor de absorción (A). Luego, con el producto de la absorción, por la concentración de la solución (C), se obtuvo el valor de la retención nominal (Rn) expresada en kg de preservante por metro cúbico de madera. Para la determinación del valor de la retención real se ajustaron los valores nominales de retención según la densidad aparente de la madera.

Los parámetros físicos de la madera de ensayo fueron: CH: 12,30% (3,18%), Do: 0,37 g/cm³ (9,32%), Dn: 0,40 g/cm³ (9,53%), Dn12%: 0,39 g/cm³ (9,22%), indicándose entre paréntesis los valores de coeficientes de variabilidad. El CH hallado correspondió a la humedad de equilibrio higroscópico (HEH) de la madera en uso y apto para la impregnación en autoclave. Los valores de Dn y Do categorizaron a la madera como liviana. El valor de Do fue empleado en la obtención de los valores de retención real.

Los valores de absorción se ubicaron entre 448 y 636 g/cm³, valores estos aceptables para la impregnación de madera de conífera (ttabla 9). Siendo las soluciones 2, 4 y 5 las de menores valores de absorción.

Tabla 9 Parámetros de impregnación para los 8 tratamientos.

Tratamiento	Absorción (g/cm ³)	Retención nominal (g/cm ³)	Retención real (g/cm ³)	Penetración (%)
B10	448,006 a	44,801	36,826	Total
B15	499,079 a	74,862	61,536	Total
P50	504,539 a	252,269	207,366	Total
BP5	542,022 ab	27,101	22,277	Total
F8	551,356 ab	44,108	36,257	Total
P25	608,030 ab	234,702	192,925	Total
P100	636,101 b	636,101	522,875	Total
C2	636,871 b	8,789	7,224	Total

Letras diferentes indican diferencias significativas con el test de Tukey (P<0,05)

Malcov (2002) sostiene que la absorción depende de características de la especie, tratamiento utilizado, condiciones de almacenamiento y tipo de impregnante. En este sentido, dado que la madera, el tratamiento y las condiciones de almacenamiento posterior a la impregnación se mantuvieron constantes, puede



inferirse que fue el tipo de impregnante quien influyó en las diferencias en los valores de absorción hallados.

En estudios realizados con *Pinus halepensis* empleando CCB como impregnante hidrosoluble, se obtuvieron valores medios de absorción de 583,71 g/cm³ mientras que en otras especies del género *Pinus*, de mayor densidad como *P. radiata*, *P. pinea* y el *P. pinaster* se hallaron valores similares: 477,30 g/cm³, 560,54 g/cm³ y 571,64 g/cm³ respectivamente.

Los valores de retención real, al estar influenciados por la concentración de la solución empleada, no son comparables entre sí, hallándose para CCA un valor que podría aplicarse a madera de pino expuesta al exterior sin contacto con el suelo.

En la impregnación con los 8 productos ensayados, la penetración fue total en toda la probeta, lo que clasifica a la madera juvenil de pino ponderosa como fácilmente impregnable con soluciones hidrosolubles, pudiendo protegerse todo el volumen de la pieza de madera. En base a los resultados hallados, es decir, una madera apta para ser impregnada por productos hidrosolubles fungicidas e ignífugos, se considera que futuros ensayos sobre comportamiento al fuego, toxicidad frente a agentes bióticos de deterioro y permanencia, permitirán evaluar la eficiencia de estos productos en la mejora de los aspectos tecnológicos mencionados. Esto permitirá ampliar el espectro de usos de la madera de pino ponderosa con fines constructivos, haciendo de dicha madera un material confiable y previsible, revirtiendo en cierto modo, el actual concepto negativo de la especie.

Comportamiento de la madera juvenil del pino ponderosa expuesta a degradación por *Gloeophyllum sepiarium*, cepa responsable de pudrición castaña (Mónica Murace, Irina Mozo, Patricia Rivas, Gabriel Keil – LIMAD, FCAyF-UNLP)

Los productos de la madera durante su utilización quedan expuestos a la acción de los hongos xilófagos, organismos considerados responsables del deterioro más frecuente y agresivo (particularmente los causantes de pudrición castaña) de la madera en servicio. Conocer la resistencia de las maderas a la degradación fúngica (durabilidad) permite estimar su vida útil en condiciones de uso extremas (por ej madera al exterior y en contacto con el suelo), propicias para este tipo de deterioro y, en función de ello, definir el uso más apropiado o bien la aplicación de tratamientos preservantes, en ambos casos con el propósito de prolongar su utilidad en servicio.

Consecuencia de la baja durabilidad conocida de la madera del pino ponderosa, actualmente es utilizada previo tratamiento con CCA. El reemplazo del CCA en maderas destinadas a la construcción es una tendencia mundial debido a que sus principios activos poseen ciertos cuestionamientos ambientales y para el ser humano, situación que conduce a la búsqueda permanente de preservantes alternativos.

Para una determinada clase de resistencia a la degradación, la vida útil de una pieza expuesta a sollicitación estructural estará influenciada por el tipo de pudrición. Las pudriciones castañas, como la causada por *Gloeophyllum sepiarium*, reducen notablemente la resistencia mecánica, principalmente la flexión estática, desde los estadios iniciales del proceso de colonización y degradación, producto de la descomposición de los polisacáridos estructurales (celulosa y hemicelulosas). La



Proceso, producto y gestión de la madera de pino ponderosa