

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

degradación de dichos compuestos ocurre inicialmente y con gran intensidad en el estrato S2 de la pared de las células del leño debido a su bajo porcentaje relativo de lignina y, consecuentemente, a la mayor exposición de los polisacáridos mencionados a las enzimas fúngicas. Esta descomposición provoca la alteración estructural de dicho estrato, considerado determinante de la resistencia mecánica de las maderas producto de su espesor, composición química y distribución espacial de las microfibrillas de celulosa.

Este estudio evalúa 1) la durabilidad adquirida por la madera juvenil del pino ponderosa al ser impregnada con soluciones hidrosolubles de mayor compromiso ambiental que el CCA y 2) los efectos de *Gloeophyllum sepiarium* sobre la flexión estática de la madera juvenil del pino ponderosa a partir de estudios de asociación con la pérdida de peso, composición química y densidad obtenidos.

Muestras de maderas de pino ponderosas recolectadas a partir de los 0,30 m del suelo de individuos de 22 años de edad, implantados en la zona del lago Meliquina (Neuquén) fueron impregnadas mediante el método Bethell o "célula llena". Las soluciones preservantes utilizadas, sus concentraciones y el valor medio de retención nominal para cada una de ellas son detallados en la tabla 10. La inclusión del CCA es referencial, producto de su generalizada aplicación, consecuencia de su conocida efectividad en torno a aumentar la resistencia de los productos de madera al deterioro biológico.

A partir del material preservado fueron obtenidas probetas cúbicas -30 x solución impregnante x concentración- de 20 mm de lado, con un contenido de humedad -CH- del 12,4 % según norma IRAM 9532 para su utilización en los ensayos de durabilidad adquirida. Treinta probetas de las mismas características provenientes de madera sin impregnar fueron consideradas testigos (durabilidad natural). Estos ensayos fueron realizados con la cepa *Gloeophyllum sepiarium*, aplicando la metodología IRAM 9518. Cumplido el tiempo de ensayo (90 días) fue determinado el porcentaje medio de pérdida de peso ($Pp\% = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$, donde: P_i = peso de las probetas antes de su exposición a *G. sepiarium*, en g; P_f = peso de las probetas luego de su exposición a *G. sepiarium*, en g) para las probetas de cada tratamiento y, en base a estos, la clase/tipo de resistencia de la madera tratada a la degradación fúngica (durabilidad adquirida) según normas ASTM D 2017-81/86-, indicadora del grado de toxicidad de los productos ensayados (IRAM 9518).

Figura 8 Izquierda: cepa fúngica en base sobre sustrato. Derecha: frascos de pudrición.



Madera sin impregnar fue utilizada para la realización de los ensayos de flexión estática según norma IRAM 9542. Los parámetros determinados fueron módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE). La composición química previa transformación en aserrín y la densidad a partir de probetas de 20 mm de lado obtenidas de las usadas para los estudios de flexión según norma IRAM 9544 fueron establecidas. Para el material expuesto a degradación, los parámetros de flexión, la pérdida de peso, composición química y densidad al cabo de 120 días de exposición a *G. sepiarium* fueron establecidos.

Tabla 10 Soluciones preservantes ensayadas, sus concentraciones y valores de retención obtenidos.

Solución preservante	Concentración (%)	Retención nominal Kg/m ³
Paraformaldehído, (P)	P 100	636,10
Paraformaldehído, (P)	P 50	252,27
Paraformaldehído, (P)	P 25	234,70
Fosfato ácido de amonio *, Sulfato de amonio, Ácido bórico, Borato de sodio, (B)	B 15	74,86
Fosfato ácido de amonio *, Sulfato de amonio, Ácido bórico, Borato de sodio (B)	B 10	44,80
Fosfato monoamónico - decaborato sodio** (PNM)	PNM 8	44,11
Biopreservante*** (BP)	BP 5	27,10
Arseniato de cobre cromatado (CCA)	CCA 2	8,79

*Gentileza CIDEPINT. ** Gentileza Química Bosques. *** Desarrollado por el equipo del Dr. Marcelo Murguía CONICET – UNL, datos presentados en el III Congreso Iberoamericano de Protección de la Madera (Chile, 2012).

La madera de pino ponderosa (tratamiento **Testigo**, tabla 11) se comporta como “no resistente” a la acción de *G. sepiarium* en condiciones de uso de alto riesgo para el desarrollo de este tipo de deterioro.

Tabla 11 Valores de pérdida de peso (%) y clase de resistencia para la madera de pino ponderosa testigo e impregnada expuesta a *G. sepiarium*

Tratamiento	Pérdida de peso (%)	Clase de resistencia* (indicadora de toxicidad)
Testigo (T)	53 (10,70)	no resistente
Paraformaldehído (P) P 25%	33,85 (12,22)	moderadamente resistente
Paraformaldehído (P) P 50%	32,35 (18,48)	moderadamente resistente
Paraformaldehído (P) P 100%	33,30 (15,33)	moderadamente resistente
Fosfato ácido de amonio, Sulfato de amonio, Ácido bórico, Borato de sodio (B) B 10%	4,48 (56,79)	altamente resistente
Fosfato ácido de amonio, Sulfato de amonio, Ácido bórico, Borato de sodio (B) B 15%	13,25 (15,47)	resistente
Fosfato monoamónico-decaborato sodio (PNM) PNM 8%	7,60 (34,16)	altamente resistente
Preservante biodegradable (PB) PB 5%	1,63 (93,11)	altamente resistente
Arseniato de cobre cromatado (CCA) CCA 2%	8,96 (45,27)	altamente resistente

* ASTM D-2017-81/86: altamente resistente: Pp% 0-10; resistente: Pp% 11-24; moderadamente resistente: Pp% 25-44; no resistente: Pp% ≥ 45.

Los preservantes ensayados incrementan la durabilidad de la madera juvenil. Las soluciones B10%, PNM8%, PB5% determinan igual clase de resistencia que el CCA,



Proceso, producto y gestión de la madera de pino ponderosa

constituyendo posibles alternativas a este compuesto en situaciones de uso que no impliquen lixiviación. Estudios de permanencia están siendo abordados a fin de determinar el comportamiento de estas soluciones en situaciones de uso que los expongan a los efectos del intemperismo, en las cuales es conocida la excelente “performance” del CCA.

Según los resultados obtenidos, si bien la madera de pino ponderosa se comporta como no resistente frente a *G. sepiarium* y por esto ha de esperarse una vida útil de 5 años o menor en condiciones de uso extremas, su utilidad en servicio expuesta a esfuerzos de flexión se vería aún más limitada al ser degradada por este hongo de pudrición castaña (tabla 12). En esta madera, *G. sepiarium* produce una fuerte caída en los valores de MOR y MOE -49% y 55%, respectivamente, en relación al testigo con bajo porcentaje de Pp (<5%), perjuicio que en función de las determinaciones realizadas sólo pudo ser evidenciado mediante ensayos mecánicos y la caracterización química del material (principalmente por la disminución en el porcentaje de celulosa)

Tabla 12 Valores de MOR y MOE en flexión estática, composición química y densidad normal para la madera testigo y expuesta a degradación por *G. sepiarium*. Los CV se indican entre paréntesis.

Madera condición	MOR ¹ (N/mm ²)	MOE ¹ (N/mm ²)	Composición química ⁵				Dn ^{1,4} (g/cm ³)
			Extraíbles		Lignina	Celulosa ⁶	
			ROH- benceno	Agua caliente			
P. ponderosa Testigo	49,33 a (16,84) MB ²	3497,51 a (18,79) MB ³	4,21	4,89	29,82	68,85	0,40 a (2,47)
P. ponderosa exp. degradación Pp: 1,30%	25,15 b (18,41) MB ²	1586,41 b (27,78) MB ³	2,55	3,47	25,86	60,25	0,39 a (2,25)

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

² MOR MB: muy bajo (<50)

³ MOE MB: muy bajo (<10000) (Rivera Moreno, 2004)

⁴ Madera liviana, rango: 0,351 a 0,550 g.cm⁻³ (Coronel, 1994).

⁵ Valores expresados en %.

⁶ Porcentaje superior al esperado, pero igualmente representativo de un proceso de degradación por una cepa de pudrición castaña; actualmente la técnica esta en ajuste.

De acuerdo con esto, el porcentaje de Pp fue bajo; la apariencia y densidad de esta madera fueron similares a la del testigo en correspondencia con el porcentaje de Pp obtenido y, a causa de ello, no permitieron identificar un proceso de degradación que condujera a pensar en la alteración de su capacidad de resistir un esfuerzo. Si bien resultados similares debieran esperarse para esta madera expuesta a la acción de otras especies responsable de pudrición castaña (existen antecedentes en cuanto al impacto negativo de distintas especies fúngicas responsables de este tipo de pudrición sobre las propiedades mecánicas), debe tenerse en cuenta que para un determinado grado de degradación, la intensidad de alteración de su capacidad para resistir una carga depende de numerosos factores incluyendo la propiedad considerada (la flexión estática es una de las más afectadas), la cepa de ensayo, la especie de madera y las condiciones del ensayo.

