

Aplicación de silicatos en madera de pino ponderosa para pisos, mueblería y otros usos en la construcción (María Mercedes Refort, Ricardo Cámara, María Lujan Luna, Gabriel Keil, LIMAD, FCAYF-UNLP, Química Bosques S. A., FCNyM-UNLP)

Existen numerosas investigaciones sobre la incorporación de silicio a la madera con el objeto de mejorar sus características naturales. Diferentes formulaciones a base de dióxido de silicio han sido incorporadas en la madera con fines ignífugos y biocidas, (Pereyra & Giudice, 2008). Asimismo, el silicio combinado con el boro realiza un proceso de polimerización en la madera, impidiendo la solubilización del boro, aportando dureza, aumentando la resistencia mecánica y su estabilidad dimensional (González, 2008), características relevantes en el empleo de la madera para la fabricación de muebles, pisos y piezas para la construcción.

Las propiedades físicas en general y el valor de densidad en particular, constituyen un importante criterio de evaluación de la calidad de la madera para diferentes usos. Así, los ensayos de absorción de agua por inmersión dan un parámetro sobre la impermeabilización del material (Keil et al., 2005), mientras que los valores de dureza pueden limitar el uso de la madera en la fabricación de pisos y muebles. El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento de la madera de pino ponderosa impregnada con diferentes productos y tratamientos y su influencia sobre las propiedades tecnológicas.

Listones secos y cepillados fueron dimensionados en probetas de 50x50x50mm. Las impregnaciones se realizaron en planta piloto con autoclave de 40 litros de capacidad en la Empresa Química Bosques S.A. Las soluciones y tratamientos de impregnación se especifican en la tabla 16.

Tabla 16 Soluciones, métodos y parámetros del proceso de impregnación

Solución	Tratamiento	Método	Parámetros de Proceso
Solución A SiO ₂ (10g) Na ₂ O(1,80g) K ₂ O(1,82g) C.S.P. H ₂ O (100g)	A	Bethell modificado	Vacío inicial 650Hg 10 min. Presión 3,50kg.cm ⁻² 20 min. Vacío final no. Temperatura 18°C
	B	Bethell modificado	Vacío inicial 650Hg 10 min. Presión 3,50kg.cm ⁻² 20 min. Vacío final no. Temperatura 45°C
	C	Baño caliente frío	Calentamiento 85°C 60 min., mantenido hasta enfriamiento 18°C. Tiempo total 12 hr
	D	Bethell modificado	Vacío inicial 650Hg 30 min. Presión 3,50kg.cm ⁻² 360 min. Vacío final no. Temperatura 18°C
	E	Bethell modificado	Vacío inicial 650Hg 30 min. Presión 3,50kg.cm ⁻² 720 min. Vacío final no. Temperatura 18°C
Solución B SiO ₂ (10g) Na ₂ O(3,15g) K ₂ O(0,60g)B ₂ O ₃ (0,85g)C.S.P. H ₂ O(100g)	F	Bethell modificado	Vacío inicial 650Hg, 10 min. Presión 3,50kg.cm ⁻² 20 min. Vacío final no. Temperatura 18°C
	G	Bethell modificado	Vacío inicial 650Hg 10 min. Presión 3,50kg.cm ⁻² 20 min. Vacío final no. Temperatura 45°C
	H	Baño caliente frío	Calentamiento 85°C 60 min. mantenido hasta enfriamiento 18°C. Tiempo total 12 hr
Solución C SiO ₂ (22,6g)Na ₂ O(4,10 g)K ₂ O (6,20 g)	SiO ₂ 25%	Bethell tradicional	Vacío inicial 600Hg 10 min. 4,9 Kg.cm ⁻² 5 min. Vacío final 600Hg 10 min.
	SiO ₂ 10%	Bethell tradicional	Vacío inicial 600Hg 10 min. 4,9 Kg.cm ⁻² 5 min. Vacío final 600Hg 10 min.
	SiO ₂ 15%	Bethell tradicional	Vacío inicial 600Hg 10 min. 4,9 Kg.cm ⁻² 5 min. Vacío final 600Hg 10 min.

Se calcularon según norma IRAM 9600, absorción (A), retención real (Ra) y nominal (Rn). La absorción se calculó por diferencia de pesos antes y después de la inmersión. Se ensayaron 4 tiempos de inmersión: 24, 48, 168 y 360 horas. La dureza



Janka fue determinada según norma IRAM 9570. Fueron determinadas las solicitaciones en cada uno de los planos de cada probeta (transversal, radial y tangencial). El estudio de la distribución del impregnante en el tejido se realizó con Microscopio Electrónico de Barrido (MEB). Se obtuvieron cortes en los planos transversal, longitudinal radial y tangencial.

El contenido de humedad de la madera tuvo un valor medio de 8,5%, siendo equivalente a un secado en horno para pisos. Se observan diferencias significativas entre tratamientos (tabla 17). La densidad aumentó en todos los tratamientos, hasta un 16%. Este aumento en el material impregnado presupone una mejora en las restantes.

Tabla 17 Resultados de la densidad normal del testigo y los 8 tratamientos de impregnación.

Concentración SiO ₂ (%)	Densidad aparente normal (g/cm ³)*
Testigo	0,43 a
A	0,45 abc
B	0,46 ab
C	0,48 bc
D	0,44 ab
E	0,49 bc
F	0,50 c
G	0,44 a
H	0,44 a
SiO ₂ 5%	0,43 a
SiO ₂ 10%	0,47 bc
SiO ₂ 15%	0,47 bc

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

Se observaron diferencias significativas en los tres parámetros de impregnación (tabla 18). Los valores de absorción en este estudio fueron en la mayoría de los tratamientos superiores a los encontrados por Pereyra & Giudice (2009) en un estudio sobre el empleo de silicatos de sodio y potasio con fines ignífugos (122 a 126 g/cm³) en *Araucaria angustifolia*.

Tabla 18 Parámetros de impregnación de los 11 tratamientos.

Tratamientos	A (g/cm ³)	Rn (g/cm ³)	Ra (g/cm ³)
A	119,72 a	8,98 a	7,98 a
B	145,64 a	10,92 a	9,71 a
C	405,04 c	30,38 c	27,00 c
D	152,32 a	11,42 a	10,15 a
E	153,96 a	11,55 a	10,26 a
F	556,76 d	41,76 d	37,12 d
G	322,44 b	24,78 b	21,50 b
H	424,20 c	32,82 c	28,28 c
SiO ₂ 5%	130,15 a	6,51 a	5,35 a
SiO ₂ 10%	98,20 a	9,82 b	8,07 b
SiO ₂ 15%	74,01 e	11,10 c	9,12 c

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

Los valores de durezas tangencial y radial no mostraron un comportamiento uniforme, experimentando mejoras sólo en algunos casos (tabla 19). La dureza transversal aumentó en todos los casos, presentaron diferencias significativas con el testigo. En esta dirección se lograron aumentos de hasta un 69%. La diferencia hallada entre los planos de estudio pudo deberse a la mayor penetración en el sentido axial del silicato, debido a la disposición de los elementos anatómicos



(JUNAC, 1988). Los resultados de dureza transversal, tangencial y radial, se muestran en la tabla 19.

Tabla 19 Resultados de dureza Janka, del testigo y probetas impregnadas.

Tratamientos	Dureza Transversal (N.mm ⁻²)	Dureza Tangencial (N.mm ⁻²)	Dureza Radial (N.mm ⁻²)
TESTIGO	29,77 a	27,42 abc	24,90 abc
A	43,73 c	28,48 abc	26,09 abcd
B	43,00 c	32,71 cd	28,36 cd
C	46,67 cd	27,50 abcd	26,52 bcd
D	46,18 cd	31,79 abc	25,66 abc
E	45,94 cd	36,08 d	33,69 e
F	47,20 cd	30,22 bcd	27,03 bcd
G	42,75 c	25,30 a	27,81 d
H	43,86 c	24,68 a	27,99 bcd
SiO ₂ 5%	44,43 c	26,18 abc	22,43 a
SiO ₂ 10%	49,93 d	28,31 abc	25,93 abcd
SiO ₂ 15%	36,81 b	27,93 abc	24,25 ab

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

El ensayo de dureza permite determinar la aptitud de la madera para ser usada en la fabricación de pisos o solados. En este caso, se logró un aumento importante de la dureza transversal, pudiendo considerarse adecuada para pisos tipo adoquín donde la superficie transversal es la sometida a desgaste.

En cuanto a la absorción de agua por inmersión como indicador de la impermeabilidad del material, se puede apreciar que los tratamientos de la A a la H, se diferenciaron significativamente del testigo. Sin embargo los tratamientos de SiO₂ al 5, 10 y 15% tuvieron un comportamiento inferior a los restantes. Los valores hallados en los tratamientos de mejor comportamiento a las 360 horas fueron similares al de la madera de álamo impregnada con metacrilato de metilo, donde Andía et al. (1996) hallaron un valor de 44,21% a las 384 horas. La disminución de la absorción de agua, presupone una reducción en los cambios dimensionales que experimentan las piezas de madera en servicio. En la tabla 20 se muestran los resultados de absorción de agua para los 4 tiempos de inmersión.

Tabla 20 Resultados de absorción de agua de las probetas impregnadas y el testigo.

Tratamientos	Absorción de agua (%)			
	24 horas	48 horas	168 horas	360 horas
A	21,01 a	26,49 a	35,54 a	41,93 a
B	23,47 bcd	28,38 abc	36,61 abc	44,13 ab
C	25,42 d	30,94 cd	37,34 abc	44,48 ab
D	21,62 ab	27,84 ab	36,27 ab	44,24 ab
E	23,04 abc	29,17 bcd	37,44 abc	45,26 b
F	29,02 e	34,55 e	40,73 e	46,84 b
G	23,30 abcd	30,42 bcd	38,28 bc	45,93 b
H	24,61 cd	31,12 d	38,63 cd	45,93 b
TESTIGO	44,01 f	47,82 f	72,54 f	84,67 c
SiO ₂ 5%	43,59 f	50,84 f	78,63 f	90,15 c
SiO ₂ 10%	38,40 g	45,50 g	70,10 g	80,07 d
SiO ₂ 15%	34,08 g	40,23 g	69,17 g	76,43 d

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

La incorporación de silicatos permite mejorar las propiedades ignífugas y biocidas. Entre los resultados más destacables del tratamiento de la madera de pino ponderosa con silicatos se remarca: 1) que es posible la incorporación de dióxido de



Proceso, producto y gestión de la madera de pino ponderosa

silicio, sodio, potasio y boro en la madera de pino ponderosa, 2) que los valores de absorción de agua presuponen una mejora importante en la impermeabilización del material, 3) que el aumento del valor de densidad aparente normal de la madera, presupone una mejora en la mayoría de las propiedades físicas y mecánicas y 4) las mejoras logradas en las características naturales de la madera, potencian el uso de la madera impregnada con silicatos, para pisos y muebles.

Ensayos sobre recubrimientos en madera de pino ponderosa para uso exterior. Resultados preliminares (Gabriel Keil, Ricardo Cámara, María Mercedes Refort - LIMAD, FCAyF-UNLP, Química Bosques S. A.)

La madera es deteriorada en servicio por diversos agentes, entre ellos los agentes físicos tales como la erosión, radiaciones y variaciones térmicas, que sumado a la acción del agua tanto en fase líquida como vapor inician el deterioro favoreciendo las condiciones para el desarrollo de agentes biológicos como mohos y hongos. Este proceso de deterioro general de la madera se lo conoce como *intemperismo*.

Se puede definir a los recubrimientos como productos que se aplican sobre la superficie de la madera con la finalidad de preservarla del deterioro producido por la acción de los agentes físicos, además de embellecerla. Existen en el mercado una serie de productos para la madera, pero ninguno ensayado específicamente para pino ponderosa. La porosidad, presencia de extractivos como resinas, densidad, grano inclinado, diferencias entre leño temprano y tardío, presencia de nudos, son las características más importantes que pueden influir en la correcta incorporación y anclaje del recubrimiento en la madera y su efectividad y permanencia durante la vida útil. La gama de productos van desde aquellos totalmente opacos, que no permiten ver la madera y se encuentran representados por los esmaltes blancos, hasta aquellos totalmente transparentes, pigmentados o no, que protegen la madera resaltando su belleza natural como los barnices, lacas y lasures. En la franja intermedia se encuentran aquellos que permiten visualizar las vetas de la madera morigerando su intensidad, y se los conoce como productos semitransparentes, los que suelen ser pigmentados.

En cuanto a las características particulares de los productos, se encuentran en el mercado los clásicos barnices, lacas y esmaltes que protegen la madera en base a la formación de una película que la aísla del *intemperismo* y los productos denominados a poro abierto, que sólo forman una micropelícula del orden de los 15 micrones de espesor conocidos como lasures, que actúan protegiendo la madera de la intemperie pero permitiendo el intercambio de agua en fase vapor favoreciendo la estabilización higroscópica con el ambiente.

Los productos además han evolucionado hacia la utilización de solventes más amigables con el medio ambiente, con menor contenido de VOC's (volatile organic compounds), dando lugar a la aparición de productos de alto contenido de sólidos, incluso llegando a la casi eliminación de los VOC's en el caso de los productos que utilizan el agua como solvente.

Se evaluó el comportamiento de distintos productos de mercado y nuevas tendencias aún no difundidas, aplicados sobre madera de pino ponderosa expuesta a la intemperie y evaluados según la normativa vigente. Se trabajó con madera de pino ponderosa de 30 años de edad de un rodal ubicado en la localidad de Abra Ancha (Neuquén). Tablas secas en horno y cepilladas de 1" x 5" (pulgadas) por 100



Proceso, producto y gestión de la madera de pino ponderosa