

APLICACIÓN DE SILICATOS EN MADERA DE PINO PONDEROSA PARA PISOS, MUEBLERÍA Y OTROS USOS EN LA CONSTRUCCIÓN

APPLICATION OF SILICATES IN PONDEROUS PINE WOOD FOR FLOORS, FURNITURE STORE AND OTHER USES IN THE CONSTRUCTION

Refort María Mercedes¹; G.D Keil²; R. Cámara³ & L. Luna⁴

¹Ingeniera Forestal, Ayudante Diplomada. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, mmrefort@gmail.com

²Msc Ingeniero Forestal, Profesor Adjunto. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, gabrieldkeil@yahoo.com.ar

³Licenciado, Gerente Empresa Química Bosques S. A, ricardocamera@direth.com.ar

⁴Dra Ciencias Naturales, Jefe de Trabajos Prácticos. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, CIC-BA, lujan_luna@yahoo.com.ar

Resumen

El objetivo del trabajo fue estudiar el comportamiento de la madera de *Pinus ponderosa* Douglas Ex. Laws impregnada con diferentes productos y tratamientos y su influencia sobre las propiedades tecnológicas. Las muestras se impregnaron en autoclave y con baño caliente-frío, con soluciones a base de silicio. Se determinaron: absorción, retención nominal y real, contenido de humedad, densidad normal y dureza Janka (con y sin estufa). La anatomía fue evaluada mediante Microscopio Electrónico de Barrido. Se obtuvieron mayores valores de absorción y retención en baño caliente-frío y en autoclave (temperatura ambiente). Se observaron depósitos compactos de silicatos en punteaduras y lúmenes de las traqueidas y depósitos granulosos en paredes internas. La dureza y la densidad aumentaron en la mayoría de los tratamientos, hasta un 68% y 16%, respectivamente. Las mejoras en las características naturales potencian el uso de la madera impregnada con silicatos, en construcción, pisos y muebles.

Palabras clave: impregnación, dureza, densidad, anatomía

Summary

The aim of this work was to study the behavior of *Pinus ponderosa* impregnated wood with different products and treatments and its influence in the technological properties. The samples were impregnated in autoclave and with hot and cold bath, with solutions based in silicon. The absorption and real and nominal retention, moisture content, normal density and Janka hardness (with and without oven) were determined. The anatomy was evaluated by sweep electronic microscope. Higher absorption values and retention were obtained with hot and cold bath and in autoclave (atmosphere temperature). Compact deposits were observed in tracheid pits and lumens and granular deposits in internal wall. The hardness and density increased in most treatments, up 68 and 16%, respectively. The natural characteristics improvements increase the impregnated wood use with silicate, in building, floor and furniture.

Keywords: impregnation, hardness, density, anatomy

Introducción

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). Según Durán et al. (2012), 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 importantes en el empleo de la madera para la fabricación de muebles, pisos y piezas para la construcción.

El método Bethell es el procedimiento más difundido entre los tratamientos industriales con presión, con él se obtienen las mayores retenciones de producto por volumen de madera impregnada, mientras que el baño caliente frío es el método más efectivo sin uso de presión externa, con la ventaja de la baja inversión en equipamiento, (Andía & Keil, 2004).

El Pino ponderosa es actualmente la especie forestal más implantada en la región de los andes patagónicos, concentrándose en la precordillera andina de las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut, (Gonda, 2001). Se encuentran forestadas en la actualidad alrededor de 70.000 ha con pináceas, de las cuales 56.000 ha corresponden a *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws (Chauchard, 2012), con valores de crecimiento de entre 6,07 y 44,62 m³ ha⁻¹ año⁻¹ asociados a diferentes condiciones de sitio, (Girardin, 1995). La provincia de Neuquén ha sido la provincia pionera en el establecimiento de bosques implantados para la producción de materia prima. Al igual que otras regiones de Argentina, posee un alto potencial para convertirse en un polo de desarrollo forestal dada la gran superficie de tierras aptas para cultivar árboles y los altos crecimientos que estos presentan. Impulsar este potencial permitiría reducir paulatinamente el carácter de fuerte importador de productos forestales que tiene la región, (Gonda, 2009).

El comercio exterior de muebles de madera de la República Argentina es altamente deficitario, según estadísticas del INDEC para 2010, se exportó por 14.898.220 US\$, mientras que las importaciones fueron de 40.868.443, representado un déficit en la balanza comercial de 25.970.224 US\$. Esto implica un interesante mercado interno por satisfacer y un mercado exterior potencial hacia países como China, Estados Unidos y Brasil, (Ladrón González & Maslatón, 2012).

En Argentina, existe una gama de productos que se fabrican con madera de pino ponderosa, relacionados principalmente a la construcción, entre estos tablas y tirantes de madera para encofrados, tablas para bins y pallets, machimbre, ladrillos y productos encolados como vigas laminadas y tablero de listones, (Spavento & Keil, 2011).

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, (Coronel, 1994). 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.

Materiales y métodos

Se trabajó con madera de pino ponderosa de 29 años de edad de la provincia de Neuquén de un rodal ubicado en la localidad de Junín de los Andes (Lat. 39°55'03"; Long. 71°05'03"; altitud 950). El aserrado de la madera se realizó en el Parque Industrial de Junín de los Andes. Los listones secos y cepillados de sección cuadrada de 50x50 mm, de 20x20 mm de lado y de longitud de 400 mm fueron remitidos a la carpintería de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, donde se dimensionaron las probetas según norma para todos los ensayos planteados. Las impregnaciones se realizaron en planta piloto con autoclave de 40 litros de capacidad en la Empresa Direth SA. Las soluciones y tratamientos de impregnación se especifican en la **tabla 1**.

Tabla 1: Soluciones, métodos y parámetros del proceso de impregnación y baño caliente-frío.
Table 1: Solutions, methods and parameters of the process of impregnation and warm-cold bath.

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-presión)	Vacío inicial 650Hg, 10 min. Presión 3,50kg.cm-2, 20 min. Vacío final no. Temperatura
	B	Bethell modificado (vacío-presión)	Vacío inicial 650Hg, 10 min. Presión 3,50kg.cm-2, 20 min. Vacío final no. Temperatura
	C	Baño caliente frío	Calentamiento 85°C, 60 min., mantenido hasta enfriamiento 18°C. Tiempo total 12 hr
	D	Bethell modificado (vacío-presión)	Vacío inicial 650Hg, 30 min. Presión 3,50kg.cm-2, 360 min. Vacío final no. Temperatura
	E	Bethell modificado (vacío-presión)	Vacío inicial 650Hg, 30 min. Presión 3,50kg.cm-2, 720 min. Vacío final no. Temperatura
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-presión)	Vacío inicial 650Hg, 10 min. Presión 3,50kg.cm-2, 20 min. Vacío final no. Temperatura
	G	Bethell modificado (vacío-presión)	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

Posterior a la impregnación se calcularon los parámetros de impregnación según norma IRAM 9600, las fórmulas se describen a continuación.

$$A = \frac{Pf - Pi}{V} \quad (1)$$

Donde:

A= absorción en Kg.m⁻³

Pf: peso final en Kg

Pi: peso inicial en Kg

V: volumen de la probeta en m³

$$Rn = \frac{A * C}{100} \quad (2)$$

Donde:

Rn: retención nominal en Kg.m⁻³

C: concentración de la solución impregnante; en %.

$$Ra = \frac{Rn * Do}{Dx} \quad (3)$$

Donde:

Ra: Retención real

Rn: retención nominal del preservante en Kg.m⁻³

Do: densidad aparente anhidra en kg.dm⁻³

Dx: densidad de referencia para coníferas 0,45 kg.dm⁻³

Se determinó el contenido de humedad (IRAM 9532, 1963) sobre el material testigo sin impregnar e impregnado, previo y posterior a colocar en estufa durante 20 días.

La densidad aparente normal se determinó en material testigo e impregnado mediante norma, (IRAM 9544, 1985).

La absorción de agua destilada se realizó por inmersión total de las probetas testigos e impregnadas, dentro de bandejas plásticas. La absorción se calculó por diferencia de pesos antes y después de la inmersión, referidos en porcentajes al aumento de peso con respecto al inicial. Se ensayaron 4 tiempos de inmersión: 24, 48, 168 y 360 horas.

La dureza Janka fue determinada en dos condiciones de contenido de humedad, previo y posterior a estufa, según norma, (IRAM 9570, 1971). 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. Las observaciones se realizaron en un microscopio JEOL JSMT-100.

Al conjunto de datos de cada variable (excluyendo MEB), se le calcularon la media, desvío estándar y coeficiente de variabilidad. Los datos obtenidos fueron estudiados a partir del análisis de la varianza y ante diferencias significativas de los parámetros entre tratamientos ($p < 0,05$), se aplicó el test de comparación de medias de Tukey.

Resultados y discusión

Contenido de humedad

El contenido de humedad (CH) de la madera previo a la colocación en estufa tuvo un valor medio de 11,05%, es decir, un material equivalente a un secado en horno para madera en uso en mueblería. Posterior a la estufa, el material obtuvo un valor medio de 8,5%, siendo equivalente a un secado en horno para pisos.

Densidad aparente normal

En la **tabla 3** se detallan los resultados del estudio de la densidad aparente normal, para el testigo y las probetas impregnadas.

Tabla 3: Resultados de la densidad aparente normal del testigo y los 8 tratamientos de impregnación.
Table 3: Results of the normal apparent density of the witness and 8 treatments of impregnation.

Concentración SiO ₂ (%)	Densidad aparente normal (kg.dm ⁻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

* Letras diferentes denotan diferencias significativas.

Se observan diferencias significativas entre ciertos tratamientos. C, E y F presentaron diferencias significativas con el testigo. Asimismo, la densidad aumentó en todos los tratamientos, hasta un 16%. Siendo la densidad, un parámetro de calidad de madera, este aumento del valor en el material impregnado presupone una mejora en las restantes propiedades físicas, mecánicas y tecnológicas.

Parámetros de impregnación

En la tabla 4 se muestran los valores de absorción, retención real y retención nominal para los 8 tratamientos.

Tabla 4: Parámetros obtenidos luego de la impregnación de la madera.
Table 4: Parameters obtained after the impregnation of the wood.

Tratamientos	Absorción (kg.m ⁻³)	Retención nominal (kg.m ⁻³)	Retención real (kg.m ⁻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

* Letras diferentes denotan diferencias significativas.

Se observaron diferencias significativas en los tres parámetros de impregnación. Resaltando los valores de los tratamientos con baño caliente-frío y Bethell a temperatura ambiente. Los valores de absorción en este estudio fueron en todos los tratamientos (excepto el A), superiores a los encontrados por Pereyra & Giudice (2009) con el empleo de silicatos de sodio y potasio con fines ignífugos (122 a 126 kg.m⁻³) en impregnación de *Araucaria angustifolia*. Asimismo, Canosa et al. (2011), obtuvieron valores inferiores al del presente estudio, impregnando con silicatos madera de *Pinus radiata*.

Dureza Janka

Los resultados de dureza del testigo y probetas impregnadas, previo a la colocación en estufa, se muestran en la **tabla 5**. La comparación de durezas, previo y posterior a estufa se muestran en la **tabla 6**.

Tabla 5: Resultados de dureza Janka previo a la estufa, del testigo y los 8 tratamientos.
Table 5: Results of hardness Janka before the stove, of the witness and 8 treatments.

Tratamientos	Dureza Transversal (N.mm ⁻²)	Dureza Tangencial (N.mm ⁻²)	Dureza Radial (N.mm ⁻²)
TESTIGO	29,77 a	27,42 cd	24,90 ab
A	32,34 ab	23,64 abcd	23,64 ab
B	32,22 ab	27,44 bcd	23,94 ab
C	39,44 d	22,96 ab	23,94 ab
D	31,60 ab	25,05 abcd	24,74 ab
E	36,38 cd	34,54 e	33,74 c
F	34,30 bc	29,64 de	26,76 b
G	31,36 ab	21,38 a	21,31 a
H	33,07 bc	24,86 abcd	25,66 ab

* Letras diferentes denotan diferencias significativas.

Los valores de dureza tangencial y radial no mostraron un comportamiento uniforme, experimentando mejoras sólo en algunos tratamientos, resaltando el tratamiento E que aumentó en las dos direcciones con respecto al testigo, logrando aumentos de hasta un 25% y 35%, respectivamente. La dureza transversal aumentó en todos los casos, sin embargo, sólo los tratamientos C, E, F y H presentaron diferencias significativas con el testigo. En esta dirección se lograron aumentos de hasta un 32%. 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, donde es conocido que el flujo de líquidos dentro de una pieza de madera es mayor en sentido axial, con respecto a los sentidos tangencial y radial (JUNAC, 1988).

Tabla 6: Resultados de Dureza Janka previo y posterior a la colocación en estufa.
Table 6: Results of Janka Hardness of before and later to the placement in stove.

	A	B	C	D	E	F	G	H
DTr C/E*	43,73 a	43,00 a	46,67 a	46,18 a	45,94 a	47,20 a	42,75 a	43,86 a
DTr S/E*	32,34 b	32,22 b	39,45 b	31,61 b	36,38 b	34,30 b	31,36 b	33,08 b
DTg C/E*	28,48 a	32,71 a	27,50 a	31,79 a	36,08 a	30,22 a	25,30 a	24,68 a
DTg S/E*	23,64 b	27,44 b	22,97 b	25,05 b	34,55 a	29,65 a	21,38 a	24,87 a
DRd C/E*	26,09 a	28,36 a	26,52 a	25,66 a	33,69 a	27,03 a	27,81 a	27,99 a
DRd S/E*	23,64 a	23,95 b	23,95 a	24,75 a	33,75 a	26,77 a	21,32 b	25,66 a

* Durezas transversales (DTr), tangenciales (DTg) y radiales (DRd), con estufa (C/E) y sin estufa (S/E), respectivamente. * Letras diferentes denotan diferencias significativas.

Se observa en la tabla que en los planos tangencial y radial no hubo un comportamiento uniforme, con y sin estufa, sin embargo se logró un aumento significativo de la dureza transversal en todos los tratamientos de las probetas luego de ser colocadas en estufa durante 20 días. Se lograron aumentos de hasta un 68 %, resultando los tratamientos C, D y F los de mayor aumento. La disminución de humedad influye en el aumento de la resistencia mecánica, asimismo, también pudo influir en una mejor cristalización del silicato y debido a ello un mayor aumento de dureza de las probetas, posterior a la estufa, (Camarena Tello, 2010). Asimismo, el ensayo de dureza permite determinar la aptitud de la madera para ser usada en la fabricación de pisos o solados, entre otros, (Coronel 1995). 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, (Peraza, 2008).

Absorción de agua

En la **tabla 7** se muestran los resultados de absorción de agua para los 4 tiempos de inmersión.

En cuanto a la absorción de agua por inmersión como indicador de la impermeabilidad del material, se puede apreciar que todos los tratamientos se diferenciaron significativamente del testigo. Los valores hallados 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% para madera sumergida durante 384 horas. La disminución significativa de la absorción de agua de la madera impregnada, presupone una reducción en los cambios dimensionales que experimentan las piezas de madera en servicio.

Tabla 7: Resultados de absorción de agua de las probetas impregnadas y el testigo.
Table 7: Results of water absorption of the impregnated manometers and the witness.

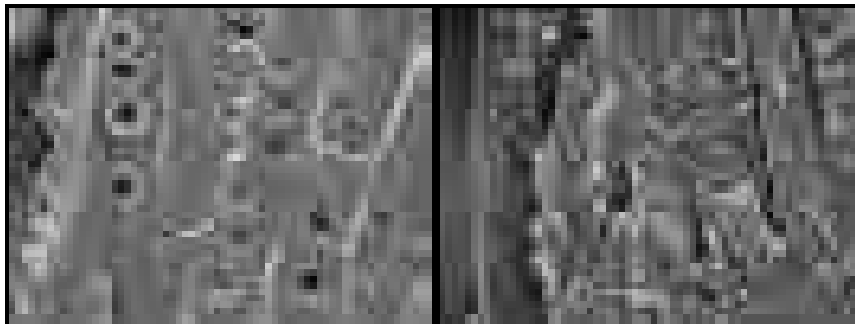
Tratamientos	Absorción de agua (%)			
	24 horas	48 horas	168 horas	360 horas
A	21,01 a	26,49 a	35,54 a	41,93 a
B	23,47 bcd	28,38 abc	36,61 abc	44,13 ab
C	25,42 d	30,94 cd	37,34 abc	44,48 ab
D	21,62 ab	27,84 ab	36,27 ab	44,24 ab
E	23,04 abc	29,17 bcd	37,44 abc	45,26 b
F	29,02 e	34,55 e	40,73 e	46,84 b
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

* Letras diferentes denotan diferencias significativas.

Anatomía con MEB

Se observó que la distribución del impregnante fue uniforme en todo el tejido, en una capa superficial del material. Se registraron depósitos de silicatos en las punteaduras areoladas de las traqueidas, más específicamente en las membranas, obstruyendo de este modo la comunicación entre células (Figuras Izq.). En ciertas muestras se observaron, depósitos compactos en punteaduras areoladas y en el lumen de traqueidas y depósitos granulados sobre la pared interna de traqueidas. Depósitos compactos de silicatos ocupando los lúmenes de las traqueidas y depósitos granulados (precipitados) sobre las paredes inter-

nas de las traqueidas (Figura Der.). Estas observaciones sugieren, que existen ciertos inconvenientes para impregnar totalmente el material, posiblemente relacionados a la viscosidad y el Ph del impregnante, los cuales de optimizarse llevarían a una penetración total y uniforme en la madera, contribuyendo a mejorar aún más las propiedades tecnológicas del material leñoso.



Conclusiones

Es posible la incorporación de silicatos en la madera de pino ponderosa, con valores de absorción superiores, a los hallados en otras investigaciones para este tipo de impregnantes.

Se lograron aumentos del orden del 16% en el valor de densidad aparente normal y aumentos de dureza con valores de hasta 68% en el plano transversal.

Los valores de absorción de agua presuponen una mejora importante en la impermeabilización del material y una disminución en los cambios dimensionales de la madera en servicio.

Con MEB, se observó que la distribución del impregnante fue uniforme en todo el tejido en una capa superficial del material.

Los mejores resultados se obtuvieron por los tratamientos baño caliente-frío y Bethell a temperatura ambiente.

Las mejoras en las características naturales, potencian el uso de la madera impregnada con silicatos, en construcción, pisos y muebles.

Bibliografía

- Andía, I.; O. Otaño & G. Keil. (1996). *Endurecimiento de madera de álamo mediante la impregnación en autoclave con una mezcla monómero – catalizador*. Desarrollo Experimental e Informe. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Expte: 200-205/94. La Plata. p. 50.
- Andía, I. & G. Keil. (2004). Procesos y Equipos. Curso de actualización para Graduados: Biodegradación y Preservación de la Madera. Asentamiento Universitario San Martín de los Andes. Universidad Nacional de Comahue. p. 12.
- Camarena Tello. J.C. (2010). Caracterización físico mecánica de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius*. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. México. p. 50.
- Canosa, G.; P. Alfieri & C. Giudice. (2011). Nano lithium silicates as flame-retardant impregnants for *Pinus radiata*. *Journal of Fire Sciences*. 29(5) pp. 431–441.
- Chauchard L. M. (2012). Esquemas silvícolas para plantaciones de Pino ponderosa en el noroeste de la Patagonia, Argentina. *Revista Produccion Forestal*. Argentina. Año N° 2, Revista N° 4, pp. 7-12.
- Coronel, E. O. (1994). Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 1 Parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Public. ITM - UNSE. p. 187.
- Coronel E. O. (1995). Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 2 Parte: Fundamentos de las propiedades mecánicas de las maderas. Publicación ITM – UNSE. p. 335.
- Durán, S.; B. Murr, L. Ibarra & J. Lecumberri. (2012). Protección de la madera frente al fuego mediante la combinación de diversos productos. Proyecto final de grado, Ingeniería en Edificación. Escola Politècnica Superior d'edificació de Barcelona. Universidad Politècnica de Catalunya. p. 117.
- Girardin J. L., Broquen P., (1995). El crecimiento del *Pinus ponderosa* Dougl. y del *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Dougl. en diferentes condiciones de sitio. (Neuquén - R. Argentina) *Bosques Chile* 16(2). pp. 57-67.
- Gonda, H. (2001). Manejo de pino ponderosa. Modelo preliminar para plantaciones en sitios de calidad media en la Patagonia andina. CIEFAP. Argentina. p. 4.
- Gonda, H.; Mohr Bell, D.; Sbrancia, R.; Lencinas, J.; Bava, J.; Monte, C.; Montoro, A.; Siebert, A.; García, E.; Menéndez, J.; Lutz, G.; Rocca, A.; Van Houtte, J.; Toth, A.; Tolone, G. & Salimbeni, J. (2009). Inventario del Bosque Implantado en la Provincia de Neuquén. Ecogestión 2009. Primera reunión sobre planificación y legislación forestal. p. 18.
- González, J. (2008). Futuro de la Impregnación del Pino Radiata en Chile Normativa y nuevos Productos. Seminario Impregnación de Pino Radiata en Chile. Santiago, Chile. p. 36.
- IRAM 9532. (1963). Método de determinación de humedad. Instituto de Racionalización de Materiales. p. 14.
- IRAM 9544. (1985). Método para la determinación de la densidad aparente. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. p. 10.
- IRAM 9570. (1971). Método de ensayo de la dureza Janka. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. p. 6.
- IRAM 9600. (1998). Preservación de Maderas-Maderas Preservadas Mediante Procesos con Presión en Autoclave. Instituto Argentino de Normalización de Materiales. p. 23.
- JUNAC (Junta de Acuerdo de Cartagena). (1988). Manual del Grupo Andino para la Preservación de maderas. 1° Ed. Lima, Perú, p. 349.
- Keil, G.D.; M. Otaño; I. Andía; M. Murace & B. Díaz. (2005). Potencialidades de la madera de *Populus L.* sp endurecida con metil metacrilato para la diversificación de usos. III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. AFOA. Corrientes, Argentina. Publicación en Actas. Resúmenes impresos: ISSN 0329-1103; Trabajos completos en CD: ISSN 1669-6786.
- Ladrón González A. & C. Maslatón. (2012). Incorporar tecnología y gestión para la evolución del sector madera y muebles. *Revista ASORA*. Año 17. Número 99. pp. 14-22.
- Peraza J.E. (2008). Productos de madera para la arquitectura. *Asociacion de Investigacion Tecnica de las Industrias (AITIM)*. p. 370.
- Pereyra A. & C. Giudice. (2008). Ethyl silicates with different hydrolysis degree like non-flammable impregnating material for wood. *Revista Maderas. Ciencia y Tecnología*. Universidad de Bio Bio. Chile. 10(2). pp. 113-127.
- Pereyra A. & C. Giudice. (2009). Flame-retardant impregnants for woods based on alkaline silicates. *Elsevier. Fire Safety Journal* 44. pp. 497–503.
- Spavento E. & G. D. Keil. (2011). Identificación de productos y mercados potenciales para el sector forestal, en el marco del Proyecto BIRF LN 7520 AR - Manejo Sustentable de Recursos Naturales Componente 2 – Plantaciones Forestales Sustentables. Ministerio de Agricultura de la Nación. Informe Final. p. 259.