

Comportamiento a la impregnación por vacío y presión de las maderas de *Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws y *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

Gabriel Keil^{1,2,6,*}; Laura Maly^{3,6}; Natalia De Cristóforo^{2,6}; Mercedes Refort⁵, Gustavo Acciaresi^{4,6}

¹ Xilotecología. ² Industrias de Transformación Mecánica. ³ Cálculo Estadístico. ⁴ Introducción a la Administración. ⁵ Ing. Forestal Profesional independiente. ⁶ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, 60 y 119, 1900, CC 31. La Plata, Argentina. *gabrielkeil@yahoo.com.ar

Keil, G.; L. Maly N. De Cristóforo; M. Refort; G. Acciaresi (2012) Comportamiento a la impregnación por vacío y presión de las maderas de *Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws y *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Rev. Fac. Agron. Vol 111 (2): 99-110.

La mejora tecnológica de las maderas amplía su espectro de usos cuando a éstas se les incorporan sustancias que mejoran su aptitud natural. La incorporación de sustancias químicas tiene por objetivos la mejora de sus propiedades ignífugas y el incremento de su durabilidad natural, densidad y dureza. El *Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws, Pino ponderosa, es la conífera de rápido crecimiento de mayor difusión en la región andino patagónica argentina. La gran proporción de madera juvenil en madera proveniente de raleos, lo hacen en principio, un material apto para el tratamiento en autoclave. Así, es necesario definir parámetros de proceso comparándola con una conífera conocida en el mercado. El objetivo de este trabajo fue el estudio del comportamiento a la impregnación en autoclave con distintas soluciones, de las maderas de Pino ponderosa y Pino paraná, en piezas de distintas dimensiones. Se determinaron en maderas sin impregnar: contenido de humedad (CH); densidades aparentes anhidra y normal al 12% del CH. Se impregnaron ambas maderas, por el método Bethell, con soluciones hidrosolubles de paraformaldehído (100, 50 y 20%) y una mezcla a base de boro (15 y 10%). Se determinaron penetración y absorción. La penetración fue total en todos los tratamientos. La absorción tuvo una correlación negativa con las dimensiones de las piezas. El tipo de solución interactuó con la especie, dando distintos valores de absorción. Densidades diferentes entre especies no significaron distinto comportamiento a la impregnación.

Palabras clave: pino ponderosa, pino paraná, boro, paraformaldehído, absorción

Keil, G.; L. Maly N. De Cristóforo; M. Refort; G. Acciaresi (2012) Behavior to the vacuum and pressure impregnation of *Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws and *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze timbers. Rev. Fac. Agron. Vol 111 (2): 99-110.

The technological improvement of wood increases its use range when substances that enhance their natural performance are applied. The incorporation of chemical substances to woods aims to improve the flame retardant properties and increase the natural durability, density and hardness. *Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws (Western Yellow Pine) is the most widespread fast growing conifer in the Andean Patagonian, Argentina region. The large proportion of juvenile wood in timber from thinnings, make it a suitable material for treatment in autoclave. In according to this, it is necessary to define process parameters compared with a conifer known in the market, like or Brazilian pine. The aim of this work was to study the response to impregnation in autoclave with different solutions, of Ponderosa pine and Paraná pine wood, in pieces of different size. Moisture content and anhydrous and normal (12 % of moisture content) apparent densities were determined in timber without impregnation. Timbers of both species were impregnated through Bethell methods with paraformaldehyde soluble solutions (100, 50 y 20%) and a mixture of boron (15 y 10%) and penetration and absorption were determined. The penetration was complete in all treatments. The absorption was negatively correlated with the dimensions of pieces. The solution composition interacted with the specie, giving different absorption values. Different densities between species did not result in different impregnation.

Key words: Ponderosa pine, Parana pine, boron, paraformaldehyde, absorption

Recibido: 10/04/2012

Aceptado: 20/12/2012

Disponible on line: 15/01/2013

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUCCIÓN

La mejora tecnológica de las maderas de especies implantadas encuentra un amplio espectro de usos cuando a éstas se les pueden incorporar sustancias que mejoran su aptitud natural. La incorporación de sustancias químicas a la madera puede tener objetivos diversos, entre los más importantes se encuentran el aumento de su durabilidad natural, la mejora de sus propiedades ignífugas y el incremento de su densidad y dureza (Keil, 2002).

En función de su uso en obra y de las condiciones climáticas, la madera está sujeta a ataques de agentes destructores, principalmente de insectos y hongos xilófagos, por lo que hay que prever el empleo de adecuados tratamientos de preservación con productos eficaces y seguros para el hombre y el ambiente. Seleccionar los tratamientos adecuados implica tener conocimientos sobre el uso, la estructura, composición y durabilidad de la madera, así como de los agentes xilófagos (JUNAC, 1988).

La preservación incrementa la vida útil de la madera, mediante procesos físico-químicos. Un producto biocida puede ser una sustancia activa, una formulación o un dispositivo. Está referido a las sustancias tóxicas que se aplican a la madera para prolongar su vida útil e impedir su destrucción por la acción de agentes biológicos (Andía & Keil, 2004).

Los métodos de preservación pueden dividirse en dos grandes grupos: métodos con y sin presión. Entre los primeros se encuentra el método Bethell o "célula llena" que constituye el proceso más conocido y empleado en la industria de la impregnación de Argentina (Andía & Keil, 2004).

La masa de las sustancias preservantes activas retenidas y el tiempo que dura el proceso depende de las condiciones del tratamiento, la forma, dimensiones, la densidad, permeabilidad de la madera a tratar y de la viscosidad de las soluciones preservantes. Está demostrado que la penetración y retención de los productos preservantes depende de la densidad y la permeabilidad de la madera (Wottiz, 2009). En este sentido existe una correlación negativa entre la densidad de las maderas y la permeabilidad de las mismas.

Dentro de los productos preservantes se encuentra el arseniato de cobre cromatado (CCA), el cual ha tenido amplia difusión. Sin embargo, este producto se encuentra prohibido para su empleo en viviendas de Europa y EEUU. La tendencia actual es buscar productos ambientalmente más seguros. En este sentido, los compuestos de boro representan un menor compromiso ambiental y se consideran como los más seguros, desde ese punto de vista, de las alternativas disponibles de tratamiento para madera. Estos productos fueron utilizados inicialmente como retardadores de la acción del fuego. Los compuestos de boro protegen a la madera de hongos e insectos, principalmente termitas; sin embargo, como son compuestos solubles en agua, su utilidad en madera para uso en exteriores es limitada por problemas de lixiviación. Así, la madera tratada con compuestos de boro se utiliza en lugares secos y en interiores, para evitar que el producto químico se lixivie por la humedad (Andía & Keil, 2004).

Se ha comprobado la eficiencia, como productos biocidas, de las soluciones de borato y de borax-ácido bórico (Baysal & Yalinkilic, 2005), que además tendrían características ignífugas; con lo cual este producto presentaría una alternativa interesante como retardante y biocida simultáneamente, frente a los cuestionados efectos del CCA (Rodríguez Barreal, 1998).

Por otro lado, las resinas fenólicas son consideradas los primeros productos poliméricos de síntesis que fueron comercializados. Son productos que provienen de la condensación de fenol (o mezcla de fenoles) con un aldehído (generalmente formaldehído) y se los conoce también como resinas fenol-formol o fenol-formaldehído. Estas resinas están especialmente indicadas cuando se requiere aislamiento térmico y eléctrico, por lo que encuentran aplicaciones en campos que van desde el aeroespacial al electrónico, ya sea como polvos de moldeo, resinas para laminados, adhesivos, impregnantes y recubrimientos superficiales entre otros (Martín Moreno, 2005).

Los productos retardantes de llama, permiten que la madera y tableros puedan resistir períodos más largos de tiempo en exposición a fuentes directas de fuego. Las resinas mejoran las propiedades ignífugas de estos materiales, aumentando su punto de ignición y disminuyendo el desplazamiento y penetración de la llama, además disminuyen la densidad de sustancias volátiles y el exceso de calor del medio (Garay & Henríquez, 2010). El retardo al fuego es la capacidad del producto para retardar la propagación de la llama sobre un sustrato.

Un tercer grupo de tecnología relacionadas a la impregnación de maderas blandas lo constituyen la incorporación de tecnología para la formación de compuestos madera plástico o endurecimiento de la madera (Keil, 2002).

Keil et al., (1997) concluyeron que las escuadrías provocan efectos significativos sobre los valores de retención, estudiando distintos clones de álamo impregnados con un preservante hidrosoluble (CCB) en autoclave por el método Bethell.

El pino ponderosa (*Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws)) es la conífera de rápido crecimiento más empleada y con gran potencial para forestar vastas extensiones en la región andino patagónica argentina (Jovanovski et al., 2002). El total forestado sólo en la provincia de Neuquén hasta 2006 ascendía a 47.260 ha, siendo el 95 % de pinos y de ellos el 70 % de pino ponderosa, con un crecimiento de 330.000 m³/año (Gonda et al., 2009).

La madera de coníferas es ampliamente utilizada en la construcción. Sin embargo, su durabilidad natural es baja y las densidades no superan los 500 kg/m³, con valores de hasta 390 kg/m³ como madera de pino ponderosa, que la clasifican como liviana (Spavento et al., 2010). Asimismo, posee contracciones moderadas y es susceptible a la mancha azul (INFOR, 1988).

Al analizar el comportamiento de Pino ponderosa frente a la durabilidad de la madera, se considera no durable sin un tratamiento preservante. Se clasifica como no resistente a la pudrición y susceptible a insectos. Esto hace imprescindible la incorporación profunda de productos que mejoren estas aptitudes naturales. Asimismo se caracteriza por tener una albura permeable a los preservantes, mientras que el duramen

es moderadamente resistente a los tratamientos preservantes (INFOR, 1988). La gran proporción de madera juvenil de albura en raleos de pino ponderosa (Zingoni et al., 2005), en principio lo hacen un material apto para el tratamiento a presión en autoclave, ya que los preservantes pueden penetrar en las células de la albura de manera profunda y uniforme.

Los resultados de los ensayos de la madera de *Araucaria angustifolia* reforestada son similares a los encontrados para algunos pinos de rápido crecimiento, sobre todo respecto a Pino elliottii, excepto en el módulo de elasticidad a la flexión, en el que la *Araucaria* lo supera netamente (González & Suirezs, 1994). Así, esta especie posee una densidad aparente normal de $0,510 \text{ kg.dm}^{-3}$, contracciones moderadas, MOR en flexión estática de $87,2 \text{ N.mm}^{-2}$ y dureza Janka axial, tangencial y radial de 49 N.mm^{-2} , $32,5 \text{ N.mm}^{-2}$ y $33,7 \text{ N.mm}^{-2}$, respectivamente (Gonzales et al., 1997).

Las especies de reforestación poseen buenas propiedades resistentes pero todavía existen muchas imprecisiones e incertidumbre sobre las mismas. En Argentina, los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de piezas estructurales de madera de especies reforestadas con defectos, corresponden a investigaciones realizadas en los últimos años. Estos trabajos han generado la norma IRAM 9670 de clasificación en grados de resistencia para la madera aserrada de pinos resinosos (*Pinus elliottii* y *P. taeda*) del noreste argentino mediante una evaluación visual y las normas 9662-1/2/3 de clasificación de tablas (*Araucaria angustifolia*, *Pinus elliottii* y *Eucalyptus grandis*) para la fabricación de vigas laminadas (Guillaumet et al., 2008).

Giudice & Pereyra (2010), hallaron valores de retención entre 70 y 135 kg/m^{-3} impregnando madera de *Araucaria angustifolia* con distintas soluciones de nano silicatos mediante vacío- presión- vacío, con penetraciones parcial, irregular y completa en aquellas muestras de menor espesor.

Así, es necesario el estudio de la aptitud a la impregnación industrial de la madera de pino ponderosa, comparada con una especie conocida en la construcción como el pino Paraná (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), a fin de poder definir parámetros de proceso.

Hipótesis de trabajo

1. Los parámetros de impregnación están afectados por las dimensiones de la pieza impregnada.
2. Coníferas de distintos género tienen respuesta diferente a la impregnación con diferentes productos y concentraciones en autoclave.
3. La densidad aparente de las maderas explica en parte las diferencias en el comportamiento a la impregnación entre ellas.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue el estudio del comportamiento a la impregnación en autoclave con distintas soluciones, de las maderas de *Pinus*

ponderosa y *Araucaria angustifolia* en piezas de distintas dimensiones.

METODOLOGIA

Obtención de Probetas

Se trabajó con material de pino ponderosa proveniente del sudoeste de la provincia de Neuquén, extraído de la zona del lago Melliquina ($40^{\circ}27'23''\text{S}-71^{\circ}13'52''\text{O}$). Los ejemplares muestreados tenían una edad de 22 años, situación que presenta el 90% de madera juvenil en la troza (Zingoni et al, 2005).

En el sitio se delimitó una parcela de 441 m^2 , evitando que ésta lindara con los límites del bosque. Dentro de la misma se seleccionaron 10 individuos al azar.

De cada árbol se extrajeron las dos primeras trozas de 1,20 m de longitud cada una. Éstas fueron aserradas en tablones de 55 mm de espesor, los cuales fueron secados al aire hasta alcanzar la humedad de equilibrio higroscópico (HEH), constatada a través de mediciones periódicas utilizando un higrómetro electrónico (Hydromette HT 85, de la marca GANN).

Estos tablones con la HEH, fueron aserrados en listones de sección cuadrada de 20 mm y 50 mm de escuadría con longitud de 1,20 m, para la posterior obtención de probetas en la carpintería de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Éstas fueron dimensionadas de acuerdo a las normas IRAM (9532, 9544 y 9600) para los ensayos físicos (contenido de humedad y densidades aparentes normal y anhidra) y para ensayos de comportamiento a la impregnación industrial en distintas dimensiones (Tabla 1).

Del mismo modo se obtuvieron las probetas de pino paraná, a partir de madera seca proveniente de un aserradero de la localidad de Eldorado, provincia de Misiones.

Las probetas fueron lijadas en lijadora de banda, clasificadas, seleccionando aquellas que estuvieron libres de defectos, identificadas y medidas según los requerimientos de los ensayos.

Ensayos físicos

Las propiedades físicas estudiadas en maderas sin impregnar fueron: contenido de humedad (CH), (IRAM 9532, 1963); densidad aparente anhidra (D_0), densidad aparente normal (D_n) y densidad aparente normal corregida al 12% del CH (D_{n12}) (IRAM 9544, 1985).

La determinación del valor de contenido de humedad fue necesaria ya que el material a ser impregnado por el método Bethell, requiere un contenido de humedad inferior al 20 % para ser efectivo.

El valor de densidad aparente expresa la densidad de la madera en uso. Este valor de D_0 fue obtenido ya que permite comparar densidades sin la interferencia del agua.

El material para estos ensayos fue obtenido de listones de sección cuadrada de 20 mm y de 400 mm de longitud. Posteriormente fueron dimensionadas en probetas cúbicas de 20 mm de lado.

Tabla 1. Ensayos, cantidad y dimensiones de las probetas.

IMPREGNACIÓN*	PINO PONDEROSA (dimensiones)**					ARAUCARIA (dimensiones)**			TOTAL
	A	B	C	D	E	A	B	C	
PRIMERA	8	6	5	5	3	10	5	8	50
SEGUNDA	8	6	5	5	3	10	5	8	50
TERCERA	8	6	5	5	3	10	5	8	50
CUARTA	8	6	5	5	3	10	5	8	50
QUINTA	8	6	5	5	3	10	5	8	50
TOTAL PROBETAS	40	30	25	25	15	50	25	40	250

* Las 5 impregnaciones corresponden a las 5 soluciones ensayadas. **Dimensión A = 10 x 10 x 150 mm; Dimensión B = 10 x 50 x 200 mm; Dimensión C = 15 x 100 x 400 mm; Dimensión D = 50 x 50 x 150 mm; Dimensión E = 20 x 20 x 400 mm

El **contenido de humedad** (CH) se define como la cantidad de agua que posee la madera con respecto a su masa anhidra (Coronel, 1994).

La **densidad aparente anhidra** (Do) se expresa como la relación entre la masa de la muestra anhidra y el volumen de dicha muestra en iguales condiciones de humedad (Coronel, 1994).

La **densidad aparente normal** (Dn) se define como la relación entre la masa de la muestra seca al aire y el volumen de la misma en iguales condiciones de humedad. Esta humedad debe corresponder a la humedad de equilibrio higroscópico (Coronel, 1994).

Un valor más adecuado para comparar entre distintas maderas la constituye la **densidad aparente normal corregida al 12 de CH**. Para esta última determinación se empleó la fórmula surgida de la gráfica de Holfman:

$$Dn_{12\%} = \frac{Do * (1 + CH)}{1 + 0,84 * Do * CH} \quad (1)$$

Siendo:

Dn_{12%} = densidad al contenido de humedad deseado (12%)

CH = humedad deseada (0,12)

Do = densidad anhidra

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Xilotecnología del Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

Soluciones impregnantes

Los impregnantes utilizados en este ensayo fueron soluciones hidrosolubles de paraformaldehído y una mezcla a base de boro según se especifica en la Tabla 2. Las 5 soluciones empleadas fueron las siguientes:

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).

Tabla 2. Formulación de la mezcla a base de boro ensayada.

Compuestos	Formulación	Porcentaje en peso sólido
Fosfato ácido de amonio	PO ₄ H(NH ₄) ₂	10
Sulfato de amonio	SO ₄ (NH ₄) ₂	60
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	20
Borato de sodio	Na ₂ B ₄ O ₇	10

El material fue proporcionado por investigadores del LEMIT CIDEPINT.

Impregnación de las probetas

Las probetas fueron impregnadas con una de las 5 soluciones, aplicando el método de Bethell o de "célula llena". Para este ensayo se disminuyeron los tiempos de vacío y presión con respecto a una impregnación industrial, ya que las dimensiones de las probetas permitieron lograr una penetración total en menor tiempo que aquel especificado para postes, tablas y tabloncillos de mayor escuadría.

Las probetas, secadas por debajo del punto de saturación de las fibras, fueron colocadas dentro del cilindro de impregnación. Luego se generó un vacío de 0,08 Pa durante 10 minutos, donde se consiguió extraer el aire del interior del cilindro y aquel del interior de los lúmenes celulares. Conservando el vacío, se inundó el cilindro con la solución impregnante. Una vez inundado el autoclave, se aplicó presión hasta alcanzar un nivel máximo de 0,409 Pa, 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, para extraer la solución excedente de la superficie de la madera. Se realizaron 5 impregnaciones, una con cada solución, en la Empresa Química Bosques S.A., ubicada en la localidad homónima, provincia de Buenos Aires.

Parámetros de impregnación

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, observándola a ojo desnudo 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) en balanza analítica de 0,01 g de precisión, y se determinó el volumen (V) con calibre micrométrico, para determinar el valor de **absorción**, expresada en kg de preservante por metro cúbico de madera, según la fórmula siguiente:

$$\text{Abs} = \frac{\text{Pf} - \text{Pi}}{\text{V}} \quad (2)$$

Donde:

Abs: Absorción, en kg.m⁻³.

Pi: peso inicial de la probeta antes de la impregnación; en kg.

Pf: peso final de la probeta después de la impregnación; en kg.

V: volumen de la probeta; en m³.

Análisis estadísticos

1. Los parámetros de impregnación están afectados por las dimensiones de la pieza impregnada.

Para evaluar el grado de asociación entre la variable determinante de la impregnación (absorción, en kg.m⁻³) y las variables determinantes de la dimensión de la probeta (ancho, largo y espesor, en mm), se realizó un análisis de correlación simple para cada especie evaluada. Los datos correlacionados fueron obtenidos a partir de la medición de cada probeta analizada y su correspondiente valor de absorción.

2. Coníferas de distintos género tienen respuesta diferente a la impregnación con diferentes productos y concentraciones en autoclave.

Para analizar el efecto que tuvieron la solución preservante y la dimensión de la probeta sobre la absorción, se realizó un análisis de la varianza. Este análisis permitió evaluar si los factores analizados actuaron de manera independiente sobre la absorción, o si tuvieron un efecto combinado.

3. La densidad aparente de las maderas explica en parte las diferencias en el comportamiento a la impregnación entre ellas.

A fin de evaluar si las densidades medias de ambas especies difieren, se realizó un test de Student. Este análisis permitió evaluar la existencia de diferencias significativas entre las densidades normales de las especies en estudio. Estas diferencias de densidad podrían tener un efecto significativo sobre la absorción de las soluciones impregnantes.

RESULTADOS

Parámetros de la impregnación

Penetración

En cuanto a la impregnación, se lograron "penetraciones totales", situación normal para una impregnación industrial en madera de albura de coníferas implantadas en el país, *Pinus taeda*, *P. pinea*, *P. pinaster*, *P. halpensis*, *P. radiata*, cuando se aplica el método de "célula llena" (Moreno et al., 2008; Otaño et al., 1999).

Absorción

A fin de verificar la primera hipótesis de trabajo sobre la relación entre la absorción y las dimensiones de la pieza impregnada, se realizó un análisis de correlación para cada especie estudiada, obteniéndose los resultados que se muestran en el Figura 1.

En Pino ponderosa, todas las variables presentaron una correlación negativa con la absorción. A medida que las dimensiones de las probetas aumentan, la absorción disminuye (Tabla 3). Para Pino Paraná, la única variable que presentó asociación con la absorción, fue el ancho, con una correlación negativa (Tabla 4).

Para verificar la segunda hipótesis de trabajo, donde se relacionaron la absorción, especies, dimensiones y soluciones impregnantes, para cada especie, se realizó un análisis de la varianza, a fin de evaluar el efecto que tuvieron los factores dimensión y solución sobre la variable respuesta, la absorción (Tabla 5 y 6).

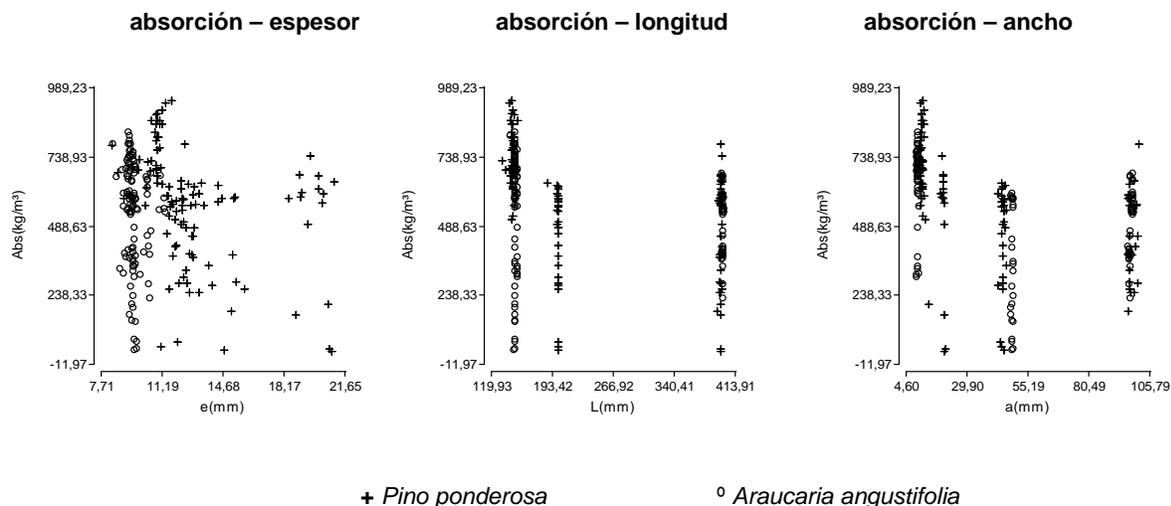


Figura 1. Representación cartesiana de las relaciones entre absorción y los 3 parámetros dimensionales lineales.

Tabla 3. Correlación de Pearson entre variables: Coeficientes y probabilidades para Pino ponderosa. Los valores superiores a la diagonal indican probabilidades, y los valores por debajo de la diagonal indican los coeficientes de correlación. Probabilidades menores al 0,05 indican coeficientes de correlación significativos.

	E(mm) (espesor)	A(mm) (ancho)	L(mm) (largo)	Abs(kg/m ³)
E(mm) (espesor)	1,00	0,44	0,00	1,0 E-04
A(mm) (ancho)	0,07	1,00	0,00	6,1 E-07
L(mm) (largo)	0,70	0,68	1,00	7,1 E-07
Abs(kg/m ³)	-0,36	-0,45	-0,45	1,00

Tabla 4. Correlación de Pearson entre variables: Coeficientes y probabilidades para Pino Paraná. Probabilidades menores al 0,05 indican coeficientes de correlación significativos. Los valores superiores a la diagonal indican probabilidades, y los valores por debajo de la diagonal indican los coeficientes de correlación.

	E(mm) (espesor)	A(mm) (ancho)	L(mm) (largo)	Abs(kg/m ³)
E(mm) (espesor)	1,00	5,0 E-09	2,7 E-08	0,15
A(mm) (ancho)	0,51	1,00	0,00	1,1E-04
L(mm) (largo)	0,49	0,92	1,00	0,18
Abs(kg/m ³)	-0,14	-0,35	-0,13	1,00

Tabla 5. Análisis de la varianza (SC tipo III) para Pino ponderosa.

Fuente de Variación	Suma Cuadrados	de	grados libertad	de	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	4730420,84	24			197100,87	9,17	<0,0001
Solución	581534,02	4			145383,51	6,76	0,0001
Dimensión	2508962,27	4			627240,57	29,17	<0,0001
Solución * Dimensión	1539576,89	16			96223,56	4,47	<0,0001
Error	2365428,07	110			21503,89		
Total	7095848,91	134					

Tabla 6. Análisis de la varianza (SC tipo III) para Pino Paraná.

Fuente de Variación	Suma Cuadrados	de	grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	1710,64	14		122,19	12,24	<0,0001
Solución	194,93	4		48,73	4,88	0,0012
Dimensión	1026,12	2		513,06	51,41	<0,0001
Solución * Dimensión	582,37	8		72,80	7,29	<0,0001
Error	997,96	100		9,98		
Total	2708,60	114				

Para Pino ponderosa, se encontró una interacción significativa entre dichos factores (p -valor < 0,0001) (Tabla 5). Esto indica que la absorción varía dependiendo de la combinación de los factores solución y dimensión de la probeta. La mayor absorción se dio con la dimensión (A) (10x10x150) y la solución de paraformaldehído al 25 % (Figura 2).

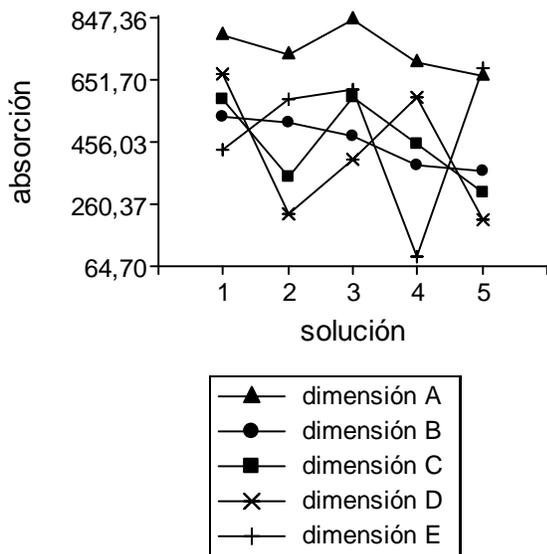


Figura 2. Respuesta de la absorción a la interacción entre solución y dimensión para P. ponderosa.

Para Pino Paraná, se encontró también una interacción significativa entre dichos factores (p -valor < 0,0001) (Tabla 6). En este caso la mayor absorción se obtuvo con la misma dimensión (A) (10x10x150) pero con la solución de paraformaldehído al 50 % (Figura 3).

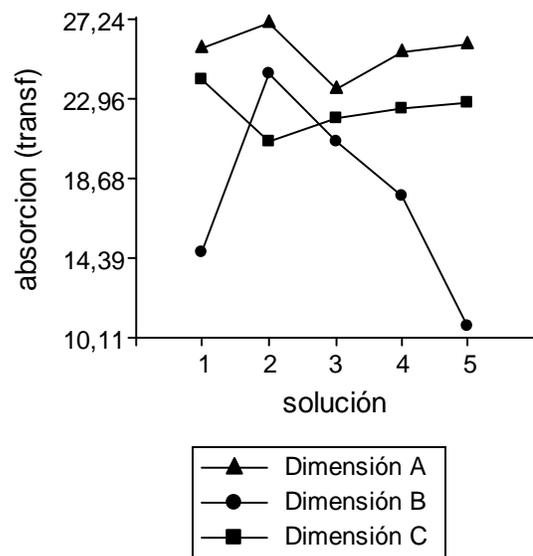


Figura 3. Respuesta de la absorción a la interacción entre solución y dimensión para Pino Paraná.

Tabla 7. Análisis de la varianza, variación de la absorción en función de la especie y las dimensiones de la probeta.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	373691,84	5	746738,37	33,35	<0,0001
Especie	112864,61	1	112864,61	5,04	0,0258
Dimensión	3575430,56	2	1787715,28	79,84	<0,0001
Especie * Dimensión	233220,97	2	116610,49	5,21	<0,0062
Error	4567526,55	204	22389,84		
Total	8301218,38	209			

Tabla 8. Test de Tukey para visualizar las diferencias significativas.

Especie	Dimensión	Medias Abs (Kg/m ³)	n	EE	Diferencias
Araucaria	B	348,77	25	29,93	a
Pino	C	455,41	25	29,93	b
Pino	B	456,61	30	27,32	b
Araucaria	C	506,47	40	23,66	b
Araucaria	A	660,46	50	21,16	c
Pino	A	747,53	40	23,66	c

Error: 22389,83; GL: 204; alfa: 0,05; DMS: 105,93453

En el análisis de variación de la absorción en función de la especie y las dimensiones de la probeta se encontró una interacción significativa entre dichos factores. Por lo tanto la absorción muestra respuestas diferentes, dependiendo de la combinación de especie – dimensión (Tabla 7). A partir del test de Tukey se observan diferencias existentes entre la absorción para cada combinación de factores (Tabla 8, Figura 4).

Se realizó un análisis de la varianza para evaluar como influyen los factores especie y solución sobre la absorción de las probetas de la dimensión A (Tabla 9). La interacción entre ambos factores resultó significativa, por lo tanto la absorción varía en función de la combinación de los niveles de ambos factores. El test de Tukey detecta las diferencias significativas entre los valores de absorción para cada combinación de niveles de los factores (especie y solución) (Tabla 10).

Parámetros físicos

Los valores de contenido de humedad (CH), densidad anhidra (Do), normal (Dn) y normal corregida al 12% del CH (Dn12) para las dos especies del estudio se presentan en la Tabla 11. Según Pimentel Gomes, (1978), los coeficientes de variación obtenidos en todos los parámetros físicos hallados, fueron bajos (< 10%).

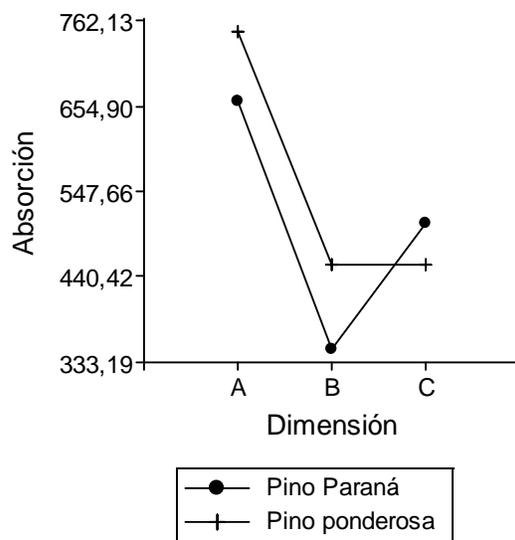


Figura 4. Respuesta de la absorción a la interacción entre especie y dimensión.

Tabla 9. Análisis de la varianza, absorción en función de especie y solución.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p-valor
Modelo	465666,10	9	51740,68	3,42	0,0013
Especie	166038,88	1	166038,88	10,98	0,0014
Solución	62380,18	4	15595,04	1,03	0,3964
especie*solución	240020,53	4	60005,13	3,97	0,0055
Error	1209978,77	80	15124,73		
Total	1675644,87	89			

Tabla 10. Test de Tukey, análisis entre especie y concentración.

Especie	Solución	Medias* Abs (Kg/m3)	n	E.E.
Araucaria	P 25%	538,39 a	10	38,89
Araucaria	B 15%	655,00 a b	10	38,89
Pino ponderosa	B 10%	662,35 a b	8	43,48
Araucaria	P 100%	671,63 a b	7	46,48
Araucaria	B 10%	673,68 a b	13	34,11
Pino ponderosa	B 15%	708,14 a b	8	43,48
Araucaria	P 50%	732,97 a b	10	38,89
Pino ponderosa	P 50%	733,53 a b	8	43,48
Pino ponderosa	P 100%	795,07 b	8	43,48
Pino ponderosa	P 25%	838,55 b	8	43,48

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Tabla 11. Valores medios de las propiedades físicas para las dos especies ensayadas: contenido de humedad (CH), densidad anhidra (Do), normal (Dn) y normal corregida al 12% del CH (Dn12)

Especie	CH* (%)	Do * (kg.dm ⁻³)	Dn * (kg.dm ⁻³)	Dn12 * (kg.dm ⁻³)
Pino ponderosa	12,305 a (3,186)	0,370 a (9,317)	0,399 a (9,535)	0,398 a (9,22)
Araucaria angustifolia	12,858 b (1,55)	0,641 b (6,15)	0,687 b (5,41)	0,674 b (5,81)

* Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p < 0,05$ %)

** Los coeficientes de variabilidad (CV%), se muestran entre paréntesis

Para analizar la tercera hipótesis de trabajo, donde se señala la relación posible entre densidad aparente de la madera y su comportamiento a la impregnación, se comparó la densidad normal ajustada al 12 % de contenido de humedad, de ambas especies y la misma mostró diferencias significativas (Figura 5).

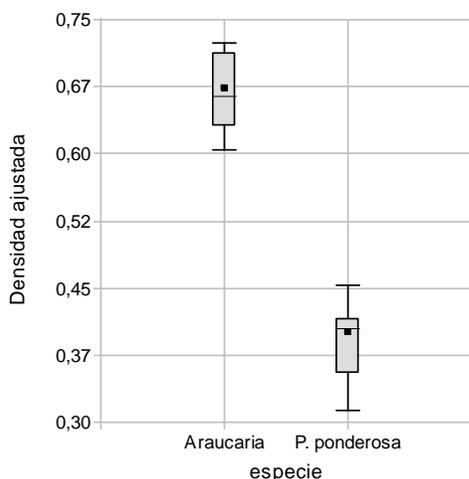


Figura 5. Gráfico de las densidades aparentes normales ajustadas de ambas especies.

Si bien las densidades medias entre ambas especies, presentaron diferencias significativas, no es un factor determinante en los niveles de absorción, ya que entre especies no se observaron diferencias significativas en este parámetro.

DISCUSIÓN

El contenido de humedad obtenido se ubicó en el rango especificado para la determinación de las propiedades físicas (Coronel, 1994) y apto para la impregnación de la madera en autoclave (IRAM 9600, 1998).

De acuerdo a los valores de densidad aparente normal la madera de pino ponderosa fue liviana, ya que sus valores se encontraron en el rango entre 0,351 y 0,550 $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$, mientras que la de pino Paraná fue de densidad media (Coronel, 1994).

Según Rivero Moreno (2004), la madera de pino ponderosa, en cuanto a su densidad aparente anhidra fue clasificada como liviana, dentro del rango de 0,300 a 0,450 $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$, mientras que la densidad anhidra para pino Paraná la categoriza como madera de densidad media.

La absorción con distintas sustancias preservantes y concentraciones, no presentó diferencias significativas entre ambas especies. Esto puede deberse a que las mismas presentan similares porcentajes de espacios vacíos y de densidad en coincidencia con lo hallado por Machuca Velasco et al. (2006), para maderas impregnadas con sales de CCA. Asimismo, en coincidencia con lo encontrado por Otaño et al. (1999), el empleo de preservantes con similitud de solubilidad y concentración produjo un comportamiento ante la impregnación sin diferencias significativas.

Si bien Foog & Choong (1989) citado por Wottiz (2009) demostraron que la penetración y la retención de los productos preservantes dependen de la densidad y la permeabilidad de la madera, en el presente estudio no hubo diferencias entre los parámetros de impregnación de ambas maderas que acompañen sus diferencias en densidad.

Del mismo modo Wottiz (2009) observó que, en general, cuanto mayor es la concentración de la solución preservante mayor es la absorción máxima, y que por cada valor de concentración cuanto mayor es la densidad de la madera menor es la absorción, situación que se verificó en parte en el presente trabajo.

En coincidencia con lo encontrado por Malkov (2002) citado por Wottiz 2009, los factores relacionados con las maderas de estudio: contenido de humedad, densidad, permeabilidad y composición química permitieron lograr penetraciones totales en toda la pieza de madera, de acuerdo a lo esperado para maderas de albura de conífera aplicando el método de impregnación de célula llena.

Asimismo Moreno et al. (2008), obtuvieron para *Pinus taeda*, penetraciones del orden del 90% de la pieza de madera, similar a lo hallado en el presente estudio donde se obtuvieron penetraciones totales en ambas especies.

De acuerdo a lo hallado por Malkov (2002) citado por Wottiz (2009) los factores relacionados con la solución impregnante podrían explicar en parte las diferencias encontradas respecto a la absorción para las distintas sustancias preservantes.

En cuanto al comportamiento inverso de los valores de absorción de preservante respecto a la escuadría, fue similar a lo hallado por Keil et al. (1997), donde estudiando madera de diferentes clones del género *Populus* L., encontraron que las mayores escuadrías tuvieron una absorción significativamente menor que las menores escuadrías.

CONCLUSIONES

La absorción de las 5 soluciones en las dos especies estudiadas, tuvo una correlación negativa con las dimensiones de las piezas impregnadas, es decir que se obtienen mayores absorciones en piezas de dimensiones menores.

El tipo de solución interactuó con la absorción de manera distinta según la especie, en pino ponderosa tuvo mayor absorción la solución de paraformaldehído al 25% y en araucaria, la solución de paraformaldehído al 50% de concentración. Mientras que la mayor absorción se dio en la interacción del factor dimensión con las dos especies y en la menor de las dimensiones estudiadas.

Densidades aparentes diferentes entre las dos especies de coníferas estudiadas no significó distinto comportamiento a la impregnación por métodos de célula llena en autoclave.

Agradecimientos

Al Lic. Ricardo Camera, de la Empresa Química Bosques S.A., por facilitar la planta piloto donde se

realizaron los ensayos de impregnación. A las Ingenieras Guadalupe Canosa y Paula Alfieri por el aporte de los productos impregnantes.

BIBLIOGRAFÍA

- 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. 12 pp.
- Baysal, E. & M.K. Yalinkilic.** 2005. A New Boron Impregnation Technique of Wood by Vapor Boron of Boric Acid to Reduce Leaching Boron from Wood. *Wood Sci. Tech.* 39 (3), 187–198.
- Coronel, E.O.** 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 1ra Parte: Fundamentos de las propiedades físicas de las maderas. Publicación ITM UNSE.
- Garay, R. & M. Henríquez.** 2010. Comportamiento frente al fuego de tableros y madera de pino radiata con y sin pintura retardante de llama. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 12 (1):11-24.
- Giudice, C & A. Pereyra.** 2010. Silica nanoparticles in high silica/alkali molar ratio solutions as fire-retardant impregnants for woods. *Fire and Materials. Fire Mater.* 34:177–187.
- Gonda, H., D. Mohr Bell, R. Sbrancia, J. Lencinas, J. Bava, C. Monte, A. Montoso, A. Siebert, E. García, J. Menéndez, G. Lutz, A. Rocía, J. Van Houtte, A. Coth, G. Tolone & J. Salimbeni.** 2009. Inventario del Bosque Implantado en la Provincia de Neuquén. *Ecogestión* 2009. Primera reunión sobre planificación y legislación forestal. 18 pp.
- Gonzales, R. & T. Suirezs.** 1994. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pino paraná (*Araucaria angustifolia*) reforestado en la provincia de Misiones. *Revista Yvyrareta*, Facultad de Ciencias Forestales, UNAM. 5: 12-21.
- Gonzales, R.; O. Pereyra & T. Suirezs.** 1997. Propiedades físicas y mecánicas de las maderas de cuatro especies de coníferas reforestadas en la provincia de Misiones, Argentina. Comisión de Industria y Comercio. *Actas del II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*, Posadas, Misiones. ISSN 0329-1103. Pp- 137-148.
- Guillaumet A A, Manavella R D, Filippetti M C, Diab J, Armas A.** 2008. Relación entre la nudosidad y las características resistentes de la *Araucaria angustifolia* (Pino Paraná). Facultad Regional Venado Tuerto, Universidad Tecnológica Nacional. Ed. UTN. 22 pp
- INFOR (Instituto Forestal).** 1988. Unidad de Tecnologías e Industrias de la Madera. Caracterización de *Pinus ponderosa*. Concepción, Chile. 33 pp.
- IRAM 9532.** 1963. Método de determinación de humedad. 6 pp.
- IRAM 9544.** 1985. Método para la determinación de la densidad aparente. 6 pp.
- IRAM 9600.** 1998. Preservación de maderas. Maderas preservadas mediante procesos con presión en autoclave. 23 pp.
- Jovanovski A., M. Jaramillo, G. Loguercio & S. Antequera.** 2002. Densidad de la madera de *Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws) en tres localidades de Argentina. *Revista Bosque.* Vol. 23 (2): pp. 57-67.
- JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena).** 1988. Manual del Grupo Andino para La Preservación de Maderas. Proyecto Sub-Regional de Promoción Industrial de la Madera para la construcción. Lima-Peru. 150 pp.
- Keil, G.D.** 2002. Tesis de la Maestría en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel con Orientación en Tecnología de la Madera. Universidad Nacional de Misiones. Determinación de la durabilidad adquirida a través de métodos de envejecimiento acelerado de la madera endurecida de álamo (*Populus deltoides cv Stoneville 66*). PROCyP –FCF, UNAM. 141 pp.
- Keil, G.D.; M.E. Otaño; R.M. Marlats & M.L. Luna.** 1997. Influencia de la escuadría en los valores de retención obtenidos en maderas impregnadas de clones de álamo (*Populus L.*) y su relación con las características físico-anatómicas de sus leños. Comisión de Industria y Comercio. *Actas del II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*, Posadas, Misiones. ISSN 0329-1103. Pp- 107-113.
- Machuca Velasco, R., M. Fuentes Salinas & A. Borja de la Rosa.** 2006. Absorción de soluciones preservantes de nueve especies de maderas, mediante procesos de impregnación a vacío-presión e inmersión. *Revista Chapingo.* Vol 12 (1): 71-78.
- Martín Moreno, C.** 2005. Síntesis de polímeros organoborados retardantes a la llama. Doctorado en Química. Universitat Rovira i Virgili. Departament de Química Analítica i Química Orgànica. Tarragona. 238 pp.
- Moreno, G., E. Pan, A. Wottitz, M.E. Carranza & R. Segienowicz.** 2008. Impregnación de la madera de orígenes de *Pinus taeda* implantados en la localidad de Famallá, Provincia de Tucumán. *Revista Quebracho.* Vol.15: 42-46.
- Otaño, M.E., G.D. Keil, M.L. Luna, B. Díaz & R.M. Marlats.** 1999. Impregnación de maderas de *Pinus radiata*, *P. pinaster*, *P. pinea* y *P. halepensis*: relación entre la absorción de preservantes hidrosolubles y sus características físicas y anatómicas. *Revista de la Facultad de Agronomía.* Vol. 104 (1):75-84
- Pimentel Gomes, F.** 1978. Curso de estadística experimental. Ed. Hemisferio Sur. 323 pp.
- Rivero Moreno, J.A.** 2004. Propiedades Físico-Mecánicas de *Gmelina arborea* Roxb. y *Tectona grandis* Linn. F. Proveniente de Plantaciones Experimentales del Valle del Sacta -Cochabamba. Cochabamba. Bolivia. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos16/gmelina-arborea/gmelina-arborea.shtml>. Último acceso: Enero 2013.
- Rodríguez Barreal, J.A.** 1988. Problemática Ambiental. Texto sobre Patología de la Madera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. 253 pp.
- Spavento, E., G. Keil, A. Alba, G. Sañudo & G. Acciaresi.** 2010. Datos Tecnológicos Preliminares de Pino Ponderosa (*Pinus Ponderosa* Dougl. ex Laws) asociados al Sitio. I Jornadas Forestales Patagonia Sur. Provincia de Tierra del Fuego, CONICET e INTA-Ushuaia. Auspiciadas por IUFRO Landscape Ecology International Group. Ushuaia, Argentina. Resumen y poster.

Wottiz, C.A. 2009. Análisis teórico de las variables que influyen en la impregnación con preservantes hidrosolubles de tablas de dimensiones comerciales. Revista Quebracho. Vol. 17 (1-2): 5-15.

Zingoni, M., I. Andía, P. Guerra & U. Mele. 2005. La Madera juvenil: un aspecto de importancia a considerar en plantaciones de *Pinus ponderosa*. 3° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes, Argentina. Actas CD: 9pp.