

Comportamiento de la madera de *Populus nigra* cv. *Italica* ante la preservación con creosota y CCA

B.G. Díaz¹*, M.L. Luna², G.D. Keil¹, M.E. Otaño¹, P.L. Peri³

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP).

² Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP) - CIC, Buenos Aires.

³ Universidad Nacional de la Patagonia Austral.

* Vélez Sarfield 557 (9400) Río Gallegos, Santa Cruz (Arg.).

changoforesto@gmx.net.

RESUMEN

El álamo criollo (*Populus nigra* cv *Italica*) es uno de los clones más cultivados en la Patagonia argentina con el fin principal de proteger cultivos frutihortícolas, pasturas, ganado y construcciones rurales. Históricamente se ha utilizado su madera en la región como poste corto y leña. Sin embargo, nunca ha existido un aprovechamiento intensivo de ella debido a su baja durabilidad natural. La aplicación de sustancias y tratamientos preservadores permitiría incrementar la vida útil de su madera en servicio.

Se evaluaron los niveles de absorción de solución de creosota en distintas concentraciones y la retención de CCA, aplicados mediante los tratamientos de célula llena, célula vacía y baño en caliente y frío. Se utilizaron probetas de álamo criollo de reducidas dimensiones, procedente de dos zonas de cultivo en la provincia de Santa Cruz: *Los Antiguos* y *Gobernador Gregores*.

La madera de *Los Antiguos*, procedente de mejores condiciones de cultivo, presentó la madera menos densa y la mayor tasa anual de crecimiento. También obtuvo los mayores niveles de retención de CCA y de absorción de creosota. No obstante tratarse del mismo clon, la procedencia del cultivo determinó comportamientos diferenciales ante los tratamientos preservadores, con diferencias en los resultados más evidentes durante la utilización de creosota que con el CCA. Se detectaron diferencias anatómicas importantes entre ambas procedencias pudiéndose explicar a través de éstas el comportamiento de las maderas ante los tratamientos preservadores, en especial a partir de la porosidad y del diámetro medio de vasos.

Palabra clave: *Populus nigra*, preservación de la madera, CCA, creosota, Patagonia.

* Autor para correspondencia

Recibido: 2-10-01

Aceptado para su publicación: 14-2-02

INTRODUCCIÓN

En décadas recientes la Patagonia argentina se ha caracterizado por la creciente pérdida de suelos productivos, originada en procesos naturales de erosión eólica y potenciada por la aplicación de malas prácticas ganaderas (Montes y Oliva, 1994). Esta situación, junto a la escasa diversidad productiva de la región, determinan la necesidad de generar nuevas alternativas económicas para los pequeños productores.

El álamo criollo o negro (*Populus nigra* cv *Italica*) es uno de los clones más cultivados en la región desde finales del siglo XIX. Su adaptabilidad a las condiciones climáticas severas de la región, en particular su resistencia a los fuertes vientos, ha determinado su cultivo extensivo como cortinas cortaviento, con el fin principal de proteger cultivos frutihortícolas, pasturas, ganado y construcciones rurales (Peri *et al.*, 1997). En los últimos años se ha profundizado significativamente el conocimiento sobre los efectos protectores de las cortinas cortaviento del género *Populus* cultivadas en la provincia, así como sobre su establecimiento y crecimiento (Peri, 1997; Peri y Martínez Pastur, 1998). Sin embargo, se desconoce mucho aún respecto a las características tecnológicas de su madera, así como sus caracteres anatómicos, físicos, mecánicos, de trabajabilidad y tratabilidad. El conocimiento de estas características es fundamental para un aprovechamiento correcto e intensivo de las cortinas cortaviento de álamo. De esta forma representaría una interesante propuesta para el desarrollo de las economías regionales en la Patagonia (INTA, 1996).

Históricamente, la madera del álamo criollo ha sido utilizada en la región como poste corto y leña, principalmente con destinos rurales. Sin embargo, nunca ha existido un aprovechamiento intensivo de ella debido fundamentalmente a su baja durabilidad natural. La normativa nacional clasifica a la madera de álamos en general como muy poco durables, con una vida media estimada para piezas en servicio inferior a 5 años (IRAM, 1998). Los escasos antecedentes generados en este tema permiten confirmar esta durabilidad, al menos en gran parte del país (Chiani, 1964; 1965; 1967; Tinto y Chiani, 1967; Arreghini, 1978).

La aplicación de sustancias y tratamientos preservadores permiten incrementar la vida útil de las maderas en servicio (Picaseño y Manrique, 1974), reduciendo los costos derivados de sustituciones frecuentes de material en instalaciones permanentes (Hunt y Garrat, 1962). Así, la preservación también permite ampliar el espectro de usos de una madera hacia aplicaciones para las que no presenta una buena durabilidad natural (Otaño *et al.*, 1996). En general, la madera de los álamos presenta buena tratabilidad ante la impregnación con sustancias preservantes, permitiendo asegurar buenos niveles de absorción y penetración (Chiani, 1967; IRAM, 1998). La tratabilidad de las maderas varía con las especies y se asocia con las características de su estructura anatómica (Thompson & Koch, 1981). El tamaño, la distribución y las características de los elementos conductores son algunos de los factores más importantes en la determinación del movimiento y fijación de preservantes en su interior (McMilling & Manwiller, 1984). Estudios recientes han permitido relacionar los parámetros de tratabilidad (absorción, retención y penetración) con las características anatómicas de la madera de algunas especies de alamo cultivadas en el país (Keil *et al.*, 1997; 1999; Otaño *et al.*, 1996; 1998). Diversos factores afectan a las características de los elementos anatómicos y, en consecuencia, al desempeño particular de una madera ante un tratamiento y producto preservantes. Entre éstas, la variación geográfica o sitio de procedencia del cultivo (Zobel & Jett, 1995), la edad de la planta (Hugues, 1973)

y el lugar de extracción de la muestra dentro del árbol (Giménez y López, 2000) se encuentran entre las más importantes.

En el presente trabajo se evaluaron los niveles de absorción y retención de dos productos preservantes, aplicados por diferentes métodos, en la madera de *Populus nigra* cv. *Italica* de dos procedencias de cultivo en la provincia de Santa Cruz. Se analizaron las posibles interacciones entre los niveles de preservación logrados, variables físicas y anatómicas de las maderas y algunas variables silvícolas de las plantaciones de origen.

MATERIAL Y MÉTODOS

Parámetros silviculturales de los clones ensayados

Se ensayó la madera de dos procedencias de *Populus nigra* L. cv. *Italica* (álamo negro o criollo) cultivado en la provincia de Santa Cruz (Fig. 1): *Gobernador Gregores* (70°12'LO - 48°46'LS, 358 m.s.n.m.) y *Los Antiguos* (71°37'LO - 46°33'LS, 205 m.s.n.m.). La madera ensayada de ambas procedencias provino del aprovechamiento de cortinas cortaviento (Tabla 1), utilizadas localmente para la protección de cultivos.

Tabla 1
Características silviculturales de las procedencias de *Populus nigra* cv *Italica* ensayadas

	Gobernador Gregores	Los Antiguos
Tipo de cortina	Simple (una hilera)	Doble
Edad de plantación (años)	45	25
Distanciamiento medio entre plantas (m)	0,6	1 (1,5 entre hileras)
Altura media de los individuos dominantes (m)	17	20
Calidad de sitio ¹	B	A
Diámetro medio de individuos dominantes ² (cm)	30,8	41,4

¹ Determinada a partir de ecuaciones de índice de sitio (Peri y Martínez Pastur, 1998); ² DAP, diámetro a la altura de pecho (1,30 m.).

Selección y preparación del material de ensayo

Se seleccionaron aleatoriamente 10 árboles de cada cortina. Se los apeó a 30 cm del nivel del suelo y, del primer rollizo de 2 m de longitud, se extrajeron tablas de 5 cm de espesor. La totalidad de la madera se transformó en listones de 5 × 5 cm de escuadría y longitud variable, estibándose luego para su secado al aire hasta alcanzar un peso constante. El contenido de agua de las probetas en este punto se define como el contenido de humedad de equilibrio higroscópico. A partir de este material se prepararon 150 listones de

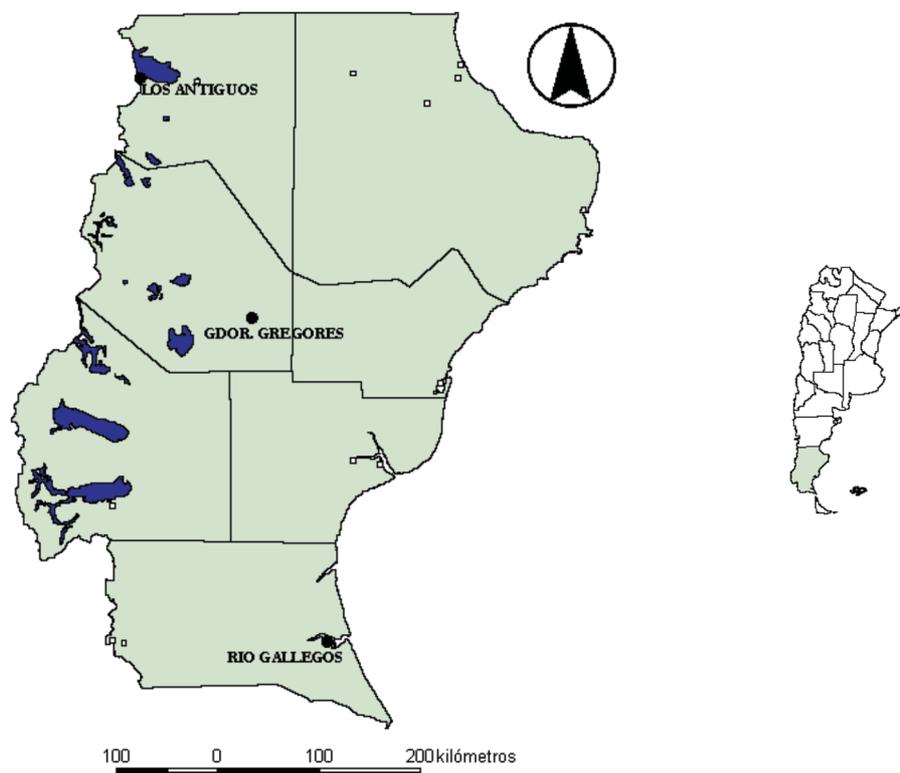


Fig. 1.—Localización de las procedencias de madera de *Populus nigra* cv *Italica* ensayada, en la Provincia de Santa Cruz (Argentina)

cada procedencia para los diferentes ensayos de preservación, con grano recto y ausencia de nudos, manchas y defectos, y dimensiones finales $2 \times 2 \times 10$ cm (la mayor dimensión en el sentido axial). También se separaron 110 probetas cúbicas de 2 cm de lado de cada procedencia, de similares características a las anteriores, para el control del contenido de humedad al momento del ensayo, la determinación de la densidad y la realización de análisis anatómicos. Para estos últimos, se realizaron cortes histológicos en el plano transversal los cuales fueron coloreados con safranina *fast-green*.

Tratamientos y preservantes utilizados

Se aplicaron 5 tratamientos preservadores: célula llena, también denominado Bethell (Hunt y Garrat, 1962), con preservante CCA; célula vacía o Lowry (Hunt y Garrat, 1962), con CCA; Bethell con dos soluciones de creosota; y baño en caliente y frío con creosota (Tabla 2). El número de probetas empleadas por cada procedencia y por cada tratamiento

preservador fue de 30. Los tratamientos se plantearon con ligeras modificaciones en los tiempos y cargas de presión respecto de las técnicas industriales para adaptarlos al pequeño tamaño de las probetas, siguiendo propuestas anteriores para este tipo de estudios (Keil *et al.*, 1997; 1999; Otaño *et al.*, 1996; 1998; 1999).

Durante la aplicación de los tratamientos Bethell y Lowry, el período de presión fue de 10 minutos a 3 kg/cm² (296,1 kPa) y el correspondiente al vacío final de 15 minutos a 600 mm de Hg (79,97 kPa). En el caso del tratamiento Bethell, el vacío inicial fue de similares características que el vacío final. El baño en caliente y frío comenzó con una etapa de 1 hora de inmersión completa de las probetas en la solución de creosota a 100 ± 5 °C, una vez que la misma fue estabilizada a 100 °C. Posteriormente, las probetas se pasaron rápidamente a una segunda solución, de igual concentración y a temperatura ambiente, durante 2 horas (Tabla 2).

Tabla 2
Detalle de los tratamientos preservadores ensayados

Producto	Método de preservación	Referencia*
CCA	Bethell	(1)
CCA	Lowry	(2)
CREOSOTA 50 %	Bethell	Temperatura solución = 17 °C, (3)
CREOSOTA 75 %	Bethell	Temperatura solución = 17 °C, (4)
CREOSOTA 75 %	Baño caliente/frío	Temperatura baño caliente = 100 ± 5 °C; baño frío = 23 ± 2 °C, (5)

* Entre paréntesis, referencia a utilizarse en cuadros y análisis posteriores.

Los preservantes utilizados fueron creosota y CCA-C. Ambos representan productos ampliamente comercializados en el país. El CCA, con una concentración de óxidos en la formulación comercial del 72 %, se diluyó al 2 % (p/v) en agua corriente para obtener la solución preservante. El solvente utilizado para la dilución de la creosota fue xileno.

Mediciones realizadas en los materiales de ensayo

Sobre la cara transversal de las probetas se determinó la tasa de crecimiento radial anual promedio (TC) mediante el conteo del número de anillos y la medición de su espesor. Las determinaciones de humedad de equilibrio y densidad aparente anhidra (DAA) del material de ensayo se realizaron conforme a los procedimientos estandarizados por normas IRAM9532 y 9544 respectivamente, sobre probetas cúbicas de 2 cm de lado. A partir de la DAA, obtenida mediante la relación entre el peso y el volumen anhidros de las probetas (contenido de humedad = 0 %), se calculó la porosidad porcentual en material seco (Cooper y Churma, 1990):

$$\text{porosidad} = \left(1 - \frac{\text{DAA}}{\text{PET}} \right) * 100$$

Donde: $DAA =$ densidad aparente anhidra (contenido de humedad = 0 %); $PET =$ = peso específico teórico de la sustancia sólida, $PET = 1,5$ (Kollman, 1959; Cooper y Churma, 1990).

Previo a la aplicación de los tratamientos impregnantes, se registró el peso inicial de las probetas. El peso final, por su parte, se determinó entre 15 y 30 minutos luego de finalizados éstos, momento en que no se evidenció escurrimiento superficial de solución preservante excedente. Los cálculos de absorción de creosota se basaron en la diferencia de pesos registrados antes y después del tratamiento, relacionándola con el volumen inicial de madera y con la dilución planteada (a). Para el cálculo de la retención del CCA se consideró, además, la concentración de óxidos en el producto comercial (b):

$$\text{absorción (Kg /m}^3\text{)} = \left(\frac{PF - PI}{Vol} \right) * \frac{C}{100} \quad (a)$$

$$\text{retención (Kg /m}^3\text{)} = \text{absorción} * \frac{FO}{100} \quad (b)$$

Donde: $PF =$ peso final (Kg); $PI =$ peso inicial (Kg); $Vol =$ volumen de la probeta al contenido de humedad de equilibrio (m^3); $C =$ dilución del preservante (%); $FO =$ concentración de óxidos en el producto comercial (%).

Se estudiaron las siguientes características anatómicas: diámetro de los vasos (DIAV), espesor de la pared de las fibras (ESPPA) y densidad de vasos, tanto en el leño temprano como en el tardío (DENV) (Giménez y López, 2000). Debido a la marcada forma oval de los vasos, para la determinación del DIAV se promediaron dos mediciones perpendiculares sobre cada uno, en sentidos radial y tangencial al anillo de crecimiento. Trabajos anteriores han demostrado que estas variables permiten explicar satisfactoriamente el comportamiento de la madera de salicáceas ante diversos tratamientos de impregnación (Otaño *et al.*, 1996; 1998; Keil *et al.*, 1997; 1999). A partir del DIAV y de la DENV en cada leño, se determinó la representatividad porcentual del espacio poroso en la sección transversal de la madera (PROV).

Análisis de resultados

Previo al análisis estadístico de los datos se comprobó la normalidad en la distribución de las variables consideradas mediante el test de Kolmogorov-Smirnov sobre los correspondientes histogramas de frecuencias. Se utilizó el test de Tukey con un nivel $p \leq 0,05$ para la comparación de los valores medios obtenidos en los distintos ensayos y mediciones. Se ensayaron correlaciones entre los valores de absorción y retención obtenidos con los diferentes tratamientos y las variables densidad al contenido de humedad (DACH) y tasa de crecimiento ($TC = 1/\text{espesor medio de anillos anuales}$), a fin de relacionar los resultados con parámetros físicos y silviculturales de las procedencias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación entre parámetros físicos y silviculturales

Generalmente se acepta que cuanto más rápido sea el crecimiento del álamo, más liviana es su madera. No obstante esto, se debe ser muy prudente con las generalizaciones teniendo en cuenta que las variaciones, incluso dentro de un mismo individuo, pueden ser muy significativas (FAO, 1980). La calidad de sitio, sumatoria de los factores ambientales, junto con el manejo silvicultural permiten definir la potencialidad productiva de los terrenos forestales. De esta forma, la combinación de buenos sitios y prácticas silviculturales apropiadas para una especie determinada permiten acortar los turnos de los cultivos forestales (Daniel *et al.*, 1982). La mejor calidad de sitio junto con la menor densidad de plantación en la procedencia LA (Tabla 1), determinaron una mayor tasa de crecimiento radial en su madera respecto a la procedencia GG (0,89 y 0,44 cm/año, respectivamente) (Tabla 3) así como mayores crecimientos en altura en los individuos de la clase social dominante (Tabla 1).

La madera con mayor tasa de crecimiento anual (LA) demostró ser la menos densa (Tabla 3). Sin embargo, y pese a que las diferencias de densidad anhidra resultaron significativas entre las procedencias, la escala del presente estudio no nos permite inferir si la relación entre la tasa de crecimiento (TC), la densidad al contenido de humedad de equilibrio (DACH) y las características silviculturales es significativa. Este tipo de interrelaciones entre densidad y la tasa de crecimiento es de difícil determinación en maderas de porosidad difusa, obteniéndose en general coeficientes de correlación de magnitud variable (Tabla 3) (Zhang, 1995).

El valor de la densidad anhidra de la madera, definido como el contenido de materia sólida en un volumen dado, permite caracterizar a su porosidad. La madera menos densa de LA, demostró una leve aunque significativa mayor porosidad respecto a GG (78,60 % y 76,11 %, respectivamente) (Tabla 3).

Tabla 3
Características físicas de la madera de *Populus nigra*

Procedencia	Contenido de humedad (%) ¹	Densidad anhidra ² (g/cm ³)	Tasa crecimiento radial ³ (cm/año)	Prueba de Correlación ⁴	Porosidad (%)
Gobernador Gregores	13,01 ^a (0,92)	0,365 ^b (1,64)	0,44 ^a (2,38)	-0,116 ^{ns}	76,11 ^{a*} (0,22)
Los Antiguos	14,76 ^b (2,98)	0,335 ^a (2,39)	0,89 ^b (3,10)	-0,141 ^{ns}	78,60 ^{b*} (0,16)

Entre paréntesis figura el coeficiente porcentual de variación. Letras distintas denotan diferencias significativas mediante el test de comparación de medias de Tukey a un nivel $p \leq 0,05$. ¹ Humedad de equilibrio higroscópico al momento de ensayo. ² Determinación a partir de volumen y peso anhidros (contenido de humedad = 0 %). ³ Transformación a partir del ancho de anillos en probetas. ⁴ Prueba de correlación entre densidad anhidra y tasa de incremento radial de las probetas. ^{ns} Coeficiente de correlación no significativo. * Significativo a un nivel $p \leq 0,01$.

Anatomía cuantitativa

La madera del género *Populus* presenta porosidad difusa, con diferencias muy sutiles en el número y dimensión de los vasos entre los leños temprano y tardío de cada anillo de crecimiento (FAO, 1980). En ambas procedencias se pudieron observar, no obstante, diferencias importantes en el diámetro medio de los vasos (DIAV) para cada leño, siendo las diferencias más sutiles en la densidad de vasos (DENV) (Tabla 4). Estas variables demostraron diferencias altamente significativas entre procedencias, siendo mayor el DIAV medio en ambos leños en el caso de la procedencia LA, y mayor el DENV promedio en la procedencia GG. La representatividad de la superficie porosa total en el corte transversal (PROV) demostró ser mayor en el caso de la procedencia GG, mientras que el espesor de la pared de los vasos (ESPPA) entre éstas difirió levemente.

Tabla 4
Anatomía cuantitativa de la madera de *Populus nigra* cv *Itálica*

Procedencia	Muestra (n.º)	ESPPA (µm)	Leño temprano			Leño tardío		
			DENV (n/mm ²)	DIAV (µm)	PROV (%)	DENV (n/mm ²)	DIAV (µm)	PROV (%)
Los Antiguos	100	2,64 ^a (2,58)	43,2 ^{a*} (5,07)	100,5 ^{a*} (1,41)	36,7 ^{a*} (6,31)	58,8 ^{a*} (4,04)	75,1 ^{a*} (1,51)	26,03 ^{a*} (5,37)
Gobernador Gregores	100	2,46 ^a (2,97)	73,4 ^{b*} (3,59)	95,9 ^{b*} (1,15)	55,8 ^{b*} (5,07)	90,5 ^{b*} (3,08)	68,8 ^{b*} (1,42)	36,2 ^{b*} (5,72)
Promedio	—	2,55	56,14	98,17	44,87	72,41	71,91	30,39

Entre paréntesis figura el coeficiente porcentual de variación. Letras distintas denotan diferencias significativas a un nivel $p \leq 0,05$. * Significativo a un nivel $p \leq 0,01$. ESPPA = espesor medio de pared de fibras; DENV = densidad promedio de vasos por milímetro cuadrado; DIAV = diámetro medio del lumen de vasos; PROV = proporción porcentual de superficie de lúmenes.

Comportamiento de procedencias y tratamientos preservantes

La madera de procedencia LA alcanzó, en los 5 tratamientos preservadores ensayados, mayores niveles de absorción de creosota y retención de CCA respecto a la madera de GG. Pese a que en algunos tratamientos las diferencias entre procedencias fueron importantes, como en el caso del baño en caliente y frío (tratamiento 5), en ningún momento éstas fueron estadísticamente significativas con el test de comparación de medias propuesto (Tabla 5). Las diferencias observadas en los niveles de retención de CCA entre ambas procedencias (para cada uno de los tratamientos 1 y 2) fueron pequeñas y, desde un punto de vista práctico, poco importantes (0,14 Kg/m³ para el tratamiento Lowry y 0,67 Kg/m³ para Bethell). Resultados obtenidos durante la preservación de madera de *Populus deltoides* cv *Stoneville 66*, *P. deltoides* cv *Argentina-568/1* y *P. deltoides* cv *Har-*

vard y *Catfish 2* (Keil *et al.*, 1997; Otaño *et al.*, 1998), *Salix nigra*, *S. babylonica* × *S. alba* cv *A-131-25* (Keil *et al.*, 2000), en similares condiciones de ensayo y con los mismos tratamientos, demostraron similares niveles de retención de CCA.

El vacío aplicado al inicio del tratamiento Bethell permite crear una ligera tensión diferencial en el interior de la estructura leñosa que facilita la penetración posterior de solución preservante durante el período de aplicación de presión. También permite remover parte de la humedad y aire retenido en capas superficiales de la madera y que representan barreras a la penetración del preservante (Donoso y Manríquez, 1978). Esta etapa es la responsable de los mejores niveles de retención de solución preservante en el tratamiento Bethell respecto a Lowry (Hunt y Garrat, 1962). El vacío final, por su parte, permite remover parte del excedente de preservante superficial a fin de limitar los escurridos posteriores en la madera (Silva Lepage *et al.*, 1986). Durante la utilización de CCA, la combinación de etapas de vacío y presión permitieron obtener buenos niveles de preservación, en parte debido a la polaridad del solvente (agua) y a la difusión del producto que facilitan la retención del preservante en el interior del leño (Silva Lepage *et al.*, 1986). En los tratamientos con creosota la absorción lograda mediante el tratamiento Bethell en ambas maderas resultó por debajo de los niveles esperados en comparación a los obtenidos mediante el baño en caliente y frío (Tabla 5).

Tabla 5

Absorción neta de solución creosota y retención de CCA en madera de *Populus nigra* análisis de correlación entre los niveles de impregnación y las variables tasa de crecimiento y densidad

Procedencia	Tratamiento	Absorción/Retención (Kg/m ³)	Pruebas de correlación	
			DACH ¹	TC ²
Los Antiguos	(1)	7,02 ^a (4,22)	-0,33	+0,32
	(2)	4,44 ^b (2,50)	+0,51 ^S	-0,04
Gobernador Gregores	(1)	6,37 ^a (3,61)	+0,10	+0,24
	(2)	4,30 ^b (3,30)	-0,29	+0,23
Los Antiguos	(3)	151,13 ^a (6,39)	-0,33	+0,33
	(4)	235,78 ^b (6,18)	-0,23	+0,32
	(5)	360,46 ^c (5,05)	-0,27	-0,33
Gobernador Gregores	(3)	120,46 ^a (5,24)	-0,11	-0,46 ^S
	(4)	234,27 ^b (6,65)	-0,24	-0,08
	(5)	309,90 ^c (7,68)	+0,06	-0,46 ^S

Entre paréntesis figura el coeficiente porcentual de variación. Letras distintas denotan diferencias significativas a un nivel $p \leq 0,05$. ¹ Densidad aparente al contenido de humedad de ensayo; ² tasa de crecimiento; ^S coeficiente de correlación significativo a $p \leq 0,05$.

La dilución de la creosota al 50 % en el tratamiento (3) ocasionó un nivel de absorción de preservante significativamente más bajo para ambas maderas respecto al tratamiento (4), con una dilución del 75 %. La creosota se caracteriza por presentar una elevada viscosidad a temperatura ambiente. No obstante la utilización de solventes permite disminuir esta viscosidad facilitando así la penetración, la absorción y la distribución del preservante en el interior de la estructura leñosa, la temperatura es considerada una variable de mayor importancia dado que además permite la dilatación del material, con lo cual se facilita el flujo de la creosota (Hunt y Garrat, 1962; Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

Los tratamientos con soluciones de creosota demostraron las mismas tendencias, en favor de mayores niveles de absorción para la procedencia LA. De igual forma que en los tratamientos con CCA, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre las procedencias.

Relación entre niveles de preservación, densidad, crecimiento y humedad de las maderas

En maderas de porosidad difusa, como es el caso del alamo, valores bajos de densidad y, en consecuencia mayores porosidades, determinan mayores flujos de preservantes (Copper and Churma, 1990), dado que tanto los productos hidrosolubles como los oleosos utilizan a los vasos como vías principales de movimiento en el interior de la madera (Kollman, 1959). Para todos los tratamientos preservadores ensayados, la madera menos densa de la procedencia LA mostró los mejores niveles de absorción de creosota y retención de CCA (Tablas 3 y 4). Estas observaciones contrastan con los resultados obtenidos por Keil *et al.* (1997; 1999) y Otaño *et al.* (1998) en madera de los géneros *Populus* y *Salix* procedente de sitios de cultivo en latitudes más bajas. En estos trabajos, los mayores niveles de retención de preservantes hidrosolubles logrados empleando los mismos tratamientos se asociaron siempre al material leñoso de mayores densidades.

Las tendencias observadas entre los niveles de absorción y retención de soluciones preservantes y los valores de DACH y TC, no pudieron ser corroboradas en forma significativa mediante los análisis de correlación (Tablas 4 y 5). Si bien es posible reconocer un patrón de comportamiento, hallar una correlación significativa entre estas variables puede resultar bastante dificultoso debido a que son varios los factores que interactúan durante la aplicación del tratamiento (Hunt y Garrat, 1962). En general, los coeficientes logrados resultaron bastante bajos y con significados variables (Tabla 5). Por otra parte, el análisis conjunto de las procedencias en cada tratamiento preservador ensayado permitió corroborar la obtención de mejores niveles de retención y absorción en maderas de menor DACH y mayor TC, pese a los bajos coeficientes de correlación (Tabla 6).

No se encuentra estandarizado en la normativa nacional el contenido óptimo de humedad (CH%) para la preservación de maderas. Esto redundaría en la elección arbitraria, durante la conducción de ensayos de preservación, de CH% en el punto de equilibrio higroscópico, usualmente en valores cercanos al 12 % (Keil *et al.*, 1997; 1999; Otaño *et al.*, 1996; 1998). Valores de CH% por debajo del punto de saturación de fibras (PSF) no representarían obstáculos de importancia práctica para el flujo de soluciones preservantes, dado que el agua existente se concentra mayormente en las paredes celulares y los productos circulan mayormente por los capilares (Hunt y Garrat, 1962; Kumar y Morrell,

Tabla 6

Análisis de correlación entre los niveles de impregnación, tasa de crecimiento y densidad, para la madera de ambas procedencias tratadas conjuntamente

Tratamiento	Pruebas de correlación	
	DACH ¹	TC ²
(1)	-0,20	+0,34 ^s
(2)	-0,09	+0,12
(3)	-0,35 ^s	+0,37 ^s
(4)	-0,19	+0,15
(5)	-0,20	-0,08

¹ Densidad aparente al contenido de humedad de ensayo; ² tasa de crecimiento; ^s coeficiente de correlación significativo a $p \leq 0,05$.

1989). Por ello, la pequeña diferencia de CH% observada entre procedencias en el equilibrio higroscópico, previo a la aplicación de los tratamientos, puede considerarse despreciable (Tabla 4).

Relación entre niveles de preservación y anatomía de las maderas

La procedencia LA presentó un ESPPA ligeramente superior, si bien no en forma significativa, respecto a la madera de GG (Tabla 4). Sin embargo, la importancia relativa de esta variable podría asociarse más a etapas posteriores a la aplicación de los tratamientos de preservación, especialmente con preservantes hidrosolubles, dado que en ese momento predominan procesos de difusión a través de las paredes celulares del leño (Kollman, 1959). Durante la impregnación, tanto los preservantes hidrosolubles como los oleosos utilizan mayoritariamente a los vasos como vías de movimiento en el interior de la madera. Particularmente, el movimiento de fluidos a través de los capilares aumenta en relación directa a la cuarta potencia del radio del mismo (Hunt y Garrat, 1962). Este argumento permite explicar los mayores niveles de absorción de creosota y retención de CCA logrados en la madera de procedencia LA, cuyos DIAV resultaron superiores a los de la procedencia GG, incluso presentando DENV y PROV significativamente más bajos.

CONCLUSIONES

En este estudio se corroboró que la procedencia de cultivo y los parámetros silviculturales influyeron sobre la densidad, la tasa de crecimiento y las variables anatómicas seleccionadas (diámetro de vasos, densidad de vasos en los leños temprano y tardío, porosidad y representatividad porcentual del espacio poroso en el plano transversal del leño) en *Populus nigra* cv. *Italica*.

La madera procedente de *Los Antiguos* alcanzó en todos los tratamientos planteados, los mejores niveles de retención de CCA y absorción de creosota, respecto a la procedencia *Gobernador Gregores*. Estos resultados coincidieron con una menor densidad y mayor tasa de crecimiento, procedente de un sitio con mejores condiciones de cultivo. Si bien esto permite suponer una influencia de las características silviculturales en el comportamiento de la madera del álamo ante la preservación, las interrelaciones correspondientes no pudieron ser corroboradas mediante los análisis de correlación. Desde un punto de vista práctico, las diferencias en los niveles de retención de CCA entre procedencias resultaron despreciables. Los valores alcanzados se ubicaron entre los obtenidos por otros autores ensayando la madera de otras especies de los géneros *Populus* y *Salix* en similares condiciones (Keil *et al.*, 1997; 2000; Otaño *et al.*, 1998). Esto permite sugerir que la madera de la familia *Salicaceae* cultivada en el país podría ser preservada indistintamente, mediante tratamientos de vacío y presión, sin necesidad de diferenciar género, especie, clon o procedencia de cultivo.

La aplicación del tratamiento Bethell con creosota, en las condiciones de ensayo planteadas, resultó poco efectiva ya que el baño en caliente y frío, un método de aplicación mucho más sencilla, permitió alcanzar niveles de absorción significativamente más altos. Es probable que los tiempos o el nivel de presión negativa alcanzada durante el vacío final hallan resultado excesivas para las dimensiones de las probetas utilizadas, determinando una fuerte pérdida de solución ya incorporada en la madera. Para el caso de la dilución al 50 % en particular, la viscosidad de la creosota disminuye significativamente, acentuando este efecto.

De las variables anatómicas analizadas, el diámetro medio de los vasos permitió explicar los mayores niveles de absorción y retención de productos preservantes logrados por la procedencia *Los Antiguos*.

Los antecedentes sobre aspectos tecnológicos relacionados a la preservación de la madera de los géneros *Populus* y *Salix* cultivados en el país son actualmente escasos. Más aún respecto de las posibles influencias silviculturales en las características tecnológicas de sus maderas. Los resultados obtenidos en el presente trabajo deben asumirse como preliminares y orientativos dada la experimentación sobre material de reducidas dimensiones y las modificaciones planteadas en los tratamientos preservadores respecto de las prácticas habituales a escala comercial.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a Lucas Monelos, Eduardo Cittadini, Mónica y Remo Murace por su colaboración en distintas etapas del proyecto. A Juan Manuel Cellini y Guillermo M. Pastur por las revisiones críticas de los manuscritos y sus interesantes aportes, y en especial, a la E.E.A. Santa Cruz del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (I.N.T.A.) por el aporte de fondos para la realización del proyecto.

SUMMARY

Behaviour of *Populus nigra* cv *Italica* timber in creosote and CCA preservation treatments

Populus nigra cv *Italica* (Álamo criollo) is the most important species planted in Southern Patagonia mainly to protect agricultural crops, livestock and rural houses and to provide a source of wood for fuelwood. In spite of the low natural durability of its wood, Álamo has been a traditional source of poles for construction purposes. The application of preservative treatments could increment the mean expected life of its wood in service.

The objective of the present work was to evaluate Creosote absorption and CCA retention levels in different concentrations applied to Álamo timber with three treatments: full-cell, empty-cell and hot-cold bath. Small cubic blocks of Álamo criollo timber from two plantation sites in Santa Cruz province (*Los Antiguos* y *Gobernador Gregores*) were used. Physical and anatomical studies were carried out.

Wood from *Los Antiguos* reached the highest creosote absorption and CCA retention levels. This timber, growing in better site conditions, also showed the lowest density and the highest annual ring increment growth. There were important differences for the anatomical variables studied between sites. *Los Antiguos* timber has the higher wood porosity and mean pore diameter. Physical and anatomical differences observed between timbers explain the absorption and retention levels obtained.

Key words: *Populus nigra*, wood preservation, CCA, creosote, Patagonia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARREGHINI R.I., 1978. Estado actual de la parcela de postes de álamo preservados con pentaclorofenol. III Congreso Forestal Argentino, 25-30 de setiembre, Buenos Aires. 2 pp.
- COOPER P.A., CHURMA R., 1990. Estimating diffusion path length in treated wood. *Forest Prod. J.* 40(11/12), 61-63.
- CHIANI R.G., 1964. Estado de la parcela de ensayo con postes impregnados para alambrado instalada en el vivero forestal 25 de mayo, al 4.º y 5.º años de su colocación en tierra. *Nota Tecnológica Forestal* n.º 24, Administración Nacional de Bosques, Bs. As. 13 pp.
- CHIANI R.G., 1965. Ensayos de durabilidad de postes para alambrado con y sin tratamiento realizado en terrenos de la ciudad de Buenos Aires. *Rev. For. Arg.* 9(2), 49-53.
- CHIANI R.G., 1967. Ensayo de durabilidad de postes para alambrado con y sin tratamiento en terrenos de la ciudad de Buenos Aires. *Folletos Técnicos Forestales* n.º 31, Administración Nacional de Bosques, Bs.As., 30 pp.
- CHIANI R.G., 1974. Resultados al 11.º año de la parcela de ensayo de durabilidad de postes instalada en la ciudad de Buenos Aires. *Rev. For. Arg.* 18(3), 70-71.
- CHIANI R.G., 1975. Primeros resultados experimentales de preservación de postes realizados en la Estación Forestal Castelar. *Nota Técnica Forestal* n.º 29. IFONA, 16 pp.
- DANIEL T.W., HELMS J.A., BACKER F.S., 1982. *Principios de silvicultura*. Ed. McGraw-Hill. México, 492 pp.
- DONOSO J.E., MANRÍQUEZ L.E., 1978. Estudio en la impregnación a vacío-presión de maderas refractarias. *Boletín Técnico* n.º 53. Universidad de Chile, 20 pp.
- FAO. 1980. Los álamos y los sauces. Colección FAO Montes N.º10. Roma, 349 pp.
- GIMÉNEZ A.M., LÓPEZ C.R., 2000. Caracteres anatómicos que determinan la variabilidad del leño en *Schinopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl. et Meyer, Anacardiaceae. *INIA, Sist. y Rec. For.* 9(2), 219-235.
- HUGUES F., 1973. A comparison of the wood properties of *Pinus caribaea* var *hondurensis* from two plantation sites in Jamaica. *Trop. Prov. Prog. Res. Int. Coop. Nairobi, Kenya*, 544-546.
- HUNT G.M., GARRAT G.A., 1962. *Preservación de la madera*. Ed. Salvat. Barcelona, España, 486 pp.
- INTA, 1996. Programa para el desarrollo de la agricultura en la provincia de Santa Cruz. Publicación de la EEA Santa Cruz, 68 pp.
- IRAM9532, 1963. Método de determinación de humedad. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 14 pp.

- IRAM9544, 1985. Método para la determinación de la densidad aparente. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 10 pp.
- IRAM9600, 1998. Preservación de maderas: maderas preservadas mediante procesos con presión en autoclave. Instituto Argentino de Normalización, 23 pp.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, 1988. Manual del grupo andino para la preservación de maderas. Ed. Carvajal. Colombia, 419 pp.
- KEIL G.D., OTAÑO M.E., LUNA M.L., MARLATS R.M., 2000. Maderas de dos clones de sauce (*Salix sp.*) preservadas mediante procesos con presión en autoclave. En: Yvyretá (YVY112). En prensa.
- KEIL G.D., OTAÑO M.E., MARLATS R.M., LUNA M.L., 1997. Penetración y absorción de un preservante hidrosoluble en maderas de clones de álamo (*Populus spp.*). Revista de la Facultad de Agronomía (UNLP) 102(2), 147-154.
- KOLLMAN F., 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Ministerio de Agricultura, España. Tomo I, 675 pp.
- KUMAR S., MORRELL J.J., 1989. Moisture content of Western hemlock: influence on treatability with chromated-copper-arsenate type C. *Holzforschung*, vol 43(4), 279-280.
- MCMILLIN C.W., MANWILER F.G., 1984. The wood and bark of hardwoods growing on Southern pine sites. Report SO-29. South. For. Exp. Station, USDA Forest Service, 6-8.
- MONTES L., OLIVA G., 1994. Taller Internacional sobre Recursos Fitogenéticos, Desertificación y Uso Sustentable. Río Gallegos, 7-11 de noviembre. INTA EEA Santa Cruz, 238 pp.
- OTAÑO M.E., KEIL G.D., MARLATS R., LUNA L., 1996. Comportamiento de la madera de distintos clones del género *Populus* L. sometida al tratamiento de vacío-presión con sales hidrosolubles. Proc. 20th Int. Polar Commission, Vol.I, 65-72.
- OTAÑO M.E., KEIL G.D., MARLATS R.M., LUNA M.L., DIAZ B.G., 1998. Métodos industriales de impregnación de maderas con productos hidrosolubles: influencia sobre valores de retención en clones de álamo (*Populus L.*). XVI Jorn. Arg. Ing. Estruct., Buenos Aires, 389-398.
- PERI P., MARTÍNEZ PASTUR G., 1998. Crecimiento en cortinas cortaviento de *Populus nigra* cv *Italica* en Patagonia, Argentina. INIA, Sist. y Rec. Forestales 7(1-2), 73-83.
- PERI P., MONELOS L., HEINZ E., 1997. Ensayos de introducción de clones de salicáceas en la provincia de Santa Cruz. II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Posadas, 13-15 de agosto. Tomo Bosque Cultivado, 447-456.
- PERI P., 1997. Eficiencia de cortinas protectoras: efectos de parámetros estructurales en la reducción del viento. Revista Quebracho, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Vol. 6, 19-26.
- PICASEÑO L.M.P., MANRIQUE R.E., 1975. Preservadores a base de cobre, cromo y arsénico, su fijación en la madera y su efecto sobre hongos xilófagos. Universidad Nacional Autónoma. México, 16 pp.
- SILVA LEPAGE E., GERALDO F.C., ZANOTTO P.A., MILANO S., 1986. Métodos de tratamiento. Manual de preservación de maderas. Vol. II, Cap. VII, 343-419.
- THOMPSON W.S., KOCH P., 1981. Preservative treatment of hardwoods: a review. South. For. Exp. Station, USDA Forest Service, 2 pp.
- TINTO J.C., CHIARI R.G., 1967. El poste de madera en la electrificación rural. Ed. Metalis, Bs.As., 62 pp.
- ZHANG S.Y., 1995. Effect of growth rate on wood specific gravity and selected mechanical properties in individual species from distinct wood categories. *Wood Sci. & Tech.* 29, 451-465.
- ZOBEL B.J., JETT J.B., 1995. Genetics of wood production. Springer-Verlag, New York, 337 pp.