

Impregnación de durmientes de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*) con preservadores cromocuproarsenicales (CCA)*

Damián Gherscovic¹⁻², Zulma Cataldi¹, Juan Miguel Languasco¹

¹ Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires
Departamento de Ingeniería Química y Dirección de Posgrado
Medrano 951 (C1179AAQ) – Buenos Aires Argentina

² Instituto Nacional de Tecnología Industrial - Madera y Muebles
Av. General Paz 157 (B1650WAB) – Buenos Aires Argentina

damianghe@hotmail.com

Recibido el 13 de noviembre de 2008; aceptado el 22 de diciembre de 2008

Resumen

La preservación de durmientes (usados como soportes ferroviarios) con compuestos hidrosolubles CCA es relativamente reciente en Argentina y el problema radica en que aún no ha sido optimizado el proceso de producción. En el presente trabajo se analiza la influencia de las variaciones de presiones de tratamiento en el método de impregnación, con el fin de lograr mejoras significativas en dicho proceso. Los resultados muestran que trabajando con una solución acuosa al 3,2 % m/v puede obtenerse una retención teórica de 10,8 kg/m³ de madera tratada, mediante la absorción de 338 litros de solución/m³ de madera trabajando a 1187 kPa. Asimismo puede obtenerse esa retención trabajando a un presión de 784 kPa, con una concentración de la solución de 4,1 % m/v.

PALABRAS CLAVE: PRESERVADORES HIDROSOLUBLES - COMPUESTOS CROMOCUPRO ARSENICALES - DURMIENTES - QUEBRACHO BLANCO

Abstract

Preservation applying waterborne CCA compounds to sleepers (to be used as railways tracks supports) is a recent application in Argentina and manufacturing processes are far from optimum. This work discusses the influence of pressure on treatment in order to reach significant improvements on the impregnation process. Results show that using an aqueous solution 3,2% w/v concentration, a theoretical retention of 10,8 kg/m³ of treated wood is achieved, by means of a 338 liters solution absorption when a 1187 kPa treatment pressure is applied. Also this retention could be achieved by applying a 784 kPa pressure and a solution concentration of 4,1 % w/v.

KEYWORDS: WATERBORNE PRESERVATIVES – CHROMECOPPERARSENICAL COMPOUNDS – SLEEPERS - QUEBRACHO BLANCO

* Trabajo realizado sobre la base de la tesis presentada por D. Gherscovic para optar al grado de Licenciado en Ciencias Aplicadas, bajo la dirección de J. M. Languasco.

INTRODUCCIÓN

Entre los problemas de infraestructura encontrados en los ferrocarriles argentinos se encuentra el del reemplazo de los durmientes de madera. La madera de quebracho colorado, una de las preferidas para este uso, empieza a escasear, presenta un costo elevado y tiende a ser reemplazada por el quebracho blanco impregnado con un preservador de tipo cromocuproarsenical (CCA).

Características de los durmientes

En Argentina los durmientes de aparatos de vía tienen longitudes que varían entre 1,80 y 5,00 m, con altura de 0,12 m y un ancho de 0,24 m. (Norma IRAM-FA L 9556-1970). La diferencia de longitudes obedece al tipo de trocha (angosta, estándar y ancha) y de su uso (según sean comunes, para cambio y cruzamiento y para puentes).

Sin embargo los más habituales tienen una longitud de 2 m (trocha angosta), 2,50 m (trocha estándar) y 2,70 m (caso trocha ancha).

Protección de la madera para durmientes

Un estudio realizado para la Rede Ferroviaria Federal S/A, Brasil (RFFSA) en 1960 mostró que el tratamiento sistemático de los durmientes alargaba la vida útil de los mismos, cuya duración media se indica en la Tabla 1 (Pereira da Silva, R, L. 1986):

País	Duración media (años)
Japón	11,5
México	16,0
España	17,5
Inglaterra	34,0
Estados Unidos	35,0

Tabla 1. Duración media de durmientes para distintos países

Maderas usadas en la fabricación de durmientes

Entre las especies de madera utilizadas internacionalmente para los durmientes se encuentran quebracho colorado, quebracho blanco, roble, haya, pino Oregón, abeto, pino rojo del Báltico, cedro, abedul y eucalipto (UNLP, 2006).

En la Argentina se han usado históricamente urunday, guayacán, quebracho colorado, eucalipto colorado y quebracho blanco tratado con creosota. En la actualidad se utilizan masivamente los tres nombrados en último término.

Características del quebracho blanco.

El término "quebracho" se aplica corrientemente a especies forestales pertenecientes a los géneros botánicos Schinopsis y Aspidosperma. La especie del género Aspidosperma recibe el nombre vulgar de "quebracho blanco", en razón de su color blanco amarillento (Tinto, 1988).

El quebracho blanco, cuyo nombre científico es Aspidosperma quebracho-blanco Schlecht, es un árbol cuya altura varía entre 10 y 20 m, alcanzando hasta 1 m de diámetro (García, 1960), posee una albura color blanco amarillenta y un duramen color amarillo ocráceo a amarillo rosado (Guindeo Casusus, 1997).

La densidad de la madera seca al aire a 15% de humedad relativa, es aproximadamente de 800 kg/m³ (Guindeo Casusus, 1997)

Es una madera, en relación con su densidad, medianamente resistente a los esfuerzos de flexión y compresión paralela y corte, con buena resistencia a la compresión perpendicular y dura (Tortorelli, 1956).

Sin embargo, el quebracho blanco pocas veces muestra su leño de color uniforme, porque presenta generalmente un falso corazón de color rosa fuerte a castaño rojizo que es producto de la acción de un hongo (Iaconis, 1957). Esta enfermedad no afecta las propiedades físico-mecánicas de la madera (Lizarraga, 1972).

El hongo causante de la mancha roja es el *Fusarium scirpii*. El ataque se produce en el árbol en pie, siendo mayor en la parte inferior del tronco y disminuye con la altura. Las manchas rojas características presentan contornos irregulares y se extienden desde la médula al exterior. La coloración es mas intensa en la zona central. Hay individuos con oquedades por degradación en la médula de la sección. Microscópicamente puede observarse que las hifas del hongo penetran por las puntuaciones de los vasos produciendo una obstrucción parcial o total del vaso (Moglia, 2004) tal como se indica en la Fig. 1.



Fig. 1. Obstrucción de los vasos producida por las hifas del hongo (Moglia, 2004).

Durabilidad natural de la madera

Según la Norma IRAM 9600-1998 el quebracho blanco entra en la clase 3¹, maderas poco durables (vida útil estimada entre 5 y 10 años).

Dado que el quebracho blanco es considerado una especie poco durable, deberá ser tratada químicamente para aumentar su durabilidad natural.

Concepto de penetración

La penetración es la profundidad que alcanza el preservante en la madera tratada; depende de la permeabilidad y humedad de la madera, de la clase de preservador utilizado y del tipo de tratamiento aplicado.

Clasificación de las maderas por el grado de penetrabilidad del duramen

Según la Norma IRAM 9600-1998, las maderas pueden clasificarse en cuatro categorías:

- Clase I. Penetrables
- Clase II. Moderadamente penetrables
- Clase III. Poco penetrables
- Clase IV. Difícilmente penetrables

El quebracho blanco entra en la clase I², penetrables, respecto a la penetración del duramen.

Los preservadores de la madera y el medio ambiente

El CCA, el pentaclorofenol y la creosota, entre otros, han sido cuestionados ambientalmente y

ha sido prohibido total o parcialmente su uso como preservadores en algunos países.

En Argentina aún no existe legislación al respecto para el CCA y la creosota, aunque en el caso del pentaclorofenol, éste se encuentra totalmente prohibido (Resolución³ 356/94 del Ministerio de Salud Pública). (Ministerio de Salud, 2008).

Metodología

El objetivo de este trabajo es evaluar la penetración, la absorción y la retención de un preservante hidrosoluble de tipo CCA con relación a las presiones aplicadas en el tratamiento de impregnación. El mismo se aplica a muestras de madera de quebracho blanco con un espesor y ancho idéntico a las dimensiones fabricadas con esta especie, aunque de longitud significativamente menor. En las probetas fueron evaluadas la humedad y la densidad aparente antes del tratamiento de preservación y la penetración, la absorción y la retención del preservante en la madera luego del proceso de impregnación.

La impregnación se realizó con el método Bethell (vacío-presión-vacío) y utilizando CCA con una concentración cercana al 2% m/m. Se impregnó un grupo de probetas a una presión de 1187 kPa y también (otro grupo) a 784 kPa. Se realizó una serie impregnando durante un periodo de 1h y otra impregnando a rechazo.

Preparación de probetas para ensayo

Para la realización de los ensayos se recibieron 12 trozos de madera de quebracho blanco pertenecientes a secciones de durmientes, con dimensiones aproximadas de 120 x 240 x 800 mm (espesor, ancho y largo). Seis de estas maderas provenían de Santiago de Estero y las otras seis del Chaco, que son provincias de la República Argentina donde se encuentra la mayor producción de madera de esta especie.

El material fue procesado con el fin de obtener las probetas que se usaron en el presente trabajo. La primera elaboración concluyó en el corte

1 Clasificación que considera solamente el duramen, expuesto al ataque de hongos xilófagos frente al mayor riesgo de uso, entendiéndose por tal el empleo de la madera sin preservación en contacto con el suelo o agua dulce. Cada exposición ofrece un riesgo diferente y éste condiciona la vida útil de la madera. Los rangos de durabilidad corresponden a datos aproximados, algunos a los ensayos experimentales, otros de la observación de comportamientos. Deben por lo tanto aceptarse como estimativos.

2 Clase I: Penetrables (Clasificación de las maderas por el grado de penetrabilidad del duramen. Implica la accesibilidad de soluciones en cuanto a su alcance y profundidad).

3 La resolución 356 del año 1994 prohíbe la producción, la importación, el fraccionamiento, el almacenamiento y la comercialización del pentaclorofenol y sus derivados.

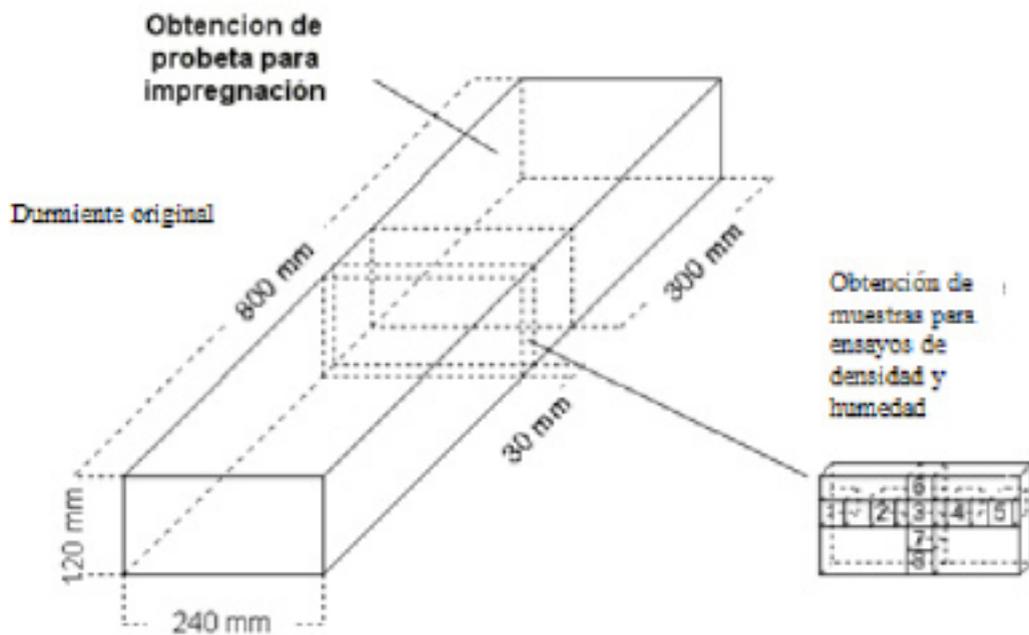


Figura 2. Diagrama con las zonas de extracción de las probetas y las muestras para la realización de ensayos

e identificación de los 12 trozos mencionados, cortando de cada uno de ellas una probeta de 120 x 240 x 300 mm, para su utilización en los ensayos de impregnación, y una muestra, tomada de la zona central de cada sección de durmiente de 120 x 240 x 30 mm, que se utilizó para realizar los ensayos de humedad y densidad.

A su vez las muestras obtenidas para los ensayos de humedad y densidad, con el fin de hacer el resultado más representativo, fueron cortadas en 8 cubos de aproximadamente 30 x 30 x 30 mm de las zonas señaladas según Figura 2; éstos se identificaron y se reservaron en bolsas plásticas impermeables para la posterior realización de los ensayos.

Determinación de humedad

Equipamiento utilizado para la determinación de humedad y densidad

- Estufa con termostato. Marca Dalman. Temperatura máxima 250 ±2 °C
- Balanza electrónica analítica. Marca Sartorius, Modelo 420S, Capacidad máxima 420g, mínima división 1 mg.
- Desecador de vidrio con silicagel.
- Calibre. Marca Somet. Mínima división: 0,1mm

Procedimiento

Las muestras se dejaron 24 h en estufa; se retiraron, se enfriaron en desecador y se pesaron.

Esta operación se repitió hasta constatar una diferencia de peso entre lecturas menor que 0,01 g (Norma IRAM 9532-1963).

El contenido de humedad se calculó mediante la ecuación siguiente:

$$H = ((M_i - M_f) \times 100) / M_f \quad \text{donde:}$$

H: Contenido de humedad sobre base seca, en %

M_i: Masa de la muestra original, en g

M_f: Masa de la muestra seca, en g

Determinación de la densidad

En el presente trabajo los valores expresados de la densidad, corresponden a la densidad aparente, es decir a la masa de la unidad de volumen de la madera seca hasta peso constante, denominada densidad anhidra.

Procedimiento

Sobre las muestras utilizadas para la determinación de humedad, se obtuvo la densidad anhidra de las mismas. Para ello se determinó el volumen de las muestras mediante un calibre, midiendo alto, ancho y espesor de la probeta.

La densidad se calculó mediante la ecuación siguiente:

$$\rho_w = (M_f / W) \times 1000 \quad \text{donde:}$$

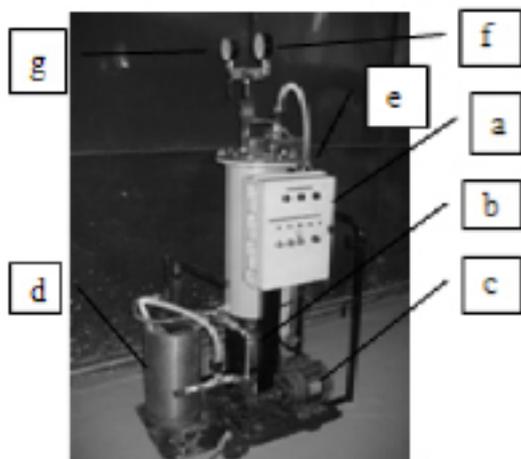


Fig. 3. Autoclave piloto.

- a) Tablero de control
- b) Bomba de vacío
- c) Bomba de presión del tipo centrífuga
- d) Bomba de presión manual
- e) Pulmón de vacío
- f) Manómetro
- g) Vacuómetro

p_w : Densidad de la madera, en kg/m^3
 M_f : Masa de madera seca, en g
 W : Volumen de madera, en cm^3

Impregnación de muestras

Preparación de las muestras

Las muestras debieron ser cortadas en aproximadamente 2 cm en su ancho, para poder ser ingresadas en el autoclave piloto. Las mismas fueron medidas y pesadas previo a su ingreso en el autoclave.

Preparación de la solución

Se preparó una solución a partir de CCA tipo C comercial, marca TannerWood® (producto concentrado al 60% m/m sobre base de óxidos) y agua de red, alcanzándose una concentración de 2,2 % m/m en base óxidos.

Equipamiento

- Autoclave piloto, con las siguientes características: Cuerpo cilíndrico de acero, vertical, con cierre hermético, apto para presiones menores a los 1576 kPa (16 kgf/cm^2), con apertura superior, mediante tapa anclada sobre junta de goma y cerrada mediante tornillos, con un diámetro útil de 30 cm y una altura útil de 60 cm. (Fig. 3)

- pHmetro. Marca Luton, modelo: PH 207.
- Balanza electrónica. Capacidad máxima 100 kg, mínima división 10 g.
- Sierra circular de mano. Marca Skil. Potencia 1300 W.

Proceso de impregnación

A- Presión de trabajo 784 kPa (8 kgf/cm^2)

Las secciones de durmientes, una vez pesadas y medidas, se ingresaron al autoclave, de a dos probetas por proceso, cuidando que una de las muestras fuera perteneciente a Chaco y la otra a Santiago del Estero; se cerró herméticamente y según el proceso Bethell se sometieron a un vacío absoluto de 600 mm Hg por un periodo de 30 minutos.

Luego de finalizar este periodo, sin detener el vacío, se permitió el ingreso de la solución preservadora al autoclave, hasta llenarlo completamente.

Una vez completado el proceso de llenado se sometió a la solución en la que se encontraba sumergida la madera a una presión de 784 kPa (8 kgf/cm^2) por un lapso de 1 hora, con la utilización de la bomba manual.

Concluido dicho periodo se procedió al vaciado de la solución preservadora del autoclave y se comenzó a aplicar un vacío de 600 mm Hg durante 5 minutos. A continuación se detuvo la bomba de vacío y se permitió el ingreso de aire al autoclave. Se abrió el autoclave, se dejaron orear las maderas y se pesaron nuevamente en la balanza electrónica las dos probetas impregnadas.

De la solución preservadora utilizada al final de cada proceso se tomó una muestra para su posterior análisis de concentración del preservante y de pH.

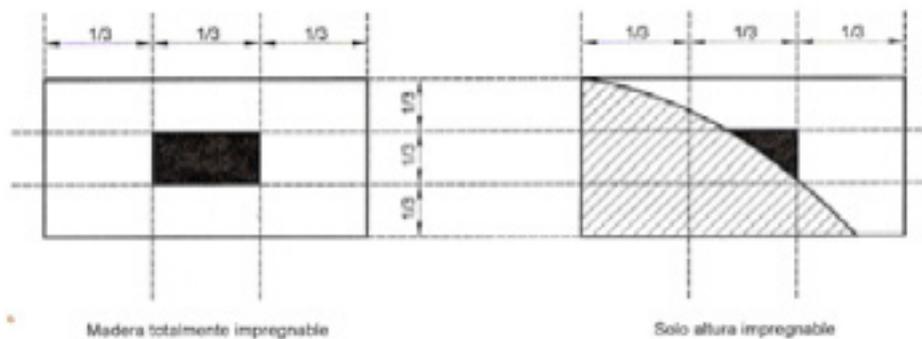


Fig. 4. Diagrama de zona de toma de muestra según Norma IRAM 9600-98.

B- Presión de trabajo 1187 kPa (12 kgf/cm²).

Se procedió de igual manera que en el ciclo anterior, pero utilizando una presión de 1187 kPa.

Proceso de reimpregnación

En los procesos anteriormente realizados, tanto para las impregnaciones con 784 kPa como con 1187 kPa de presión, se observó que al realizar el cierre del ciclo con un tiempo de 1 h, no se conseguía que la presión se mantuviera estable y descendía al suprimir el bombeo, lo que implicaba que podía seguir ingresando la solución preservadora. Por tal razón se decidió realizar una nueva impregnación hasta estabilizar la presión, lo que implicaba realizar una impregnación a rechazo, proceso que demandó entre 90 y 120 minutos para las distintas impregnaciones realizadas.

El impregnar de esta forma lleva a realizar el periodo de presión no por un tiempo fijo determinado, sino hasta que no se produzca más ingreso de solución a la madera.

A cada una de las probetas, una vez realizada la primera impregnación, se les cortó una sección de aproximadamente 2 cm con el uso de una sierra circular de mano. Debido a que a algunas de las muestras se les había realizado además otro corte para el análisis de retención y penetración, se repitió la experiencia pero con 8 probetas, 4 para la experiencia con una presión de 784 kPa y 4 para el proceso con 1187 kPa de presión.

Extracción de muestras para la realización de los análisis de retención y penetración

Sobre las probetas impregnadas se realizaron 4 cortes, para determinar la retención y pene-

tración en distintas zonas del durmiente, como se muestra en la Fig. 5.

Ensayo de la penetración del preservante en la madera

Reactivos

-Solución de Cromoazuro S, según Norma IRAM 9508

Procedimiento

Sobre las caras seleccionadas se roció con una solución de cromoazuro S, para la determinación del cobre presente en la madera. La muestra se pulverizó con la solución, reconociéndose la presencia de cobre por la tonalidad azul. Este método detecta cobre en concentraciones superiores a 25 ppm (AWPA A3-2005).

Ensayo de la retención del preservante en la madera

Equipamiento

- Molino eléctrico. Marca Braun. Potencia 150 W.
- Prensa con torquímetro . Marca Panapress. Capacidad 0- 700 kgf.cm.
- Mechas para madera de 5 mm de diámetro.
- Estufa con termorregulador. Marca Dalman. Temperatura máxima 250 ±2°C
- Balanza electrónica. Capacidad máxima 100 kg, mínima división 10 g.
- Desecador de vidrio con silicagel.
- Espectrómetro de fluorescencia de rayos X. Marca Spectro. Modelo Phoenix

Para su funcionamiento, el equipo necesita una calibración previa con muestras que contienen los elementos de interés en una matriz determinada En este caso se utilizaron

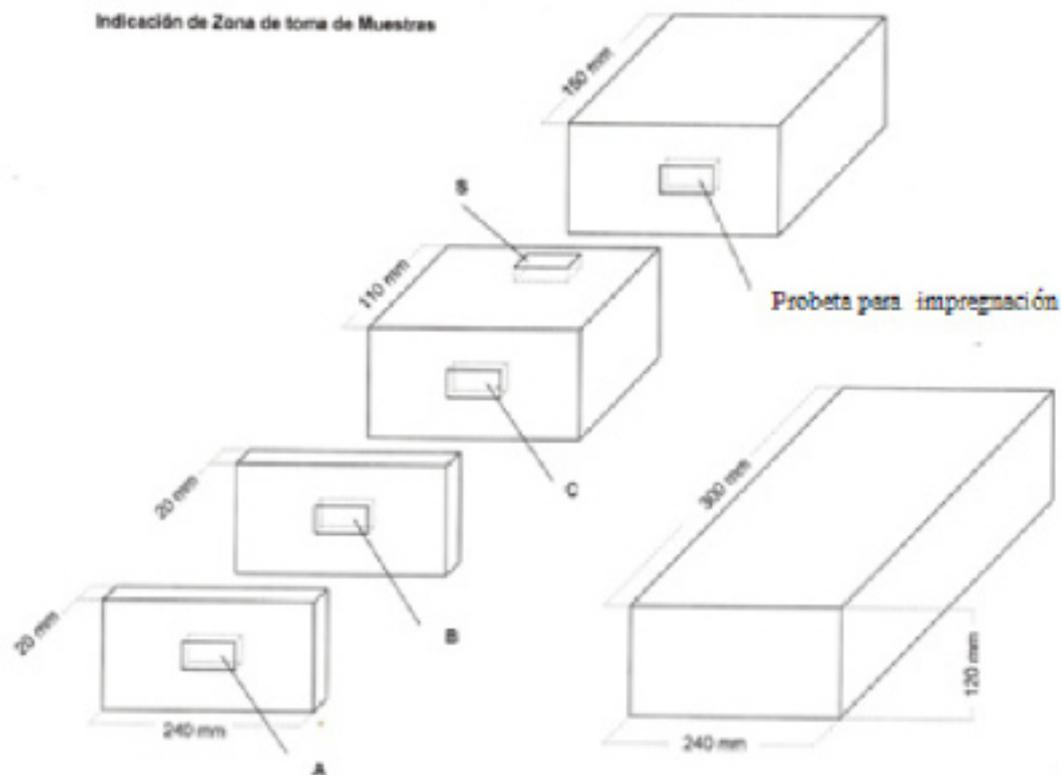


Fig. 18. Diseño Mecánico. a) aspecto exterior; b) sin cubierta.

patrones de madera impregnada con CCA, provistos por la AWWPA (American Wood Preservers' Association)⁴

Procedimiento

Las zonas de toma de muestra se seleccionaron de las áreas indicadas en la Figura 5, de acuerdo con la Norma IRAM 9600-1998. La citada Norma exige que en maderas aserradas cuyo duramen se clasifique como penetrable, se tome como muestra una sección central en el punto medio de la pieza (Figura 4). Esta zona corresponde con la denominada como D, en la Figura 5. La zona D es la más desfavorable para el ingreso del preservador.

Para la extracción de aserrines se utilizó una mecha para madera de 5 mm de diámetro y mediante el uso de un taladro eléctrico se realizaron agujeros de 2 cm de profundidad aproximadamente, de donde se obtuvieron las virutas. Las mismas fueron sometidas a un proceso de molienda para generar un aserrín fino que pudiera ser utilizado para armar pastillas homogéneas que son luego analizadas con el espectrómetro de fluorescencia de rayos X, (Norma

IRAM 9597-1991).

Los aserrines fueron secados en estufa eléctrica por un periodo de 24 h a $103 \pm 2^\circ\text{C}$.

Con las muestras secas se prepararon las pastillas de análisis, con el prensado del aserrín a 288 kgf.cm, en las cápsulas plásticas utilizadas por el equipo.

Se colocaron las cápsulas en el interior del espectrofotómetro, se ingresó la densidad aparente de la muestra y se irradiaron las muestras con un tiempo de análisis de 100 segundos.

Ensayo de las soluciones de CCA utilizadas en los distintos procesos de impregnación

Los análisis de concentración de la solución se realizaron utilizando el espectrómetro de rayos X. Este equipo viene de fábrica precalibrado para el análisis de soluciones preservadoras CCA. El tiempo de análisis fue de 100 segundos.

Además a cada una de las muestras analizadas se les determinó el pH, mediante el uso de un phmetro digital.

⁴ La AWWPA es una organización no lucrativa que es responsable de promulgar estándares de madera voluntarios para la preservación de la madera

Origen	Nº Probeta	% Humedad		
Chaco	1	18,1	Promedio	Desvío
	4	17,8		
	5	17,6		
	7	20,0	20,0	
	8	22,0		
	9	24,5		
S. del Estero	2	29,6	Promedio	Desvío
	3	21,6		
	6	19,4		
	10	21,8	23,8	
	11	29,9		
	12	20,6		

Fig. 4. Diagrama de zona de toma de muestra según Norma IRAM 9600-98.

Absorción de preservante en la madera

Es la cantidad total de la solución del preservante (expresada en litros) que queda en un determinado volumen de madera (m³) después de la impregnación. En el presente trabajo la absorción se determinó a partir de la masa de la madera antes y después de la impregnación y la medición del volumen de madera a impregnar. Al obtenerse una diferencia de masa (kg), ésta se convirtió en volumen utilizando la densidad de la solución preservadora.

$$A = (M_2 - M_1) / W \quad V = A / \rho_s \quad \text{donde:}$$

A: Absorción, expresada en kg de solución preservadora /m³ de madera tratada.

V: Absorción, expresada en litros de solución preservadora /m³ de madera tratada.

M₂: Masa de la madera después del tratamiento, en kg.

M₁: Masa de la madera antes del tratamiento, en kg.

W: Volumen de la madera, en m³.

ρ_s : Densidad de la solución preservadora, en kg/m³ de solución.

Retenciones calculadas a partir de la absorción

Con la utilización de los datos registrados de las masas iniciales y finales de las muestras antes y después de la impregnación y conociendo las concentraciones de las soluciones del preservador utilizadas, se realizó el cálculo de

las retenciones teóricas obtenidas según la siguiente fórmula:

$$R \text{ teórica} = ((M_2 - M_1) \times C_s) / W = ((M_2 - M_1) \times (B / \rho_s)) / W \quad \text{dado que } C_s = B / \rho_s; \text{ donde:}$$

R_{teórica}: Retención teórica de la madera, en kg de óxidos/m³ de madera tratada

M₂: Masa final de la probeta, en kg

M₁: Masa inicial de la probeta, en kg

C_s: Concentración de la solución preservante, en % m/m

B: Concentración de activos en la solución final, en % (m/v)

ρ_s : Densidad de la solución preservadora, en kg/m³ de solución.

W: Volumen de la madera, en m³

Resultados

Humedad

En la Tabla 2 se expresan las humedades promedio de cada probeta, separada según origen. Además se informa la humedad promedio⁵ y desvío⁶ por origen.

En las Figuras 6 y 7 se representan las humedades promedio encontradas para cada probeta y sus desvíos, comprendidos entre 1 y 2 sigmas⁷, correspondientes a las desviaciones típicas de la media, con un nivel de confianza del 68 y 95 % para una distribución normal, respectivamente.

⁵ En el presente trabajo el término promedio refiere al promedio aritmético.

⁶ En el presente trabajo el término desvío refiere al desvío estándar.

⁷ Se denota con Sigma al valor del desvío estándar en una distribución normal

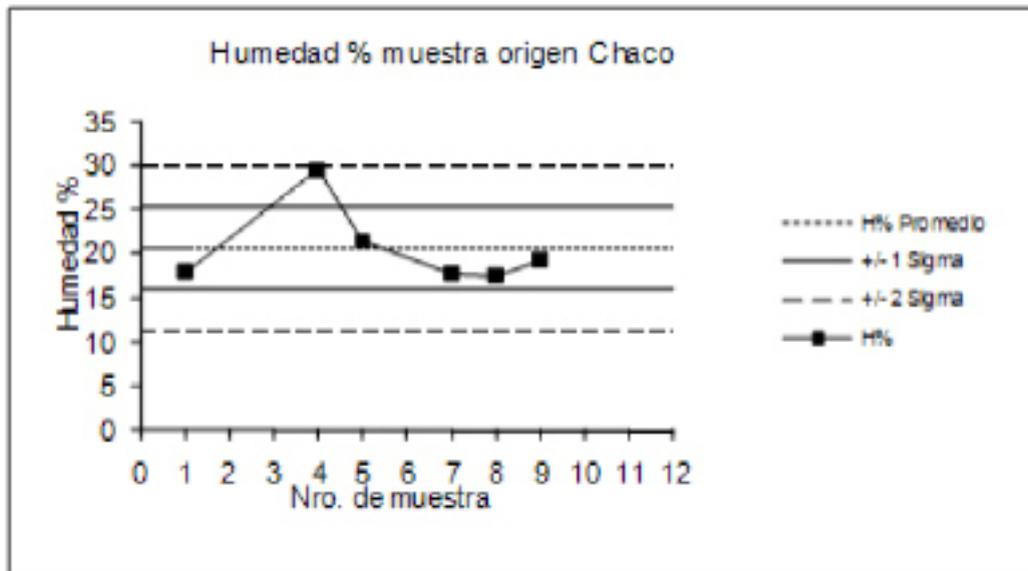


Fig. 6. Humedad de las muestras de la provincia de Chaco.

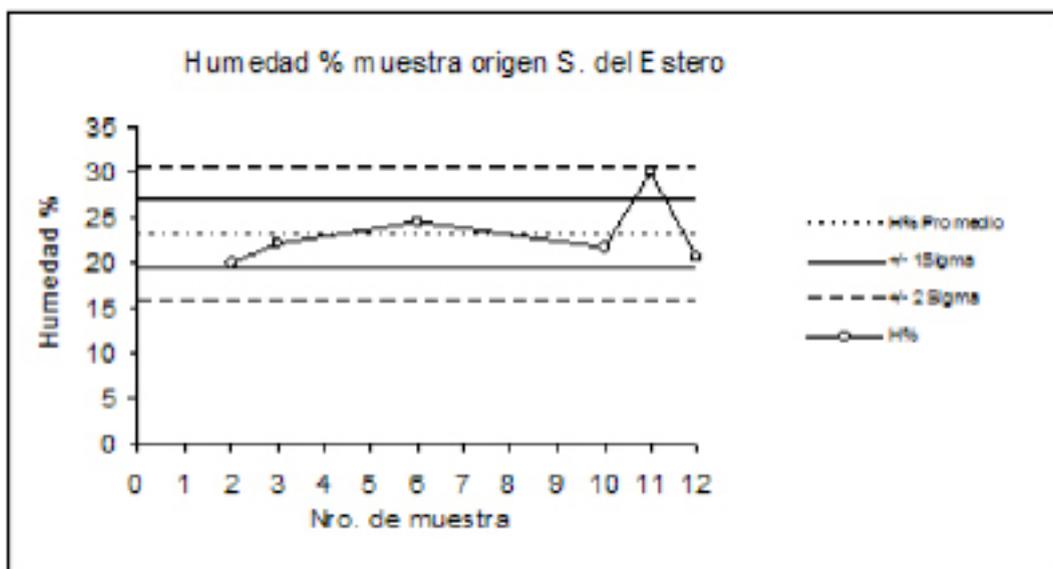


Fig. 7. Humedad de las muestras de la provincia de Santiago del Estero

De los resultados obtenidos puede concluirse que la humedad es similar para ambos orígenes de la madera, considerando los valores promedios y su dispersión. Nótese que se desconocen los periodos y condiciones de secado de los durmientes ensayados.

Densidad

En la Tabla 3 se expresan las densidades promedio de cada probeta, separada según origen. Además se informa la densidad promedio y el desvío por origen.

De los resultados obtenidos, puede concluirse que la densidad es similar para ambos orígenes de la madera, considerando los valores promedios y su dispersión.

Si se relaciona la absorción con la densidad de la madera obtenemos que:

1) La densidad de la madera influye en forma no muy significativa sobre el volumen de solución preservadora absorbida. Muestra una ligera tendencia a disminuir al aumentar aquella.

2) La presión de trabajo influye notablemente sobre el volumen de solución absorbido, como puede verse en Figuras 8 y 9, independientemente de la procedencia de la madera.

Retención teórica

Se presentan en la Tabla 4 los resultados de las retenciones obtenidas a partir de la absorción.

Origen	Nº Probeta	Densidad		Promedio	Desvío
		kg/cm ³	g/cm ³		
Chaco	1	869	0,869	829	30
	4	823	0,823		
	5	842	0,842		
	7	804	0,804		
	8	846	0,846		
	9	787	0,787		
S. del Estero	2	821	0,821	874	65
	3	793	0,793		
	6	939	0,939		
	10	935	0,935		
	11	832	0,832		
	12	921	0,921		

Tabla 3. Densidad de las muestras según origen

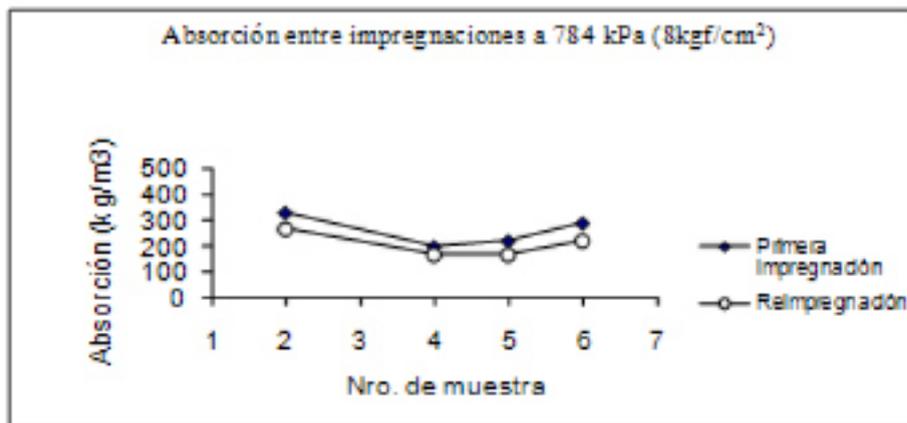


Fig. 8. Absorción de las probetas de maderas tratadas a una presión de 784 kPa

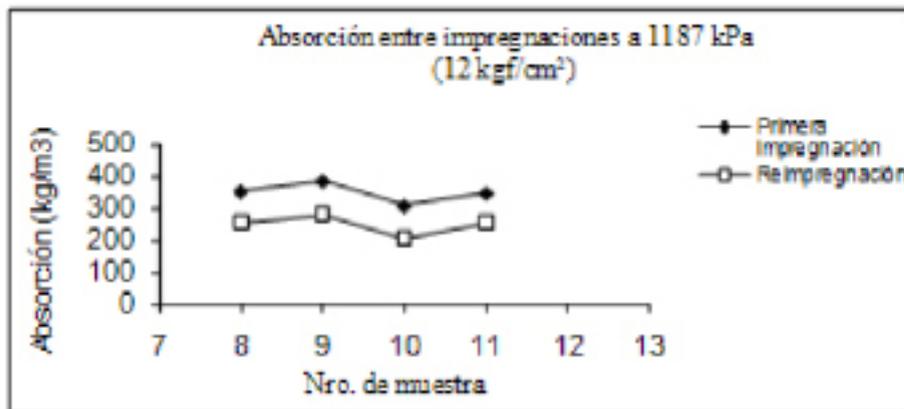


Fig. 9. Absorción de las probetas de madera tratada a una presión de 1187 kPa

Presión de Trabajo (kPa)	Muestra	Retención ¹ (kg/m ³)	Retención ² (kg/m ³)
784	1	4,4	---
	2	7,5	13,2
	3	6,7	---
	4	3,9	7,5
	5	4,4	7,9
	6	6,6	11,3
1187	7	8,9	---
	8	8,3	13,8
	9	7,6	13,3
	10	7,2	11,6
	11	8,2	13,3
	12	6,4	---

Tabla 4. Retenciones teóricas.

1 Retención correspondiente a la primera impregnación.

2 Retención final en la madera luego de la reimpregnación a rechazo.

Retención

En las siguientes tablas se informa los valores de retención obtenidos a partir de los resultados de los análisis químicos de las distintas probetas, obteniendo la muestra de la zona denominada como D (ver Fig. 5).

La zona de toma de muestra es la señalada en la Norma IRAM 9600. Los valores de retención de las probetas 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10 y 11, corresponden a la reimpregnación a rechazo de probetas, impregnadas a las presiones de 784 y 1187 kPa .

Muestra		CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	Retención Total (kg/m ³ de madera)
1	Concentración (% m/m)	0,0636	0,0322	0,0993	1,7
	Retención (kg/m ³). R _i	0,55	0,28	0,86	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	
3	Concentración (% m/m)	0,2163	0,1143	0,2263	4,4
	Retención (kg/m ³). R _i	1,72	0,91	1,79	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	

Tabla 5. Retención en la madera en la zona D, para las probetas 1 y 3, en la primera impregnación, a 784 kPa

Muestra		CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	Retención Total (kg/m ³ de madera)
7	Concentración (% m/m)	0,3829	0,2015	0,3105	7,2
	Retención (kg/m ³). R _i	3,08	1,62	2,50	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	
12	Concentración (% m/m)	0,2260	0,1151	0,2227	5,2
	Retención (kg/m ³). R _i	2,08	1,06	2,05	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	

Tabla 6. Retención en la madera en la zona D, para las probetas 7 y 12, en la primera impregnación, a 1187 kPa

Muestra		CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	Retención Total (kg/m ³ de madera)
2	Concentración (% m/m)	0,4371	0,1696	0,3333	7,7
	Retención (kg/m ³). R _i	0,52	0,26	0,82	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	
4	Concentración (% m/m)	0,1208	0,0229	0,1286	2,2
	Retención (kg/m ³). R _i	0,99	0,19	1,06	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	
5	Concentración (% m/m)	0,083	0,0234	0,1035	1,8
	Retención (kg/m ³). R _i	0,70	0,20	0,87	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	
6	Concentración (% m/m)	0,2732	0,1212	0,2307	5,9
	Retención (kg/m ³). R _i	2,57	1,14	2,17	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	

Tabla 7. Retención en la madera en la zona D, para las probetas 2, 4, 5 y 6, impregnadas a rechazo a 784 kPa.

Muestra		CrO ₃	CuO	As ₂ O ₅	Retención Total (kg/m ³ de madera)
8	Concentración (% m/m)	0,4648	0,2193	0,3384	8,7
	Retención (kg/m ³). R _i	3,91	1,80	2,78	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	
9	Concentración (% m/m)	0,4621	0,2129	0,3288	7,9
	Retención (kg/m ³). R _i	3,64	1,68	2,59	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	
10	Concentración (% m/m)	0,3046	0,1469	0,2619	6,7
	Retención (kg/m ³). R _i	2,85	1,37	2,45	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	
11	Concentración (% m/m)	0,4436	0,1719	0,3203	7,8
	Retención (kg/m ³). R _i	3,69	1,43	2,66	
	Balance (%)	40,1	20,4	39,5	

Tabla 8. Retención en la madera en la zona D, para las probetas 8, 9, 10 y 11, impregnadas a rechazo a 1187 kPa.

En la Figura 10 se observa que las retenciones de las probetas impregnadas a una presión de trabajo de 1187 kPa, son claramente superiores a las impregnadas con 784 kPa.

A continuación se realizó una comparación entre las probetas con origen Chaco y las provenientes de Santiago del Estero, para las retenciones

obtenidas, impregnando con una presión de 784 y 1187 kPa, en las distintas zonas de toma de muestra. Puede observarse que ambos orígenes presentan un comportamiento similar, con una disminución de la retención a medida que se toma la muestra de la zona más alejada a los extremos, y de más difícil ingreso del preservador como se ve en las Figuras 11 y 12.

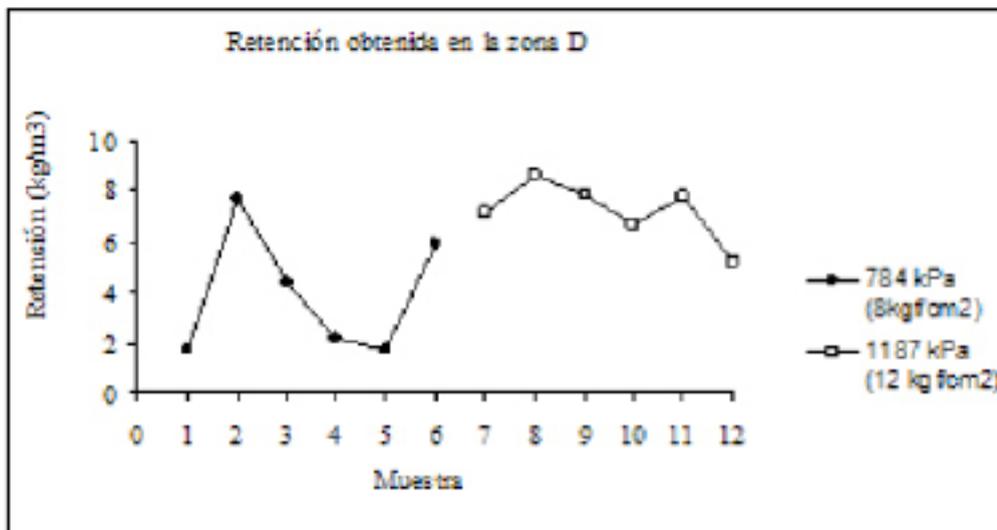


Fig. 10. Valores de retención obtenidos para las distintas probetas, tomada en la zona D

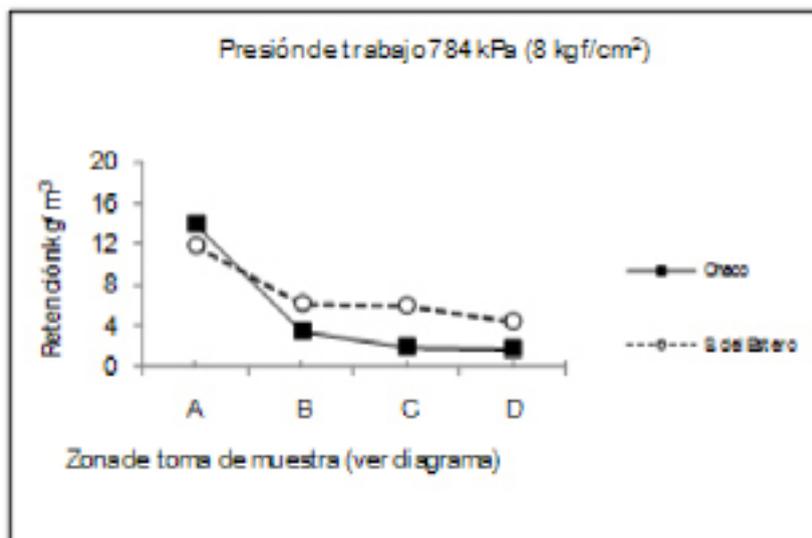


Fig. 11. Retención obtenida para las distintas zonas de toma de muestra, presión de 784 kPa

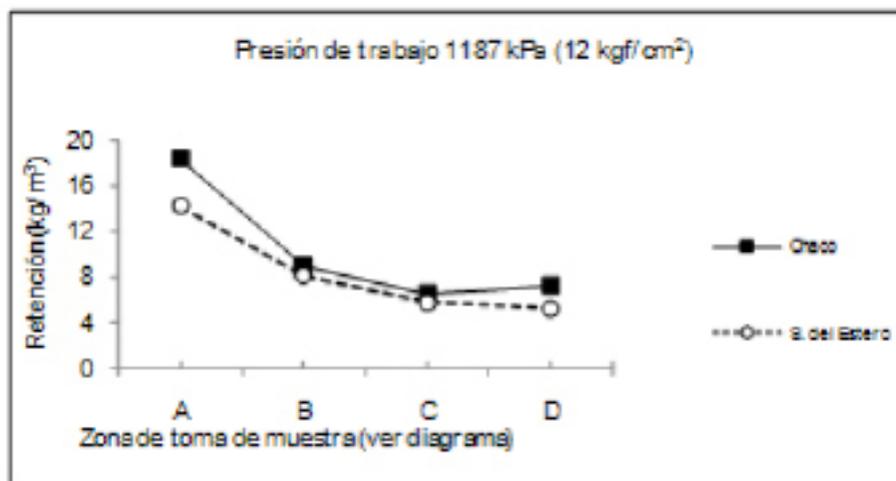


Fig. 12. Retención obtenida para las distintas zonas de toma de muestra, presión de 1187 kPa

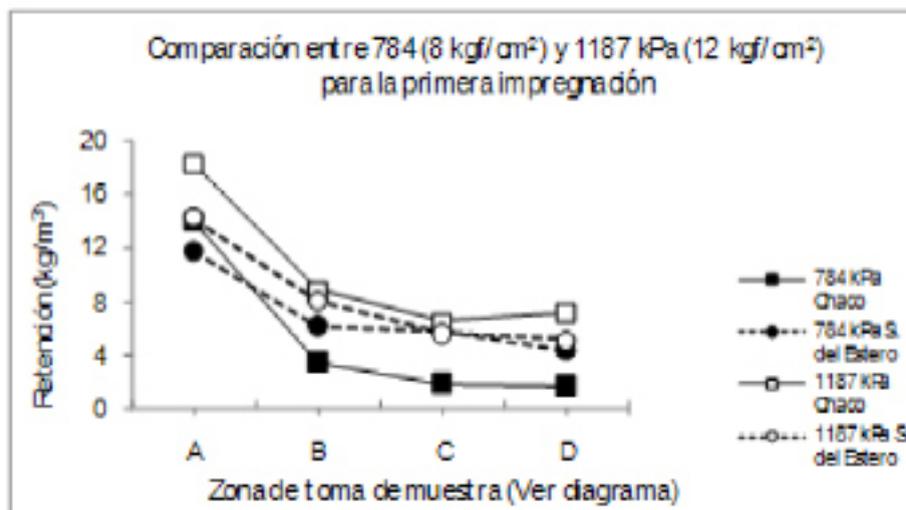


Fig. 13. Comparación de las retenciones obtenidas para las distintas zonas de toma de muestra a una presión de 784 kPa y 1187 kPa..

En el caso de las probetas sometidas a una sola impregnación podemos observar su comportamiento en la Figura 13.

De la figura 13 se pueden obtener dos conclusiones:

- 1) La procedencia de la madera no influye significativamente sobre la retención lograda. Ver los Gráf. 6 y 7, impregnados a una misma presión.
- 2) La presión de trabajo influye de manera considerable sobre la retención como puede apreciarse en el Gráf. 8, aún en maderas de diferente procedencia.

Penetración

Los cortes transversales de las probetas tratadas con el reactivo Cromoazurol S muestran una coloración azul en las zonas que fueron penetradas por el preservador. En la media de las probetas puede decirse que la penetración es total e irregular.

En probetas como la 11-3⁸, se observa una penetración que varía significativamente según los anillos de crecimiento (Figura 14)

En el caso de la probeta 9-3⁹ se observa que la penetración en la zona medular es muy baja o nula, diferenciando una zona de color rojizo posiblemente atribuible a la presencia de la mancha roja (Figura 15)

Respecto a la influencia de la presión aplicada al tratamiento puede observarse que el incremento de la misma, aumenta la penetración (o mejora la distribución) del preservador en la madera como puede verse en la Figura 16, correspondiente a la aplicación de una presión de 784 kPa y la Figura 17, perteneciente a una probeta tratada con una presión de 1187 kPa, donde claramente se observa la mejora en la penetración.

La zona D es la más desfavorable para el ingreso del preservador. En las Figuras 18 y 19, puede verificarse que la muestra 10.2, que

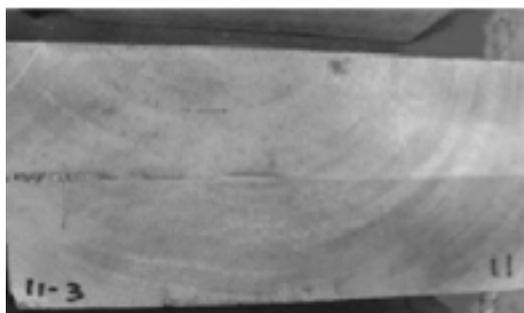


Figura 14. Muestra 11-3 pulverizada con Cromoazurol-S

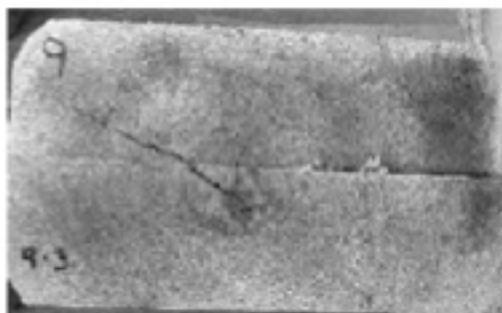


Fig. 15. Muestra 9-3 pulverizada con Cromoazurol-S

8 La identificación 11-3 corresponde a la probeta nro. 11, zona D como muestra la Figura 4

9 La identificación 9-3 corresponde a la probeta nro. 9, zona D como muestra la Figura 4

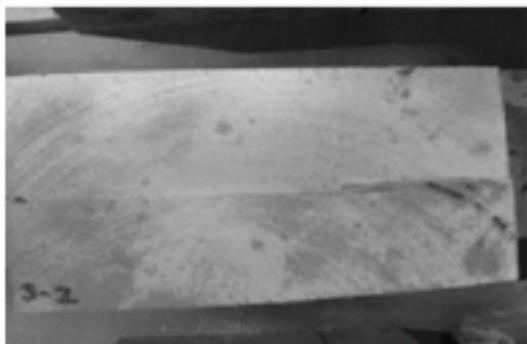


Fig. 16. Muestra 3-2 pulverizada con Cromoazurol-S

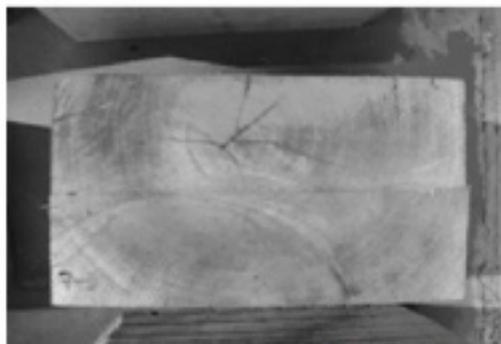


Fig. 17. Muestra 7-3 pulverizada con Cromoazurol-S

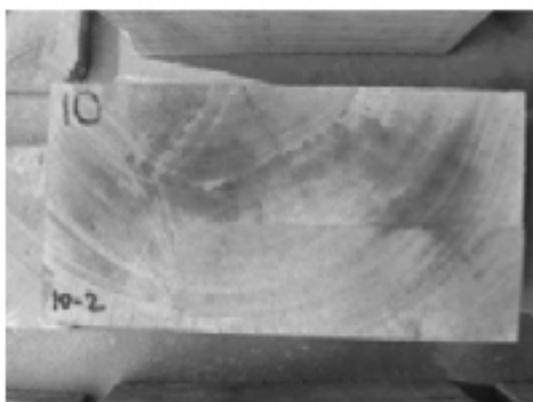


Fig. 18. Muestra 10-2 pulverizada con Cromoazurol-S

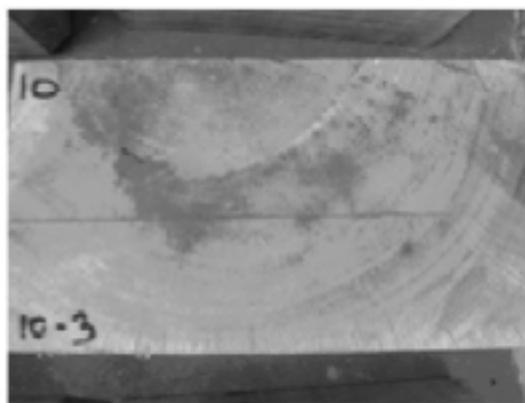


Fig. 19. Muestra 10-3 pulverizada con Cromoazurol-S

correspondería a la zona C de la probeta, presenta una coloración azul más fuerte, que la muestra 10.3, que pertenece a la zona D de la misma probeta

Aspectos económicos

Para realizar un análisis del mercado de durmientes en Argentina, tomamos como caso a una de las concesionarias del servicio que tiene una extensión de vías a cargo de 5000 km.

Para el mantenimiento de vías, la empresa utiliza unos 120000 durmientes/año (período 2007), a un costo de alrededor de U\$S 30 por durmiente impregnado con CCA, con una retención de 10,8 kg/m³ de madera. El consumo de producto CCA comercial al 60% m/m, consumido por durmiente es de aproximadamente 1,40 kg.

El costo del preservador CCA al 60% m/m en el mercado argentino es de cerca de U\$S 3,20 (+ IVA¹⁰) por kg.

Por lo tanto, para el mantenimiento anual de 5.000 km de vías se tendrá un costo de:

Durmientes impregnados U\$S 3.600.000-
Preservador comercial CCA al 60% m/m U\$S 537.600-

De aquí puede estimarse para el mantenimiento anual de los 34.059 km de vías actuales de la red ferroviaria argentina la utilización de más de 820.000 durmientes/año:

Costo de durmientes impregnados:
U\$S 24.522.480¹¹-
Costo del preservador comercial (CCA al 60% m/m): U\$S 3.673.600 -

¹⁰ IVA (Impuesto al Valor Agregado, en la República Argentina)

¹¹ Estos valores son aproximados considerando la utilización de durmientes (2,70 x 0,24 x 0,12 m) que corresponden a trocha ancha.

Estos valores estimativos dan una imagen de la importancia económica de este segmento de la industria de la madera en el mantenimiento de la red ferroviaria.

Conclusiones

De los resultados se afirma que la madera de quebracho blanco presenta una buena permeabilidad al tratamiento realizado con una absorción media de 338 litros/m³ de madera, cuando se aplica una presión de alrededor de 1187 kPa (12 kgf/cm²); para presiones de 784 kPa se obtiene una absorción media de 262 litros/m³ de madera, un valor significativamente menor. El objetivo de trabajar a una presión mayor no es disminuir el tiempo de impregnación sino aumentar la absorción de preservador en la madera, mejorando asimismo su distribución.

Recordar que para la primera impregnación tanto a 1187 como 784 kPa se utilizó un tiempo de una hora. Al realizar la impregnación a rechazo, se incrementan los tiempos de tratamiento, llegando a periodos de presión de aproximadamente 2 h, pero se logra aumentar las absorciones significativamente sin prolongar el periodo en exceso.

Se puede confirmar claramente la influencia de las diferentes presiones aplicadas en el tratamiento y los tiempos de proceso.

Nótese que trabajando con una solución al 3,2 % m/v puede obtenerse una retención teórica de 10,8 kg/m³ de madera, mediante la absorción de 338 litros de solución/m³ de madera trabajando a 1187 kPa. Asimismo puede obtenerse esa retención trabajando a una presión de 784 kPa, con una concentración de 4,1 % m/v, pero se obtendrá una distribución del preservante menos uniforme.

Se concluye que, como se indica en la bibliografía, el proceso es totalmente dependiente de la presión aplicada en el proceso y el tiempo de tratamiento. Quedó demostrado que con la presión de 1187 kPa se obtuvieron, mejores resultados que con 737 kPa. Estos resultados reflejan una más elevada retención y una mayor penetración, además de una distribución más uniforme de preservador.

Las diferencias en la penetración observada

en la madera ocurren debido a diferencia en la anatomía de la especie, la diversidad biológica individual y posiblemente a que algunas probetas presenten el ataque de la mancha roja.

Respecto al origen de la madera no se obtuvieron datos de los cuales pueda observarse una diferencia significativa en las absorciones y retenciones logradas. Por el contrario, de los análisis de densidad efectuados, se obtienen densidades muy próximas para los dos orígenes.

La madera de quebracho blanco puede ser impregnada con preservador tipo CCA en autoclave sin dificultad, dando un buen tratamiento protector. En particular, se podrán obtener durmientes de quebracho blanco con una vida útil prolongada, mediante la aplicación de un tratamiento preservador, en que se tenga en cuenta:

- La humedad de la madera a tratar.
- Las condiciones de tratamiento (Vacío inicial, presión de trabajo, tiempos de aplicación de las presiones mencionadas).
- La concentración adecuada de CCA.

El presente trabajo ha demostrado la factibilidad de una adecuada impregnación, pero que debiera validarse con probetas de esta madera a escala 1:1, por ejemplo de 2,70 x 0,24 x 0,12 m. Por ello, como propuesta de investigación a futuro se programa, realizar un ensayo de impregnación con CCA en autoclave, usando el sistema Bethell, con durmientes de quebracho blanco (con una humedad inferior al 30%) de dimensiones iguales a los más usados habitualmente.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería Química y a la Dirección de Posgrado de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional y al Subcomité de Preservación de Madera del IRAM, por el apoyo prestado al presente trabajo.

Asimismo, se expresa el agradecimiento a la empresa ferroviaria NCA por la provisión de los durmientes y a la empresa Tefquim S.A. por la provisión del preservante y por permitir el uso del equipamiento aplicado a los ensayos y análisis.

Referencias

- AITIM (2000). (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera), Boletín de Información Técnica N° 206, 19-35.
- BOLZON, G. (1988). *Preservantes de la Madera. Serie Didáctica N°1*. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones.
- GARCÍA, R. (1960). *El quebracho blanco en la elaboración de durmientes*. Notas Tecnológicas Forestales Nro.10
- GUINDEO CASASUS, A. (1997). *Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario*. AITIM, Madrid.
- IACONIS, C. (1957). *Corazón rojo o falso corazón del quebracho blanco*. Rev. de Inv. Forestales 1(4) 39-45.
- LIZARRAGA, A. J. B. (1972). *Efectos del corazón rojo del quebracho blanco en los caracteres del leño*. Memorias del Congreso Forestal Mundial (4) 6375:6376.
- MOGLIA, J. G. (2004). *Presencia del hongo Fusarium scirpii en el leño de Aspidosperma quebracho blanco*. Resultados Preliminares. II Reunión Argentina de Ecología, Mendoza, Argentina.
- NICHOLAS, D. (1973). *Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments*. Volume 2: Preservatives and Preservatives Systems. Syracuse University Press.
- PERAZA SÁNCHEZ, F. (2001). *Protección Preventiva de la Madera*. AITIM, Madrid
- PEREIRA DA SILVA, R, L. (1986). A preservação de dormentes na RFFS/A uma análise
- TINTO, J. C. (1987). *Posibilidades para la producción de durmientes de madera de quebracho*. Informe Técnico, Santa Cruz, Bolivia.
- TORTORELLI, L, (1956). *Maderas y bosques argentinos*. ACME.
- TORTORELLI, L, (1963). *Glosario de términos usados en anatomía de maderas*. Rev. de Inv. Forestales 1(4) 3-32.
- UNLP (Universidad Nacional de La Plata). (2006). *Guiado y elementos de vía*. Cátedra de transportes guiados.

