

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA IGNIFUGA DE SOLUCIONES HIDROSOLUBLES EN LA IMPREGNACIÓN DE MADERA DE *Pinus ponderosa* DOUGL. EX LAWS

TESTING THE FIREPROOF EFFICIENCY OF WATER-
SOLUBLE SOLUTIONS IN THE IMPREGNATION OF
Pinus ponderosa DOUGL. EX LAWS WOOD

Fecha de recepción: 12/07/2015// Fecha de aceptación: 23/11/2015

Gabriel Keil

Profesor Adjunto,
Xilotecología e Industrias
de Transformación
Mecánica,
gabrielkeil@yahoo.com.ar

María Laura Tonello

Ayudante Diplomado,
Cálculo Estadístico,
lauramaly@yahoo.com.ar

Laura Maly

Jefe de Trabajos Prácticos,
Industrias de
Transformación Química,
marialauratonello@yahoo.c
om.ar

María Mercedes Refort

Ayudante Diplomado,
Industrias de
Transformación Mecánica,
mmrefort@hotmail.com

Laboratorio de
Investigaciones en Madera,
limad@agro.unlp.edu.ar
Facultad de Ciencias
Agrarias y Forestales,
Universidad Nacional de La
Plata, UNLP, 60 y 119,
1900, CC 31. La Plata,
Argentina.

RESUMEN

El fuego es considerado uno de los principales agentes de destrucción de objetos fabricados parcial o totalmente con madera; este material por ser combustible crea siempre "riesgo de incendio" y esto constituye una de las limitaciones a su mayor uso en la construcción. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento al fuego de la madera juvenil de Pino ponderosa impregnada con 8 formulaciones potencialmente ignífugas. La impregnación de las probetas se realizó en autoclave utilizando el método Bethell (vacío – presión – vacío). Se ensayaron: paraformaldehído en tres concentraciones (25, 50 y 100%); formulación de fosfato ácido de amonio, sulfato de amonio, ácido bórico y borato de sodio en dos concentraciones (10 y 15%); solución biopreservante (5%); formulación de fosfato monoamónico y decaborato de sodio (8%) y CCA comercial (2%). El comportamiento al fuego fue evaluado mediante el ensayo OI (Índice de Oxígeno) y el ensayo Intermitente. Como resultados se obtuvieron altos valores de absorción de las soluciones impregnantes, variando desde 448,01 kg.m⁻³(formulación de boro al 10%) hasta 636,87 kg.m⁻³(CCA), con valores

ABSTRACT

Fire is considered one of the main agents of destruction of objects made partially or entirely of wood. Since wood is a combustible material, it is always at fire risk and therefore this is one of the limitations for further use in construction. The aim of this work is to test the behaviour of Ponderosa pine juvenile wood impregnated with 8 potentially fireproof formulations when exposed to fire. The impregnation of the test tubes has been carried out in autoclave utilizing the Bethell method (vacuum-pressure-vacuum). Three concentrations of paraformaldehyde (25, 50 and 100%), formulation of ammonium acid phosphate, ammonium sulphate, boric acid and sodium borate in two concentrations (10 and 15%), biopreservative solution (5%), formulation of monoammonium phosphate and sodium decaborate (8%) and commercial CCA (2%) have been tested. The fire reaction has been tested through the OI test (Oxygen Index) and the Intermittent test. The results obtained have shown high absorption values of the impregnating solutions, varying from 448,01 kg.m⁻³ (boron formulation at 10%) to 636,87 kg.m⁻³ (CCA) with intermediate values for other tested solutions. As regards the behaviour of monoammonium phosphate and sodium decaborate formulations and boron formulations when exposed to fire, in both concentrations the

intermedios para las otras soluciones ensayadas. En cuanto a su comportamiento al fuego, las formulaciones de fosfato monoamónico y decaborato de sodio y las compuestas de boro, en ambas concentraciones, proporcionaron a la madera juvenil de pino ponderosa una capacidad ignífuga eficiente, de acuerdo al ensayo realizado, calificándolo como un material autoextinguible; mientras que las tres soluciones de paraformaldehído, el CCA y el biopreservante no proporcionaron propiedades retardantes de llama sobre la madera de Pino ponderosa.

Palabras clave: madera, fuego, impregnación, ignífugos, ensayos fuego.

have provided Ponderosa pine juvenile wood capacity, thus making it self-extinguishing. The three solutions of paraformaldehyde, the CCA and the biopreservative solution have not provided the Ponderosa pine wood with flame retardant properties.

Key words: wood, fire, impregnation, fireproof, fire tests

INTRODUCCIÓN

El fuego es considerado uno de los principales agentes de destrucción de objetos fabricados parcial o totalmente con madera. La madera por ser un material combustible, crea siempre el “riesgo de incendio”; esto constituye una de las limitaciones a su mayor uso en la construcción, (JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA 1988).

Los esfuerzos para disminuir la inflamabilidad de los materiales y de la madera en particular, se remontan a épocas muy antiguas. Sin embargo, el conocimiento de la fisicoquímica de la combustión ha permitido recién en las últimas décadas el desarrollo de productos y medios de defensa eficaces para evitar la no deseada evolución a la que espontáneamente tienden los materiales combustibles. Reducir las pérdidas ocasionadas por el fuego es un objetivo de alto impacto en la economía de cualquier país; además, se debe incluir el aspecto social al disminuir los peligros de accidentes a nivel industrial y al mejorar las condiciones de seguridad en construcciones civiles y militares, (GIÚDICE 2000). Bajo ciertas condiciones la madera presenta una buena resistencia al fuego debido a su baja conductividad térmica y a su capacidad de formar una capa carbonizada superficial, esta última en particular retarda aún más la degradación de la madera, lo cual permite mantener sus propiedades físicas y mecánicas por mayor tiempo que las estructuras de metal o cemento. La capacidad de resistencia al fuego de una estructura de madera depende del diseño de las construcciones, materiales seleccionados y de las escuadrías del material, así, la cantidad de carbonización de la sección transversal es el principal factor en la resistencia al fuego de miembros estructurales de madera. En cambio en otras aplicaciones, su comportamiento frente al fuego es limitado puesto que cuando forma parte de muebles, revestimientos de muros y cielos u otros usos que emplean piezas más delgadas, arde con facilidad, (GIÚDICE 2000; GARAY 2010; GIÚDICE 2006).

La velocidad de carbonizado de la madera es más elevada al comienzo de la exposición al fuego debido a la inexistencia de barreras limitantes. Al producirse la

capa de madera carbonizada superficialmente (Figura 1), la velocidad disminuye por el efecto protector que la misma presenta al reducir la transmisión del calor. La generación de cenizas resulta reconocida como un medio importante para retardar la propagación del fuego (GIÚDICE 2006; DURAN 2012).

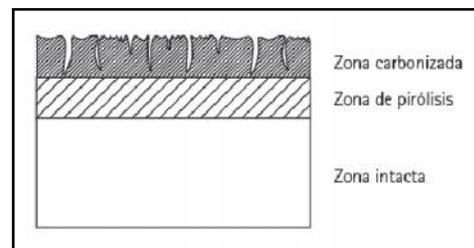


Figura 1. Zona de capa carbonizada
Figure 1. Carbonized layer region

La protección de los materiales frente a la acción del fuego está limitada a un efecto retardante, ya que ninguna sustancia química puede transformar la madera en material incombustible dentro de los márgenes de un análisis económico. En consecuencia, existe una gran variedad de sustancias que ofrecen resultados positivos sobre la demora en la propagación del fuego, la permanencia de la combustión y de la brasa. El tratamiento con retardantes del fuego puede prevenir pequeños focos de incendio y prolongar el comienzo de la ignición, generando lapsos adecuados para evitar la propagación del fuego, (GIÚDICE 2006; JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA 1988).

En la actualidad no se ha profundizado en el tema de impregnantes con productos de acción ignífuga sobre madera de Pino ponderosa, si bien es impregnada con preservantes para usos en postes rurales debido a que su madera presenta una baja durabilidad natural, (SPAVENTO 2011). El Pino ponderosa es una especie que se utiliza en múltiples productos y que tiene la gran ventaja de ser conocido en el mercado norteamericano, característica atractiva para la exportación hacia esos países. Es la conífera de rápido crecimiento más empleada y con gran potencial para forestar vastas extensiones en la región Andino Patagónica Argentina,

mostrando crecimientos significativamente mayores que en los lugares de origen en los Estados Unidos, (GONDA *et al.* 2009). Es una especie con una densidad baja, rango entre 351 a 550 Kg.m⁻³, (KEIL *et al.* 2013), se trabaja fácilmente, tanto a mano como con herramientas mecánicas, aunque en ciertos casos la resistencia de las piezas aserradas puede verse reducida por el denso agrupamiento de nudos, producto de la ramificación uninodal característica del Pino ponderosa. Otra característica que presenta esta especie es que su madera seca fácilmente. Actualmente esta especie representa el 70% de las plantaciones implantadas en la provincia de Neuquén. El volumen existente de madera de Pino ponderosa en la provincia llega a 2.212.964 m³, (GONDA *et al.* 2009). De acuerdo con lo expuesto, se planteó como objetivo principal de este trabajo, la impregnación de esta especie con diferentes productos de acción ignífuga y la evaluación de su comportamiento al fuego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en 5 etapas: obtención de probetas, ensayos físicos, impregnación de probetas, evaluación del comportamiento frente al fuego y análisis de resultados.

Obtención de probetas

Se trabajó con material proveniente del sudoeste de la provincia de Neuquén, extraído de la zona del lago Melliquina (40°27'23"S-71°13'52"O). Se seleccionaron 10 individuos al azar de 22 años de edad. De cada árbol se extrajeron las dos primeras trozas de 1,25 m de longitud cada una. Se obtuvieron tablones de 55 mm de espesor y de 25 mm de espesor. Posteriormente fueron transformados en listones cepillados de sección cuadrada de 50 mm y de 20 mm de lado. Dicho material fue testeado periódicamente en su contenido de humedad, hasta la humedad de equilibrio higroscópico (HEH). Una vez alcanzada dicha HEH, el material fue procesado en carpintería para la obtención de 630 probetas – 60 para CH, Dn y Do; 480 para impregnación y 90 para ensayos de fuego - dimensionadas según normas para los diferentes ensayos físico-mecánicos planteados, los cuales se describen a continuación detalladamente.

Ensayos físicos

Las propiedades físicas estudiadas en probetas sin impregnar fueron: contenido de humedad (CH), (IRAM 9532, MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE HUMEDAD, 1963) y densidades aparentes normal (Dn) y anhidra (Do), (IRAM 9544, MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE, 1985).

Impregnación de probetas

Se realizaron 8 procesos de impregnación, una con cada producto puro o mezcla a ensayar. Las soluciones impregnantes fueron las siguientes: Paraformaldehído al 100% (P100); Paraformaldehído al 50% (P50); Paraformaldehído al 25% (P25); Mezcla de bórax, ácido bórico y amoníaco al 15% (B15); Mezcla de bórax, ácido bórico y amoníaco al 10% (B10); Solución fosfato/borato al 8% (FB8); Arseniato de cobre cromatado al 2% (CCA2) y Biopreservante en desarrollo al 5% de concentración (Bio5). Las formulaciones a base de boro se muestran en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Formulación ensayada de las soluciones a base de boro (B 15 y B 10).

Table 1. Formulation tested of the solutions based on boron (B 15 y B10)

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

La solución fue elaborada en el CIDEPINT. LEMIT.

Tabla 2. Formulación de fosfato monoamónico y decaborato de sodio (FB 8).

Table 2. Formulation of monoammonium phosphate and sodium decaborato (FB 8)

Compuestos	Porcentaje en peso sólido
Fosfato monoamónico	6,8
Decaborato de sodio	1,2
Agua c.s.p.	100,0

La solución fue desarrollada por la Empresa Química Bosques S. A.

Las impregnaciones se llevaron a cabo en la Empresa Química Bosques S.A. ubicada en el partido de Florencio Varela, provincia de Buenos Aires. Se aplicó el procedimiento Bethell (vacío-presión-vacío) o de "célula llena", (IRAM 9600, PRESERVACIÓN DE MADERAS-MADERAS PRESERVADAS MEDIANTE PROCESOS CON PRESIÓN EN AUTOCLAVE, 1998). Inmediatamente posterior a la impregnación, el 20% de las probetas fueron cortadas por la mitad en 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 en balanza analítica de 0,01 g de precisión y se determinó el volumen con calibre micrométrico, el cual fue utilizado para calcular el valor de **absorción**. Luego se obtuvo el valor de la **retención nominal**, expresada en kg de preservante por metro cúbico de madera y se determinó la **retención real**.

Ensayos de comportamiento frente al fuego

Se analizó la resistencia frente al fuego de las probetas impregnadas mediante el ensayo de **Índice de Oxígeno (OI) y el Ensayo Intermitente**. Estas experiencias se realizaron en la Planta Piloto del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas (CIDEPINT). El **Ensayo OI**, objeto de la norma ASTM 2863 (MEASURING THE MINIMUM OXYGEN CONCENTRATION SUPPORT CANDLE-LIKE COMBUSTION OF PLASTIC), determina la mínima concentración de oxígeno en una mezcla con nitrógeno que puede mantener la combustión de un material en condiciones de equilibrio, como la combustión de una vela. El valor se expresa en porcentaje en volumen. Este ensayo no es representativo del comportamiento real del material en contacto con el fuego, pero es uno de los métodos preferidos debido a que permite la obtención de valores numéricos reproducibles y comparables. El **Ensayo Intermitente** (UTN La Plata) consiste en someter el frente inferior de la probeta a la acción intermitente de la llama de un mechero Bunsen, dispuesto en un ángulo de 45°. La probeta se someterá a la acción de la llama durante ciclos de exposición fuego/reposo. Las exigencias de este ensayo determinan que para soluciones o pinturas que se aplicarán en servicio sobre un sustrato combustible deberán presentar una calificación de **Aprobado** según ensayo de Índice de Oxígeno y **Clase A** según ensayo de Intermitencia.

Análisis estadísticos

A partir de las variables físicas, se obtuvieron los valores estadísticos descriptivos básicos (media, desvío, coeficiente de variación, rango y gráficos de dispersión). Se evaluó el cumplimiento de los supuestos requeridos para realizar el análisis de la varianza. Luego, se realizó un ANOVA para testear la respuesta a la absorción de las probetas con las distintas soluciones impregnantes. Se evaluaron en dos grupos, por un lado las 3 soluciones de Paraformaldehído, CCA y Biopreservante a través de un análisis de la varianza paramétrico, ya que estos valores dieron cumplimiento a los supuestos requeridos para este análisis. Para las tres soluciones con Boro se realizó un análisis de la varianza no paramétrico (Kruskal Wallis). Los ensayos fueron diagramados utilizando un diseño enteramente al azar.

Para analizar el comportamiento al fuego, se estudió la asociación entre los parámetros OI e Intermitencia a través de un análisis de contingencia utilizando la prueba de *chi* cuadrado.

RESULTADOS

1. Propiedades físicas

Los valores de contenido de humedad (CH) y densidades aparentes (Dn y Do) para la madera juvenil de Pino ponderosa ensayada, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de CH%, Dn y Do para Pino ponderosa.

Tabla 3. CH%, Dn and Do values for *Pinus ponderosa*

Parámetro estadístico	CH	Dn	Do
Media	12,30 (%)	0,39 (kg.dm ⁻³)	0,37(kg.d m ⁻³)
Coefficiente de variabilidad	3,18 (%)	9,53 (%)	9,31 (%)

Según se observa en la tabla, 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 con productos hidrosolubles, (IRAM 9600). De acuerdo a los valores de densidad aparente normal y anhidra, la madera de Pino ponderosa resulta liviana, rangos entre 0,351 y 0,550 kg.dm⁻³ (Coronel, 1994) y 0,300-0,450 kg.dm⁻³, respectivamente, (RIVERO MORENO 2004).

2. Impregnación

Luego de la impregnación por autoclave se observó una penetración total en toda la escuadría de las piezas muestreadas. Los valores de retención obtenidos fueron contrastados con los valores especificados en la norma IRAM 9600 para productos preservantes hidrosolubles, ya que no existe en el país una normalización de este tipo para productos ignífugos. En la Tabla 4 se presentan los valores promedios de absorción y retenciones para cada uno de los tratamientos. Aquí se observa que no hubo diferencias estadísticamente significativas en los valores de absorción entre los 8 tratamientos ensayados. Al estar afectados por distintas constantes, no es ilustrativo el promedio de las retenciones nominal y real, así como tampoco aporta información un análisis de ANOVA, ya que las diferencias entre tratamientos estarán dadas por las constantes que afectan el valor de la absorción para hacer los cálculos de retención nominal y real. Si bien la absorción depende de una serie de variables - tipo de madera, solución impregnante y condiciones de proceso, (MALKOV 2002) - el valor medio hallado en este trabajo resultó superior al citado por OTAÑO *et al.* (1999), para otras cuatro especies de *Pinus*, aplicando un tratamiento semejante con soluciones hidrosolubles.

Tabla 4. Parámetros medios de la impregnación de los 8 tratamientos.
Table 4. Average impregnation parameters of the 8 treatments

Tratamiento	Absorción (kg.m ⁻³)*	Retención nominal (kg.m ⁻³)	Retención real (kg.m ⁻³)	Penetración (%)
B10	448,00 a	44,80	36,82	Total
B15	499,07 a	74,86	61,53	Total
P50	504,53 a	252,26	207,36	Total
Bio5	542,02 a	27,10	22,27	Total
FB8	551,35 a	44,10	36,25	Total
P25	608,03 a	234,70	192,92	Total
P100	636,10 a	636,10	522,87	Total
CCA2	636,87 a	8,78	7,224	Total

* Misma letra, sin diferencias significativas

2.1. Análisis estadísticos de impregnación

Al realizar un análisis descriptivo del grupo formado por las 3 concentraciones de Paraformaldehído, CCA y Biopreservante, a través de las medidas resumen

y de los gráficos de caja (Figura 2) de los valores de absorción, se observan en la Tabla 5.

La solución de paraformaldehído 100%, tuvo una de las mayores absorciones medias presentando a su vez una menor variabilidad.

Tabla 5. Valores de absorción (kg.m⁻³) por solución para Pino ponderosa.
Table 5. Absortion values (kg.m⁻³) per solution for Pinus ponderosa

Estadístico	P 100%	P 50%	P 25%	Bio 5%	CCA 2%
Media	636,10	504,54	608,03	542,02	636,87
Desvío estándar	157,15	230,26	187,77	211,20	215,80
Coefficiente de variabilidad	24,70	45,64	30,88	38,96	33,88

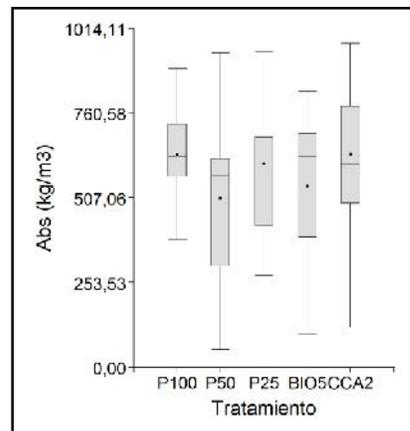


Figura 2. Gráfico de caja de los valores de absorción
Figure 2. Box plot of absorption values

Del análisis de la varianza realizado ($F= 2,32$ y $p\text{-value}= 0,0608$) se corrobora que las 5 soluciones utilizadas generan sobre la madera de pino similares parámetros de absorción, no existiendo una solución que predomine sobre la otra. Por otro lado, al realizar un análisis descriptivo de los valores de absorción a través de las medidas resumen y de los gráficos de caja (Figura 3), se observa que el menor valor de absorción registra $448,01 \text{ kg.m}^{-3}$ y el mayor $551,36 \text{ kg.m}^{-3}$. A su vez, el mayor valor de absorción registra la menor variabilidad con un desvío estándar de $175,98 \text{ kg.m}^{-3}$, lo que se observa en la Tabla 6.

Asimismo se realizó un análisis de la varianza no paramétrico, de Kruskal Wallis, el cual brindó como información relevante que las 3 soluciones con boro en su formulación generaron sobre la madera de pino similares parámetros de absorción, no existiendo una diferencia en la absorción relacionada a la solución. ($H= 1,28$ $p\text{-value}= 0,5279$).

Tabla 6. Parámetros medios de la impregnación de los 3 tratamientos con Boro.

Tabla 6. Average impregnation parameters of 3 treatments with Boron.

Estadístico	B 15%	B 10%	FB 8%
Media	499,08	448,01	551,36
Desvío estándar	264,44	252,57	175,98
Coefficiente de variabilidad	52,99	56,38	31,92

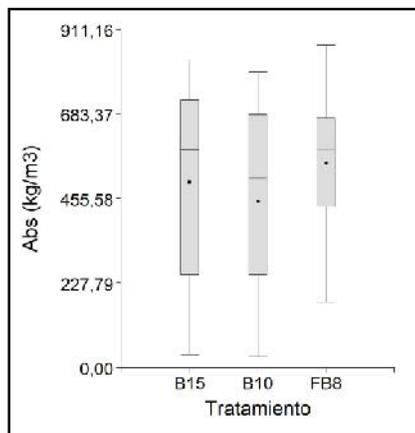


Figura 3. Gráfico de caja de los valores de absorción
Figure 3. Box plot of absorption values

3. Ensayos de comportamiento frente al fuego

En la Tabla 7 se sintetizan los valores OI e Intermitente para la madera testigo e impregnada con las 8 formulaciones ensayadas.

Un valor de OI mayor al 28% permite clasificar el sustrato como autoextinguible por lo que, los valores OI e Intermitente obtenidos para las soluciones de **paraformaldehído** no fueron satisfactorios, comportándose igual o peor que el testigo. El uso del paraformaldehído no provocó retardancia de llama en los ensayos, lo cual de haber resultado positivo, hubiera agregado al paraformaldehído una propiedad a la ya reconocida eficiencia en su capacidad biocida, (RAMS & MARTÍNEZ 2007). Las soluciones que contienen **mezcla a base de boro al 15% y al 10%** proporcionaron a las muestras de madera de Pino ponderosa una capacidad ignífuga adecuada, de acuerdo a los ensayos realizados, calificándolo como un material autoextinguible, (GIÚDICE 2010). En este sentido, DURÁN & MUR (2012), encontraron valores muy superiores de OI (79), en probetas impregnadas con soluciones hidrosolubles a base de boratos de sodio. Valores menores de OI (37-50%), fueron encontrados por PEREYRA & GIÚDICE (2008) en madera de Araucaria angustifolia. Asimismo, DURÁN & MUR (2012), citan valores de OI cercanos a 30, en probetas impregnadas con soluciones hidrosolubles a base de silicatos de sodio y potasio. Las soluciones de **fosfato monoamónico y decaborato de sodio** proporcionaron buenas propiedades retardantes de llama sobre las probetas de madera. La **solución biopreservante y el CCA** no proporcionaron propiedades retardantes de llama sobre la madera de Pino ponderosa.

3.1. Análisis estadísticos de comportamiento al fuego

Se evaluó mediante análisis estadístico si la variable Intermitencia en sus dos categorías (aprueba – no aprueba) y la variable OI en sus tres categorías (menor a 27 – 27 a 50 – mayor a 50) presentan asociación, se realizó un análisis de contingencia mediante la prueba de *chi* cuadrado. Este dio como resultado que existe asociación entre las categorías analizadas ($\chi^2= 29$; $p\text{-value} < 0,00001$), presentándose el 65% de los datos en la categoría No aprueba de Intermitente y menor a 27 de OI. A su vez, el 20,69% se agrupa en la categoría Aprueba de Intermitente y mayor a 50 de OI, según surge de la Tabla 8.

Tabla 7. Valores del ensayo de Índice de Oxígeno (OI) e Intermitente.
Tabla 7. Test values of Oxygen Index (OI) and Intermittent.

Producto	Concentración (%)	OI (% de O ₂)	Intermitente
B10	10	>50	Clase A-Aprueba
B15	15	>50	Clase A-Aprueba
P50	50	24	Clase E-No aprueba
Bio5	5	24	Clase E-No aprueba
FB8	8	>45	Clase A-Aprueba
P25	25	26	Clase E-No aprueba
P100	100	24	Clase E-No aprueba
CCA2	2	22	Clase D-No aprueba
Testigo (sin impregnar)	-	25	Clase E-No aprueba

Tabla 8. Análisis de Contingencia - Tabla de Frecuencias para Intermitencia según OI.
Tabla 8. Contingency Analysis - Table of frequencies for Intermittence as OI.

	a (<27)	b (27 -50)	c (>50)	
Aprueba	0,00%	13,79%	20,69%	34,48%
No Aprueba	65,52%	0,00%	0,00%	65,52%
	65,52%	13,79%	20,69%	100,00%

CONCLUSIONES

La penetración fue total en toda la muestra de piezas de madera, los valores de absorción y retención real logrados en la impregnación profunda de Pino ponderosa fueron mayores a los obtenidos en otras especies de pinos y con otros preservantes hidrosolubles. Las soluciones a base de Boro, al 15 y al 10% y fosfato monoamónico y decaborato de sodio, proporcionaron a las muestras de madera de Pino ponderosa una capacidad ignífuga eficiente, de acuerdo a los ensayos realizados. Sería interesante continuar estos estudios ensayando soluciones en concentraciones más bajas para evaluar su capacidad ignífuga, manteniendo la efectividad del tratamiento y reduciendo aún más su costo.

Las soluciones con Paraformaldehído en sus 3 concentraciones, Biopreservante y CCA no proporcionaron propiedades retardantes de llama sobre la madera.

El estudio presentado condujo al desarrollo de nuevas formulaciones de soluciones impregnantes con poderes retardantes del fuego, con la intención de realizar ensayos experimentales conducentes a clasificar aquellas que otorguen una mayor seguridad a las personas y a los bienes materiales.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Carlos A. Giúdice y a la Dra. Guadalupe Canosa por su asesoramiento en lo relativo a las sustancias ignífugas y los ensayos de comportamiento al

fuego. A la Ingeniera Paula Alfieri por la preparación de los productos impregnantes. Al Lic. Ricardo Camera, de la Empresa Química Bosques S.A., por facilitar la planta piloto donde se realizaron los ensayos de impregnación.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM 2863. (2006). American Society For Testig And Materials. Measuring The Minimum Oxygen concentration Support Candle- Like Combustion of Plastic.

CORONEL, E. O. (1994). "Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones". 1 Parte: "Fundamentos de las propiedades físicas de la madera". ITM - UNSE. 187 pp.

DURÁN S. M. & B. Z. Mur. (2012). Protección de la madera frente al fuego mediante la combinación de diversos productos. Proyecto final de grado. Escuela politécnica superior de edificaciones de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. 117 pp.

GARAY. R. & M. Henriquez. (2010). Comportamiento frente al fuego de tableros y madera de pino radiata con y sin pintura retardante de llama. Maderas ciencia y tecnología. 14 pp.

- GIUDICE, C. A. & Pereyra, A. M. (Ca 2000). Pinturas retardantes del fuego. 14 pp.
- GIUDICE, C. A.; A. M. Pereyra & J. C. Benítez. (Ca 2006). Comportamiento frente al fuego de maderas tratadas con silicatos solubles como material impregnante. Reporter I.A.S. http://www.ias.org.ar/down/asociados/reporter_ias/tecnica/tecnicas1/comportamiento-fuego-maderas-tratadas.htm.
- GIUDICE, C. (2010). "Determinación del Índice de Oxígeno". Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional de La Plata, Departamento de Ingeniería Química, Cátedra de Protección de Materiales, Práctica de Laboratorio N°1: 7 pp.
- GONDA, H.; Mohr Bell, D.; Sbrancia, R.; Lencinas, J.; Bava, J.; Monte, C.; Montoro, A.; Siebert, A.; García, E.; Menéndez, J.; Lutz, G.; Rocca, A.; Van Houtte, J.; Toth, A.; Tolone, G. & Salimbeni, J. (2009). "Inventario del Bosque Implantado en la Provincia de Neuquén". Ecogestión 2009. Primera reunión sobre planificación y legislación forestal. 18 pp.
- IRAM 9532. (1963). Método de determinación de humedad. Instituto de Racionalización de Materiales. 14 pp.
- IRAM 9544. (1985). Método para la determinación de la densidad aparente. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 10 pp.
- IRAM 9600. (1998). "Preservación de maderas-Maderas preservadas mediante procesos con presión en Autoclave". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 23 pp.
- JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA. (1988). "Manual del grupo andino para la preservación de maderas". 1° Ed. Lima, Perú, 349 pp.
- KEIL, M; M. Refort & E. Spavento. (2013). Propiedades físicas de la madera de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws, proveniente de la provincia de Neuquén, Argentina. II Jornadas Forestales Patagonia Sur. Calafate, Argentina. Resumen número 16 en actas ISBN 978-987-679-238-7.
- MALKOV, S. (2002). Studies on liquid penetration into softwood chips. Experiments, Models and Applications. Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology to be presented with due permission of the Department of Forest Products Technology, Helsinki University of Technology for public examination and debate in Council Room at Helsinki University of Technology (Espoo, Finland) on the 22nd of November, at 12 noon. 76 p.
- OTAHÑO, M.; G. Keil; M. Luna; B. Díaz & R. 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 mecánicas". Revista de la Facultad Agronomía. La Plata. ISSN 0041-8676. 104 (1): 75-84.
- PEREYRA A. M. & C. A. Giudice. (2008). silicatos de etilo con diferente grado de hidrólisis como Material Impregnante Ignífugo para Maderas. Maderas. Ciencia y tecnología 10(2): 113-127.
- RAMS & Martinez, S. L. (2007). "Paraformaldehído: ficha de datos de seguridad (FDS)". T 3 Química. 3 pp.
- RIVERO MORENO, J. (2004). Propiedades Físico-Mecánicas de *Gmelina arbórea* Roxb. y *Tectona grandis* Linn. F. Pasantía Cochabamba, Bolivia. 73 pp.
- SPAVENTO, E. (2011). "Identificación de productos y mercados potenciales para el sector forestal", en el marco del "Proyecto BIRF LN 7520 AR - Manejo Sustentable de Recursos Naturales Componente 2 – Plantaciones Forestales Sustentables. Ministerio de Agricultura de la Nación. Informe Final de 259 pp.