

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD ADQUIRIDA DE MADERA CON UNA
MEZCLA PRESERVANTE A TRAVÉS DE UN ENSAYO DE CAMPO
ACELERADO

por

Valentina BENÍTEZ GONZÁLEZ

Juan Manuel SARRÍES RARÍZ

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2015

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Carlos Mantero

Ing. Quim. (Dra.) Marcela Ibáñez

Ing. Agr. Fernando Resquin

Fecha: 10 de junio de 2015

Autor: -----

Juan Manuel Sarríes Raríz

Valentina Benítez González

AGRADECIMIENTOS

A mis directores de tesis Ing. Química Marcela Ibáñez (Facultad de Química) y el Ing.Agr. Carlos Mantero (Facultad de Agronomía), por su asesoramiento y constante apoyo en todo el trabajo.

A la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (EEBR), por brindarnos un lugar de trabajo y equipos necesarios para llevar a cabo el ensayo. En especial a los funcionarios Mauricio Cáceres y Ricardo Penén por ayudarnos en la realización de las probetas, ya sea en la corta como preparación de las mismas, y en general a todos los funcionarios que de una u otra manera colaboraron con el trabajo.

A nuestras familias por apoyarnos y acompañarnos en esta etapa y durante toda la carrera.

El mayor agradecimiento se lo quiero dar a mi compañero y amigo Juan Manuel Sarries Rariz, por su entrega y dedicación en el trabajo. Gracias al consentimiento de la familia su nombre figura en el trabajo ya que como yo fue participe en toda su elaboración.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	V
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1. DURABILIDAD NATURAL Y ADQUIRIDA.....	4
2.2. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA	4
2.3. INFLUENCIA DE LA ANATOMÍA DE LA MADERA DEL GÉNERO EUCALYPTUS EN EL PROCESO DE IMPREGNACIÓN.....	5
2.4. PRESERVANTES DE LA MADERA.....	7
2.4.1. <u>Compuestos de boro</u>	8
2.4.2. <u>Compuestos de zinc</u>	9
2.4.3. <u>Silicatos</u>	10
2.5. MÉTODOS DE IMPREGNACIÓN	10
2.6. EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS PRESERVANTES.....	11
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	14
3.1. MADERA A ENSAYAR (SELECCIÓN, ACONDICIONAMIENTO E IMPREGNACIÓN DE LAS PROBETAS)	14
3.2. INSTALACIÓN DEL ENSAYO	17
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	20
5. <u>CONCLUSIONES</u>	26
6. <u>RESUMEN</u>	27
7. <u>SUMMARY</u>	28
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	29
9. <u>ANEXOS</u>	33

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Escala de clasificación del deterioro de las probetas	19
2. Tratamiento con sales de boro al 2 %	21
3. Segundo tratamiento	23
4. Evaluación cualitativa de las probetas	24
5. Análisis de varianza de la evaluación de los tratamientos.....	24
Figura No.	
1. Imagen Satelital con la ubicación del Rodal (32°20'16.55"S; 54°26'58.16"O; elevación 151 m).....	14
2. Foto del rodal de <i>Eucalyptus grandis</i> de donde se extrajo la madera para la confección de las probetas.....	14
3. Probetas de madera redonda descortezada.....	15
4. Primer tratamiento. Ascensión simple con una solución de boro al 2 %.....	15
5. Resumen de los tratamientos aplicados.....	16
6. Cilindro de impregnación.....	17
7. Inmersión con solución de silicato de sodio al 1 %.....	17
8. Instalación del ensayo de campo acelerado.....	18
9. Determinación de la penetración de sales de boro.....	22
10. Evaluación a los 10 meses.....	23

1. INTRODUCCIÓN

La madera es uno de los recursos naturales más abundantes del planeta y ha tenido siempre un papel muy importante y significativo en la economía humana. Para el hombre, desde tiempos inmemoriales ha proporcionado materia prima para suplir diferentes necesidades, como vivienda, vestido, alimento, entre otros insumos y recursos.

Diversas son las aplicaciones en las que se utiliza madera debido a la resistencia de este material, sus características físicas, disponibilidad y su relativo bajo costo. Sin embargo, por ser un material de origen orgánico, es susceptible a los procesos de biodeterioro, cuyo riesgo varía dependiendo del sitio donde es puesta en servicio (Eaton y Hale 1993, Peraza 1994). Cualquiera sea el servicio en el que se encuentre, deben considerarse los organismos xilófagos, enemigos naturales que degradan su estructura holocelulósica y de lignina de forma progresiva. La incidencia de estos organismos es mayor en aquellos usos donde la madera está expuesta a la intemperie, en contacto con el suelo alcanzando elevados contenidos de humedad (Clase de Riesgo 5 de acuerdo a la Norma UNE-EN 335). El nivel de protección que debe obtenerse para reducir o eliminar el riesgo ocasionado por dichos organismos, considerando la durabilidad natural de la madera, es función del destino y el uso final que se dé a la misma. Para mayor riesgo se recomiendan tratamientos en profundidad con productos preservantes, ya que todo el volumen de la madera sometido a humedad es vulnerable al ataque. Una mayor profundidad se logra mediante la aplicación de procesos a presión, como el de célula llena o Bethell (vacío – presión – vacío) entre otros, que inyectan el preservante dentro de la estructura de la madera por acción de la presión aplicada. Este tipo de aplicación logra altos niveles de penetración y retención del producto químico en la madera, pero requiere de equipos industriales que aumentan los costos operativos y de inversión (Eaton y Hale, 1993).

Los preservantes hidrosolubles son formulaciones de sales de diferentes metales (flúor, boro, arsénico, cobre, zinc) que cumplen diferentes funciones. Unas actúan como insecticidas, otras como fungicidas y otras son fijadoras de las materias activas en la madera. Se han utilizado a lo largo del tiempo una gran variedad de preservantes. Por más de cincuenta años las formulaciones a base de boro como preservantes de la madera han sido presentadas a la comunidad científica (Findlay, 1959) y hasta ahora muchos grupos de investigación han trabajado en este campo. Boratos simples tales como ácido bórico y bórax, son preservantes de amplio espectro (Drysdale, Lloyd, citados por Ibáñez et al., 2012), presentan una baja toxicidad (Jansen et al., Usuda et al., Teshima et al., citados por Thévenon et al., 2010) y son considerados ambientalmente aceptables. Además son altamente solubles en agua lo que les permite introducirse en madera por métodos convencionales tales como inmersión-difusión o de vacío-presión (Lebow y Morrell, Byrne y Morris, citados por Thévenon et al., 2010).

Por otro lado, esta alta solubilidad hace que los compuestos de boro sean fácilmente lixiviables de la madera tratada, lo cual genera dificultades cuando se utiliza para aplicaciones al aire libre (Peylo y Willeitner 1999, Lloyd 1998). La cuestión clave para expandir el uso de boro para la protección de la madera parece ser su fijación en la madera y que al mismo tiempo mantenga el efecto fungicida (Obanda et al., citados por Thévenon et al., 2010).

Con los años ha habido varias pruebas con formulaciones de boro y otros productos químicos con el fin de mejorar la durabilidad del tratamiento conservador de la madera (Van der Deriva y La Brijn, Gezer et al., Kartal et al., citados por Ibañez et al., 2012).

Ibañez et al. (2012) establecieron un primer cementerio de estacas basado en la norma EN 252, que evalúa la durabilidad adquirida por probetas de *Pinus taeda* L. Se utilizó una solución ácida, que contiene 32 g l⁻¹ de Zn y 15 g l⁻¹ de Mn como sulfatos, libre de metales pesados; en ensayos de laboratorio ha demostrado propiedades fungicidas e insecticidas específicos, a concentraciones menores a 3% en Zn. Una vez realizado dicho tratamiento por el método de célula llena, se efectuó un segundo tratamiento antilixivante con bórax al 2 %, por pincelado y por célula llena. Se comparó la durabilidad natural y la adquirida, con dicha solución (con o sin bórax), con arseniato de cobre cromatado (CCA) a dos retenciones. Se indica que la aplicación de bórax por cualquiera de los dos métodos utilizados, disminuye la velocidad de lixiviación de los metales.

Ese mismo año, se realizó un ensayo que busca incrementar la durabilidad de estos postes reemplazando el CCA, por un tratamiento en etapas con sales de boro (bórax y ácido bórico) y sales de zinc en probetas de *Eucalyptus grandis*. Todas sales de conocida efectividad fungicida e insecticida, pero fácilmente lixiviables, razón por la que se combinan para disminuir su lixiviación por formación de borato de zinc dentro de la madera. Para ello, se implementó un ensayo de campo, donde el primer tratamiento es por ascensión simple a madera verde descortezada con una u otra sal; los valores de retención con boro son mayores a aquellos alcanzados con la solución de zinc (Ibañez et al., 2012).

De acuerdo a los antecedentes y de manera de darle continuidad a la temática, en este trabajo, se realizó un tratamiento en etapas con sales de boro (bórax y ácido bórico), sales de zinc y silicato de sodio. La aplicación en etapas de diferentes sistemas químicos que potencien sus propiedades como fungicidas, insecticidas, ignífugos o la fijación en la madera, ya ha sido empleada como método de mejora en el desarrollo de nuevos

productos (Manning, Marney y Russell, citados por Ibañez et al., 2012). La aplicación de sales de zinc evita la lixiviación de sales metálicas de la madera por la formación *in situ* de borato de zinc a nivel superficial. El borato de zinc es el menos lixiviable de todos los boratos, pero por su baja solubilidad no puede aplicarse en madera sólida, es normal aplicarlo como polvo en madera reconstituida (Laks y Manning, Furuno et al., citados por Ibañez et al., 2012).

El objetivo del trabajo es evaluar la durabilidad adquirida en probetas de madera redonda de *Eucalyptus grandis* mediante la implementación y evaluación inicial de un ensayo de campo acelerado denominado *Fungal cellar*. Las mismas se impregnaron con sales de boro, silicatos y productos a base de zinc, aplicados en etapas con el fin de que potencien sus propiedades como fungicidas, insecticidas, ignífugos y en particular la fijación a la madera. Con el fin de impregnar el duramen se parte de madera verde que es tratada por ascensión simple con boro; luego se realiza un segundo tratamiento a la madera, con sales de zinc o silicato por distintos métodos presión-vacío-presión, vacío-vacío, ascensión doble e inmersión.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. DURABILIDAD NATURAL Y ADQUIRIDA

Cartwright y Gonzales, citados por Guevara y Lluncor (1993) definen la durabilidad natural como la resistencia que opone la madera al ataque de agentes biológicos de deterioro, tales como hongos e insectos xilófagos, perforadores marinos, y agentes no biológicos de deterioro: desgaste mecánico, meteorización atmosférica y acción del fuego. Para fines prácticos, la durabilidad puede considerarse como la resistencia que opone la madera a la pudrición.

La durabilidad es una propiedad de la madera en extremo variable. Varía entre las diferentes especies leñosas, entre los diferentes árboles de una misma especie y aún dentro de un mismo árbol. Los factores responsables de la durabilidad de la madera son numerosos y variables; algunos dependen de las características y condiciones de la madera misma, otros están relacionados con su uso. La gran durabilidad del duramen de latifoliadas con respecto a la albura, se atribuye a sus características fisicoquímicas. En efecto, el duramen se protege de hongos e insectos mediante obstrucción mecánica de los vasos, aspiración de las punteaduras e impregnación de las paredes celulares con extractivos, sustancias orgánicas o inorgánicas: taninos, aceites, gomas, resinas, colorantes, compuestos aromáticos, carbonato de calcio, sílice; por el efecto antiséptico (paralizador del desarrollo y la actividad vital de los organismos xilófagos), característica que lo hace más durable que la albura desde el punto de vista de la conservación de la madera. Estas ventajas sólo deben ser tenidas en cuenta cuando se trate de madera en estado natural, ya que si lo que se desea aumentar es la duración a través de métodos de impregnación, es preferible una mayor proporción de albura, ya que el duramen no puede impregnarse o lo hace con dificultad (Kollmann, 1959).

2.2. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA DURABILIDAD DE LA MADERA

Para determinar la eficacia de los preservantes, se realizan ensayos de campo a largo plazo y pruebas de servicio (Gray y Dickinson, Bergman y Jermer, EN252, citados por Polman et al., 1991) así como una serie de ensayos de laboratorio

(ASTMD1431-61; Savory y Bravory, Butcher, Gray, EN113, citados por Polman et al., 1991), la gran mayoría de ellos normalizados. En laboratorio, bajo condiciones reguladas de temperatura, humedad relativa y disponibilidad de aire, se expone la madera al ataque de hongos xilófagos en cultivos puros y colonias de insectos. Los resultados son referenciales de un posible comportamiento de la madera en servicio. Las pruebas definitivas se llevan a cabo a través de ensayos de campo, donde se expone la madera a través de estacas a las condiciones del medio y ataque múltiple de organismos xilófagos (Guevara y Lluncor, 1993).

En laboratorio se regulan las condiciones a fin de favorecer al máximo el ataque (humedad, temperatura, sustrato y aire). Se mide el deterioro causado por agentes particularmente agresivos. Dichos ensayos de laboratorio normalizados se realizan en periodos de tiempo relativamente cortos, donde se trabaja con probetas de madera tratadas a distintas retenciones, de acuerdo a normas tales como las ASTM, EN, AWP, BSI, JWPA. Los resultados permiten discriminar maderas de acuerdo al grado de durabilidad. Aquellas que muestran resistencia al deterioro son ensayadas en campo. Dichas pruebas consisten en someter a la madera tratada a las condiciones de servicio (Eaton y Hale, 1993). Se las realiza en áreas seleccionadas por las características climáticas (temperatura y humedad relativa), presencia de hongos xilófagos y termitas subterráneas, vegetación y tipo de suelo. El período de exposición es variable. Según Guevara y Lluncor (1993) el tiempo mínimo de exposición es de 2 años y el máximo es indefinido, dependiendo del comportamiento de las maderas.

Los procedimientos normalizados de campo recomiendan usar probetas de sección transversal pequeña, enterradas hasta la mitad de la longitud, y efectuar revisiones del estado sanitario con una periodicidad no mayor de un año. Los resultados permiten concluir sobre la durabilidad de la madera y, eventualmente, la toxicidad, resistencia a la lixiviación y permanencia de los preservadores en las maderas que han sido tratadas (Guevara y Lluncor, 1993).

2.3. INFLUENCIA DE LA ANATOMÍA DE LA MADERA DEL GÉNERO EUCALYPTUS EN EL PROCESO DE IMPREGNACIÓN

En algunos árboles, la parte interna del tronco, “duramen” se distingue claramente por su color más oscuro que la zona clara que lo rodea exteriormente,

llamada “albura”. La formación del duramen se caracteriza por algunas modificaciones anatómicas: en las latifoliadas se forma tilosis, que son expansiones vesiculares procedentes de las células del parénquima, que penetran en los vasos próximos y los obstruyen por completo. La formación del duramen se ve acompañada por algunos fenómenos químicos, en el caso de las latifoliadas el duramen coloreado contiene más resinas y aceites que la albura; estas sustancias penetran, en parte, en los intersticios micelares. En muchas maderas el duramen contiene sustancias solubles en agua, hidratos de carbono y polisacáridos, alcaloides y taninos que al oxidarse le dan su característico color oscuro. Encontrándose además con frecuencia, sustancias minerales, como carbonato y oxalato cálcico y ácido silícico. El flujo a través de la albura se realiza con velocidad cien veces mayor que a través del duramen, siendo del mismo orden de magnitud la relación entre la penetrabilidad axial y la radial o tangencial, pero realmente estos valores no pueden generalizarse. Si se impregnan a presión pequeños bloques de madera seca, la permeabilidad a lo largo de las fibras en la madera de albura podría ser un millón de veces mayor que en la dirección transversal, y en duramen, podría ser cincuenta mil veces mayor (Kollmann,1959).

En las especies que presentan un duramen de fácil diferenciación, generalmente existe una variación en su permeabilidad en relación a su respectiva albura. En cambio en especies que no presentan una diferenciación visual entre zonas de albura y duramen se observa normalmente un comportamiento frente al movimiento de líquido muy similar. Esta disminución de la permeabilidad en duramen tiene su origen en deposiciones en los lúmenes celulares, obstrucción de las punteaduras, el desarrollo de tilosis en los vasos (Juacida ,1991).

Los elementos responsables de la conducción de los líquidos en sentido longitudinal son los vasos, éstos se comunican entre ellos mediante las puntuaciones intervasculares, y longitudinalmente mediante las placas de perforación. La conducción en el sentido radial se efectúa a través de los radios leñosos. El paso del líquido entre células se realiza a través de las puntuaciones, teniendo especial importancia en el campo de cruce, es decir en el encuentro de los vasos en sentido longitudinal con los radios en sentido transversal. La tilosis son membranas celulares, las cuales entran en los vasos desde células parenquimáticas adyacentes a través de punteaduras pareadas. Puede dificultar el flujo a través de los vasos, bloqueando de forma total o parcial el mismo (Siau, 1984).

Gran cantidad de las soluciones acuosas fluyen a través de las puntuaciones, aún cuando muchas de ellas se encuentren obstruidas. Existe también algún intercambio a

través de la pared celular, pero en mucho menor grado (Rudman, 1966). Las puntuaciones en latifoliadas generalmente no tienen torus y son más pequeñas que en coníferas (Tuset y Durán, 2008).

El movimiento forzado de líquidos transversalmente a la fibra, ya sea en dirección radial o tangencial, tiene que vencer la resistencia de muchos tabiques celulares en una distancia corta. La obturación producida por tilosis dificulta considerablemente la impregnación (Kollmann, 1959).

En la impregnación de la madera la presión que hay que emplear depende, en primer lugar del diámetro de los capilares en las membranas de cierre de las punteaduras areolares, pues es ahí precisamente donde hay que vencer las mayores resistencias (Kollmann, 1959).

La impregnación se efectúa con movimientos discontinuos de la corriente, si se llena el primer lumen celular en un tiempo z (z es el tiempo que tarda el líquido en vencer una serie de punteaduras), para llenar la segunda cavidad celular se necesitará doble tiempo, ya que habrá que pasar, aproximadamente por un número doble de punteaduras. El tiempo necesario para llenar el primer lumen celular está en relación inversa con la presión. En general, la profundidad de penetración aumenta casi proporcionalmente a la presión; esto puede ser debido a que las membranas de las punteaduras experimentan una cierta dilatación al aumentar la presión, con lo cual disminuirán las resistencias. Por este motivo, frecuentemente se realiza un vaporizado previo a la impregnación, con lo que se eleva la plasticidad de los tabiques celulares y con ello la dilatabilidad de las membranas de las punteaduras. Simultáneamente, el calor apoya el proceso, disminuyendo la resistencia y reduciendo asimismo el equilibrio higroscópico y el hinchamiento (Kollmann, 1959).

2.4. PRESERVANTES DE LA MADERA

Para que un preservante de la madera se considere apropiado, debe cumplir los siguientes requerimientos: toxicidad para un amplio rango de organismos degradantes de la madera; alto grado de permanencia (baja volatilidad, resistencia a la lixiviación y estabilidad química); alta penetrabilidad y retención en la madera; que no sea corrosivo y sobre todo que sea económico. Los preservantes usados en la actualidad cumplen con la mayoría de los requerimientos, aunque no con todos ellos (Haygreen y Bowyer, citados por Berrocal et al., 2004).

Existen diversas formas de clasificar los preservantes para la madera, aunque tradicionalmente se hace de acuerdo con su origen, uso y la naturaleza del solvente. Dos grandes grupos lo constituyen los productos oleosolubles y los hidrosolubles (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988). Dentro de los preservantes hidrosolubles están las sales orgánicas e inorgánicas de boro, este elemento constituye una de las principales sustancias preservantes para la madera de uso interior (Chen et al., citados por Berrocal et al., 2004), relativamente eficiente contra hongos pudridores e insectos xilófagos (Willerding y Vianez, citados por Berrocal et al., 2004) sin contar con su probada capacidad como retardantes del fuego (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

2.4.1. Compuestos de boro

Los boratos tienen características únicas de solubilidad, durabilidad, volatilidad y toxicidad; que los hacen idóneos para ser usados como preservantes de la madera (Grace, citada por Berrocal, 2004); además de que los riesgos para aves, peces y mamíferos son mínimos, aunque deben tomarse ciertas precauciones al manipularlos (Currie, 1999). Por otra parte, los tratamientos con boratos, tienen el potencial de promover una mayor utilización de maderas de baja durabilidad natural (Hong y Wong, citados por Berrocal et al., 2004), en usos interiores tales como mueblería y algunos productos de ingeniería de la madera como tableros de partículas, tableros de fibras y otros (Wong y Grace, citados por Berrocal et al., 2004).

Wilson, citado por Berrocal et al. (2004) evaluó la efectividad retardante del fuego de la cobertura ignífuga Direth (marca registrada) aplicada con pincel, y de las soluciones acuosas de fosfato de amonio y de bórax/ácido bórico aplicadas por métodos de vacío-presión. Con concentraciones de 5 % y 10 % se obtuvo mayor eficacia con la solución de fosfato de amonio; en cambio a concentraciones de 15%, la solución de bórax/ácido bórico se comportó igual que la solución de fosfato de amonio en *Eucalyptus grandis*. Más adelante se comenzó a utilizar el ácido bórico y los boratos contra hongos e insectos en un amplio espectro con un notable grado de eficacia, en el caso de las termitas inhibe la digestión de la celulosa ya que actúa sobre la flora microbiana de su tracto digestivo. El boro no pierde su solubilidad en la madera, todos los boratos se hidrolizan a ácido bórico en la misma, por lo que son fácilmente lixiviables si la madera tratada se expone al lavado por las aguas de lluvia o al contacto directo con el suelo. Este tipo de compuestos son de bajo costo y presentan facilidad de difusión en la madera desde regiones de alta concentración a las de baja, a través del agua libre o higroscópica. Estas características promueven la investigación sobre estos compuestos para lograr una mejor fijación en la madera. El carácter alcalino del bórax

puede ser un inconveniente cuando la madera tratada se pone en contacto con cerraduras u otros objetos que son dañados por los compuestos alcalinos.

Tamblyn y Rosel, citados por Dhamodaran y Gnanaharan (2006) reportaron que los productos químicos de boro fueron efectivos contra el ataque del *Lyctus* a la madera de *Eucalyptus* para la construcción en Australia.

Se continúan desarrollando formulaciones de borato que aumenten la resistencia a la lixiviación, mientras se mantenga la eficacia como biocida. Varias combinaciones de sílice y boro se han desarrollado, las cuales parecen retrasar el agotamiento del boro, pero el grado de permanencia y la aplicabilidad del tratamiento en la madera para exposiciones al aire libre, no ha sido bien definida (Archer y Lebow, 2006).

2.4.2. Compuestos de zinc

Las sales metálicas solas o combinadas han sido y son ampliamente utilizadas en conservadores para madera comerciales. En particular el zinc fue usado a nivel industrial a comienzos del siglo XX y hoy forma parte de varios productos para madera por su acción fungicida (Hunt et al. 1967, Hartford 1973). Es sabido que como todos los metales el zinc, influye en la fisiología fúngica ya sea inhibiendo el crecimiento del hongo (Gabriel et al., Falih, Yonni et al., citados por Ibáñez et al., 2008) o por represión de la secreción de enzimas producidas durante el metabolismo primario y secundario (Baldrian et al., Hatvani et al., citados por Ibáñez et al., 2008).

Todas las sales de conocida efectividad fungicida e insecticida, pero fácilmente lixiviables, se combinan para disminuir su lixiviación por formación de borato de zinc dentro de la madera. Los tratamientos solo con Zn, sin proceso antilixivante posterior, son comparables en comportamiento con maderas a la intemperie y en contacto con el suelo. La tendencia hasta el momento indica que el mejor tratamiento antilixivante con bórax es el aplicado por vacío y presión (método Bethell), y que la concentración inhibitoria mínima es de 6% para una solución acuosa rica en Zn. Estas conclusiones de obtuvieron de un ensayo realizado con probetas de *P.taeda* utilizando una solución ácida (32 g l⁻¹ de Zn y 15 g l⁻¹ de Mn como sulfatos) y un tratamiento antilixivante con boro al 2 % (Ibáñez et al., 2012).

2.4.3. Silicatos

El proceso BS (Boro-silicato) fue diseñado en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción (Berg, citado por Seeger, 2009) y desarrollado a escala piloto en su Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT). El proceso consiste en impregnar la madera en forma rápida en un tiempo menor a una hora y en una concentración en general inferior a un 10 % de sílice. Se realiza en autoclave a presión con sales alcalinas de silicatos y metaboratos solubles. Dentro de la madera el silicato se transforma en sílice insoluble que contiene borato monohidrógeno cristalizado. La estructura polimérica de la sílice impide su solubilización y disminuye considerablemente la del boro. Se produce una petrificación parcial de la madera.

Con este proceso de impregnación se ha buscado mejorar la resistencia a la pudrición y en lo posible a las manchas azules de los hongos y mejorar las propiedades mecánicas como la dureza, aprovechando la inocuidad para el ser humano y sin cambiar el color.

2.5. MÉTODOS DE IMPREGNACIÓN

La eficacia y la economía absoluta de un tratamiento con un preservante determinado, se mide a través de la vida útil de la madera tratada, pero el criterio que prevalece para juzgar la utilidad de un tratamiento es el de la cantidad de preservante absorbido y retenido por la madera, y la profundidad a la que penetra, así como también, influye una correcta distribución del preservante en toda la zona tratada.

En maderas resistentes a la penetración, es posible conseguir que los preservantes hidrosolubles se introduzcan a mayor profundidad por difusión en maderas verdes, que por impregnación de las mismas especies secas. No obstante la difusión es lenta, por lo que no es práctica por sí misma como medio de tratamiento de la madera para la mayoría de los fines. Sin embargo, la difusión tiende a igualar la concentración de preservantes hidrosolubles en la madera después de que se ha impregnado por presión. En el tratamiento de maderas verdes mediante inmersión simple, el proceso de difusión actúa conjuntamente con la capilaridad, y el agua de la madera tiende a alcanzar una concentración de preservante igual a la de la solución. En cambio, cuando hablamos de madera seca, el producto químico no puede penetrar por difusión, sino que debe ser introducido con el agua en que está disuelto (IICE, 1976).

Los métodos de tratamiento se dividen en dos grandes grupos; los procedimientos sin presión ni vacío y métodos con presión o industriales. Existen numerosos y variados métodos sin presión para tratar la madera. De ellos, los más conocidos suponen la aplicación de preservantes con brocha y aspersión, inmersión breve o prolongada, por baño caliente y frío y ascensión (Hunt y Garrat, 1962). Dentro de los procedimientos a presión se pueden diferenciar aquellos que se llevan a cabo en cilindros cerrados (autoclave) y aquellos que no requieren de éste tipo de infraestructura. Los métodos más eficientes y empleados son los que se realizan dentro del autoclave. En general, estos métodos tienen ciertas ventajas sobre los métodos sin presión. En la mayoría de los casos puede conseguirse una penetración más profunda y uniforme, así como también una mayor absorción del preservante, lo cual le confiere a la madera una protección más eficaz. Además, pueden regularse las condiciones de tratamiento, de modo que es posible variar la penetración y la retención para satisfacer las exigencias del servicio, con lo que se obtiene un empleo más económico del preservante. Finalmente, los procedimientos a presión se adaptan a la producción en gran escala de material tratado. Sin embargo, estos métodos también presentan inconvenientes, como el costo y la cantidad de maquinaria y el gasto en mano de obra. Estos procedimientos comprenden el tratamiento completo de la madera, por lo cual no son aplicables a inyecciones localizadas de preservante (Eaton y Hale, 1993).

2.6. EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS PRESERVANTES

Durante la última década las metodologías utilizadas para la evaluación de la preservación de la madera se han ampliado considerablemente. Una de las herramientas disponibles para el científico es el ensayo denominado *Fungal cellar*. Dicha metodología consiste en la exposición de las muestras tratadas y no tratadas a condiciones de humedad y temperatura controladas, simulando condiciones de campo extremas, que aseguren un ataque fúngico óptimo. Asimismo, permite al científico examinar los hongos que atacan la madera y sus interacciones con el ambiente, así como también, entender cuáles son los parámetros importantes que afectan la eficacia de un conservante en particular. Es incorrecto sugerir que la misma reemplazará las pruebas de campo, o que incluso reducirá el tiempo requerido para su aprobación (Polman et al., 1991).

La comunidad científica se encuentra bajo una creciente presión para acelerar el desarrollo de productos nuevos o mejorados, ambientalmente aceptables, para la obtención de datos necesarios que permitan la aprobación de estándares internacionales

de normalización. En respuesta a esta presión y en base a información obtenida de ensayos se han redactado, por ejemplo Actas de la AWWA 1986 Comité P-3 Apéndice A 82:195-205; Comité P-4 Apéndice A 82:207-214 actas de la AWWA, 1987 83:331-348), (Ruddick, 1989).

En el departamento de productos forestales de la Universidad Estatal de Mississippi, USA se desarrolló una prueba acelerada, que consiste en colocar madera tratada en contacto con el suelo, al aire libre, cerca de estacas de pino sin tratar infestadas con hongos (Schultz y Nicholas, 2010). Por lo general los ensayos de contacto con el terreno requieren un mínimo de tres años de datos de prueba de campo al aire libre en dos sitios de campo geográficamente distintos, siempre que se presenten también datos de degradación completa. La evidencia científica muestra claramente que un tiempo de exposición de campo más largo que el mínimo es necesario para asegurar un buen rendimiento a largo plazo (Lebow et al. 2009, Nicholas y Schultz 2010).

Para una evaluación realista de los conservantes de la madera es necesario un paso más entre un ensayo de laboratorio y los ensayos de campo a largo plazo (Hedley y Butcher, citados por Polman et al., 1991). Es aconsejable la utilización de un ensayo acelerado denominado *Fungal Cellar* después de obtener los resultados en valores tóxicos de los ensayos de laboratorio, ya que permite acortar tiempo de ensayo y obtener resultados más cercanos a la realidad. El *Fungal Cellar* debe funcionar durante al menos seis meses y proporcionar datos de la eficacia biocida de un nuevo preservante contra una amplia gama de hongos de pudrición (Polman et al., 1991).

En referencia a la metodología del *Fungal Cellar*, se han realizado diversos trabajos que aplican los principios de esta metodología. En uno de ellos se emplearon estacas de cinco especies diferentes (roble, haya, abeto Douglas, pino y abeto), que fueron colocados en tierra bajo condiciones de campo e invernadero de cuatro o seis meses, dependiendo de la especie. Luego de un período de prueba o de climatización, se evaluó el grado de ataque fúngico a través de la determinación de fuerza de compresión paralela a la fibra en las diferentes estacas. En ambas pruebas se utilizaron las mismas especies, dimensiones y mismo tipo de suelo. Se registraron tanto las condiciones del clima, (temperatura media del aire 25°C y humedad aproximada de 70%), como del suelo, y los mm de agua aportados por el riego, durante los seis meses. Finalmente en este ensayo acelerado se concluyó que en las condiciones de invernadero, los daños fueron 2 a 4 veces mayores que la descomposición bajo condiciones de campo naturales

debido a que la única diferencia entre las pruebas fueron los factores de temperatura y la humedad del suelo (superior y más regular, Polman et al., 1991).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MADERA A ENSAYAR (SELECCIÓN, ACONDICIONAMIENTO E IMPREGNACIÓN DE LAS PROBETAS)

Se usaron probetas de distintos árboles del mismo bosque coetáneo y monoespecífico, de 50 cm de largo y un diámetro que oscila entre los 7 y los 10 cm, de *Eucalyptus grandis* (Figuras 1 y 2). Se seleccionaron 70 probetas descortezadas con densidades dentro del rango de la media de $34 \text{ kg/m}^3 \pm 10 \%$ de acuerdo a la norma E14-94 (Figura 3). Del total, se utilizaron 10 probetas como testigo sin tratamiento. Sesenta probetas se sometieron a un primer tratamiento que consistió en un proceso de ascensión simple dentro de varios depósitos con una solución de bórax y ácido bórico al 2%, la solución mezcla se compone por un 39.4 % de ácido bórico y 60.6% de bórax decahidratado (Figura 4).





Figura 3. Probetas de madera redonda descortezadas



Figura 4. Primer tratamiento: Ascensión simple con una solución de Boro al 2 %.

De las 60 probetas tratadas; 10 probetas no recibieron un segundo tratamiento; 10 probetas fueron tratadas con una solución de sulfato de zinc al 5% por inmersión, 10 probetas con una solución de silicato de sodio al 1 % por inmersión, 10 con una solución de sulfato de zinc por ascensión doble, 10 probetas por vacío-presión-vacío y 10 probetas por vacío-vacío, ambos métodos con una solución de sulfato de zinc al 5 % (Figura 5) El protector alternativo de referencia utilizado fue CCA, 10 probetas fueron tratadas con una retención de 16 kg.m^{-3} de preservante. Al inicio del segundo tratamiento se tuvieron en cuenta las condiciones en las cuales debía estar la madera; los

tratamientos sin presión se realizaron con madera verde o con alto contenido de humedad, en cambio, en aquellos tratamientos con presión o vacío que utilizan el cilindro de impregnación se realizaron partiendo de la madera seca. Para ello se mantuvieron las probetas en estufa a 60 °C alcanzando un contenido de humedad de $17,3\% \pm 6,8$ para vacío-presión-vacío y $10,9\% \pm 4,2$ para vacío-vacío (Figuras 6 y 7).

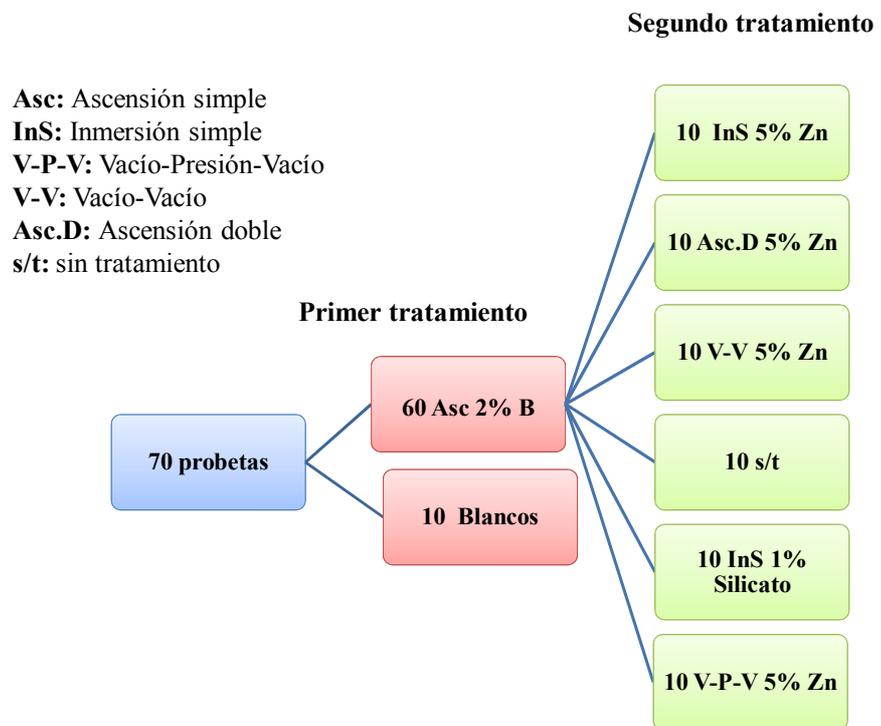


Figura 5. Resumen de los tratamientos

Figura 6. Cilindro de impregnación.

Figura 7. Inmersión con solución de silicato de sodio al 1%.



3.2. INSTALACIÓN DEL ENSAYO

El ensayo de campo acelerado se estableció en la Estación Experimental Prof. Bernardo Rosengurt (EEBR), en la localidad de Bañado de Medina, en el departamento de Cerro Largo, en octubre de 2013. Los lechos de suelo se encuentran dispuestos en *bins* de polipropileno, de una capacidad de 570 litros aproximadamente, constituidas por una capa de 10 cm de grava, por sobre la cual se agregó una segunda capa de mantillo de suelo de bosque de pino, (suelo no estéril), de 45 cm de espesor, obtenido en un rodal de *Pinus* de la EEBR (Figura 8). Los lechos de suelo expondrán a las probetas, (tratadas y no tratadas), al ataque de organismos que destruyen la madera, ya que los *bins* se colocan dentro de una cámara de cultivos climatizada, con temperatura y humedad relativa controladas, que otorgan condiciones ambientales específicas que favorecen el ataque fúngico a la madera (AWPA E14-93).



Figura 8. Instalación del ensayo de campo acelerado.

Finalizados los tratamientos correspondientes, se determinaron dos parámetros que permiten comparar y evaluar la eficacia de los tratamientos, así como también chequear la eficiencia del proceso de impregnación. La retención se calculó con el contenido de principio activo (por diferencia de masa: Δm) sobre el volumen de cada probeta (m^3), posteriormente se obtuvieron valores medios por tratamiento. En este caso la determinación de la penetración de las sales de boro (mezcla ácido bórico – bórax) se realizó de acuerdo al punto 1 de la norma AWWA A3-97, que emplea soluciones de cúrcuma y ácido salicílico que forman el complejo que revela la presencia de boro. En el caso del Zn La determinación se realizó de acuerdo al punto 6 de la misma norma, que emplea la mezcla de ferricianuro de potasio, yoduro de potasio y almidón, para revelar la presencia de Zn.

Al cabo de 10 meses de cultivo, se realizó la primer evaluación de la durabilidad de las maderas ante el ataque fúngico según las especificaciones de la norma EN 252. (Cuadro 1). Para llevar a cabo dicha evaluación desde el punto de vista estadístico y determinar si hubo diferencias significativas entre los tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANOVA one-way) generado por el SAS/STAT® software.

Cuadro 1. Escala de clasificación del deterioro de las probetas

Evaluación	Descripción de la condición
10	Sin ataque, Madera sana
9	Ataque ligero
7	Ataque moderado
4	Ataque pesado
0	Ruptura

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos se presentan en tablas que incluyen variables tales como largo de troza (cm), diámetro menor (cm), diámetro mayor (cm), espesor de duramen (cm), peso inicial (kg), volumen (m³), densidad (kg.m⁻³), contenido de humedad (%) y retención (kg.m⁻³) de cada troza y promedio (Anexo 1). Las probetas presentaron una densidad y un volumen promedio de 34,65 kg.m⁻³ y 0,040 m³, respectivamente.

El cuadro 2 presenta los resultados obtenidos en el primer tratamiento aplicado a las probetas por el método de ascensión con una solución de boro al 2 %. Dicho tratamiento abarco un período de tiempo aproximado de dos meses, arrojando un valor de retención promedio de 7,83 kg.m⁻³. Estudios realizados por Vargas (2011), arrojan una retención mínima de preservante en base a sales de boro de 4,4 kg.m⁻³ para maderas de interiores y de exteriores que no estén en contacto con el suelo, alcanzando en este caso retenciones mayores a ese valor.

Cuadro 2. Primer tratamiento con sales de boro al 2 %

Probetas	Tratamientos	Retención (kg.m ⁻³)	Trozos	Tratamientos	Retención (kg.m ⁻³)
1	2 % B Asc*	7,21	36	Testigo	
2	2 % B Asc	6,65	37	2 % B Asc	6,84
3	2 % B Asc	9,1	38	2 % B Asc	7,33
4	2 % B Asc	5,92	39	2 % B Asc	6,98
5	2 % B Asc	7,46	40	2 % B Asc	5,59
6	Testigo		41	2 % B Asc	9,03
7	Testigo		42	2 % B Asc	6,8
8	2 % B Asc	7,02	43	Testigo	
9	2 % B Asc	6,9	44	2 % B Asc	6,98
10	2 % B Asc	5,59	45	2 % B Asc	8,57
11	2 % B Asc	6,16	46	2 % B Asc	8,17
12	2 % B Asc	7,28	47	2 % B Asc	9,52
13	2 % B Asc	5,69	48	2 % B Asc	7,47
14	2 % B Asc	5,73	49	2 % B Asc	8,68
15	2 % B Asc	9,18	50	2 % B Asc	9,5
16	Testigo		51	2 % B Asc	7,4
17	Testigo		52	2 % B Asc	6,77
18	Testigo		53	2 % B Asc	9,38
19	2 % B Asc	7,18	54	2 % B Asc	5,52
20	2 % B Asc	8,55	55	2 % B Asc	8,47
21	2 % B Asc	6,85	56	2 % B Asc	5,83
22	2 % B Asc	9,65	57	2 % B Asc	6,82
23	Testigo		58	2 % B Asc	7,19
24	2 % B Asc	9,81	59	2 % B Asc	8,14
25	2 % B Asc	9,65	60	2 % B Asc	7,27
26	2 % B Asc	8,84	61	2 % B Asc	7,64
27	2 % B Asc	5,65	62	2 % B Asc	9,72
28	2 % B Asc	9,81	63	2 % B Asc	8,95
29	Testigo		64	2 % B Asc	6,63
30	2 % B Asc	9,81	65	2 % B Asc	9,24
31	2 % B Asc	12,44	66	2 % B Asc	10,2
32	2 % B Asc	9,12	67	2 % B Asc	7,26
33	Testigo		68	2 % B Asc	9,16
34	2 % B Asc	6,91	69	2 % B Asc	5,28
35	2 % B Asc	8,54	70	2 % B Asc	9,92
PROMEDIO					7,85
DESVÍO					1,53

*B Asc: Ascensión con boro

La penetración del boro en la madera fue total y la prueba colorimétrica detectó una franja roja en la albura y el duramen de las probetas tratadas. Esto indica que el preservante a base de boro difundió en la madera verde, desde la periferia hacia el centro de la sección debido a la diferencia en el gradiente de concentración. La difusión se detiene una vez alcanzado el estado de equilibrio, que es el momento en el cual el gradiente de concentración es cero (Figura 9). Estos resultados son congruentes con estudios realizados por Malbot et al. (1996), en donde la penetración de sales de boro en madera de *Eucalyptus grandis* mediante inmersión instantánea, fue total. Otro estudio realizado por Garcés (2001), demuestra que la penetración de sales de boro con una concentración de 5 % en estacas de madera seca de *Eucalyptus grandis* mediante baño caliente y frío, fue total. Si bien en este último trabajo no se manejan las mismas condiciones de la madera, igualmente podemos observar la buena tratabilidad de la especie por los diferentes métodos y con distintas condiciones de la madera.



Figura 9. Determinación de la penetración de sales de Boro.

Los resultados de retención del preservante obtenidos a través de los diferentes tratamientos aplicados se presentan en el cuadro 3. En términos generales se aprecia que existe un incremento en los valores de retención obtenidos en aquellos tratamientos que se realizaron en el cilindro de impregnación (V-P-V y V-V) y una menor retención en aquellos que no se realizó presión ni vacío. La utilización de presión (12 kg/cm²) ejerce un efecto sobre la absorción de la sustancia preservante, la cual se traduce en una mayor

retención (Anexo 2). Estos resultados coinciden con los datos recabados en la revisión en donde se afirma que los métodos con presión permiten obtener mayores valores de retención (Eaton y Hale, 1993).

Cuadro 3. Segundo tratamiento

Tratamientos	Retención promedio (kg.m ⁻³)
Inmersión Zn	10,86
inmersión Si	8,18
V-P-V	34,25
V-V	15,94
Ascensión doble	2,2

La primera evaluación cualitativa se realizó a los 10 meses de instalado el ensayo y se observó un deterioro incipiente de las probetas (Figura 10), con esto se puede inferir el buen funcionamiento del sistema, es decir, la temperatura y la humedad se mantienen constantes y en los niveles deseados para favorecer el ataque de los microorganismos (Cuadro 4). Se obtuvo un valor de $F=1.85$ con una probabilidad de 0.0944, lo que indica que no existen diferencias entre los tratamientos (Cuadro 5). A pesar de que no existen diferencias significativas, se observa que los blancos, las probetas tratadas por doble ascensión y las probetas que no tuvieron un segundo tratamiento comenzaron a sufrir un proceso de deterioro, observándose probetas con ataque ligero y moderado (Anexo 3).

Figura 10.
Evaluación a los
10 meses.



Cuadro 4. Evaluación cualitativa de las probetas

Tratamiento	Evaluación	No. de probetas
Inmersión Zn	10	10
Inmersión Si	10	10
V-P-V	10	10
V-V	10	10
Doble ascensión	10	7
	9	2
	8	1
S/2do trat	10	9
	9	1
Blancos	10	6
	9	3
	8	1

Cuadro 5. Análisis de varianza de la evaluación de los tratamientos

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	2.04316239	0.29188034	1.85	0.0944
Error	57	8.97222222	0.15740741		
Total corregido	70	11.01538462			

La proporción de duramen/albura es un atributo de calidad de importancia para los diferentes usos. El duramen posee un menor contenido de humedad y generalmente tiene menor permeabilidad que la albura, esto sugiere que la difusión y la penetrabilidad del preservante en la madera es menor que en la albura. Por otro lado, una mayor proporción de albura significa un proceso de impregnación más fácil y un gasto mayor de preservante en el proceso. En este caso la proporción de albura con respecto al duramen es mayor, por lo cual la tratabilidad y el proceso de impregnación se vieron favorecidos.

5. CONCLUSIONES

La madera redonda de *Eucalyptus grandis* se puede preservar fácilmente con preservantes hidrosolubles, tanto por métodos con presión como sin presión; aunque en este último caso es conveniente mantener la madera verde para favorecer la difusión del preservante. Los métodos de preservación sin presión: inmersión, ascensión simple y ascensión doble, permitieron obtener niveles satisfactorios de retención y penetración del preservante; lográndose valores más altos en aquellos métodos con presión: método Bethell y vacío-vacío.

Los tratamientos permitieron la penetración del producto preservante tanto en albura como en el duramen.

La evaluación cualitativa de las probetas a los 10 meses, permitió ver que no existen diferencias significativas entre los tratamientos y se constató que las condiciones logradas favorecen el desarrollo fúngico, debido al deterioro incipiente encontrado en probetas blanco, sin segundo tratamiento y doble ascensión.

En el futuro se pretende continuar con el estudio y realizar las evaluaciones correspondientes.

6. RESUMEN

En este estudio se implementó un ensayo de campo acelerado para determinar la durabilidad adquirida de madera tratada en contacto con suelo, denominado *funga cellar*. Para ello se impregnaron trozas de 50 cm de largo y 8 cm de diámetro de *Eucalyptus grandis* con sales de boro, silicatos y productos a base de zinc, aplicados en etapas con el fin de que potencien sus propiedades como fungicidas, insecticidas, ignífugos y en particular la fijación a la madera. Con el fin de impregnar el duramen se partió de madera verde tratada por ascensión simple con boro; luego se realizó un segundo tratamiento a la madera, con sales de zinc o silicato por distintos métodos: presión-vacío-presión, vacío-vacío, ascensión doble e inmersión. Las probetas doblemente tratadas fueron colocadas en bandejas con lecho de suelo forestal en un ambiente con temperatura y humedad controlada, de modo de favorecer la actividad microbiana del suelo, acelerando el ensayo. A los 10 meses de cultivo, se realizó la primera evaluación empleando la escala cualitativa perteneciente a la norma EN 252. Se observó que las probetas tratadas con los distintos métodos no presentan diferencias estadísticamente significativas, con poca evidencia de deterioro.

Palabras clave: Durabilidad; Bo; Zn; *Eucalyptus grandis*; Funga cellar; Preservación.

7. SUMMARY

In this study, an accelerated field test, called fungal cellar, was implemented to assess the gained durability of treated wood in contact with soil. *Eucalyptus grandis* logs, 50 cm long and 8 cm in diameter were impregnated with boron salts, silicates and zinc based products. Products were applied in stages so as to enhance its properties as fungicides, insecticides, flame retardants and in particular their fixing to the timber. In order to impregnate the heartwood, first stage started from green wood treated by simple ascent with boron; then a second treatment was carried on impregnating timber, with zinc salts or silicate by various methods: pressure-vacuum pressure, vacuum-vacuum, double ascent and immersion. Doubly treated samples were placed in trays with forest soil bed in a room with controlled temperature and humidity, in order to promote soil microbial activity, speeding up the assay. After 10 months of cultivation, the first evaluation was performed using the qualitative scale belonging to EN 252. It was observed that the samples with different treatments showed no statistically significant differences, with little evidence of deterioration.

Keywords: Durability; Bo; Zn; *Eucalyptus grandis*; Fungal cellar; Preservation.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Archer, K.; Lebow, S. 2006. Wood preservation. (en línea). In: Walker, J. C. F. ed. Primary wood processing; principles and practices. Dordrecht, Springer. pp. 297-338. Consultado 27 mar. 2015. Disponible en http://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-4393-7_9#page-1.
2. AWWA (American Wood Preservers Association, US). 1992. Standard method of testing wood preservatives by field test with stakes. AWWA E7-92. In: AWWA. Book of standards. Birmingham, Alabama. s.p.
3. Baillod, G. 1991. Preservación de maderas. *Uruguay Forestal*. 1 (2): 18-19.
4. Berrocal, A.; Muñoz, F.; González, G. 2004. Ensayo de penetrabilidad de dos preservantes a base de boro en madera de melina (*Gmelina arborea*) crecida en Costa Rica. *Kurú*. 1(3): 1-12.
5. Böthig, S. 2005. Ensayo de durabilidad de la madera preservada con CCA. *Forestal*. 8 (27): 15-22.
6. Coronel, O. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas; aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. Santiago del Estero, El Liberal. pt.1, 187 p.
7. _____. 1996. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas; aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. Santiago del Estero, El Liberal. pt.2, 335 p.
8. Currie, W. E. 1999. The environmental advantages of using diffusible preservatives. In: International Conference on Wood Protection Diffusible Preservatives and Pesticides (2nd., 1996, s.l.). Proceedings. s.n.t. pp. 38-41.
9. Dhamodaran, V.; Gnanaharan, R. 2006. An economical treatment schedule for boron impregnation of *Eucalyptus grandis* wood; commercial trial of partially dried material. *Holz Roh-Werks*. 64: 80-81.

10. Doldán, J. 2003. Indicadores de calidad de madera *Eucalyptus grandis* de Río Negro, Uruguay, contenido de humedad, densidad, contracción y largo de fibra. Montevideo, LATU/JICA. 40 p. (Informe de Investigación no.9).
11. Eaton, R. A.; Hale, M. D. C. 1993. Wood decay, pests and protection. New York, Chapman and Hall. 546 p.
12. FAO. 1956. El eucalipto en la repoblación forestal. Roma. FAO. 431 p. (Colección FAO. Estudio de silvicultura y productos forestales no. 11).
13. Findlay, W. P. K. 1959. Boron compounds for the preservation of timber against fungi and insects. In: Wood Protection Congress (6th., 1959, Berlín, Germany). Proceedings. s.n.t. pp. 124-127.
14. Garcés, M. H. 2001. Secado y preservación de estacones de *Eucalyptus grandis* Hill. ex Maiden con sales CCA y sal de boro por el método baño caliente-frío. Tesis Ing. Forestal. Medellín, Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. s.p.
15. Garay, R.; Henríquez, M. 2012. Tratamiento químico de acetilación en madera de *Pinus radiata*. Ciencia y Tecnología. 14 (1): 103-113.
16. González, A.; Lago, A. 2006. Estudio de la variación axial de la densidad de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) y *Eucalyptus dunnii* Maiden. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 104 p.
17. Guevara, L.; Lluncor, D. 1993. Durabilidad natural y adquirida de 27 maderas tropicales en condición de campo. Folia Amazónica. 5 (1-2): 203-215.
18. Hunt, G. M.; Garratt, G. A. 1962. Preservación de la madera. Barcelona, Salvat. 486 p.
19. Ibáñez, C.; Mantero, C.; Rabinovich, M.; Soubes, M.; Cerdeiras, M. 2008. Alternative wood preservative obtained from a recycling process. In: Congreso Forestal Latinoamericano (4º., 2008, Mérida, Venezuela). Mérida. Revista forestal Latinoamericana. 23 (43): s.p.
20. _____.; _____.; Bianchi, M.; Kartal, N. 2009. Madera, biodeterioro y preservantes. Montevideo, Hemisferio Sur. 134 p.

21. . _____.; _____.; Silva, L.; Rabinovich, M.; Escudero, R.; Franco, J. 2012. Preservación de madera tratada con zn y mn y efectividad de tratamiento antilixiviante con bórax. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 14(2): 165-174.
22. IICE (Instituto de Ingenieros Civiles de España, ES). 1976. Tratamiento y conservación de la madera. Madrid, Jomagar. 152 p.
23. Juacida, R. 1991. Algunos factores que influyen en la permeabilidad de la madera. Valdivia, Universidad Austral de Chile. 16 p. (Publicación docente no.3).
24. Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del Grupo Andino para la preservación de madera. Lima. 388 p.
25. Kollman, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. 2ª. ed. Madrid, ES, Instituto Forestal de Investigación y Experiencias al Servicio de la Madera. 789 p.
26. Lloyd, J. D. 1998. Borates and their biological applications. *In: Annual Meeting of IRGWP (29th. 1998, Maastricht, The Low Countries)*. Papers. Stockholm, SW. pp. 1-12 (Document IRG/WP 98- 30178).
27. Malbot, D.; Cella, D.; Jaume del Campo, L. 1996. Impregnación de escuadrías de álamo (*Populus deltoides*) y eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) por el método de inmersión instantánea. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 50 p.
28. Montes de Oca, F.; Rubbo Berruti, D. 2008. Valores característicos de módulo de elasticidad y módulo de rotura para madera de *Eucalyptus grandis* cultivados en Rivera. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 43 p.
29. Nicholas, D. D.; Schultz, T. P. 2010. Reexamination of the soil block test; can we obtain comparative efficacy results?. *Proceedings of the American Wood Protection Association*. 106: 315-327.
30. Olivera, C.; Cárdenas, P. 2007. Evaluación de las propiedades físicas fundamentales, mecánicas y clasificación visual de tablas de madera de una plantación de *Eucalyptus grandis* Maiden ex Hill del departamento de Durazno de 26 años de edad. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 82 p.

31. Pérez del Castillo, A. 2001. Propiedades mecánicas y calidad de madera de *Eucalyptus grandis* del norte de Uruguay. Montevideo, LATU/JICA. 35 p. (Informe de Investigación no. 4).
32. Peylo, A.; Willeitner, H. 1999. Five years leaching of boron. In: Annual Meeting of IRGWP (30th., 1999, Rosenheim, Germany). Papers. Stockholm, SW. pp. 1-10 (Document IRG/WP 99- 3019).
33. Polman, J. E.; Michon, S. G. L.; Militz, H. 1991. Accelerated wood decay in a soil-bed test under greenhouse conditions compared with a stake test under field conditions. In: Annual Meeting of IRGWP (22th. 1991, Kyoto, Japan). Papers. Stockholm, SW. pp. 1-13 (Document IRG/WP/ 91-2384).
34. Ruddick, J. N. R. 1989. Are fungal cellar test really necessary?. In: Annual Meeting of IRGWP (20th., 1989, Lappeenranta, Finland). Papers. Stockholm, SW. pp. 1-5 (Document IRG/WP/89- 2333).
35. Rudman, P. 1966. Movement of aqueous solutions through the pits and cell walls of *Eucalyptus* sapwoods. *Holzforschung*. no.20: 57-60.
36. Salas, V. 2005. Impregnabilidad de la madera de *Eucalyptus nitens*. Valdivia, Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 66 p.
37. Schiavone, R.; Marcelo, L. 2010. Influencia de la composición química de la madera de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus* en los parámetros de pulpeo Kraft. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 68 p.
38. Seeger, B. 2009. Madera petrificada para la construcción; ignífuga, resistente a la pudrición y al ataque de termitas. *Obras y Proyectos*. 5: 5-10.
39. Siau, F. 1984. *Transport processes in wood*. Berlin, Springer. 245 p.
40. Thévenon, M.; Tondi, G.; Pizzi, A. 2010. Environmentally friendly wood preservative system based polymerized tannin resin-boric acid for outdoor applications. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 12(3): 253-257.
41. Torres, J. 1966. *Conservación de maderas en su aspecto práctico*. Madrid, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 97 p.

42. Tuset, R.; Durán, F. 1979. Introducción de varias especies del género eucaliptus. In: Jornadas Forestales (2a., 1979, Cerro Largo). Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 39-40.
43. _____. _____. 2007. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización; aserrado de maderas. 2a. ed. Montevideo, Hemisferio Sur. v. 1, 370 p.
44. _____. _____. 2008. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. 2a. ed. Montevideo, Hemisferio Sur. v. 2, 503 p.
45. UdelaR. FA (Universidad de la República. Facultad de Agronomía, UY). 1978. El boro y sus componentes en la preservación de la madera y las técnicas modernas de impregnación. Montevideo. 12 p.
46. Vargas, J. 2011. Conservación de la madera. (en línea). s.n.t. 184 p. Consultado 27 mar. 2015. Disponible en http://www.posgradosfor.umss.edu.bo/boletin/drvargas/PATOLOGIA_Y_CONSERVACION_DE_LA_MADERA.pdf.

10. ANEXOS

1. Datos generales de las probetas

Probetas	Largo	D1	D2	Espesor duramen	Peso inicial(g)	Vol. (m ³)	Densidad (kg/m ³)
1	50	7	7,3	4,5	1171	0,036	32,76
2	51	8,8	9	6,5	1372	0,045	30,23
3	49,8	8	8,4	4,5	1548	0,041	37,91
4	49,9	7,8	8	5	1166	0,039	29,58
5	49,7	8,2	8,5	6	1408	0,041	33,93
6	49,7	7	7,2	4,7	864	0,035	24,48
7	49,5	7,9	8,1	5,3	1141	0,040	28,81
8	49,7	7,8	8	5	1253	0,039	31,91
9	49,6	6,8	6,9	3	1065	0,034	31,35
10	49,2	6,7	7,1	5,2	948	0,034	27,93
11	49,3	7,3	7,5	4	1123	0,036	30,78
12	49,8	6,5	6,7	4,2	1087	0,033	33,07
13	49,3	7,3	7,5	4,8	1038	0,036	28,45
14	49,5	6,5	7	4	957	0,033	28,64
15	50,8	8	8,2	4	1574	0,041	38,25
16	50	6,3	7	3	892	0,033	26,83
17	51	7	8	4	1588	0,038	41,52
18	49,5	6,7	6,9	4,5	909	0,034	27,01
19	49,7	7	7,5	4	1176	0,036	32,64
20	51	9	9,4	6,2	1671	0,047	35,61
21	49	8	8,2	6,3	1236	0,040	31,14
22	50	7,9	8,3	4,2	1629	0,041	40,22
23	49,7	9,4	9,8	5,7	1955	0,048	40,98
24	50,2	9,2	9,5	6	1918	0,047	40,86
25	48,9	9	9,2	4,5	1790	0,044	40,23
26	51	8,6	9,2	5	1672	0,045	36,84
27	46,7	7	7,2	5	937	0,033	28,26
28	51	9	9,5	6	1928	0,047	40,87
29	50,4	8,7	9,1	6	1844	0,045	41,11
30	50	7,5	7,8	4,9	1564	0,038	40,89
31	50	7,3	8,6	4,2	2061	0,040	51,85
32	48,7	8	8,7	6	1546	0,041	38,02
33	51	9,2	9,8	6,7	2103	0,048	43,41

34	51	7,4	7,7	5,2	1210	0,039	31,42
35	49,2	6,9	7,9	3	1296	0,036	35,60
36	50	7,7	8,8	5	1705	0,041	41,33
37	50,2	8	8,5	5,5	1287	0,041	31,08
38	51	7,5	7,7	4,5	1291	0,039	33,31
39	50	8,1	8,3	4,3	1300	0,041	31,71
40	49,7	6,3	6,5	3,2	889	0,032	27,95
41	49	9,1	9,4	5,7	1706	0,045	37,64
42	50	8,1	8,3	4,5	1267	0,041	30,90
43	48,5	7	7,3	4,5	935	0,035	26,96
44	49,8	7,4	7,6	3,7	1185	0,037	31,73
45	49	7,4	8,1	4,5	1356	0,038	35,71
46	51,5	8,5	8,7	5,5	1508	0,044	34,05
47	50,5	8	8,3	5,3	1632	0,041	39,65
48	49,5	7,6	8	4,8	1311	0,039	33,95
49	49,6	7	7,3	3,2	1282	0,035	36,15
50	49,5	8,5	9,2	5,5	1734	0,044	39,58
51	49,8	6,6	7,6	3,2	1190	0,035	33,66
52	50,4	7,9	8,5	5,3	1271	0,041	30,75
53	50	6,7	7	4,5	1338	0,034	39,07
54	49	7,1	7,5	4,5	987	0,036	27,59
55	49	8,8	9,1	5,3	1548	0,044	35,30
56	50,7	7	7,3	4,2	1057	0,036	29,16
57	48,3	7,6	8,1	5,8	1293	0,038	34,10
58	50	7,5	8	4,5	1394	0,039	35,97
60	50,8	7	8,1	4,5	1394	0,038	36,35
61	51,5	8	8,5	4,5	1623	0,042	38,20
62	50,4	8,9	9,2	5	1847	0,046	40,49
63	50,5	7,7	8	4,3	1478	0,040	37,28
64	50,6	7	7,2	3,9	1083	0,036	30,15
65	50	8,7	8,9	5	1694	0,044	38,50
66	52	9	9,5	5,5	2044	0,048	42,49
67	50,3	6,9	7,2	3,7	1170	0,035	32,99
68	49,00	6,78	5,82	5,75	1621,32	0,037	43,33
69	50,54	6,81	7,95	4,07	1386,20	0,038	32,80
70	50,43	8,44	7,97	4,35	1875,21	0,037	35,52
Promedio	49,94	7,72	8,13	4,77	1385,44	0,040	34,65
Desvío	0,86	0,83	0,84	0,89	324,80	0,004	5,24

2. Segundo tratamiento aplicado a las probetas

2.1. Inmersión en sulfato de Zn al 5 %

Probetas	CH (%)	retención (kg.m ⁻³)
3	51,88	10,73
21	52,91	11
39	51,63	10,73
47	50,67	10,73
48	52,57	11,28
50	50,86	10
55	52,14	10
57	51,77	11,57
19	52,73	11,50
24	52,45	11,04
PROMEDIO	51,96	10,86
DESVÍO	0,76	0,54

2.2. Inmersión en silicato de sodio al 1 %

Probetas	CH(%)	retención (kg.m ⁻³)
1	85,91	7,72
9	85,84	8,18
10	77,32	8,18
12	84,83	8,42
13	81,7	7,72
14	82,47	8,42
34	81,2	7,13
40	95,03	8,69
28	79,20	9,02
53	78,70	8,30
PROMEDIO	83,22	8,18
DESVÍO	5,10	0,54

2.3. Vacío-presión-vacío con sulfato de Zn al 5 %

Probetas	CH (%)	retención (kg.m ⁻³)
25	20,43	33,52
58	20,92	32,82
54	23,94	26,67
27	16,58	19,85
49	25,4	41,14
15	19,54	32,2
44	22,2	31,62
4	38,88	50,9
8	20,42	40,19
11	23,16	33,60
PROMEDIO	23,15	34,25
DESVÍO	6,06	8,43

2.4. Vacío-vacío con sulfato de zinc al 5 %

Probetas	CH (%)	Retención (kg.m ⁻³)
51	13,87	19,71
56	18,08	25,42
37	8,83	11,34
31	7,12	8
22	13,85	23,17
20	5,81	8,83
45	11,54	17,63
46	8,31	12,16
38	11,34	21,87
35	14,61	11,24
PROMEDIO	11,34	15,94
DESVÍO	3,84	6,37

2.5. Ascensión doble con sulfato de zinc al 5%

Probetas	CH (%)	retención(kg.m ⁻³)
61	55,60	2,36
62	61,40	2,26
63	66,50	2,24
64	59,80	2,20
65	64,30	2,07
66	65,64	2,33
67	64,32	2,22
68	64,67	2,37
69	66,60	2,20
70	64,32	2,32
PROMEDIO	63,32	2,26
DESVÍO	3,44	0,09

3. Evaluación de las probetas

3.1. Inmersión en Zn al 5%

Tratamiento	Probetas	Evaluación
Inmersión Zn	3	10
	21	10
	39	10
	47	10
	48	10
	50	10
	55	10
	57	10
	19	10
	24	10

3.2. Inmersión en silicato al 1%

Tratamiento	Probetas	Evaluación
Inmersión S	1	10
	9	10
	10	10
	12	10
	13	10
	14	10
	34	10
	40	10
	28	10
	53	10

3.3. Vacío-presión-vacío en Zn al 5%

Tratamiento	Probetas	Evaluación
V-P-V	25	10
	58	10
	54	10
	27	10
	49	10
	15	10
	44	10
	4	10
	8	10
	11	10

3.4. Vacío-vacío en Zn al 5%

Tratamiento	Probetas	Evaluación
V-V	51	10
	56	10
	37	10
	31	10
	22	10
	20	10
	45	10
	46	10
	38	10
	35	10

3.5. Sin segundo tratamiento

Tratamiento	Probetas	Evaluación
S/2do T	2	10
	5	10
	26	10
	30	9
	32	10
	41	10
	42	10
	52	10
	59	10
	60	10

3.6. Blancos

Tratamiento	Probetas	Evaluación
Blancos	6	9
	7	10
	8	8
	16	10
	17	10
	18	10
	23	10
	29	10
	33	9
	36	9
43	10	

3.7. Ascensión doble con Zn al 5%

Tratamiento	Probetas	Evaluación
Asc. D.	61	10
	62	9
	63	10
	64	8
	65	10
	66	10
	67	10
	68	10
	69	10
	70	9