



UNIVERSIDAD DE CHILE

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA MADERA

**COMPORTAMIENTO DE LA MADERA DE *Pinus radiata* D.Don.
IMPREGNADA CON COBRE ALCALINO CUATERNARIO (ACQ-D)
FRENTE AL ATAQUE DE HONGOS DE PUDRICIÓN Y DE
TERMITAS SUBTERRÁNEAS**

Memoria para optar al Título

Profesional de Ingeniera de la Madera

ANGELINA DEL CARMEN BARAHONA NEYRA

Prof. Guía: Sr. René Carmona Cerda Ingeniero Forestal

MSc. en Ciencias Forestales

Santiago, Chile

2009

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA MADERA

COMPORTAMIENTO DE LA MADERA DE *Pinus radiata* D.Don.
IMPREGNADA CON COBRE ALCALINO CUATERNARIO (ACQ-D)
FRENTE AL ATAQUE DE HONGOS DE PUDRICIÓN Y DE
TERMITAS SUBTERRÁNEAS

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniera de la Madera

ANGELINA DEL CARMEN BARAHONA NEYRA

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. René Carmona Cerda	<u>7,0</u>	_____
Prof. Consejero Sr. Ricardo Silva Soto	<u>6,2</u>	_____
Prof. Consejero Sr. José T. Karsulovic Carrasco	<u>6,8</u>	_____

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Agentes degradadores de la madera	1
1.2 Preservación de la madera	3
1.3 Importancia de este estudio	5
2. MATERIALES Y MÉTODO	6
2.1 Materiales	6
2.1.1 Madera	6
2.1.2 Hongos	6
2.1.3 Termitas	7
2.1.4 Equipos y materiales de laboratorio	7
2.2 Método	7
2.2.1 Ensayo con hongos	7
2.2.2 Ensayo con termitas	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
3.1 Tratamiento con hongos	14
3.1.1 Hongos de Pudrición Blanca	15
3.1.2 Hongos de Pudrición Café	17
3.2 Tratamiento con termitas	19
5. CONCLUSIONES	21
6. BIBLIOGRAFÍA	22
ANEXO 1	24
ANEXO 2	26
ANEXO 3	27
ÁPENDICE 1	29
ÁPENDICE 2	30
ÁPENDICE 3	31
ÁPENDICE 4	32
ÁPENDICE 5	33
APÉNDICE 6	37
APÉNDICE 7	38
APÉNDICE 8	39
APÉNDICE 9	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Equipos y materiales utilizados en el tratamiento fúngico y con termitas	7
Cuadro 2.	Cepas de Hongos de Pudrición Blanca	8
Cuadro 3.	Cepas de Hongos de Pudrición Café	8
Cuadro 4.	Retenciones del preservante ACQ-D	8
Cuadro 5.	Retenciones del preservante ACQ-D	11
Cuadro 6.	Examen visual del grado de ataque de termitas a la madera	13
Cuadro 7.	Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural.	24
Cuadro 8.	Clasificación de madera sometida a la acción de hongos de pudrición.	24
Cuadro 9.	Clasificación de madera de Pinus radiata según uso y riesgo en servicio	25
Cuadro 10.	Costo de impregnación y secado de madera de Pinus radiata	25
Cuadro 11.	Clasificación por resistencia de la madera según pérdida de peso	25
Cuadro 12.	Retención mínima de ingrediente activo del preservante- por ensayo	26
Cuadro 13.	Descripción de los preservantes y sistemas de aplicación	26
Cuadro 14.	Pérdidas de peso para madera de Pino del sur tratada con ACQ-D y CCA	27
Cuadro 15.	Pérdidas de peso para madera de Pino del sur tratada con ACQ-D y CCA	28
Cuadro 16.	Pérdida de peso (%) de madera sin retención (testigo)	29
Cuadro 17.	Pérdida de peso (%) de madera con retención de 4 Kg/m ³	29
Cuadro 18.	Pérdida de peso (%) de madera con retención de 6,4 Kg/m ³	29
Cuadro 19.	Pérdida de peso (%) de madera con retención de 9,6 Kg/m ³	29
Cuadro 20.	Pérdida de peso (%) de madera sin retención (testigo)	30
Cuadro 21.	Pérdida de peso (%) de madera con retención de 4 Kg/m ³	30
Cuadro 22.	Pérdida de peso (%) de madera con retención de 6,4 Kg/m ³	30
Cuadro 23.	Pérdida de peso (%) de madera con retención de 9,6 Kg/m ³	30
Cuadro 24.	Análisis visual de tratamientos sin retención (testigo)	31
Cuadro 25.	Análisis visual de tratamientos con retención 4 Kg/m ³	31
Cuadro 26.	Análisis visual de tratamientos con retención 6,4 Kg/m ³	31
Cuadro 27.	Análisis visual de tratamientos con retención 9,6 Kg/m ³	31
Cuadro 28.	Supervivencia de termitas de tratamientos sin retención (testigo)	32
Cuadro 29.	Supervivencia de termitas de tratamientos con retención 4 Kg/m ³	32
Cuadro 30.	Supervivencia de termitas de tratamientos con retención	32
Cuadro 32.	Supervivencia de termitas de tratamientos con retención	32

Cuadro 34. Análisis de varianza para pérdida de peso_____	33
Cuadro 35. Análisis de varianza para grado de ataque_____	33
Cuadro 36. Método Duncan para pérdida de peso según factor retención _____	34
Cuadro 37. Método Duncan para pérdida de peso según factor hongo_____	34
Cuadro 38. Método Scheffe para Grado de Ataque según factor retención_____	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Probeta para hongos _____	6
Figura 2.	Probeta para termitas _____	6
Figura 3.	Ensayo con hongos al comienzo de la prueba _____	10
Figura 4.	Colonia de termitas a las dos semanas _____	12
Figura 5.	Pérdida de peso promedio en porcentaje según HPB y nivel de retención. __	15
Figura 6.	Probetas antes y después del ataque con HPB _____	16
Figura 7.	Pérdida de peso promedio en porcentaje según HPC y nivel de retención. __	17
Figura 8.	Probetas antes y después del ataque con HPC _____	18
Figura 9.	Grado de ataque de R. flavipes a diferentes retenciones de ACQ-D _____	19
Figura 10.	Supervivencia de R. flavipes al termino del ensayo. _____	20
Figura 11.	Gráfico de interacción para pérdida de peso según factor hongo _____	35
Figura 12.	Gráfico de interacción para pérdida de peso según factor retención _____	35
Figura 13.	Gráfico de residuos para pérdida de peso según factor hongo _____	36
Figura 14.	Gráfico de residuos para pérdida de peso según factor retención. _____	36
Figura 15.	Gráfico de residuos para grado de ataque. _____	36
Figura 16.	Probetas testigo atacadas con HPB. _____	37
Figura 17.	Probetas con retención de 4,0 Kg/m ³ atacadas con HPB. _____	37
Figura 18.	Probetas con retención de 6,4 Kg/m ³ atacadas con HPB. _____	37
Figura 19.	Probetas con retención de 9,6 Kg/m ³ atacadas con HPB. _____	37
Figura 20.	Probetas testigo atacadas con HPC. _____	38
Figura 21.	Probetas con retención de 4,0 Kg/m ³ atacadas con HPC. _____	38
Figura 22.	Probetas con retención de 6,4 Kg/m ³ atacadas con HPC. _____	38
Figura 23.	Probetas con retención de 9,6 Kg/m ³ atacadas con HPC. _____	38
Figura 24.	Probeta testigo atacada con R. flavipes. _____	39
Figura 25.	Probeta con retención de de 4,0 Kg/m ³ atacada con R. flavipes. _____	39
Figura 26.	Probeta con retención de de 6,4 Kg/m ³ atacada con R. flavipes. _____	39
Figura 27.	Probeta con retención de de 9,6 Kg/m ³ atacada con R. flavipes. _____	39
Figura 28.	Probeta testigo atacada con R. flavipes. _____	40
Figura 29.	Probeta con retención de 4 Kg/m ³ atacada con R. flavipes. _____	40
Figura 30.	Probeta con retención de 6,4 Kg/m ³ atacada con R. flavipes. _____	40
Figura 31.	Probeta con retención de 9,6 Kg/m ³ atacada con R. flavipes. _____	40

A mis grandes amores:

Mi tatita

Mis padres

Mis hermanos

Mis sobrinos

y Victor Stappung A.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar conmigo en todo momento y lugar, por ayudarme a enfrentar la vida para salir adelante en lo que me he propuesto y por permitir que mis dos angelitos me cuiden y estén conmigo siempre.

A mis padres quienes han estado conmigo desde mis primeros días, me han apoyado, aconsejado y entregado lo mejor que se le puede dar a una hija, amor, valores, educación y un cálido hogar.

A Héctor, Andrés y Juan Carlos (mis hermanos), que de una u otra forma me dieron animo para seguir adelante y llegar hasta esta instancia.

A Don René Carmona, por brindarme la oportunidad de trabajar con él en este tema de memoria y dedicar largas horas de conversación para aclarar todas mis dudas, a pesar del poco tiempo con el que siempre cuenta.

A Don Ricardo Silva, porque siempre se ha dado el tiempo para aclarar todas mis inquietudes durante mi paso por la universidad, por ayudarme pacientemente durante el desarrollo de esta memoria y por sobre todo a mejorar mi pésima redacción, por aconsejarme muchas veces más que como profesor, como un gran amigo, gracias por todo.

A Don Alejandro Bozo, quien como profesor, jefe de carrera y como uno más de nosotros, siempre me dio un consejo y respondió a todas mis consultas cuando lo necesite, gracias por creer en mí y por ayudarme con el abstract de la presente memoria.

A Doña Rose Marie Garay, Don Tomás Karsulovic, Don Aldo Cisternas y a todos los profesores que me enseñaron en estos años, gracias por todos los conocimientos y herramientas que me entregaron, que sin duda alguna utilizaré durante toda mi vida, muchísimas gracias.

A Don Sergio Donoso, quien sin conocerme, confió en mis capacidades y en que llegaría el día en que sería una profesional, gracias por darme la oportunidad de hacer esto posible.

A Consuelo Fritz, porque siempre me ha ayudado a aclarar dudas, tanto durante mis estudios, como en el desarrollo de esta memoria. Gracias también por tu ayuda en la parte experimental y por brindarme siempre tu apoyo como compañera y amiga.

A Alejandra Matus, por su ayuda en el conteo de termitas como si fuera su propio trabajo y su amistad cada día, muchísimas gracias amiga!!! y como no mencionar a Lizbeth González, quien me ha brindado su amistad y sus acertados consejos durante todos estos años, gracias amiga.

A mi tatita y a mis sobrinos, quienes con el solo hecho de existir, llenan mi vida, mi corazoncito y me dan fuerzas y animo para seguir adelante.

Finalmente una persona muy importante en mi vida, mi gran amor Victor Stappung, quien ha estado conmigo durante todo mi proceso universitario, me ha apoyado, ayudado, escuchado y entregado todo su amor, gracias mi amor.

COMPORTAMIENTO DE LA MADERA DE *Pinus radiata* D. Don. IMPREGNADA CON COBRE ALCALINO CUATERNARIO (ACQ-D) FRENTE AL ATAQUE DE HONGOS DE PUDRICIÓN Y DE TERMITAS SUBTERRÁNEAS

RESUMEN

El preservante más conocido y utilizado en Chile son las sales CCA, sin embargo, su uso ha sido cuestionado en países desarrollados por los efectos nocivos que puede producir al medio ambiente y la salud humana, restringiéndose su aplicación a productos que no estén en contacto con las personas.

El presente trabajo determina el comportamiento de madera de *Pinus radiata* D. Don, impregnada con Cobre Alcalino Cuaternario (ACQ-D) frente al ataque de hongos de pudrición blanca (HPB), de pudrición café (HPC) y de termitas subterráneas, preservante que se desarrolló como una alternativa al CCA, para lo cual se emplearon las retenciones establecidas en la norma chilena (NCh 819, 2003) 4,0, 6,4 y 9,6 kg/m³.

Para evaluar la efectividad del preservante frente al ataque de los hongos de pudrición, se determinó la pérdida de peso de la madera expuesta según la norma E10-01 Método del Bloque en el Suelo (Test Soil block) Asociación Americana de Preservación de Madera (AWPA). Los hongos utilizados pertenecen a los géneros *Trametes*, *Pleurotus* y *Peniophora* para pudrición blanca, y *Postia*, *Lentinus* y *Poria* para pudrición café.

Para las probetas expuestas al ataque de termitas subterráneas se utilizó la norma chilena NCh 3060 de 2007, "Preservantes de la madera - Determinación de la eficacia contra termitas subterráneas. La especie de termitas utilizadas fue *Reticulitermes flavipes* Kollar.

Los resultados indican que, en madera de *Pinus radiata* D. Don, la utilización de ACQ-D a las tres retenciones ensayadas disminuye tanto el ataque de hongos, como de termitas, en comparación con la madera no impregnada.

En madera sin impregnar, la pérdida de peso promedio ocasionada por los HPC *Poria* sp, *Postia* sp y *Lentinus* sp fue de 35,3%, 35,2%, 7,2%, respectivamente, mientras que con los HPB *Pleurotus* sp, *Trametes* sp y *Peniophora* sp estas fueron de 11,7%, 9,5%, 4,2%, respectivamente. Por su parte, en madera impregnada, los HPC *Poria* sp, *Postia* sp y *Lentinus* sp produjeron pérdidas de peso promedio de 3,9%, 0,9% y 0,3% respectivamente, mientras que los HPB *Pleurotus* sp, *Trametes* sp y *Peniophora* sp estas fueron de 0,5%, 0,6% y 0,3%, respectivamente. Adicionalmente, *Poria* sp es el más agresivo de los HPC, provocando una pérdida de peso promedio de 35%, y 3,9% en probetas sin impregnar e impregnadas respectivamente, mientras que para HPB el más agresivo en probetas sin impregnar es el hongo *Trametes* sp con un 11,7% y en probetas impregnadas *Pleurotus* sp con un 0,5%.

En la prueba con termitas subterráneas se obtuvo como resultado que el nivel de protección aumenta a mayor retención y que resulta más eficaz la retención de 9,6 kg/m³, sin embargo, el umbral de eficacia se encuentra entre 6,4 y 9,6 kg/m³.

Palabras clave: ACQ-D, hongos de pudrición, *Pinus radiata*, *Reticulitermes flavipes*.

BEHAVIOR OF *Pinus radiata* D. Don WOOD. IMPREGNATED WITH ALKALINE COPPER QUATERNARY (ACQ-D) AS OPPOSED TO THE ATTACK OF FUNGI DECAY AND SUBTERRANEAN TERMITE

ABSTRACT

The preserver more known and used in Chile is salts CCA, nevertheless, its use has been questioned in developed countries by the injurious effects that can produce to the environment and the human, health restricting its application to products that are not in contact with people.

The present work determines the behavior of *Pinus radiata* D. Don wood, impregnated with Alkaline Copper Quaternary (ACQ-D) as opposed to the attack of fungi of white decay (HPB), fungi of brown decay (HPC) and subterranean termite, preserver that was developed like an alternative to the CCA, for which the used retentions established in Chilean standard were (NCh 819, 2003) 4.0, 6.4 and 9.6 kg/m³.

In order to evaluate the effectiveness of the preserver as opposed to the attack of the fungi decay, It was determined the loss of weight of the wood exposed according to the standard E10-01 Soil Test block method American Wood Preservation Association (AWPA). The used fungi belong to the sorts *Trametes*, *Pleurotus* and *Peniophora* for white decay, and *Postia*, *Lentinus* and *Poria* for brown decay.

For the specimens exposed to the attack of subterranean termites the Chilean standard NCh 3060 of 2007 was used, "Preserver of the wood - Determination of the effectiveness against subterranean termites". The termite species used corresponds to *Reticulitermes flavipes* Kollar.

The results indicate that, in *Pinus radiata* D. Don wood the use of ACQ-D to the three tried retentions diminishes the attack of fungi as much, like of termites, in comparison with the non impregnated wood.

In wood without impregnating, the average loss of weight caused by the HPC *Poria* sp, *Postia* sp and *Lentinus* sp were 35.3%, 35.2%, 7.2% respectively, whereas with the HPB *Pleurotus* sp, *Trametes* sp and *Peniophora* sp these were 11.7%, 9.5%, 4.2%, respectively. On the other hand, in impregnated wood, the HPC *Poria* sp, *Postia* sp and *Lentinus* sp produced average losses of weight of 3.9%, 0.9% and 0.3% respectively, whereas the HPB *Pleurotus* sp, *Trametes* sp and *Peniophora* sp these were of 0.5%, 0.6% and 0.3% respectively. Additionally, *Poria* sp is a most aggressive of the HPC, causing average loss of weight of 35%, and 3.9% in specimens without impregnating and impregnated respectively, whereas for HPB the most aggressive in specimens without impregnating was *Trametes* sp with a 11.7% and in impregnated specimens was *Pleurotus* sp with a 0,5%.

In the case of subterranean termites it was obtained as result that the protection level increases to greater retention and which the more effective retention was 9.6 kg/m³, innnevertheless, the effectiveness threshold was between 6.4 and 9.6 Kg/m³.

Key words: ACQ-D, fungi of decay, *Pinus radiata*, *Reticulitermes flavipes*.

1. INTRODUCCIÓN

El recurso forestal en Chile está representado por un total de 15,9 millones de hectáreas de bosques, de las cuales, 13,6 millones corresponden a bosque nativo y 2,3 millones a plantaciones. Dentro de éstas últimas, la principal especie es el *Pinus radiata* D. Don (pino) con un 64%, seguida por el *Eucalyptus globulus* Labill (eucalipto) con un 23,5% y otras especies con un 8,7% (INFOR, 2008).

La producción tradicional del bosque entrega materia prima para diferentes usos, constituyendo el *Pinus radiata* la especie de mayor relevancia en cuanto a producción y exportación. En producción alcanza en el rubro de la madera aserrada 8,014 millones de metros cúbicos y en la fabricación de polines y postes 172,6 mil metros cúbicos, de los cuales destinan para el mercado de exportación un 35% y 18% respectivamente (INFOR, 2008).

La madera, pese a tener una serie de ventajas en cuanto a su versatilidad y propiedades, presenta puntos débiles asociados principalmente a la biodegradación, siendo susceptible al ataque de organismos xilófagos. Al ser un material de origen orgánico compuesto fundamentalmente por celulosa y lignina, constituye la base de alimentación de organismos vivos, tales como hongos e insectos, los que la degradan en diferentes formas. Dichas razones hacen que exista una creciente preocupación por generar una mayor resistencia en la madera, tanto al paso del tiempo como a las condiciones medioambientales y al ataque de organismos destructivos (Montes *et al.*, 2001).

1.1 Agentes degradadores de la madera

Los agentes bióticos son aquellos agentes degradadores de la madera de origen biológico, que alimentándose de sus componentes, causan degradación en diferentes formas. Entre los más importantes se encuentran: los hongos lignívoros, como causantes de pudrición, los hongos cromógenos, como causantes de manchas, los mohos de humedad, los insectos xilófagos (principalmente las termitas) y los perforadores marinos, caracterizándose éstos dos últimos por causar un gran deterioro en el material leñoso, dejando cavidades en la madera (Romero *et al.*, 1988).

Los hongos de pudrición pueden clasificarse, de acuerdo a la naturaleza de su desarrollo en la madera y al tipo de deterioro que ocasionan, en tres grupos: pudrición blanca, pudrición café y pudrición blanda. Estos hongos son los más importantes, ya que son capaces de desintegrar las paredes de la célula y, por lo tanto, cambiar sus características físicas y químicas; tal desorganización de la materia da lugar al estado llamado pudrición.

Los hongos de pudrición blanca (HPB) son degradadores preferentemente de lignina, como también de ciertas cantidades de celulosa. Corresponden a un grupo heterogéneo de hongos clasificados principalmente en la clase Basidiomycetes. Su nombre proviene de la observación de la madera que ha sido atacada por estos organismos, ya que al degradar en una alta proporción la lignina presente en los tejidos leñosos, dejan un material residual blanquecino a la vista, debido a un aumento relativo del contenido de celulosa (Ruiz, 2004).

Los hongos de pudrición café (HPC) degradan preferentemente celulosa y hemicelulosas. Como consecuencia del ataque queda un residuo pardo oscuro, formado principalmente por lignina y productos extraíbles, muy frágil y fácilmente disgregable (Peraza, 2001).

Los hongos de mancha y los mohos suelen alimentarse de los compuestos orgánicos fácilmente digeribles almacenados en la madera, y con frecuencia ejercen escasa o nula influencia sobre las propiedades de ésta. Los primeros causan coloraciones profundas que pueden clasificarse como defectos, mientras que los mohos colorean pocas veces la madera, excepto en la superficie (Hunt y Garrat, 1965).

El caso de los insectos xilófagos no deja de ser importante, ya que atacan desde árboles en pie hasta madera seca puesta en servicio, lo que a nivel general constituye una amenaza tanto como los hongos. Dentro de los insectos podemos mencionar las termitas y coleópteros, siendo las termitas las más dañinas (Highley, 1999).

Los daños económicos producidos por termitas subterráneas anualmente son: en Estados Unidos de 1,6 billones de dólares, en Francia alcanzan los 350 millones de dólares, en Australia alcanzan los 50 millones de dólares y en Chile están cerca de los 30 millones de dólares (ANASAC, 2008). Las más conocidas son aquellas que pertenecen a la familia Rhinotermitidae, representada en Chile por el género *Reticulitermes*. Corresponden a un insecto xilófago y causan el daño más grave a las estructuras de madera. Sus colonias se localizan en el suelo, pero pueden alimentarse de madera que está ubicada a alguna distancia del nido (SAG, 1996).

Las termitas son insectos del orden de los isópteros, que se alimentan de celulosa (madera). Se estima que hay más de 2.600 especies en todo el mundo, de las cuales 183 provocan daño a las construcciones. La más dañina es la termita subterránea, detectada en Chile en 1986 en madera de embalaje proveniente de Estados Unidos. De las subterráneas, la que más daño provoca en viviendas, muebles y árboles es la *Reticulitermes flavipes*, que tiene un tamaño de 4 a 5 mm y posee un cuerpo alargado, y que es usualmente confundida con la hormiga blanca (Vásquez, 2006).

Reticulitermes flavipes tiene una amplia distribución en el mundo, encontrándose en los cinco continentes. En Chile están presentes en las regiones Metropolitana, V región y un foco detectado en la VI región (Litueche). Entre las termitas existen individuos ápteros (sin alas) y alados. La forma alada es la casta reproductiva, compuesta por adultos fértiles, con ojos compuestos y coloración más oscura que las castas estériles. Las obreras y los soldados son individuos estériles y ápteros, de color blanco, a excepción de la cabeza que está fuertemente quitinizada en los soldados (Ripa *et al.*, 2004).

Desde el punto de vista alimentario, las termitas son absolutamente dependientes de la celulosa, principal componente de la madera, sin embargo, las termitas no pueden digerirla, por lo que necesitan la presencia de organismos simbiotes (protozoos) en su tubo digestivo, que se encargan de su degradación, permitiéndoles aprovechar los productos resultantes (Ripa *et al.*, 2004).

Las termitas viven en colonias y se ubican sobre o bajo el suelo, o bien en árboles, ya que allí encuentran el alimento y condiciones óptimas para su desarrollo. El consumo de madera para obtener celulosa, no excluye que busquen ésta en sus derivados, como papel, cartón, libros, pisos flotantes, muebles, y en general, todo elemento que tenga entre sus componentes éste polisacárido, y en consecuencia, que accedan a edificios, estructuras de concreto o cualquier construcción (Vásquez, 2006).

El ataque ocasionado a la madera por estos organismos destructores afecta directamente su vida útil, ocasionando serios daños a ésta e incomodidades a los usuarios, razones que han llevado a estudiar distintos tipos de productos protectores, con el objeto de incrementar las prestaciones y vida en servicio de la madera.

1.2 Preservación de la madera

La durabilidad natural de la madera es definida como la capacidad que posee ésta para resistir al ataque de diferentes agentes biológicos de destrucción, una vez puesta en servicio, sin ningún tratamiento preservador (NCh 789/1, 1987).

El objetivo de la impregnación de la madera con preservantes es, básicamente prolongar su vida útil al incorporarle las sustancias químicas adecuadas que van a controlar el factor alimentación de los agentes biológicos destructores. El aumento de la durabilidad de la madera permite que ciertas especies no durables se transformen y puedan competir ventajosamente con especies durables y otros materiales (Romero *et al.*, 1988).

La acción de degradación de la madera por agentes biológicos puede ser prevenida mediante la utilización de preservantes. Los tipos de preservantes y productos protectores de la madera se clasifican por la acción protectora que realizan, en insecticidas, fungicidas e ignífugo, y por el tipo de solvente, en hidrosolubles y oleosolubles.

Los preservantes hidrosolubles son formulaciones de sales de diferentes metales (flúor, boro, arsénico, cobre, zinc, etc.), categoría en la que se ubica la sal de impregnación CCA (cobre, cromo, arsénico), producto no lixiviable ni volátil, hoy en día el preservante más utilizado en el mundo, tanto en aplicaciones domiciliarias como en exteriores (Lebow y Tippie, 2001).

Los preservantes oleosolubles están compuestos por creosota y pentaclorofenol. El primero de los componentes es un aceite derivado de la destilación del alquitrán de hulla, es muy eficaz y ha sido utilizado exitosamente en durmientes de ferrocarril, postes y pilotes marinos. Entre sus desventajas se mencionan su mal olor, baja pintabilidad y su baja resistencia al fuego. El pentaclorofenol es un material escamoso, de color café grisáceo, que debe ser utilizado en una solución no superior al 5% en peso, en algún aceite mineral mediano o pesado, tal como el petróleo diesel (Lebow y Tippie, 2001).

El preservante más conocido y utilizado en Chile son las sales CCA, sin embargo, su uso ha sido cuestionado en países desarrollados por los efectos nocivos que puede producir, ya que no tan sólo es importante que el preservante sea tóxico para la madera, sino que también sea amigable con el medio ambiente y la salud humana.

A consecuencia de los riesgos que ocasiona ésta sal, la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) anunció en Enero del 2004 que no se permite el uso de sal CCA en aplicaciones residenciales, tales como construcción residencial, plazas de juegos, mesas de picnic, rejas, senderos, etc. Por esta razón se han desarrollado investigaciones para buscar nuevos productos preservantes que sean alternativos al CCA.

Lo mencionado anteriormente ha hecho que se desarrollen nuevos productos, entre los cuales se encuentra el Cobre alcalino cuaternario (ACQ), un producto nuevo para el tratamiento de la madera al exterior, que ha sido diseñado para el uso en plantas de tratamiento industrial. El ACQ es una combinación altamente efectiva de óxido de cobre y un compuesto alcalino de amonio cuaternario (Quat), que al ser aplicado a la madera la protege de la pudrición y el ataque de termitas, entre otros (EPA, 2008).

ACQ es una sal hidrosoluble que impide la descomposición de la madera por hongos e insectos, es decir, es un fungicida e insecticida. En la actualidad hay cuatro formulaciones de ACQ normalizadas por la Asociación Americana de Preservación de Madera (AWPA), correspondientes a los tipos A, B, C y D. Las diferentes formulaciones permiten flexibilidad y compatibilidad con diferentes especies de madera y aplicaciones. Todos los tipos contienen dos ingredientes activos que pueden variar dentro de los siguientes rangos: óxido de cobre (62% a 71%) como el principal fungicida e insecticida, y Quat (29% a 38%), que igualmente actúa como fungicida y entrega propiedades de resistencia a los insectos (EPA, 2008).

Los tipos B, C y D están compuestos por un 66,7% de óxido de cobre y un 33,3% de Quat, diferenciándose en el tipo de Quat que utilizan, el que deja un olor y color característico en la madera.

El ACQ-A fue normalizado por AWWA en el año 1992 y suprimido en el 2000 debido a la falta de uso. El ACQ-B fue normalizado por la AWWA en 1992 y se utiliza principalmente para el tratamiento de especies difíciles de impregnar, como Douglas Fir, (conífera del género *Pseudotsuga*), ya que su composición de amoniaco permite al ACQ penetrar fácilmente, siendo el Quat utilizado didecyldimethylamonio de vinilo (DDAC). El ACQ-C fue normalizado por AWWA en 2002, el Quat utilizado para su formulación es alquildimetilbenzilamonio de vinilo (ADBAC). El ACQ-D fue normalizado por el AWWA en 1995 y el Quat utilizado es etanolamina. Además, el tipo D difiere del B en que en el primero se utiliza como portador etanolamina en lugar de solución de amoníaco y deja en la madera un ligero color marrón verdoso con poco olor, mientras que el ACQ-B deja un aspecto café verdoso oscuro y un olor seco a amoníaco, siendo capaz de penetrar en especies difíciles de impregnar (Lebow y Tippie, 2001).

La madera tratada con ACQ-C varía en color el que oscila entre la de tipo B y D. El tipo ACQ-D, que se probará en este estudio, no presenta amoniaco en su formulación y es utilizado en la mayor parte de la madera tratada en plantas de los EE.UU (EPA, 2008).

El preservante ACQ ha sido aceptado como sustituto del CCA, tanto en los mercados internacionales, como en la normativa chilena, no obstante, al ser el ACQ un preservante nuevo en cuanto a utilización, no existe información pública disponible sobre su desempeño.

1.3 Importancia de este estudio

El Pino radiata es una especie que presenta un rápido crecimiento y una densidad media baja, características que la hacen ser preferida tanto por su disponibilidad como por su buena trabajabilidad. Para efectos de penetración, su albura es fácil de impregnar, factor muy importante ya que la albura es la mayor parte de la madera que se comercializa, lo que debe ser considerado en la producción industrial. Dada su gran versatilidad, disponibilidad y uso en la construcción, es muy importante proteger esta madera, debido a que por su baja durabilidad natural es susceptible al ataque de agentes de biodeterioro y, en consecuencia poco resistente puesta en servicio, lo que podría inducir a la sustitución de ésta por otros materiales menos favorables desde el punto de vista energético y ambiental.

Actualmente Chile exporta madera elaborada al mercado norteamericano para que sea impregnada en destino, situación que con un preservante efectivo y aceptado ambientalmente, podría ser revertida, entregando al producto mayor durabilidad, mejor calidad y como consecuencia obtener un producto de mayor valor agregado.

La importancia de este estudio desde el punto de vista técnico, es evaluar la eficacia de este nuevo preservante en la protección de la principal madera comercial chilena, el *Pinus radiata*, frente a los dos principales problemas de biodeterioro que experimenta en la construcción, antecedentes que permitirán a productores y usuarios informarse sobre esta alternativa y sus aplicaciones. Sobre la base de lo anteriormente expuesto, para este trabajo se definieron los siguientes objetivos:

Objetivo General

Evaluar el comportamiento de madera de *Pinus radiata* D. DON impregnada con Cobre Alcalino Cuaternario (ACQ-D), frente al ataque de hongos de pudrición y termitas subterráneas.

Objetivos Específicos

Determinar el comportamiento de madera de Pino radiata impregnada a tres retenciones de cobre alcalino cuaternario (ACQ-D), expuesta a la acción de hongos de pudrición blanca y de pudrición café.

Determinar el comportamiento de madera de Pino radiata impregnada a tres retenciones de cobre alcalino cuaternario (ACQ-D), expuesta a la acción de termitas subterráneas.

Analizar si existen diferencias en el desempeño de madera impregnada a diferentes retenciones de ACQ-D dentro de cada agente biótico en estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1 Materiales

2.1.1 Madera

Se utilizó madera de *Pinus radiata* D. DON, generada en el estudio de “Resistencia a la flexión de *Pinus radiata* impregnado con cobre alcalino cuaternario ACQ-D”, el que se encuentra en desarrollo en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile. La madera correspondió a albura libre de defectos y con un contenido de humedad de 12%, sin impregnar e impregnada a tres retenciones de cobre alcalino cuaternario (ACQ-D), correspondientes a 4,0 Kg/m³, 6,4 Kg/m³ y 9,6 Kg/m³ de oxido activo.

Para la realización de los ensayos con hongos y termitas, se dimensionó la madera sin impregnar e impregnada con ACQ-D, según lo indicado en la norma AWPA Standard E10-01, (2004), Método del Bloque en el Suelo (Test Soil block). Para el ensayo con hongos se emplearon probetas cúbicas de 14x14x14 mm (Figura 1). Para el ensayo con termitas se obtuvieron probetas dimensionadas de 15x25x50 mm (Figura 2).

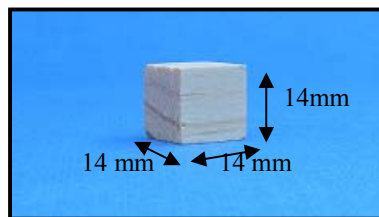


Figura 1. Probeta para hongos

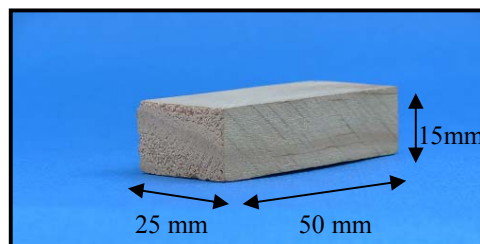


Figura 2. Probeta para termitas

2.1.2 Hongos

Se emplearon cepas de tres hongos de pudrición blanca (HPB) y tres hongos de pudrición café (HPC), provenientes de la Micoteca del Laboratorio de Biodeterioro y Preservación de la Madera, del Departamento de Ingeniería de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales.

Los hongos utilizados pertenecen a los géneros *Trametes*, *Pleurotus* y *Peniophora* para pudrición blanca, y *Postia*, *Lentinus* y *Poria* para pudrición café.

2.1.3 Termitas

Se utilizaron colonias de termitas subterráneas de la especie *Reticulitermes flavipes* provenientes de la Comuna la Cisterna, mantenidas en el termitero del Departamento de Ingeniería de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales.

2.1.4 Equipos y materiales de laboratorio

Los tratamientos fúngico y con termitas fueron desarrollados en el Laboratorio de Biodeterioro y Preservación del Departamento de Ingeniería de la Madera. Los equipos y materiales utilizados en ambas actividades se señalan a continuación en el Cuadro 1

Cuadro 1. Equipos y materiales utilizados en el tratamiento fúngico y con termitas

EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO	
Autoclave o Esterilizador	Frascos de 250 y 500 ml
Campana de flujo laminar	Tierra de hoja fortificada
Cámara de incubación	Arena fina de cuarzo blanco
Bomba de vacío	Tamiz de 3,5 mm
Estufa de secado	Agua destilada y esterilizada
Balanza digital $\pm 0,01$ g	Instrumentos e insumos menores

2.2 Método

Para evaluar el desempeño de la madera de *Pinus radiata* impregnada a tres retenciones de ACQ-D frente al ataque de HPB y HPC, se utilizó el método del bloque en el suelo (Test Soil block), indicado en la norma AWWPA Standard E10-01. Este método consistió en exponer las probetas impregnadas y sin impregnar al ataque de hongos de pudrición, en un medio preparado con un suelo que contenga la humedad necesaria para el desarrollo del hongo, durante un tiempo de 8 y 16 semanas, para HPC y HPB respectivamente. Al finalizar este período, se determinó la pérdida de peso de las probetas.

Para las probetas expuestas al ataque de termitas subterráneas se utilizó la norma chilena NCh 3060 de 2007, "Preservantes de la madera - Determinación de la eficacia contra termitas subterráneas". Esta norma concuerda con la norma EN-117. Ambos procedimientos se explicarán en detalle en los puntos siguientes.

2.2.1 Ensayo con hongos

2.2.1.1 Diseño Experimental

Para cumplir con los objetivos planteados en el estudio, se diseñó un experimento bifactorial que combinó las variables y niveles que se indican a continuación:

i) Cepas de hongos de pudrición (factor A)

Los niveles de observación para la variable de entrada (factor A), corresponden a probetas de madera de pino impregnada con ACQ-D y sin impregnar, ensayadas con tres cepas de

HPB (*Trametes*, *Pleurotus* y *Peniophora*) y con tres cepas de HPC (*Postia*, *Lentinus* y *Poria*), como se indica en el cuadro 2 y cuadro 3 respectivamente.

Cuadro 2. Cepas de Hongos de Pudrición Blanca

FACTOR A: CEPAS DE HONGOS DE PUDRICIÓN BLANCA	
Codificación	Descripción
H1	Probeta atacada con el hongo <i>Trametes</i> sp
H2	Probeta atacada con el hongo <i>Pleurotus</i> sp
H3	Probeta atacada con el hongo <i>Peniophora</i> sp

Cuadro 3. Cepas de Hongos de Pudrición Café

FACTOR A: CEPAS DE HONGOS DE PUDRICIÓN CAFÉ	
Codificación	Descripción
H4	Probeta atacada con el hongo <i>Postia</i> sp
H5	Probeta atacada con el hongo <i>Lentinus</i> sp
H6	Probeta atacada con el hongo <i>Poria</i> sp

ii) Retenciones del impregnante ACQ-D (factor B)

Los niveles de observación para la variable de entrada (factor B), corresponden a probetas de madera de pino impregnadas con cuatro retenciones diferentes de ACQ-D, como se señala en el cuadro 4.

Cuadro 4. Retenciones del preservante ACQ-D

FACTOR B: RETENCIONES DEL IMPREGNANTE ACQ-D	
Codificación	Descripción
R0	Probeta de madera con retención cero (testigo)
R1	Probeta de madera impregnada con retención de 4,0 Kg/m ³
R2	Probeta de madera impregnada con retención de 6,4 Kg/m ³
R3	Probeta de madera impregnada con retención de 9,6 Kg/m ³

El diseño estadístico asociado al experimento corresponde a un análisis de varianza (ANDEVA) bifactorial de efectos fijos de $6 \times 4 = 24$ tratamientos distintos, con cuatro repeticiones de cada uno y un nivel de confianza de 99%. Para estos análisis se utilizó el programa estadístico StatGraphic Plus®.

La variable respuesta evaluada fue la pérdida de peso producida por tres cepas de HPB y tres cepas de HPC, a probetas impregnadas con cuatro retenciones diferentes debido a que ésta se encuentra expresada en porcentaje, se deben normalizar los datos previamente al análisis de varianza, para lo cual se utilizó la fórmula $Y' = \arcsin \sqrt{p}$ (Ostle, 1965).

El modelo general asociado a este diseño experimental (Canavos, 1988), se expresa de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = K-ésima observación de la respuesta (pérdida de peso en %), para el tratamiento (i,j)

μ : Media

α_i : Efecto principal causado por el i-ésimo nivel del factor A (cepa de hongo)

β_j : Efecto principal causado por el j-ésimo nivel del factor B (retención del impregnante ACQ-D)

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción para el i-ésimo nivel del factor A y el j-ésimo nivel del factor B

ε_{ijk} : K-ésimo error aleatorio en el tratamiento (i,j)

Con $i = 1, \dots, a$ (a=6)
 $j = 1, \dots, b$ (b=4)
 $k = 1, \dots, n$ (n=4)

2.2.1.2 Crecimiento de los hongos

Se prepararon placas petri con medio de cultivo agar-malta a una concentración de 2% de agar-agar y 3% de extracto de malta. Se inocularon las placas con los hongos de pudrición blanca y de pudrición café indicados anteriormente, y fueron llevadas a la cámara de incubación hasta que el micelio del hongo cubrió completamente la placa, por un tiempo de entre 7 y 12 días, variable para cada cepa de hongo.

2.2.1.3 Resistencia de la madera al ataque de hongos

Esta evaluación se realizó mediante el método del bloque en el suelo (Test Soil block) indicado en la norma AWWA Standard E10-01. Los siguientes dos puntos especifican el método utilizado para la resistencia de la madera al ataque de hongos.

-Preparación del ensayo

Según lo establecido en la norma AWWA Standard E10-01, la capacidad de retención de agua del suelo (CR) debe encontrarse entre un 20% y 40%. Para cumplir con esta exigencia se realizaron pruebas a diferentes tipos de suelo. La prueba consistió en tamizar el suelo a 3,5 mm y someterlo a remojo durante 12 hrs. para luego dejarlo en la estufa hasta obtener peso constante. Finalmente se realizaron los cálculos de CR mediante la siguiente fórmula:

$$CR (\%) = \frac{(Ph-Ps)}{Ps} \times 100$$

Donde:

CR: Capacidad de retención de agua (%)

Ph: Peso húmedo del suelo

Ps: Peso seco del suelo

Una vez obtenido el suelo con la retención adecuada, éste fue dosificado en frascos de vidrio de 250 ml. Sobre este suelo se agregó en cada frasco láminas de madera sin impregnar de 3x28x34mm (las que se utilizaron como un nexo entre el hongo y la probeta a evaluar). Luego se esterilizó el frasco completo a una presión de vapor saturado de 15 psi durante 30 minutos.

Finalmente se inocularon las láminas con los hongos correspondientes, de tal forma que el trozo de micelio quedó entre el borde de la lámina y la tierra. Luego los frascos fueron llevados a la cámara de incubación a temperatura controlada de 25° C hasta que el hongo cubrió totalmente la lámina. Transcurrido este tiempo se introdujeron 2 probetas en cada frasco y nuevamente fueron llevados a la cámara de incubación. A partir de este momento se inició la prueba, cuya duración fue de ocho semanas para HPC y de 16 semanas para HPB. En la Figura 3 se puede observar el ensayo con hongos al comienzo de la prueba.

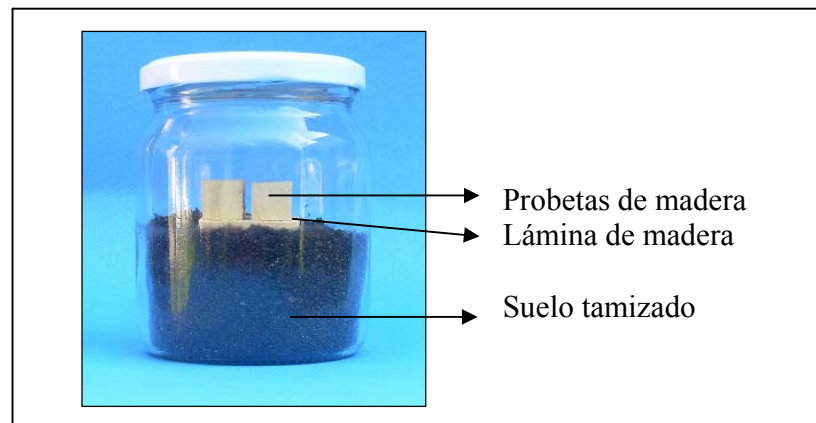


Figura 3. Ensayo con hongos al comienzo de la prueba

- Resultados del ensayo

Se determinó la presencia de ataque en las probetas impregnadas y sin impregnar frente a hongos de pudrición blanca y pudrición café, mediante la pérdida de peso que obtuvo cada probeta, calculada a través de la siguiente fórmula:

$$Pp (\%) = \frac{(P_{si} - P_{sf})}{P_{si}} \times 100$$

Donde:

Pp: Pérdida de peso expresada en %

Psi: Peso anhidro inicial de la probeta (antes del ataque)

Psf: Peso anhidro final de la probeta (después del ataque)

Con el propósito de establecer si existieron diferencias significativas en los resultados, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) a un nivel de confianza de 99%, el que se complementó con un análisis estadístico de comparación múltiple de medias con el método Duncan.

2.2.2 Ensayo con termitas

2.2.2.1 Diseño Experimental

Para cumplir con los objetivos planteados en el estudio, se diseñó un experimento unifactorial que combinó las variables y niveles que se indican a continuación:

i) Retenciones del impregnante (factor A)

Los niveles de observación para la variable de entrada (factor A) corresponden a probetas de madera de pino impregnadas a cuatro retenciones diferentes de ACQ-D, como se indica en el cuadro 5.

Cuadro 5. Retenciones del preservante ACQ-D

FACTOR B: RETENCIONES DEL IMPREGNANTE ACQ-D	
Codificación	Descripción
Ro	Probeta de madera con retención cero (testigo)
R1	Probeta de madera impregnada con retención de 4 Kg/m ³
R2	Probeta de madera impregnada con retención de 6,4 Kg/m ³
R3	Probeta de madera impregnada con retención de 9,6 Kg/m ³

El diseño estadístico asociado al experimento corresponde a un análisis de varianza (ANDEVA) unifactorial en un diseño completamente aleatorio (DCA), con un nivel de confianza del 99%. Para estos análisis se utilizó el programa estadístico StatGraphic Plus®.

La variable respuesta evaluada fue grado de ataque, según la norma NCh 3060 de 2007 "Preservantes de la madera - Determinación de la eficacia contra termitas subterráneas". El modelo general asociado a este diseño experimental (Canavos, 1988), se expresa de la siguiente forma:

El modelo general asociado a este diseño experimental (Canavos, 1988), se expresa de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : i-ésima observación del j-ésimo tratamiento

μ : Media sobre todas las k poblaciones

τ_j : Efecto sobre la respuesta debido al j-ésimo tratamiento

ε_{ij} : Error experimental para la i-ésima observación bajo el j-ésimo tratamiento

Con $i = 1, \dots, n$ (n=3)

$j = 1, \dots, k$ (k=4)

2.2.2.2 Preparación del ensayo

Para el ensayo con termitas se preparó un sustrato en el que fueron ubicadas las probetas y las termitas seleccionadas.

El sustrato fue preparado en frascos de vidrio de 500 ml con arena fina de cuarzo blanco, formada de granos de sílice cristalizada y agua destilada. A cada frasco se introdujo el agua primero y luego la arena, en una proporción de un volumen de agua destilada por cuatro volúmenes de arena. A continuación se agregó 0,5g de madera (considerada madera de cría), la que se sumergió en la arena. Luego un anillo de vidrio o plástico de 20 mm de altura y 20 mm de diámetro, fue colocado a una orilla del frasco, sin tocar sus paredes (ver figura 4)

De la colonia de termitas se seleccionaron 250 obreras, 5 ninfas y 5 soldados para cada frasco, las que se separaron y contaron mediante el uso de pinceles o pinzas y agua destilada. Luego se pusieron en cada frasco y fueron llevadas a una cámara de incubación con temperatura controlada a 27° C. Transcurridos cuatro días se introdujeron las probetas a cada frasco, siendo llevados luego a la cámara de incubación durante ocho semanas.

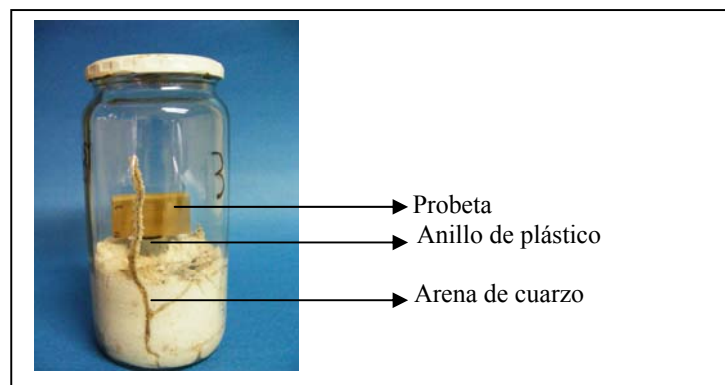


Figura 4. Colonia de termitas a las dos semanas

2.2.2.3 Resultados del ensayo

Al finalizar las ocho semanas de prueba se realizó un conteo de las termitas sobrevivientes al ensayo y un examen visual a las probetas, observando el grado de ataque, según localización, extensión y profundidad. Para que el ensayo sea válido debe existir un mínimo de 50% de termitas sobrevivientes y las tres repeticiones de probetas testigo deberán presentar ataque fuerte.

Con el propósito de establecer si existieron diferencias significativas en los resultados, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) a un nivel de confianza de 99%, el que se complementó con un análisis estadístico de comparación múltiple de medias con el método Scheffe.

La variable respuesta evaluada según la norma NCh 3060 de 2007, “Preservantes de la madera - Determinación de la eficacia contra termitas subterráneas”, fue el grado de ataque. El examen visual se realizó de acuerdo a lo indicado en el cuadro 6.

Cuadro 6. Examen visual del grado de ataque de termitas a la madera

GRADO DE ATAQUE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
0	NINGÚN ATAQUE
1	TENTATIVA DE ATAQUE i) Erosión superficial de profundidad escasa o ii) Ataque hasta 0,5 mm de profundidad, si se restringe a un área o áreas no mayor (es) que 30 mm ² en total o iii) combinación i) e ii)
2	ATAQUE LIGERO i) Erosión de 1mm de profundidad limitada en extensión a 1/10 de la superficie de la probeta o ii) Perforación única de profundidad menor que 3 mm o iii) combinación i) e ii)
3	ATAQUE MEDIO i) Erosión de 1mm de profundidad sobre una extensión mayor que 1/10 de la superficie de la probeta o ii) Erosión de 1 mm a 3 mm sobre una extensión menor que 1/10 de la superficie de la probeta iii) Perforaciones puntuales que no se extiendan formando cavernas y de profundidad mayor que 3 mm o iv) combinación i), ii) e iii)
4	ATAQUE FUERTE i) Erosión de 1mm a 3 mm de profundidad sobre una extensión mayor que 1/10 de la superficie de la probeta o ii) Perforación profunda mayor que 3 mm que se extiende formando cavernas dentro de la probeta, pudiendo generar un estado de destrucción muy avanzado iii) combinación i) e ii)

Fuente: NCh 3060, 2007

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos en las pruebas con hongos y termitas, al que fueron sometidas probetas de madera de pino impregnadas a cuatro retenciones de ACQ-D

3.1 Tratamiento con hongos

El análisis ANDEVA mostró que, tanto la retención como la cepa de hongo tienen incidencia estadísticamente significativa en la pérdida de peso, con un error del 1%, y que existe una interacción entre ambos factores frente a la pérdida de peso (Apéndice 5).

Según la prueba de Duncan, existen diferencias significativas en la variable pérdida de peso frente a cada factor estudiado. Para el factor retención se encontraron diferencias entre el tratamiento testigo y cada una de las retenciones en estudio, no así entre las retenciones (sin considerar el testigo), como se indica en el Cuadro 34 (ver Apéndice 5). Para el factor hongo como se indica en el Cuadro 35 (ver Apéndice 5), se encontraron diferencias significativas entre las medias de los hongos *Lentinus* sp y *Poria* sp; *Peniophora* sp y *Poria* sp; *Pleurotus* sp y *Poria* sp; *Poria* sp y *Trametes* sp y entre *Postia* y *Trametes*.

Las pérdidas de peso ocasionadas por HPB fueron menores que las producidas por HPC, lo que puede explicarse porque para los primeros es más difícil degradar la lignina de coníferas⁽¹⁾ siendo su batería enzimática más apta para degradar la lignina de latifoliadas, mientras que los últimos se adaptan mejor a la madera de coníferas⁽²⁾.

Poria sp y *Postia* sp correspondientes a HPC, son los hongos que registraron las pérdidas de peso promedio más altas en las probetas testigo, alcanzando aproximadamente 35%, seguidas por el hongo *Pleurotus* sp correspondiente a HPB, con un 11,7%.

Es importante señalar que existe una alta variabilidad entre las repeticiones de las pérdidas de peso promedio de *Trametes* sp (HPB) y *Poria* sp (HPC), presentando éste último menor variabilidad.

La variabilidad mencionada anteriormente se debió a que el ensayo realizado con el método del bloque en el suelo, requirió de constantes observaciones, ya que el suelo fue muy susceptible a deshidratación y contaminación, factores atribuibles tanto a la colonización de la probeta por el hongo, como a su actividad durante el ensayo.

(1) Entrevista con el profesor Ricardo Silva Soto, Dr. en Ingeniería.

(2) Entrevista con el profesor René Carmona Cerda, MSc. en Ciencias Forestales.

Si los criterios de clasificación para durabilidad natural señalados por Bobadilla y colaboradores (2006) se aplicaran para clasificar la durabilidad de la madera impregnada, en el presente estudio la madera impregnada con ACQ-D expuesta a HPB se clasifica como “resistente”, mientras que la madera expuesta a HPC queda en la categoría de “moderadamente resistente”. No obstante, según lo indicado en la norma ASTM, D 2017-81 (ver Anexo 1), el criterio de clasificación denomina a maderas con pérdidas de peso menores al 10% como “altamente resistente”, con lo cual para el presente trabajo, toda la madera impregnada con ACQ-D se encuentra en esta última denominación.

3.1.1 Hongos de Pudrición Blanca

En este punto se presentan los resultados de la pérdida de peso promedio de las probetas testigo e impregnadas con ACQ-D, expuestas a la acción de hongos de pudrición blanca.

La Figura 5 muestra la pérdida de peso promedio producida en probetas atacadas con tres HPB e impregnadas a diferentes retenciones de ACQ-D, pudiéndose observar que todas las muestras impregnadas presentan una pérdida de peso inferior al 10%.

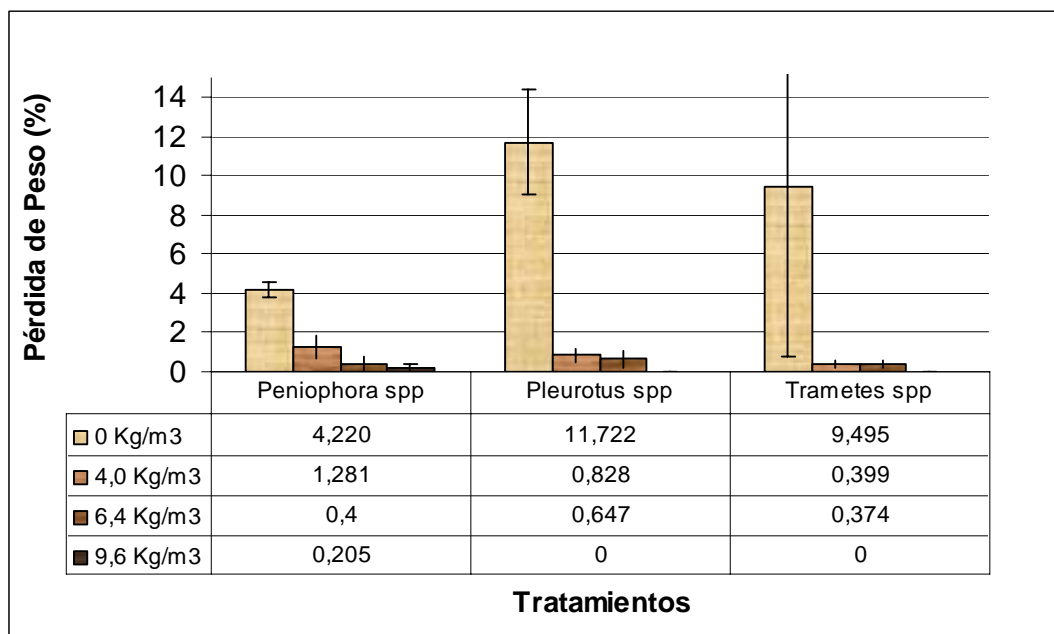


Figura 5. Pérdida de peso promedio en porcentaje según HPB y nivel de retención.

El hongo *Pleurotus* sp, es el que provocó la mayor pérdida de peso promedio, tanto en la muestra testigo, como en las probetas con retención de 6,4 kg/m³, obteniendo un 11,7% en la muestra testigo, seguido por el hongo *Trametes* sp, con una pérdida de peso de un 35,2% y por *Lentinus* sp con un 4,2%.

En la Figura 5 se indica además la variabilidad de los resultados obtenidos (error estándar). Se observa que entre las repeticiones de probetas testigo, mayoritariamente en las atacadas con el hongo *Trametes* sp, existe una gran variabilidad estando la pérdida de peso entre 0% y 35%. Esta variabilidad es atribuible a la actividad del hongo durante el ensayo, ya que si bien todas las repeticiones fueron sometidas a las mismas condiciones de exposición, no todas las cepas se desarrollaron y colonizaron las probetas de la misma forma (ver Apéndice 6).

Illman y colaboradores (2000) realizaron un estudio de Bioprocésamiento de madera preservada (ver Anexo 3), en el cual sometieron bloques de madera de Pino del Sur impregnados, a la exposición de HPB y HPC, empleando para ello el método del bloque en el suelo. En este estudio utilizaron entre otros preservantes ACQ-D, a una retención de 6,4 kg/m³, obteniendo con *Peniophora* sp una pérdida de peso promedio de 1%, diferencia mínima a la del presente estudio que fue aproximadamente de 0,4%.

Las probetas impregnadas a una retención de 9,6 kg/m³, fueron las que presentaron menores pérdidas de peso, no superando el 0,2% en promedio, seguidas por las probetas a retenciones 6,4 y 4,0 kg/m³, con pérdidas de peso promedio no superiores a 0,6% y 1,3%, respectivamente. Aun así, según estos resultados de este estudio, las tres retenciones ensayadas resultaron eficaces frente al ataque de HPB, obteniéndose mayores grados de protección a mayores niveles de retención.

En la Figura 6 se muestra la comparación de fotografías de las probetas antes y después de ser atacadas con HPB. Se puede observar claramente el deterioro y deformaciones provocadas por el hongo en la probeta testigo (B), no así en la probeta impregnada (D), la cual no presentó mayores daños.

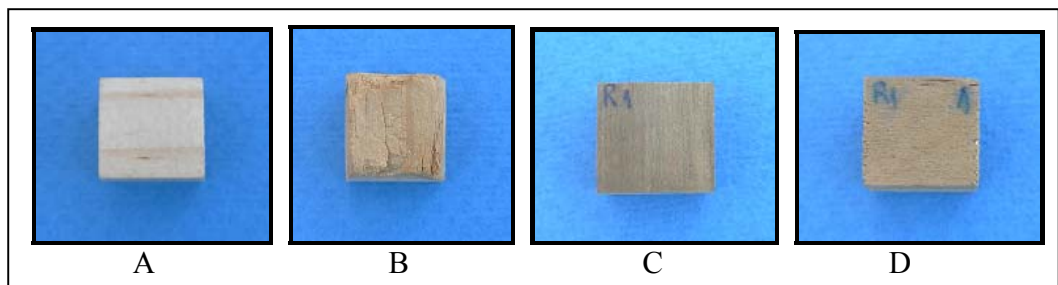


Figura 6. Probetas antes y después del ataque con HPB

Fotos de las probetas donde:

A: Probeta testigo sin ensayar

B: Probeta testigo atacada con HPB

C: Probeta con retención de 4,0 kg/m³ sin ensayar

D: Probeta con retención de 4,0 kg/m³ atacada con HPB

3.1.2 Hongos de Pudrición Café

En el siguiente punto se presentan los resultados de la pérdida de peso promedio de las probetas testigo e impregnadas con ACQ-D, expuestas a la acción de hongos de pudrición café.

La Figura 7 muestra la pérdida de peso promedio producida en probetas atacadas con tres HPC e impregnadas a diferentes retenciones de ACQ-D. Se puede observar que todas las muestras impregnadas presentan una pérdida de peso inferior al 10%, lo que de acuerdo con el criterio de clasificación de la norma ASTM, D 2017-81 (ver Anexo 1), denomina a maderas con pérdidas de peso menores al 10%, como “altamente resistente”.

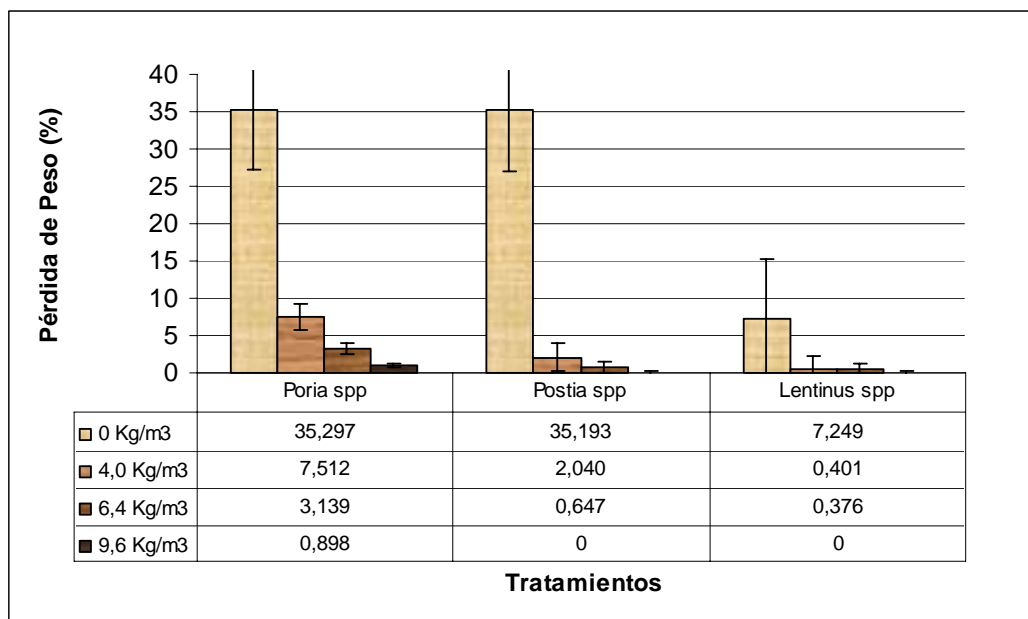


Figura 7. Pérdida de peso promedio en porcentaje según HPC y nivel de retención.

El hongo *Poria sp*, como se indica en la Figura 7, es el que provocó la mayor pérdida de peso promedio, tanto en la muestra testigo, como en las muestras impregnadas, obteniendo un 35,3% en la muestra testigo, seguido con una mínima diferencia por el hongo *Postia sp*, el que provocó pérdida de peso cercana a un 35,2% y por *Lentinus sp* con un 7,2%.

En la Figura 7 se indica también la variabilidad de los resultados obtenidos (error estándar). Se observa que entre las repeticiones de probetas testigo, mayoritariamente en las atacadas con el hongo *Poria sp*, existe una gran variabilidad estando la pérdida de peso entre 8% y 60%. Esta variabilidad es atribuible a la actividad del hongo durante el ensayo, ya que si bien todas las repeticiones fueron sometidas a las mismas condiciones de exposición, no todas las cepas se desarrollaron y colonizaron las probetas de la misma forma (Apéndice 6).

Illman y colaboradores (2000), emplearon el método del bloque en el suelo y utilizaron entre otros preservantes ACQ-D, a una retención de $6,4 \text{ kg/m}^3$, obteniendo con *Lentinus* sp una pérdida de peso promedio de 1,4%, diferencia mínima a la del presente estudio que fue para la misma retención de aproximadamente de 0,4%.

Por otra parte Steenkjaer *et al.* (2005), en su estudio de Tolerancia de *Serpula lacrymans* a preservantes de madera en base a cobre, realizó pruebas en madera de Pino del Sur impregnada y expuesta a hongos de pudrición, empleando para ello el método del bloque en el suelo. En este estudio utilizaron entre otros preservantes, ACQ-D, a una retención de $1,3 \text{ kg/m}^3$, con el cual obtuvieron para *Postia* sp una pérdida de peso promedio de 1,4%. En el presente trabajo las muestras expuestas a *Postia* sp con la menor retención en estudio presentaron pérdidas de peso promedio de 2%. Las diferencias entre ambos resultados fueron mínimas, y se atribuyeron principalmente, tanto a la especie, como a la cepa de hongo. No obstante, los resultados de ambos estudios coincidieron en presentar pérdidas de peso inferiores al 5% en probetas impregnadas con ACQ-D.

Las probetas impregnadas a una retención de $9,6 \text{ kg/m}^3$ fueron las que presentaron menores pérdidas de peso, no superando el 0,9% en promedio, seguidas por las retenciones de $6,4$ y $4,0 \text{ kg/m}^3$, con pérdidas de peso promedio no superiores a 3,1% y 7,5%, respectivamente. Esto muestra claramente que al aplicar una mayor retención la efectividad del ACQ-D aumenta, disminuyendo las pérdidas de peso. Por otra parte, para la exposición frente a HPC, es recomendable aplicar retenciones superiores a $4,0 \text{ kg/m}^3$ para lograr una mayor efectividad.

En la Figura 8 se muestra la comparación de fotografías de las probetas antes y después de ser atacadas con HPC. Se puede observar claramente el deterioro y deformaciones provocadas por el hongo en la probeta testigo (B), no así en la probeta impregnada (D), la cual no presentó mayores daños.

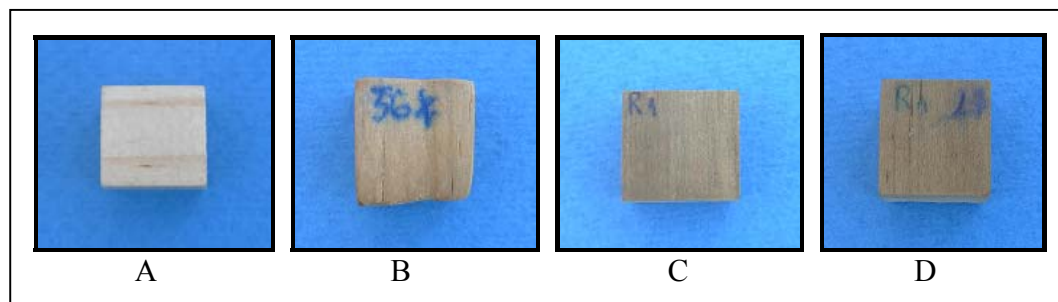


Figura 8. Probetas antes y después del ataque con HPC

Fotos de las probetas donde:

A: Probeta testigo sin ensayar

B: Probeta testigo atacada con HPB

C: Probeta con retención de $4,0 \text{ kg/m}^3$ sin ensayar

D: Probeta con retención de $4,0 \text{ kg/m}^3$ atacada con HPB

3.2 Tratamiento con termitas

Del análisis ANDEVA se desprendió que la retención del impregnante tiene incidencia estadísticamente significativa en la variable respuesta, grado de ataque en probetas de pino atacadas con *Reticulitermes flavipes*, con un error del 1%, como se puede observar en el cuadro 33 (ver Apéndice 5)

Al analizar los resultados de la prueba de Scheffe, se encontró que existen diferencias entre las medias del factor retención, como se indica en el Cuadro 36 (ver Apéndice 5), a excepción de las muestras con retenciones de 4,0 kg/m³ y 6,4 kg/m³, las que como se puede observar en los Cuadros 25 y 26 (ver Apéndice 3), no presentaron diferencias en el grado de ataque.

Durán (2005) en su estudio de la efectividad de tres tratamientos de control frente al ataque de termitas subterráneas *Reticulitermes* spp, utilizó tres retenciones del preservante CCA, 3,5 kg/m³, 6,0 kg/m³ y 9,6 kg/m³, obteniendo para las muestras un grado de ataque promedio de 2, 2 y 1 respectivamente, valores similares a los obtenidos en el presente estudio, demostrándose que al utilizar una mayor retención de preservante en madera de pino, el grado de ataque de termitas subterráneas disminuye.

No hay diferencias en el grado de ataque obtenido en la madera de Pino impregnada a una retención de 4,0 y 6,4 kg/m³, lo cual se atribuye a que el examen visual indicado en la NCh 3060, presenta un rango muy amplio en cuanto a evaluación.

En la Figura 9 se muestra el grado de ataque en probetas impregnadas a diferentes retenciones de ACQ-D en las tres repeticiones.

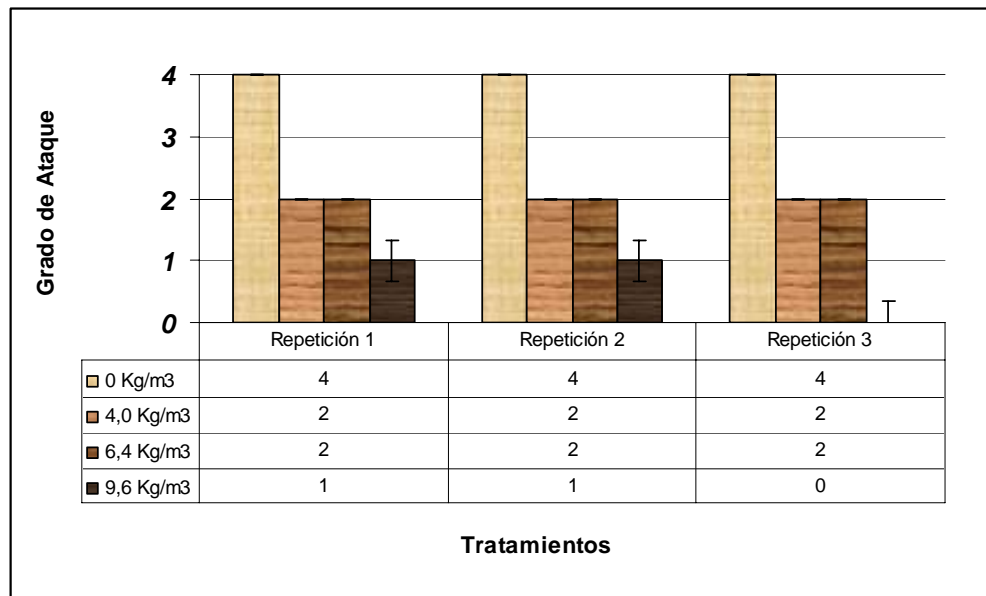


Figura 9. Grado de ataque de *R. flavipes* a diferentes retenciones de ACQ-D

La madera de Pino impregnada con ACQ-D presentó grados de ataque sustancialmente inferiores a los de la madera sin impregnar, lográndose según lo indicado en la NCh 3060 (ver Cuadro 6), ataque ligero en las probetas con retenciones de 4,0 kg/m³ y 6,4 kg/m³, tentativa de ataque en probetas impregnadas con 9,6 kg/m³ y ataque fuerte en la madera sin impregnar.

Se demostró en este estudio que la madera de *Pinus radiata* sin impregnar según lo indicado en la NCh 3060 es fuertemente atacada por *Reticulitermes flavipes*.

En el Apéndice 8 se muestran fotografías de probetas, donde se observa el ataque causado y los canales de perforación realizados por las termitas. Así también, en el Apéndice 9 se muestran las probetas testigo e impregnadas empleadas en el presente trabajo, pudiéndose comprobar los resultados obtenidos a través del análisis visual de estas, ya que sobre las figuras se ha superpuesto una escala milimetrada que permite medir el daño ocasionado.

El ensayo realizado en el presente estudio de determinación de la eficacia contra termitas subterráneas, según la norma chilena NCh 3060, debió cumplir dos condiciones para su validez. La primera condición indica que las tres repeticiones de probetas testigo (con retención 0 kg/m³) deben presentar ataque fuerte, y la segunda condición, que el porcentaje de las termitas sobrevivientes en las probetas testigo una vez finalizado el ensayo, debe ser superior al 50%. Ambas condiciones de validez del ensayo se pueden verificar observando el Cuadro 24 (ver Apéndice 3) y Cuadro 28 (ver Apéndice 4), respectivamente.

La Figura 10 muestra la supervivencia de los diferentes tipos de termitas al término del ensayo, en probetas testigo e impregnadas. Se puede observar que el mayor número de sobrevivientes se encuentra en las probetas testigo. El detalle de supervivencia de cada repetición se puede observar en el Apéndice 4.

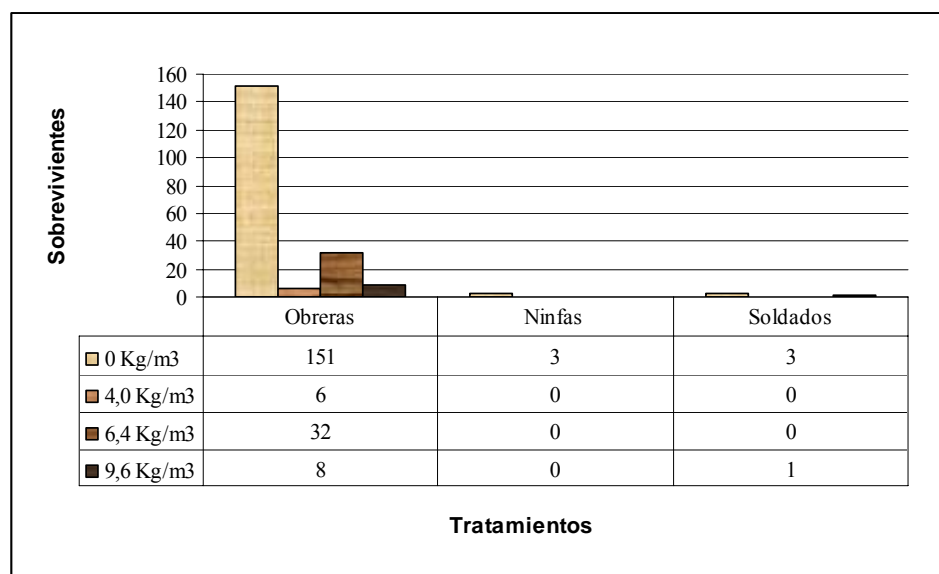


Figura 10. Supervivencia de *R. flavipes* al término del ensayo.

5. CONCLUSIONES

En madera de *Pinus radiata* D. Don, la utilización de ACQ-D en las tres retenciones ensayadas, disminuye el ataque tanto de agentes lignívoros (hongos), como xilófagos (termitas), en comparación con la madera no impregnada.

La pérdida de peso y el grado de ataque sobre las probetas expuestas a la acción de las diferentes cepas de hongos de pudrición y termitas subterráneas muestran diferencias estadísticamente significativas frente a la retención de preservante.

Para todas las retenciones en estudio, la madera de *Pinus radiata* D. Don impregnada, no presenta daños ni deformaciones físicas visibles al ser expuestas a HPB y HPC, a diferencia de lo observado en las probetas sin impregnar, que muestran signos visibles de deterioro por hongos de pudrición.

Las pérdidas de peso promedio ocasionadas por los hongos de pudrición, en madera de *Pinus radiata* impregnada a 4,0, 6,4 y 9,6 kg/m³ de ACQ-D, son de 0,5% con HPB y 1,7% con HPC.

ACQ-D muestra ser efectivo contra las termitas subterráneas, al ser aplicado en madera de *Pinus radiata*, y su eficacia aumenta a mayores niveles de retención.

De las tres retenciones probadas, la que resulta más eficaz contra *Reticulitermes flavipes* Kollar fue 9,6 kg/m³. No obstante, la eficacia de éste preservante en madera de *Pinus radiata*, de acuerdo a la NCh 3060, se encuentra entre 6,4 y 9,6 kg/m³ de ACQ-D.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ANASAC. 2008. Boletín Técnico del Área Pest Control de Anasac: Edición N° 18 [En línea] <www.anasac.cl> [Consulta: marzo 2008]
- Bobadilla, E.; Pereyra, O.; Silva, F.; Stehr A. Suirezs T y Weber E. 2006. Durabilidad de la madera del *Pinus taeda* L. impregnado con arseniato de cobre cromatado, frente a hongos xilófagos. [En línea] <<<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/viewFile/7835/5529>>> [Consulta: 20 septiembre 2009]
- Canavos, G. 1988. Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos. México, McGraw-Hill. 651p.
- Carvalho, V. y Pérez, V. 1991. Manual de Construcción en Madera, 2° Edición, Instituto Forestal – Corporación de Fomento de la Producción, Santiago, Chile. 626 p.
- Durán, H. 2005. Efectividad de tres tratamientos de control frente al ataque de termitas subterráneas (*Reticulitermes* sp). Memoria de título Ingeniería Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.
- EPA. 2008. Cobre cromo arsénico (CCA): Cobre alcalino cuaternario (ACQ) una alternativa al CCA. [En línea] <www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/acq.htm> [Consulta: 15 diciembre 2007]
- Highley, T. 1999. Biodeterioration of Wood. Forest Products Laboratory. Wood handbook - Wood as an engineering material. Department of Agriculture, Forest Service. Madison, WI. 463 p
- Hunt, G. y Garratt, G. 1965. Preservación de la Madera. Salvat Editores, S.A. Barcelona, Madrid. 486p
- Illman, B.; Yang, V. y Ferge, L. 2000. Bioprocessing Preservative-Treated Waste Wood. USDA Forest Service, USA, 14-19 mayo 2000. [En línea] <www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2000/illma00a.pdf> [Consulta: 15 agosto 2009].
- INFOR, 2008. Anuario Forestal 2008. Boletín estadístico 121. Santiago, Chile.
- INFOR, 2009. Tratamiento de preservación por doble vacío, una alternativa para la madera de pino utilizada en la construcción. [En línea] <www.infor.cl/doble_vacio/antecedentes.htm> [Consulta: 15 agosto 2009].
- Lebow, S. y Tippie, M. 2001. Guide for minimizing the effect of preservative treated wood on sensitive environments. Madison, WI: U.S. United Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 18 p.

- Montes, P.; Peredo, H.; Lanfranco, D.; Ide, S. y Dolz, H. 2001. Una Revisión de los Productos Alternativos al Pentaclorofenol y Bromuro de Metilo utilizados en el Sector Forestal. Revista Bosque. Santiago. Chile. 9p.
- NORMA ASTM, Designation D 2017- 81, 1994. Standard Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods
- NORMA AWPA, Standard E10-01, 2004. Método del Bloque en el Suelo (Test Soil Block)
- NORMA CHILENA NCh 789/1, 1987. Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural.
- NORMA CHILENA NCh 819, 2003. Madera Preservada-Pino Radiata- Clasificación según uso y riesgo en servicio y muestreo.
- NORMA CHILENA NCh 3060, 2007. Preservantes de la madera - Determinación de la eficacia contra termitas subterráneas.
- Ostle, B. 1965. Estadística aplicada: Técnicas de la estadística moderna, cuando y donde aplicarlas. Editorial Limusa, México. 629p.
- Peraza, F. 2001. Protección Preventiva de la Madera. Capítulo 1 (anexos), p. 289-292, 357, 361.
- Ripa, R y Luppichini, P. Termitas de importancia económica en Chile. Tierra Adentro 59: 42-51, noviembre-diciembre 2004.
- Romero, E., Serrano, R., Orbe, J., Gonzalez, R. y Cornejos, J., (1988). Junta del Acuerdo de Cartagena, Manual del Grupo Andino para Preservación de Madera
- Ruiz, J. 2004. Determinación de Factores Ambientales para el Crecimiento de dos Hongos (*Lentinus edodes* y *Stereum hirsutum*) y su Acción Biodegradante sobre la Madera de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*. Memoria de título Ingeniería Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.
- SERVICIO AGRICOLA Y GANADERO (SAG), 1996. Consideraciones generales sobre la biología y control de termitas subterráneas (Isoptera: RHINOTERMITIDAE). Minuta del Departamento de Protección Agrícola, Subdepartamento Defensa Agrícola, 3p, febrero.
- Steenkjaer, Anne; Green, Frederick; Clausen, Carol y Jensen, Bo. 2005. Tolerance of *Serpula lacrymans* to copper-based wood preservatives por. USDA Forest Service, USA, 30 junio 2005. [En línea] <www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2005/fpl_2005_hastrup002.pdf> [Consulta: 15 agosto 2009]
- Vásquez S. Camila. Termitas subterráneas: Ataque silencioso. Lignum 86: 18-21, abril 2006.

ANEXO 1

Antecedentes del *Pinus radiata*

Cuadro 7. Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural.

Categoría	Tiempo de duración
Muy durables	> a 20 años
Durables	> a 15 años
Moderadamente durables	> a 10 años
Poco durables	> a 5 años
No durables	< a 5 años

Fuente: NCh 789/1, 1987.

Cuadro 8. Clasificación de madera sometida a la acción de hongos de pudrición.

CATEGORÍA	MADERA	
	Nombre Común	Nombre Científico
1. Muy durables	Roble	<i>Nothofagus oblicua</i> (MIRB) BL
	Cipres de las guaitecas	<i>Pilgerodendron uvifera</i> (D. DON)
	Alerce	<i>Fitzroya cupressoides</i> (MOL) JOHNSTON
	Raulí	<i>Nothofagus alpina</i> (POEPP ET ENDL) OERST
2. Durables	Lenga	<i>Nothofagus pumilio</i> (POEPP ET ENDL) KRASSER
	Lingue	<i>Persea lingue</i> (NEES)
	Canelo	<i>Drimys winteri</i> FORST
3. Moderadamente durables	Coigüe	<i>Nothofagus dombeyi</i> (MIRB) BL
	Tineo	<i>Weinmannia trichosperma</i> CAV.
	Ulmo	<i>Eucryphia cordifolia</i> CAV.
	Araucaria	<i>Araucaria araucana</i> (MOL.) c. KOCHR.
	Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i> LABILL
4. Poco durables	Laurel	<i>Laurelia sempervirens</i> (R. PAV) TUL
	Maño hembra	<i>Saxegothaea conspicua</i> LINDL.
	Maño macho	<i>Podocarpus nubigenus</i> LIND.
	Alamo	<i>Populus alba</i> , <i>Populus nigra</i> L. <i>Populus tremeloides</i> L.
5. No durables	Olivillo	<i>Aextoxicon punctatum</i> (R. ET PAVON)
	Pino Insigne	<i>Pinus radiata</i> D. DON
	Tepa	<i>Laurelia philippiana</i> LOOSER

Fuente: NCh 789/1, 1987.

Cuadro 9. Clasificación de madera de *Pinus radiata* según uso y riesgo en servicio

Clasificación	Uso/Agentes De Deteriorización
Riesgo 1 (R1)	Maderas usadas en interiores, ambientes secos, con riesgo de ataque de insectos solamente, incluida la termita subterránea.
Riesgo 2 (R2)	Maderas usadas en interiores, con posibilidad de adquirir humedad, ambientes mal ventilados. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Riesgo 3 (R3)	Maderas usadas en exteriores, sin contacto con el suelo, expuesta a las condiciones climáticas. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Riesgo 4 (R4)	Maderas enterradas o apoyadas en el terreno, con posibilidades de contacto esporádico con agua dulce. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Riesgo 5 (R5)	Maderas enterradas en el suelo, componentes estructurales críticos, en contacto con aguas dulces. Riesgo de ataque de hongos e insectos.
Riesgo 6 (R6)	Maderas expuestas a la acción de aguas marinas y para torres de enfriamientos. Riesgo de ataque de horadores marinos.

Fuente: NCh 819,2003.

Cuadro 10. Costo de impregnación y secado de madera de *Pinus radiata*

Costo (US\$/m3)				
Preservante	Madera	Preservación	Secado	Total
CCA	120	10,7	30	160,7
ACQ	120	40	30	190
CBA	120	40	30	190

Fuente: INFOR, 2009.

Cuadro 11. Clasificación por resistencia de la madera según pérdida de peso

Pérdida de Peso	Categoría de Resistencia
Inferior al 10%	Altamente Resistente
11% al 24%	Resistente
25% al 44%	Moderadamente Resistente
Superior a 45%	No Resistente

Fuente: Norma ASTM-D 2017, (1994)

ANEXO 2

Antecedentes de ACQ

Cuadro 12. Retención mínima de ingrediente activo del preservante- por ensayo

Riesgo	CCA (Kg/m ³)	Boro (SBX) (Kg/m ³)	CPF (Kg/m ³)	CA-B (Kg/m ³)	ACQ (Kg/m ³)
1	4,0	4,4	0,5	1,7	4,0
2	4,0	4,4	No recomendable	1,7	4,0
3	4,0	No recomendable	No recomendable	1,7	4,0
4	6,4	No recomendable	No recomendable	3,3	6,4
5	9,6	No recomendable	No recomendable	5,0	9,6
6 a) Zona de ensayo exterior	24 o 40	No recomendable	No recomendable	No recomendable	No recomendable
Zona de ensayo interior	14 o 24	No recomendable	No recomendable	No recomendable	No recomendable

a) la retención mayor se debe usar cuando existe riesgo de ataque de Tereido y Limnoria Tripunctata

Fuente: NCh 819,2003.

Cuadro 13. Descripción de los preservantes y sistemas de aplicación

Descripción	Tipo de preservante	Norma	Sistema de aplicación
Oxidos de Cobre, Cromo y Arsénico	CCA	NCh 790	Vacio-presión
Boro expresado como Oxidos de Boro	B ₂ O ₃ (SBX)	AWPA P5 (9)	Vacio-presión/Difusión
Clorpirifos	CPF	AWPA P8 11)	Vacio-presión/Inmersión/Vacio-vacio
Cobre-Alcalino cuaternario	ACQ	AWPA P5 (14)	Vacio-presión
Cobre-Azol Tipo B	CA-B	AWPA P5 (18)	Vacio-presión

Fuente: NCh 819,2003.

ANEXO 3

Estudios realizados con ACQ

Cuadro 14. Pérdidas de peso para madera de Pino del sur tratada con ACQ-D y CCA

Fungus	Untreated	ACQ	CCA
<i>Meruliporia incrassata</i> (TFFH-294)	62.2 ± 2.9	9.7 ± 5.7	36.8 ± 2.7
<i>Antrrodia radiculosa</i> (MJL-630)	32.6 ± 4.8	6.7 ± 6.8	26.6 ± 2.9
<i>Meruliporia incrassata</i> (Mad-563)	62.5 ± 2.5	3.5 ± 0.1	23.7 ± 7.0
<i>Antrrodia radiculosa</i> (FP-90848)	39.5 ± 4.1	29.9 ± 14.3	20.1 ± 7.7
<i>Antrrodia radiculosa</i> (FP-103272-sp)	24.6 ± 6.0	0.7 ± 0.1	6.5 ± 4.7
<i>Antrrodia radiculosa</i> (FP-105309-R)	27.2 ± 3.0	4.4 ± 4.0	2.3 ± 0.8
<i>Antrrodia radiculosa</i> (L-11659-sp)	23.1 ± 2.7	0.8 ± 0.3	1.3 ± 1.3
<i>Phanerochaete omnivorum</i> (KKN-112)	6.0 ± 1.1	1.3 ± 0.4	1.1 ± 0.3
<i>Gloeophyllum subferrugineum</i> (FRI-88(a)c)	24.8 ± 0.6	1.6 ± 0.2	0.6 ± 0.4
<i>Gloeophyllum trabeum</i> (Boat-228)	33.7 ± 1.7	1.4 ± 0.3	0.6 ± 1.9
<i>Antrrodia xantha</i> (Boat-173)	33.8 ± 6.5	2.0 ± 0.8	0.4 ± 0.1
<i>Antrrodia xantha</i> (ME-268)	48.6 ± 6.6	2.1 ± 0.5	0.4 ± 0.1
<i>Pycnoporus sanguineus</i> (RLG-10851)	16.5 ± 2.1	1.0 ± 0.1	0.4 ± 0.1
<i>Phanerochaete omnivorum</i> (HHB-5969-sp)	5.6 ± 4.3	1.7 ± 0.2	0.2 ± 0.4
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> (F43G)	1.3 ± 1.1	1.2 ± 0.2	0.2 ± 0.1
<i>Antrrodia xantha</i> (ACC-111)	29.6 ± 3.1	1.3 ± 0.6	0.1 ± 0.1
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> (055B)	0.5 ± 0.2	1.3 ± 0.1	0.1 ± 0.1
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> (F66C)	0.5 ± 0.2	1.1 ± 0.4	0.0 ± 0.2
<i>Antrrodia xantha</i> (ACC-109)	23.8 ± 1.8	0.9 ± 0.3	-0.1 ± 0.1
<i>Sistrotrema brinkmannii</i> (HHB-10096-sp)	0.2 ± 0.1	1.1 ± 0.4	-0.1 ± 0.1
<i>Diplomitoporus lindbladii</i> (FP-134600)	19.7 ± 1.3	2.7 ± 0.9	-0.2 ± 0.3
<i>Phanerochaete sordida</i> (FP-101975)	18.7 ± 1.0	1.6 ± 0.6	-0.2 ± 0.1
<i>Sistrotrema</i> sp. (ME-681)	0.3 ± 0.6	1.3 ± 0.4	-0.2 ± 0.1
<i>Antrrodia xantha</i> (FP-100046-R)	20.7 ± 2.2	2.2 ± 0.4	-0.3 ± 0.0
<i>Antrrodia xantha</i> (ME-550)	31.0 ± 2.0	1.0 ± 0.4	-0.3 ± 0.0
<i>Phlebia concentrica</i> (L-10540-sp)	9.4 ± 1.0	1.2 ± 0.2	-0.3 ± 0.0
<i>Schizophyllum commune</i> (TJV-93-5)	0.2 ± 0.3	1.1 ± 0.4	-0.3 ± 0.0
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> (F65F)	0.2 ± 0.1	1.3 ± 0.3	-0.3 ± 0.4
<i>Ceriporia spissa</i> (FP-133233)	0.1 ± 0.3	0.9 ± 0.2	-0.4 ± 0.1
<i>Diplomitoporus lindbladii</i> (FP-105349)	4.5 ± 5.2	1.0 ± 0.4	-0.4 ± 0.4
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> (P6G)	0.1 ± 0.3	1.4 ± 0.2	-0.4 ± 0.5
<i>Peniophora pseudopini</i> (HHB-11655-sp)	0.8 ± 0.9	1.0 ± 0.4	-0.6 ± 0.4
<i>Polyporus</i> sp. (FP-134933)	3.7 ± 2.1	0.7 ± 0.3	-0.6 ± 0.4
<i>Gloeophyllum subferrugineum</i> (FRI-417/R)	8.9 ± 1.5	1.4 ± 0.1	-0.7 ± 0.3
<i>Neolentinus lepideus</i> (HHB-13625-sp)	38.8 ± 5.3	1.4 ± 0.3	-0.7 ± 0.4
<i>Gymnopylus</i> sp. (HHB-14860-T)	4.8 ± 0.9	1.4 ± 0.8	-0.7 ± 0.6

* Standard Method of Testing Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures, ASTM D-1413-76

Fuente: Illman *et al.*, (2000).

Cuadro 15. Pérdidas de peso para madera de Pino del sur tratada con ACQ-D y CCA

Decay capacity of 17 brown-rot fungal isolates after 10 weeks growth on untreated and copper citrate, alkaline copper quat-type D (ACQ-D), and NN-naphthaloylhydroxylamine (NHA) treated southern pine				
Fungal isolate	Mean weight loss (%)			
	Treated			Untreated
	Copper citrate	ACQ-D	NHA	Control
<i>S. lacrymans</i>				
SI 221	46.7±5.3	1.6±1.9	7.8±6.5	46.2±5.2
Bb 29	38.3±5.8	2.5±1.9	6.1±3.0	31.5±13.7
ATCC 11485	33.1±10.8	2.5±1.4	8.1±1.4	38.1±7.1
SI219	32.9±18.7	0.4±2.8	5.2±0.6	53.1±6.9
SI216	32.3±14.0	0.4±0.4	24.7±12.4	44.6±12.5
SI202	31.6±3.2	4.8±6.7	12.3±11.2	44.0±10.6
SI200	29.0±11.5	1.2±0.4	3.2±0.7	31.4±9.2
SI217	29.0±9.9	0.8±0.6	20.0±6.2	42.2±5.5
SI207	29.0±7.9	5.3±9.6	5.8±4.5	33.1±8.6
SI 199	27.7±6.5	1.2±0.4	4.3±4.8	27.5±4.2
SI 209	27.4±11.6	0.5±0.9	8.0±6.2	38.7±5.8
Bam Ebers 315	9.8±6.5	2.9±1.0	5.2±1.7	45.0±9.0
<i>S. himantoides</i>				
Sh100	45.9±10.5	18.7±4.7	18.8±14.0	47.7±3.8
ATCC 36335	28.4±15.3	0.2±0.4	21.3±12.6	38.7±4.5
<i>P. placenta</i>				
Mad 698	57.0±11.5	1.8±0.4	3.7±2.5	68.5±1.9
<i>T. palustris (Fomitopsis palustris)</i>				
TYP 6137	39.6±9.4	19.7±12.3	44.3±4.8	48.2±6.4
<i>G. trabeum</i>				
Mad 617	4.8±7.2	0.1±0.1	8.8±3.7	59.4±8.0

Fuente: Steenkjaer *et al*, (2005).

ÁPENDICE 1

Resultados de pérdida de peso de tratamientos con hongos de pudrición blanca

Cuadro 16. Pérdida de peso (%) de madera sin retención (testigo)

Repetición	<i>Peniophora sp</i>	<i>Pleurotus sp</i>	<i>Trametes sp</i>
1	4,20	17,70	35,64
2	5,26	14,41	0,85
3	3,97	9,09	1,48
4	3,45	5,69	0,00
Promedio	4,22	11,72	9,49
Desv. Est.	0,76	5,36	17,44

Cuadro 17. Pérdida de peso (%) de madera con retención de 4 Kg/m³

Repetición	<i>Peniophora sp</i>	<i>Pleurotus sp</i>	<i>Trametes sp</i>
1	2,13	0,83	0,00
2	2,27	0,85	0,82
3	0,72	1,64	0,78
4	0,00	0,00	0,00
Promedio	1,28	0,83	0,40
Desv. Est.	1,10	0,67	0,46

Cuadro 18. Pérdida de peso (%) de madera con retención de 6,4 Kg/m³

Repetición	<i>Peniophora sp</i>	<i>Pleurotus sp</i>	<i>Trametes sp</i>
1	1,6	0,0	0,7
2	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,9	0,8
4	0,0	1,7	0,0
Promedio	0,4	0,6	0,4
Desv. Est.	0,8	0,8	0,4

Cuadro 19. Pérdida de peso (%) de madera con retención de 9,6 Kg/m³

Repetición	<i>Peniophora sp</i>	<i>Pleurotus sp</i>	<i>Trametes sp</i>
1	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0
3	0,8	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0
Promedio	0,2	0,0	0,0
Desv. Est.	0,4	0,0	0,0

ÁPENDICE 2

Resultados de pérdida de peso de tratamientos con hongos de pudrición café

Cuadro 20. Pérdida de peso (%) de madera sin retención (testigo)

Repetición	<i>Poria sp</i>	<i>Postia sp</i>	<i>Lentinus sp</i>
1	31,68	37,78	11,57
2	8,13	22,94	6,20
3	40,66	33,00	5,84
4	60,71	47,06	5,38
Promedio	35,30	35,19	7,25
Desv. Est.	21,80	10,04	2,90

Cuadro 21. Pérdida de peso (%) de madera con retención de 4 Kg/m³

Repetición	<i>Poria sp</i>	<i>Postia sp</i>	<i>Lentinus sp</i>
1	0,00	5,83	0,00
2	11,86	0,00	0,00
3	0,00	2,33	0,85
4	18,18	0,00	0,76
Promedio	7,51	2,04	0,40
Desv. Est.	9,05	2,76	0,46

Cuadro 22. Pérdida de peso (%) de madera con retención de 6,4 Kg/m³

Repetición	<i>Poria sp</i>	<i>Postia sp</i>	<i>Lentinus sp</i>
1	1,54	0,00	0,00
2	0,00	1,77	0,00
3	11,02	0,00	0,71
4	0,00	0,82	0,79
Promedio	3,14	0,65	0,38
Desv. Est.	5,30	0,84	0,44

Cuadro 23. Pérdida de peso (%) de madera con retención de 9,6 Kg/m³

Repetición	<i>Poria sp</i>	<i>Postia sp</i>	<i>Lentinus sp</i>
1	0,84	0,00	0,00
2	1,83	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00
4	0,92	0,00	0,00
Promedio	0,90	0,00	0,00
Desv. Est.	0,75	0,00	0,00

ÁPENDICE 3

Resultados de grado de ataque a tratamientos con *Reculitermes flavipes*

Cuadro 24. Análisis visual de tratamientos sin retención (testigo)

Repetición	Nivel de ataque
1	4
2	4
3	4
Promedio	4
Desviación Estándar	0,00

Cuadro 25. Análisis visual de tratamientos con retención 4 Kg/m³

Repetición	Nivel de ataque
1	2
2	2
3	2
Promedio	2
Desviación Estándar	0,00

Cuadro 26. Análisis visual de tratamientos con retención 6,4 Kg/m³

Repetición	Nivel de ataque
1	2
2	2
3	2
Promedio	2
Desviación Estándar	0,00

Cuadro 27. Análisis visual de tratamientos con retención 9,6 Kg/m³

Repetición	Nivel de ataque
1	1
2	1
3	0
Promedio	1
Desviación Estándar	0,58

ÁPENDICE 4

Resultados de supervivencia de tratamientos con *Reculitermes flavipes*

Cuadro 28. Supervivencia de termitas de tratamientos sin retención (testigo)

Repetición	Obreras	Soldados	Ninfas
1	130 (52%)	2	1
2	180 (72%)	4	4
3	144 (57,6)	2	3
Promedio	151	3	3
Desv. Est.	25,79	1,15	1,53

Cuadro 29. Supervivencia de termitas de tratamientos con retención 4 Kg/m³

Repetición	Obreras	Soldados	Ninfas
1	7	1	0
2	0	0	0
3	10	0	0
Promedio	6	0	0
Desv. Est.	5,13	0,58	0,00

Cuadro 30. Supervivencia de termitas de tratamientos con retención

Cuadro 31. 6.4 Kg/m³

Repetición	Obreras	Soldados	Ninfas
1	25	0	0
2	16	0	0
3	54	0	0
Promedio	32	0	0
Desv. Est.	19,86	0,00	0,00

Cuadro 32. Supervivencia de termitas de tratamientos con retención

Cuadro 33. 9,6 Kg/m³

Repetición	Obreras	Soldados	Ninfas
1	10	1	0
2	14	1	0
3	0	0	0
Promedio	8	1	0
Desv. Est.	7,21	0,58	0,00

ÁPENDICE 5

Análisis estadístico para los tratamientos con hongos y termitas

Tablas de Análisis de Varianza

Cuadro 34. Análisis de varianza para pérdida de peso

Análisis de la Varianza para Pérdida de Peso - Sumas de Cuadrados de Tipo III					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Hongo	0,347595	5	0,069519	6,47	0,0001
B:Retención	1,74099	3	0,580329	54,04	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,362113	15	0,0241408	2,25	0,0118
RESIDUOS	0,773155	72	0,0107383		
TOTAL (CORREGIDO)	3,22385	95			
Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.					

Cuadro 35. Análisis de varianza para grado de ataque

Análisis de la Varianza para Análisis Visual - Sumas de Cuadrados de Tipo III					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Retención	17,0	3	5,66667	68,00	0,0000
RESIDUOS	0,666667	8	0,0833333		
TOTAL (CORREGIDO)	17,6667	11			
Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.					

Tablas de Contraste Múltiple de Medias

Cuadro 36. Método Duncan para pérdida de peso según factor retención

Contraste Múltiple de Rangos para Pérdida de Peso según Retención	
Método: 99,0 porcentaje Duncan	
Contraste	Diferencias
0 - 4	*0,268219
0 - 6,4	*0,303154
0 - 9,6	*0,343296
4 - 6,4	0,0349347
4 - 9,6	0,0750772
6,4 - 9,6	0,0401425

* indica una diferencia significativa.

Cuadro 37. Método Duncan para pérdida de peso según factor hongo

Contraste Múltiple de Rangos para Pérdida de Peso según Hongo	
Método: 99,0 porcentaje Duncan	
Contraste	Diferencias
Lentinus - Peniophora	-0,000174485
Lentinus - Pleurotus	-0,0287967
Lentinus - Poria	*-0,149955
Lentinus - Postia	-0,0972701
Lentinus - Trametes	0,0157902
Peniophora - Pleurotus	-0,0286222
Peniophora - Poria	*-0,14978
Peniophora - Postia	-0,0970956
Peniophora - Trametes	0,0159647
Pleurotus - Poria	*-0,121158
Pleurotus - Postia	-0,0684734
Pleurotus - Trametes	0,0445869
Poria - Postia	0,0526848
Poria - Trametes	*0,165745
Postia - Trametes	*0,11306

* indica una diferencia significativa.

Cuadro 38. Método Scheffe para Grado de Ataque según factor retención

Contraste Múltiple de Rangos para Análisis Visual según Retención		
Método: 99,0 porcentaje Scheffe		
Contraste	Diferencias	+/- Límites
0 - 4	*2,0	1,1248
0 - 6,4	*2,0	1,1248
0 - 9,6	*3,33333	1,1248
4 - 6,4	0,0	1,1248
4 - 9,6	*1,33333	1,1248
6,4 - 9,6	*1,33333	1,1248

* indica una diferencia significativa.

Gráficos derivados del análisis estadístico

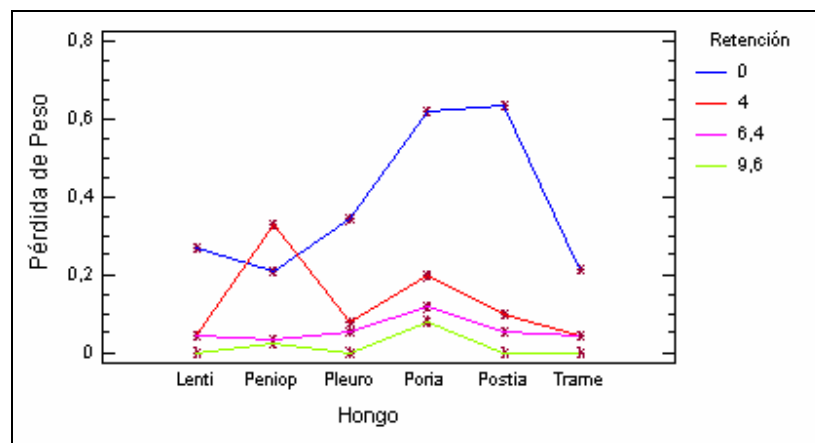


Figura 11. Gráfico de interacción para pérdida de peso según factor hongo

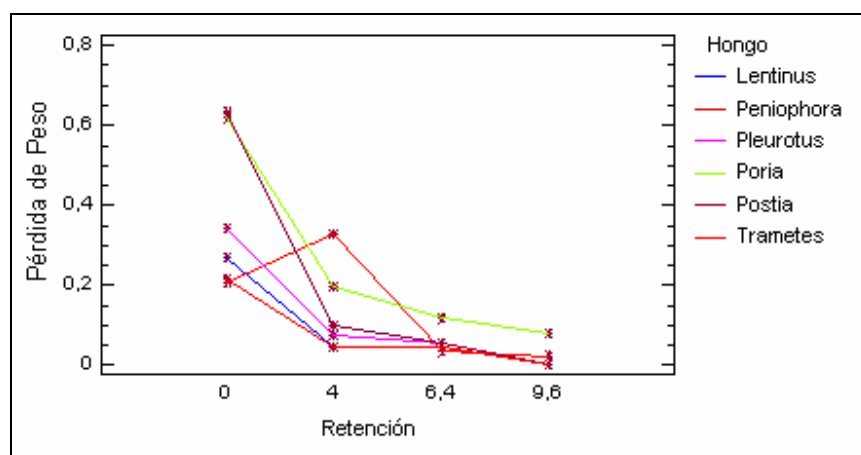


Figura 12. Gráfico de interacción para pérdida de peso según factor retención

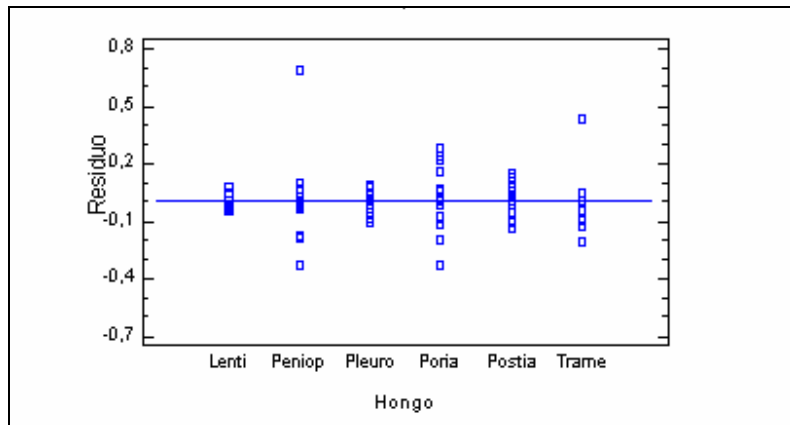


Figura 13. Gráfico de residuos para pérdida de peso según factor hongo

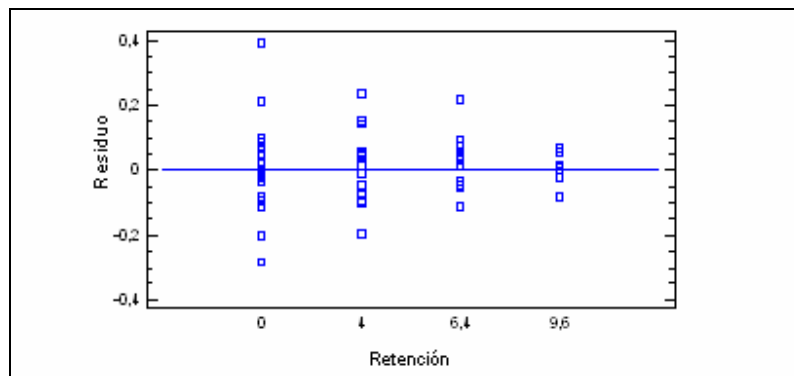


Figura 14. Gráfico de residuos para pérdida de peso según factor retención.

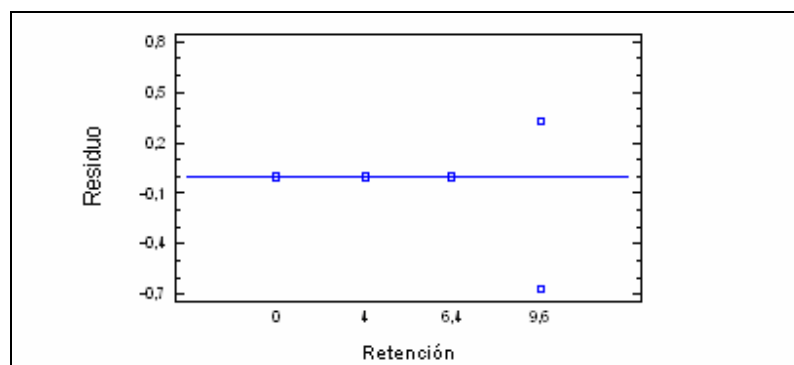


Figura 15. Gráfico de residuos para grado de ataque.

APÉNDICE 6

Fotos de probetas atacadas con hongos de pudrición blanca al término del ensayo.

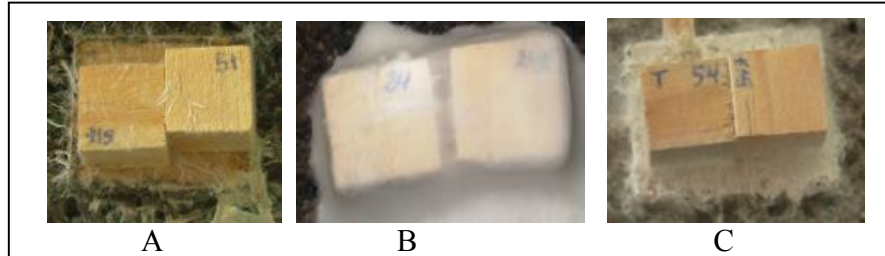


Figura 16. Probetas testigo atacadas con HPB.

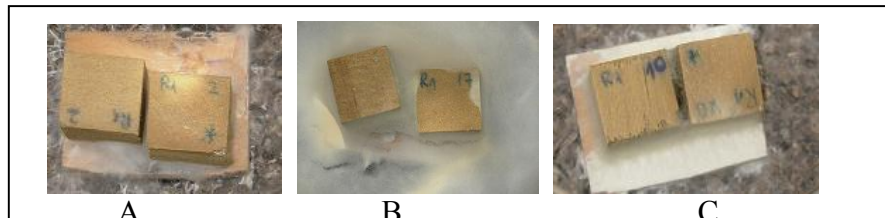


Figura 17. Probetas con retención de 4,0 Kg/m³ atacadas con HPB.

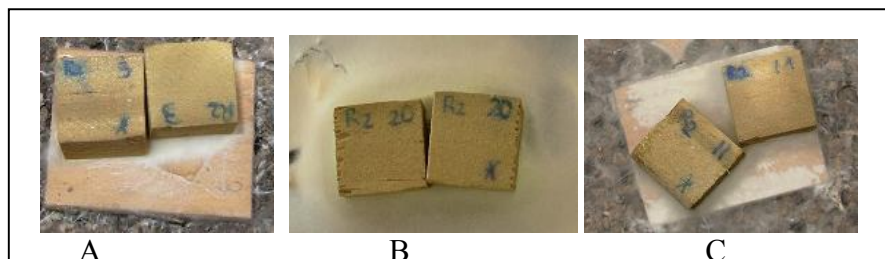


Figura 18. Probetas con retención de 6,4 Kg/m³ atacadas con HPB.

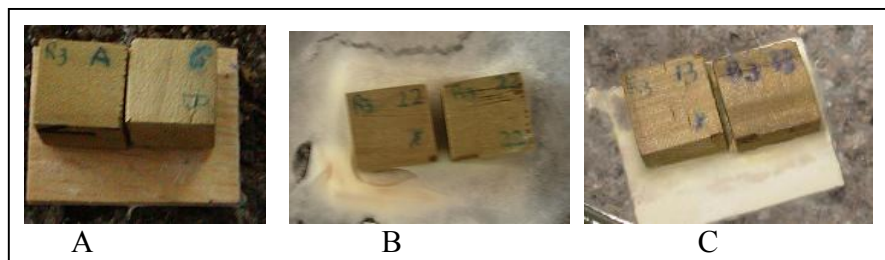


Figura 19. Probetas con retención de 9,6 Kg/m³ atacadas con HPB.

Fotos de las probetas atacadas con el hongo:

A: *Peniophora* sp

B: *Trametes* sp

C: *Pleurotus* sp

APÉNDICE 7

Fotos de probetas atacadas con hongos de pudrición café al término del ensayo.

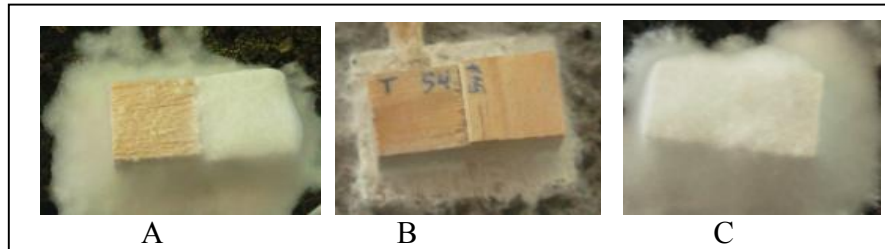


Figura 20. Probetas testigo atacadas con HPC.

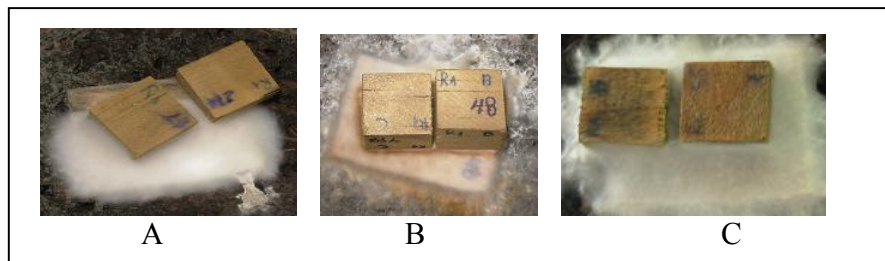


Figura 21. Probetas con retención de 4,0 Kg/m³ atacadas con HPC.

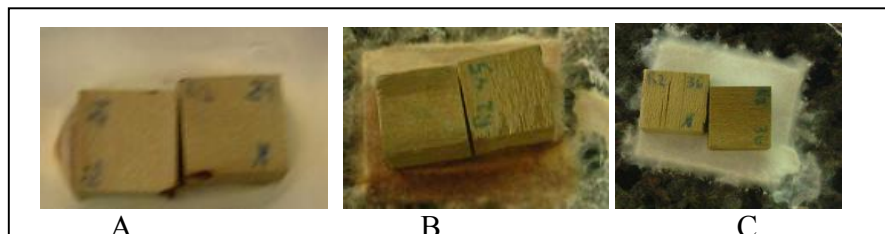


Figura 22. Probetas con retención de 6,4 Kg/m³ atacadas con HPC.

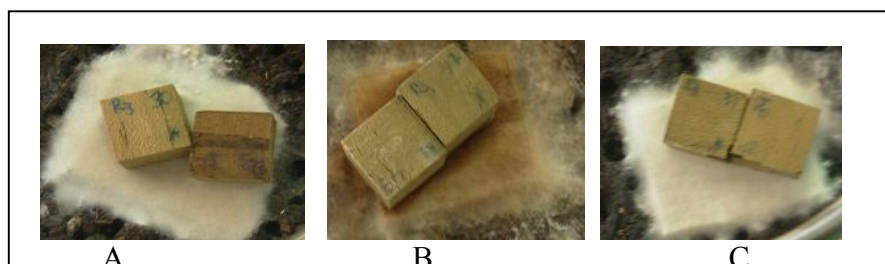


Figura 23. Probetas con retención de 9,6 Kg/m³ atacadas con HPC.

Fotos de las probetas atacadas con el hongo:

A: *Poria* sp

B: *Lentinus* sp

C: *Postia* sp

APÉNDICE 8

Fotos de probetas atacadas con termitas subterráneas el último día de ensayo.

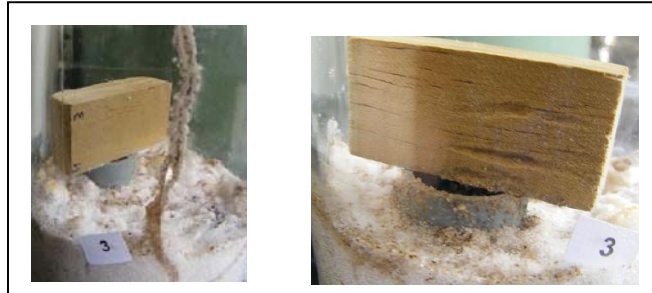


Figura 24. Probeta testigo atacada con *R. flavipes*.



Figura 25. Probeta con retención de de $4,0 \text{ Kg/m}^3$ atacada con *R. flavipes*.



Figura 26. Probeta con retención de de $6,4 \text{ Kg/m}^3$ atacada con *R. flavipes*.



Figura 27. Probeta con retención de de $9,6 \text{ Kg/m}^3$ atacada con *R. flavipes*.

APÉNDICE 9

Fotos de probetas atacadas con termitas subterráneas al término del ensayo.

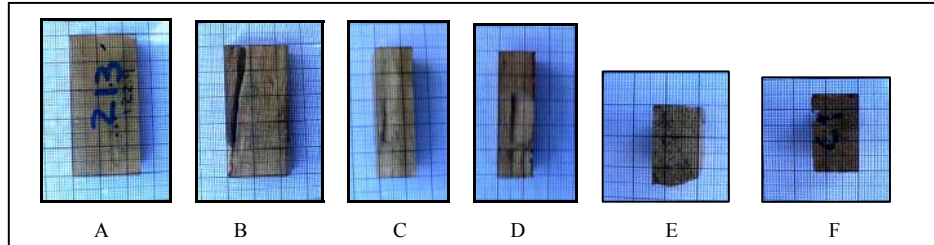


Figura 28. Probeta testigo atacada con *R. flavipes*.

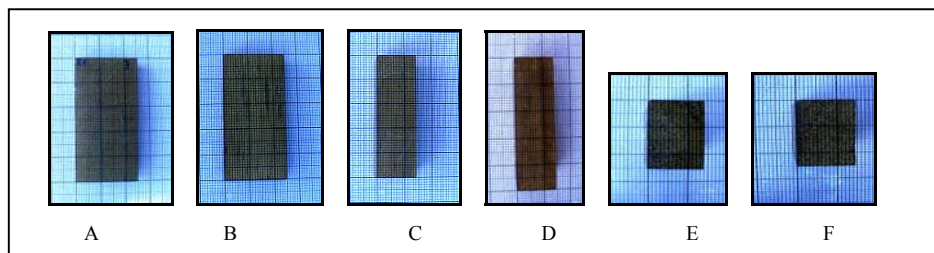


Figura 29. Probeta con retención de 4 Kg/m^3 atacada con *R. flavipes*.

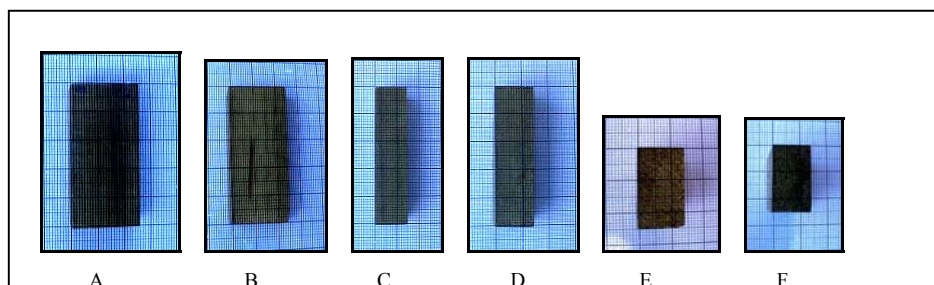


Figura 30. Probeta con retención de $6,4 \text{ Kg/m}^3$ atacada con *R. flavipes*.

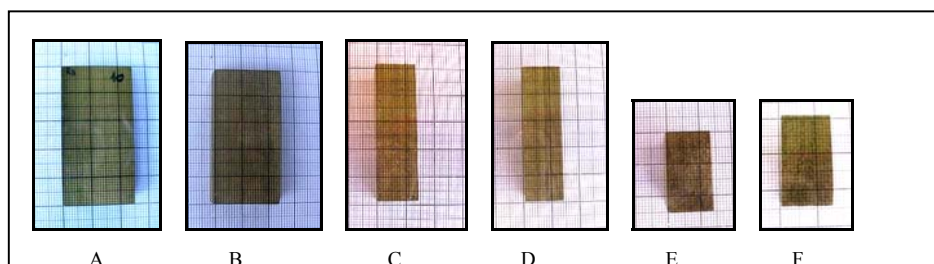


Figura 31. Probeta con retención de $9,6 \text{ Kg/m}^3$ atacada con *R. flavipes*.

Fotos de las probetas donde:

A: Cara superior

B: Cara inferior

C: Cara lateral izquierda

D: Cara lateral derecha

E: Cara lateral superior

F: Cara lateral inferior