



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACION DE LA NATURALEZA

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MADERAS Y SUS
BIOMATERIALES

COMPORTAMIENTO AL BIODETERIORO DE MADERA DE PINO
RADIATA (*Pinus radiata* D.Don) TRATADO CON COBRE-AZOL
(CA-B), CONTRA HONGOS DE PUDRICIÓN Y TERMITA
SUBTERRÁNEA

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

ÁLVARO FELIPE RAMÍREZ FARFÁN

Prof. Guía: Sra. Rose Marie Garay Moena.
Ing. Forestal. Magíster en Ciencias e Industrias Forestales

Santiago, Chile
2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MADERAS Y SUS
BIOMATERIALES

COMPORTAMIENTO AL BIODETERIORO DE MADERA DE PINO
RADIATA (*Pinus radiata* D.Don) TRATADO CON COBRE-AZOL
(CA-B), CONTRA HONGOS DE PUDRICIÓN Y TERMITA
SUBTERRÁNEA

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

ÁLVARO FELIPE RAMÍREZ FARFÁN

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sra. Rose Marie Garay Moena.	7,0
Prof. Consejero Sr. Alejandro Miguel Bozo González, Ph.D.	6,2
Prof. Consejero Sr. Ricardo Antonio Silva Soto.	6,9

A mis padres y hermana.
Álvaro Ramírez, Gabriela Farfán y Denise Ramírez.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a mi esposa Carolina e hijos; Álvaro, Joaquín y Florencia, principal fuente de motivación y razón de vida, por su incondicional apoyo a mi progreso humano y profesional.

Deseo agradecer también de manera especial a la profesora Rose Marie Garay por la confianza y el apoyo brindado en este proceso. De la misma forma a los profesores Alejandro Bozo, Ricardo Silva y René Carmona por su colaboración y apoyo, que permitieron desarrollar adecuadamente este trabajo en la Universidad.

Al Departamento de Ingeniería en Maderas y sus Biomateriales de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile, representado en todos quienes trabajan ahí como docentes, administrativos y auxiliares.

A la Universidad de Chile, por permitir mi formación profesional y entregarme herramientas para mi vida laboral.

A Lonsa Quimetal, representada en las personas de Francisca Latorre y Andrés Ducaud, por el apoyo técnico y material para la realización del estudio.

Y a todos los amigos y colaboradores que con su apoyo, contribuyeron enormemente a que este proyecto se hiciera realidad.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS	6
2.1 Materiales.	6
2.1.1 Probetas.	6
2.1.2 Hongos	7
2.1.3 Termitas.	7
2.1.4 Preservante.	7
2.1.5 Equipos y materiales de laboratorio.	7
2.2 Método.	8
2.2.1 Obtención y acondicionamiento de los bloques.	8
2.2.2 Impregnación de los bloques.	9
2.2.3 Cálculo de retenciones.	10
2.2.4 Selección final de probetas.	11
2.2.5 Acondicionamiento de las probetas tratadas.	11
2.2.6 Implementación de estudio con hongos	11
2.2.6.1 Diseño experimental.	11
2.2.6.2 Medio de cultivo	12
2.2.6.3 Sustrato Suelo.	13
2.2.7 Implementación de estudio con termitas.	13
2.2.7.1 Diseño experimental.	13
2.2.7.2 Constitución de las colonias	14
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
3.1 Resultados	16
3.1.1 Estudio con hongos.	16
3.1.2 Estudio con termitas.	18
3.2.1 Estudio con hongos.	19
3.2.1.1 Hongo de pudrición blanca	20
3.2.1.2 Hongo de pudrición café	20
3.2.2 Estudio con termitas.	21
4 CONCLUSIONES	23
5 BIBLIOGRAFÍA	24
ANEXO 1	28
APÉNDICE 1	30
APÉNDICE 2	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Preservantes utilizados para tratamientos de pino radiata según NCh 819:2012 que cuentan con autorización de uso vigente en Chile según el Servicio Agrícola y Ganadero.....	3
Tabla 2. Retención mínima de preservante (I.A.) según nivel de riesgo de deterioro de la madera de baja durabilidad, para el preservante CCA y A-B.....	4
Tabla 3. Retenciones para CA-B, exigidas por AWWPA Standard, (P5-32, 2017) y la Australian Standard®, (AS 1604.1-2012), para las categorías de riesgo R1-R5.....	4
Tabla 4. Pérdida de masa por efecto del ataque del hongo de pudrición blanca <i>Coriolus versicolor</i> en probetas de pino radiata (<i>Pinus Radiata</i> D.Don) tratadas con preservante CA-B.....	15
Tabla 5. Pérdida de masa por efecto del ataque del hongo de pudrición café <i>Lentinus lipideus</i> en probetas de pino radiata (<i>Pinus radiata</i> D.Don) tratadas con preservante CA-B.....	16
Tabla 6. Grado de ataque de termitas <i>Reticulermes flavipes</i> , basado en Norma Chilena NCh 3060. Of2007, a probetas de pino radiata (<i>Pinus Radiata</i> D.Don), tratadas con preservante CA-B.....	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Probeta para tratamiento con hongos	6
Figura 2. Probeta para tratamiento con termitas	7
Figura 3. Preparación de soluciones y disposición de probetas para impregnación	9
Figura 4. Preparación del medio de cultivo	12
Figura 5. Disposición de probetas en frascos de ensayos con termitas	14
Figura 6. Probetas control e impregnadas con CA-B después del ataque de <i>Lentinus lipideus</i>	16
Figura 7. Probetas control e impregnadas con CA-B después del ataque de termita subterránea <i>Reticulermes flavipes</i>	18

RESUMEN

La madera de pino radiata, principal recurso maderero del país, es de baja durabilidad. Hongos e insectos, entre otros factores de su deterioro, son usualmente los más relevantes. Del grupo de los insectos, en particular la termita subterránea “*Reticulitermes flavipes*”, representa hoy la mayor preocupación, por su agresividad y avance permanente en áreas pobladas del país.

El arseniato de cobre cromado (CCA) fue, por décadas, el preservante más utilizado en todo el mundo para proteger la madera, sin embargo, preocupaciones medioambientales, hace más de diez años, dieron paso a un cambio hacia otros productos. El uso de cobreazoles (CA) y en particular el de tipo B, junto con cobreazol micronizado, han sido los cambios más importantes desde entonces a nivel mundial. Su incorporación al mercado local, sin embargo, ha sido muy lenta, básicamente por costo y por no existir un marco legal que regule el uso de madera tratada con CCA.

Sobre la base de los requisitos exigidos por la Australian Standard®, AS 1604.1-2012, para madera tratada con CA-B, el objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento de madera de Pino radiata tratada con CA-B, a retenciones menores a las exigidas por la Norma Chilena, frente al ataque de hongos de pudrición y termita subterránea.

Los métodos empleados fueron; “Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures”, descrito en la ASTM Designation: D1413 – 07e1 y la Norma Chilena NCh 3060.Of 2007, para el estudio con hongos y termita subterránea respectivamente.

En el estudio con *Lentinus lipideus*, todos los grupos de retención presentaron efecto positivo en el control del hongo y diferencias estadísticamente significativas respecto a las probetas testigo. En el caso de *Coriolus versicolor*, solo los grupos de retención 1,4 y 1,8 kg/m³ se diferenciaron estadísticamente del testigo en el control del hongo.

En el estudio contra termita subterránea, la retención necesaria de CA-B para el control de *Reticulitermes flavipes* se ubicó entre las retenciones 1,4 y 1,8 kg/m³ (concordante con la Norma NCh 819:2012). Una retención menor en pino radiata tratado con CA-B, no pudo ser validada para el control de termita subterránea, *Reticulitermes flavipes*.

Palabras Claves: *Pinus radiata*, Cobre Azol CA-B, termita subterránea, *Reticulitermes flavipes*, *Lentinus lipideus*, *Coriolus versicolor*.

ABSTRACT

Radiata pine wood, the country's main timber resource, has low durability. Fungi and insects, among other factors of its deterioration, are usually the most relevant. Of the group of insects, in particular subterranean termite "*Reticulitermes flavipes*", represents today the greatest concern, due to its aggressiveness and permanent progress in populated areas of the country.

Chromed copper arsenate (CCA) was, for decades, the most widely used preservative in the world to protect wood, however, environmental concerns, more than ten years ago, gave way to a shift towards other products. The use of copper azoles (CA), type B particularly, together with micronized copper azole, have been the most important changes since then worldwide. Its incorporation into the local market, however, has been very slow, due to cost and because there is no legal framework that regulates the use of CCA treated wood.

On the basis of the requirements of the Australian Standard®, AS 1604.1-2012, for wood treatments with CA-B, the target of the study was to evaluate the behavior of radiata pine treated with CA-B, to retentions less than required by the Chilean Standard, against the attack of rot fungi and subterranean termite.

Used methods were the "Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures" described on the ASTM Designation: D1413 - 07ε1 and the Chilean Standard NCh 3060. Of 2007 for the study with fungi and subterranean termite respectively.

In the study with *Lentinus lipideus*, all retention groups showed positive effect in the control of the fungus and statistically significant differences with respect to the control samples. In the case of *Coriolus versicolor*, only the retention groups 1.4 and 1.8 kg/m³ differed statistically from the control test pieces in the fungus control.

In the study against subterranean termite, the necessary retention of CA-B for the control of *Reticulermes flavipes* was between 1.4 and 1.8 kg/m³, it equivalent to what is required by the Chilean Standard. A lower retention in radiate pine treated with CA-B, could not be validated for control of subterranean termites, *Reticulermes flavipes*.

Key Words: *Pinus radiata*, Copper azole CA-B, subterranean termite, *Reticulermes flavipes*, *Lentinus lipideus*, *Coriolus versicolor*.

1 INTRODUCCIÓN

Chile es un país con aptitud preferentemente forestal. Posee más de 17 millones de hectáreas de bosques (CONAF-FAO, 2017), de las cuales unas 2,5 millones de hectáreas corresponden a plantaciones (INFOR, 2016).

El desarrollo forestal y maderero del país se ha basado principalmente en el manejo y explotación de plantaciones forestales de especies exóticas, principalmente pino radiata (*Pinus radiata D.Don*) y eucalipto (*Eucalyptus spp*), cada una con el 60% y 34 % de la superficie plantada respectivamente (INFOR, 2016). Así también, más del 98% del consumo industrial de trozas del país está sustentado por estas dos especies, y el 95% de la madera aserrada que se consume en el país es de pino radiata (INFOR, 2016).

Basado en el potencial que Chile posee en este ámbito, el uso de madera, particularmente en la construcción, es muy bajo, y respecto de otros materiales no representa más allá del 20%. Peor aún si se considera solo donde la madera es el elemento predominante, ya que este valor sobrepasa apenas el 10% (CORFO, 2014).

Si bien las razones para esto son variadas, como la falta de madera de calidad (seca y estructuralmente apropiada) a un valor competitivo, la percepción de una menor vida útil respecto a otros materiales, mayor costo de mantención y vulnerabilidad al fuego y al biodeterioro, entre otras, la falta de tecnologías apropiadas y el desconocimiento de buenas prácticas constructivas, parecen continuar siendo las más relevantes.

La madera, considerada un material noble por su origen y características únicas; muy resistente en relación a su peso, aislante, reciclable, reutilizable y renovable, es también por lo mismo, susceptible a degradarse en el medio natural y muchas veces más rápidamente que otros materiales.

Desde el punto de vista de los agentes biológicos, los microorganismos que pueden degradar la madera son principalmente hongos, insectos, bacterias y perforadores marinos (USDA, 2012). El fuego, la luz UV y la acción mecánica que pueda ejercerse sobre ella, a la vez, se encuentran entre las principales causas abióticas de su deterioro (Sánchez, 2001).

Los hongos como agentes de biodeterioro, son a los que más frecuentemente se encuentra expuesta la madera. Dependiendo del efecto sobre esta, se dividen a grandes rasgos en hongos cromógenos y de pudrición (xilófagos) (Sánchez, 2001).

Los hongos de pudrición, son los más agresivos desde el punto de vista de la estructura de la madera dado que su degradación está referida a los componentes químicos de ésta; celulosa y lignina fundamentalmente, provocando su deterioro y falla mecánica.

Entre los hongos de pudrición, a la vez, se pueden distinguir los denominados hongos de pudrición café (gris, parda o cúbica), que afectan predominantemente la madera de coníferas y los de pudrición blanca, que afectan principalmente madera de latifoleadas.

Del grupo de hongos de pudrición café, son importantes varias especies de la clase de los basidiomicetos y entre estos las más, *Serpula lacrimans* (syn. *Meriulus lacrimans*), *Poria spp.* y *Coniophora puteana* (syn. *Coniophora cerebella*) (Caneva *et al.*, 2000).

En este tipo de pudriciones, la celulosa y las fracciones de la hemicelulosa de la pared celular de la madera son las más dañadas, causando pérdidas de peso de casi el 70% y convirtiéndola en una de las más serias (Caneva *et al.*, 2000).

La pudrición blanca es producida por hongos basidiomicetos y algunos ascomicetos, los cuales descomponen todos los elementos de la pared celular y preferentemente la lignina, mediante la acción de sus ectoenzimas, reduciendo también considerablemente la resistencia mecánica de la madera. Las especies más importantes son: *Tratemes spp.*, *Coriolus versicolor*, *Fomes sp.*, *Pholiota sp.*, *Pleurotu spp.* y *Polystictus sp.*

Por otra parte, existe también una gran cantidad de insectos que utilizan la madera para alimentarse, reproducirse y vivir. El daño que producen en ella, se debe a que sus larvas, orugas y adultos abren galerías en la madera para obtener alimento y protección. Entre ellos se encuentran las órdenes Coleóptera, Himenóptera, Lepidóptera e Isóptera. De estas, la última y en particular las termitas, pertenecientes a esta orden, según Gara *et al.* (1980) y Artigas (1994), son uno de los principales problemas que afectan a la madera elaborada en todo el mundo.

Las termitas son insectos xilófagos y la celulosa constituye su principal alimento (González, 2012). En la actualidad se conocen más de tres mil quinientas especies (Enguel, 2011), tres de las cuales se encuentran en nuestro país: Kalotermitidae, Termopsidae y Rhinotermitidae (Rebolledo *et al.*, 2010).

La familia Rhinotermitidae, está representada en el país por el género *Reticulitermes*, conocida también como termita subterránea. En el año 2000 la termita subterránea presente en Chile fue identificada como "*Reticulitermes flavipes*", (Morales, 2003) y hoy representa la mayor preocupación en el grupo de los insectos, dada su creciente presencia en las zonas más pobladas del país y sus hábitos destructivos de desarrollo.

Aunque en Chile se distribuye principalmente en la Región de Valparaíso y Metropolitana (Carmona 2004), su presencia se ha extendido a regiones aledañas, como la Región del libertador Bernardo O'Higgins (Renato Ripa, 2013). Sus nidos alcanzan grandes extensiones, ocupadas por miles de individuos con una organización social muy bien estructurada. En busca de alimento normalmente dañan, además de la madera de variadas especies, materiales como yeso, plástico, aluminio y cemento (Cabrera y Parra, 1998).

Si bien se han intentado desarrollar métodos alternativos de control de termitas, como el uso de ondas ultrasónicas (Silva, 2007, Alday, 2007) con relativo éxito, el tratamiento preventivo con preservante sigue siendo el método más exitoso para protegerla del daño de los factores bióticos de deterioro, aumentando en gran medida la vida de ésta y reduciendo los costos de mantención y reposición. El grado de protección que se consigue depende del preservante utilizado y de la penetración y retención alcanzada de los productos químicos (Ross, 2010).

El preservante más utilizado por décadas, en todo el mundo, fue el arseniato de cobre cromado (CCA), por su efectividad contra agentes biológicos de deterioro, economía, confiabilidad y limpieza de la madera tratada (Freeman-Nicholas-Schultz, 2004).

Sin embargo, preocupaciones medioambientales y regulaciones gubernamentales dieron lugar a un cambio hacia otros productos. En enero de 2004, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos aceptó la retirada voluntaria del CCA para uso residencial en madera tratada (EPA, 2004). En Europa la producción de CCA está prohibida desde septiembre de 2006, según la Directiva 98/8 / CE (Preservación de la madera con productos químicos, Consejo Nórdico de Ministros, 2014).

De esta forma, la tendencia de desarrollo actual es hacia el empleo de biocidas totalmente orgánicos basados en químicos relativamente benignos, complementariamente, con la búsqueda de métodos no biocidas para proteger la madera (Schultz *et al.*, 2007).

En Chile, retrasado en cuanto a la tendencia mundial y a pesar de contar con opciones en preservantes para madera, alternativos, probados y autorizados para su uso, al día de hoy el CCA sigue siendo el más utilizado, incluido su uso para construcción de viviendas. Esto, debido a la falta de una definición gubernamental y al mayor costo de alternativas ambientalmente más amigables.

La madera de pino radiata, principal recurso maderero de Chile, se encuentra clasificada como de baja durabilidad, según la Norma Chilena NCh789/1, por lo que debe ser tratada según el uso (clase de riesgo) al que será expuesta. Condición que queda, además, claramente establecida en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), que se señala, respecto a la clasificación de durabilidad, que las maderas que se empleen con este fin y que pertenezcan a la quinta categoría, maderas de baja durabilidad, deberán ser preservadas conforme a la Norma Chilena NCh819.2012.

En el año 2016, en función del consumo de preservante, se estima que la producción de madera de pino radiata tratada con CCA para construcción, superó en promedio los 250.000 m³. Más del 80% del total de madera tratada en el país para estos fines. (Ducaud, 2016).

En la Tabla 1 se muestran las opciones de preservantes para madera, disponibles por normativa en Chile, para el tratamiento de pino radiata (*Pinus radiata D.Don*).

Tabla 1. Preservantes utilizados para tratamientos de pino radiata según NCh 819:2012 y que cuentan con autorización de uso vigente en Chile según el Servicio Agrícola y Ganadero.

Tipo de preservante	Ingrediente activo
CA-B	Cobre más Tebuconazol tipo B
CCA	Oxidos de cobre, Cromo y Arsénico
LOSP	Permetrina más Tebuconazol más Propiconazol
LOSP	Permetrina más TBTN
MCA _z	Cobre micronizado más Tebuconazol
μCA-C	Cobre micronizado más Tebuconazol más Propiconazol

Fuente : Norma Chilena NCh819: 2012. / Servicio Agrícola y Ganadero.

El uso de cobreazoles (CA) y en particular el de tipo B, objeto del presente estudio, como alternativa al reemplazo del CCA es relevante desde hace más de 10 años en Estados Unidos y en general en América del norte y Europa. (Preservación de la madera con productos químicos, Consejo Nórdico de Ministros, 2014).

En Chile, sin embargo, el costo de tratar un metro cubico de madera con CA-B, hoy es más del doble respecto del CCA, esto, debido fundamentalmente al costo del producto. No obstante, si se observan las exigencias de retención, exigidas por la normativa chilena, que están en perfecta correlación con las exigencias Norteamericanas (AWPA Standard) y se comparan con las exigencias consideradas en la Australian Standard®, se observarán valores de retenciones menores en esta última, y por ello, cabe la duda razonable de que las exigencias de retención para madera de pino radiata incluidas en la Norma Chilena NCh 819: 2012, puedan ser más altas a las necesarias para el buen desempeño del producto.

En la Tabla 2 se muestran las retenciones definidas en la norma Chilena NCh819:2012, según clasificación de riesgo, para el preservante CCA y CA-B.

Tabla 2. Retención mínima de preservante (I.A.) según nivel de riesgo de deterioro de la madera de baja durabilidad, para el preservante CCA y CA-B.

Nivel de riesgo de deterioro		Riesgo 1 (R1)	Riesgo 2 (R2)	Riesgo 3 (R3)	Riesgo 4 (R4)	Riesgo 5 (R5)
Preservante - Retención						
CCA		4,0	4,0	4,0	6,4	9,6
CA-B	kg/m ³	1,7	1,7	1,7	3,3	5,5

Fuente: NCh 819: 2012.

En la Tabla 3 se muestran las retenciones para CA-B, exigidas por AWPA Standard, (P5-32, 2017) y la Australian Standard®, (AS 1604.1-2012), para las categorías de riesgo equivalentes de la normativa chilena.

Tabla 3. Retenciones para CA-B, exigidas por AWPA Standard, (P5-32, 2017) y la Australian Standard®, (AS 1604.1-2012), para las categorías de riesgo R1-R5.

Nivel de riesgo de deterioro		Riesgo 1 (R1)	Riesgo 2 (R2)	Riesgo 3 (R3)	Riesgo 4 (R4)	Riesgo 5 (R5)
Normativa – Retención						
AWPA Standard		1,7	1,7	1,7	3,3	5,0
AS Standard ¹	kg/m ³	1,0	1,0	1,0	1,9	3,4

¹Valores calculados en base a una densidad de la madera de 450 kg/m³ (valores originales expresados en % p/p de preservante)

Diversos estudios con cobre azol (CA-B) han mostrado su efectividad contra el ataque hongos y termitas a dosis menores a las exigidas por la Norma Chilena NCh 819: 2012.

Un ensayo (soil block tests) conducido por la Universidad de Oregon, en pino amarillo del sur, arrojó pérdidas de masa no superiores a 1,7% en bloques tratados con CA-B a retenciones de 0,99-3,3 kg/m³, indicando que todas las retenciones ensayas, fueron efectivas para las seis variedades de hongos del estudio, tres de pudrición blanca y tres de pudrición café, (Copper-Azol Wood Preservative, CA type B, Arch Wood Protection, 2001).

Una prueba de pudrición blanda (soft rot) llevado a cabo por la Building Reserch Establishment (BRE) en Reino Unido, usando la European Experimental Standard Method (ENV807), con *Pinus sylvestris* y haya (*Fagus sylvatica*), sugirió que incluso a muy bajas retenciones (0,55 kg/m³) de CA-B , éste protege de una serie de hongos de pudrición blanda. Lo mismo fue establecido para un ensayo de pudrición blanda en suelo no esterilizado, ejecutado por la misma institución y retenciones de 1,14 - 3,43 kg/m³. (Copper Azol-Wood Preservative, CA type B, Arch Wood Protection, 2007).

Cabe, no obstante, señalar también que estudios de efectividad del preservante CA-B han mostrado resultados dispares respecto al control efectivo al ataque de hongos. Madera aserrada, incluso tratada con los niveles de contacto con el suelo, se deterioró significativamente al menos con uno de los hongos de pudrición parda evaluados (Forest Products Journal, 2007).

Un estudio con estacas de largo plazo (7 años) se observó un desempeño equivalente de CA-B y CCA, con tasas de pudrición menores a 3% en retenciones que iban desde 1,7 y 4,0 kg/m³ de ingrediente activo respectivamente (Montes, Latorre, Ducaud, Hanke, 2011).

Estudios con termitas, han mostrado efectividad a retenciones desde los 0,8 kg/m³ contra *Coptotermes formosanus* (Mississippi State University, 2007) y retenciones de 1,7 kg/m³ han sido efectivas en laboratorio para suprimir el efecto de *Reticulermes flavipes* y *Coptotermes formosanus*. (Copper Azol-Wood Preservative, CA type B, Arch Wood Protection, 2007).

El objetivo general del estudio fue evaluar el comportamiento de madera de Pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) tratada con preservante Cobre Azol (CA-B), frente al ataque de hongos de pudrición y termita subterránea, en pruebas de laboratorio.

Los objetivos específicos fueron determinar la resistencia a la acción de dos hongos de pudrición (café y blanca), de madera de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) impregnada a cuatro retenciones con el preservante Cobre Azol (CA-B); Determinar la resistencia a la acción de termitas subterráneas *Reticulermes flavipes* de madera de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) impregnada a cuatro retenciones con el preservante Cobre Azol (CA-B y comparar los resultados obtenidos con las retenciones exigidas por la norma chilena NCh 819:2012 para el preservante cobreazol (CA-B) para las categorías de riesgo R1-R4.

Las pruebas de laboratorio para hongos se realizaron en base a los protocolos de evaluación descritos en la norma ASTM Designation: D1413 – 07^{e1}: Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures. Para termitas, las pruebas de laboratorio se realizaron siguiendo los protocolos de evaluación descritos en la Norma Chilena NCh 3060.Of 2007; Preservantes de la madera- Determinación de la eficacia contra termitas subterráneas- Método de laboratorio.

Las retenciones se han determinado tomando como referencia los criterios contenidos en la Norma Chilena NCh 819:2012 Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según riesgo de deterioro en servicio y muestreo y la Australian Standard®, AS 1604.1-2012. Specification for preservative treatment, Part 1: Sawn and round timber.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en las instalaciones del Departamento de Ingeniería en Maderas y sus Biomateriales de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile, durante los meses de marzo a noviembre del año 2015.

2.1 Materiales.

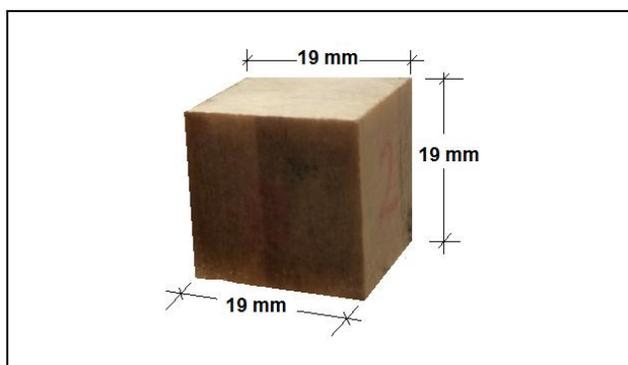
2.1.1 Probetas.

Madera de albura de Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don), sana, de fibra recta, libre de nudos, sin concentración visible de resina ni evidencia de colonización por moho, manchas u hongos destructores de la madera, daño de insecto u otros defectos. Con 2½ a 4 anillos por centímetro. (ASTM D1413-07).

La madera fue obtenida del aserradero San Martín, ubicado en la zona de Pantanillo, Región del Maule, seleccionada entre piezas recientemente aserradas y libres de cualquier tratamiento (especialmente Boro).

Para el estudio con hongos se utilizaron sesenta (60) bloques de 19 x 19 x 19 mm. El volumen de los bloques fue de $6,85 \pm 0,20 \text{ cm}^3$. Figura 1.

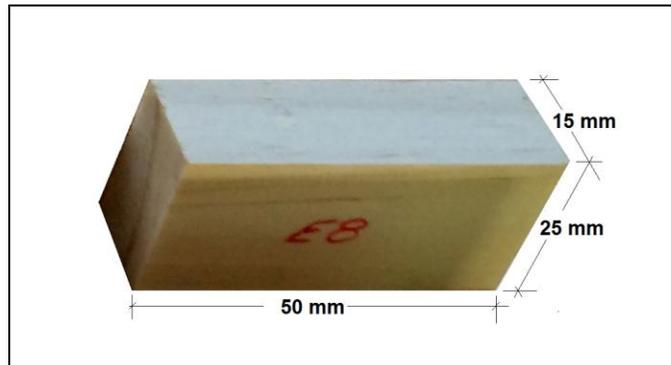
Figura 1. Probeta para tratamiento con hongos



Sesenta (60) bandas alimentadoras obtenidas de la misma madera, orientadas al buen establecimiento y desarrollo de los hongos, con dimensiones de 3 x 28 x 35 mm, con la veta de la madera en el sentido del largo de la pieza y de la misma calidad de los bloques.

Para el estudio con termitas se seleccionaron 25 probetas de 15 x 25 x 50 mm, con una tolerancia de 0,5 mm por sección. Con secciones transversales limpias y aristas vivas y caras longitudinales paralelas a la dirección del grano. Figura 2.

Figura 2. Probeta para tratamiento con termitas.



2.1.2 Hongos.

Se emplearon 2 cepas de hongos, una de pudrición blanca; *Coriolus Multicolor* y otra cepa de hongo de pudrición café o parda; *Lentinus Lipideus*, ambos obtenidos del Laboratorio de Biodeterioro y Preservación de la Madera del Departamento de Ingeniería en Maderas y sus Biomateriales de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile.

2.1.3 Termitas.

Se emplearon termitas subterráneas de la especie *Reticulermes flavipes*, recolectadas en la Región Metropolitana, provenientes de una misma colonia y mantenidas en la cámara de crianza del Departamento de Ingeniería en Maderas y sus Biomateriales de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, bajo las condiciones requeridas para ello; a oscuras, a una temperatura constante de $22^{\circ} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ y con recirculación de aire.

2.1.4 Preservante.

CA-B: Marca Wolman E, Ingredientes activos: Carbonato de Cobre (CuCO_3) 9,25% como Cu elemento y Tebuconazol 0,37%.

2.1.5 Equipos y materiales de laboratorio.

- Cuarto de acondicionamiento.
- Cámara de incubación WTC Blinder, mantenido a una temperatura seleccionada de entre 25 y 27°C y una humedad relativa entre 65 y 75%.

- Horno de secado V.I.P. CO₂ Incubator 417-11 con ventilación forzada y control automático de temperatura en un rango de 20 a 150°C.
- Balanza digital con precisión de 0,01 g marca Beletronic, modelo ES-1000HA.
- Bomba de vacío GAST model DCA- P504-BN.
- Equipo de Impregnación: Autoclave equipado con vacuómetro, manómetro y válvula para inyección de aire a presión.
- Frascos de vidrios cilíndricos de 1000 cm³, provistos de tapa rosca. Para el estudio con termitas, las tapas cuentan una malla metálica de sección cuadrada de 4 cm² lo suficientemente fina para permitir la ventilación del contenido e impedir la fuga de termitas.
- Frascos de vidrios cilíndricos de 500 cm³. provistos de tapa rosca con apertura, para permitir el flujo de aire, empleados en la impregnación de la probetas.
- Tamiz de Suelo. N° 6 (US).
- Sustrato suelo.
- Arena fina de cuarzo blanco. Sílice cristalizada de alta pureza (>99,5%) carente de materia orgánica.
- Cámara de crianza de termitas.
- Pinceles N° 5 para la manipulación de termitas.
- Madera de cría (madera proveniente de colonias de termitas ya constituidas).
- Anillos de vidrio de 1x20x20 mm (espesor, ancho y diámetro).
- Otros equipos menores e insumos de laboratorio entre los que se cuentan pipetas, pissetas, vasos precipitados, probetas, agua destilada, entre otros.
- Equipos e implementos de seguridad.

2.2 Método.

Las retenciones definidas para el estudio, se determinaron tomando como referencia los valores exigidos en la Norma Chilena NCh 819:2012 Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según riesgo de deterioro en servicio y muestreo, y los considerados en la Australian Standard®, AS 1604.1-2012. Specification for preservative treatment, Part 1: Sawn and round timber, que exige una retención del preservante, para pino radiata, en las categorías de riesgo H2-H3 de 0,2288% (0,98 kg/m³) y para H4; 0,416% (1,78 kg/m³).

2.2.1 Obtención y acondicionamiento de los bloques.

La madera fue dimensionada a una menor escuadría, acondicionada para reducir y homogeneizar su contenido de humedad y redimensionada a las medidas finales en el Taller de Carpintería del Departamento de Ingeniería en Maderas y sus Biomateriales de la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile.

Bloques de madera con las medidas y calidad necesarias y en un número superior al requerido, se seleccionaron, pesaron y separaron para el caso del estudio con hongos, en grupos de 24 probetas por tratamiento (10) tomando en cuenta la similitud por densidad, según ASTM D1413-07.

Lo bloques seleccionados se dejaron en una estufa a 22°C a objeto de homogeneizar su contenido de humedad. Cada tres días fueron pesados hasta conseguir diferencias de 0,01 g entre pesadas. Luego de conseguido esto, cuatro bloques por grupo, seleccionados al azar, fueron llevados a una estufa a 103± 3°C por 24 horas hasta peso seco y determinación de contenido de humedad. El valor promedio obtenido de contenido de humedad de las probetas (12%) fue considerado para efectos del cálculo de peso inicial de los bloques antes de impregnar (P1).

2.2.2 Impregnación de los bloques.

La metodología ejecutada para la impregnación de la madera, permitió tratar en un único proceso las probetas destinadas al ensayo de hongos y termitas, en todas las retenciones esperadas. Las condiciones se describen a continuación.

Luego de la etapa de acondicionamiento a peso constante, conocido el contenido de humedad de acondicionamiento y definido como peso P1, se procedió a su impregnación.

Basados en la densidad de las probetas y la saturación completa esperada de éstas, por tratarse de madera de albura y piezas de pequeña escuadría, se estimó el volumen de agua máximo posible a absorber según la siguiente fórmula:

$P_s = P_e - P_p$, donde;

P_s: Peso de la solución capaz de absorber.

P_e: Peso estimado de la probeta en base a una densidad de referencia de 1 g/cm³.

P_p: Peso de la probeta.

A través de pruebas previas de impregnación se corroboró con bastante precisión el volumen estimado de absorción por probeta, el cual estuvo entre 100-105% de su peso inicial (P1), y se calculó la concentración de la solución impregnante requerida para cada grupo, en base al contenido de Cu de la solución y los kilogramos por metro cúbico equivalentes requeridos. Las concentraciones definidas para las soluciones fueron a base de producto formulado.

Las probetas fueron dispuestas en frascos identificados, junto a la solución correspondiente, impidiendo su flotación a través de una malla metálica y con suficiente solución para no ser expuestas al aire en ningún momento del proceso, como se puede observar en la figura 3. Los frascos disponían de una apertura superior para permitir el flujo de aire.

Figura 3. Preparación de soluciones y disposición de probetas para impregnación.



El proceso de impregnación se basó en el método Bethell cuyo objetivo es inyectar a la madera la mayor cantidad de solución preservante en la zona tratada. En este caso levemente modificado, definido por el autor en función de los equipos disponibles, pero con el mismo resultado. En resumen, las probetas se llevaron a plena saturación con solución preservante a la concentración necesaria para incorporar la cantidad de ingrediente activo (Cu) equivalente a cada retención esperada.

Los frascos, con las probetas y las soluciones correspondientes, fueron dispuestos dentro del autoclave y sometidos a un vacío inicial de 0,6 Bar (17,7'' Hg) manteniendo dicho vacío por el periodo de una hora. Luego de ello, se abrió la válvula atmosférica hasta llevar a presión normal. En esta etapa, se buscaba extraer el aire de la madera y facilitar la absorción de solución preservante. A continuación se inyectó aire a presión para forzar una penetración completa de la madera por la solución. La presión interior se llevó a 30 psi (2,1 kg/cm²), la cual se mantuvo por un periodo de cuatro horas. Se cerraron las válvulas y se dejaron las probetas en dicha condición durante toda la noche (14 horas).

Al día siguiente se retiraron las probetas, constatándose la no flotabilidad de estas. Se secaron superficialmente con un papel absorbente y se pesaron (P2).

2.2.3 Cálculo de retenciones.

La retención de preservante, en kilogramos por metro cúbico (kg/m³) se calculó en base a la masa de preservante absorbido y su concentración, de la siguiente forma:

Retención, $\text{kg/m}^3 = (\text{GC} / \text{V})$, donde:

$G = (P2 - P1)$ = gramos de solución absorbida por el bloque (peso inicial de la probeta, restado del peso de la probeta saturada con solución preservante),

C = gramos de preservante en 100 g de solución de tratamiento,

V = volumen del bloque (cm^3).

2.2.4 Selección final de probetas.

Luego del cálculo de retención, se seleccionaron 6 probetas por tratamiento para el estudio con hongos y 3 por tratamiento para el estudio con termitas. Todas ellas con los valores más cercanos a la retención nominal de cada grupo.

2.2.5 Acondicionamiento de las probetas tratadas.

Luego de la selección de las probetas impregnadas, estas fueron expuestas por grupos, bajo condiciones de sala abierta de laboratorio durante 48 h y posteriormente llevadas a una cámara de acondicionamiento para homogeneizar el contenido humedad de estas. Esto es a 26°C y 70% de humedad relativa.

Este procedimiento duró 21 días, periodo tras el cual, las probetas fueron pesadas ($P3$) a 0,01 g y mediante la estimación de peso seco inicial, se determinó que estas se encontraban a un contenido de humedad de equilibrio de $16\% \pm 1\%$. $P3$ es el peso considerado como referencia para el cálculo de pérdida de masa posterior al ensayo.

2.2.6 Implementación de estudio con hongos.

Las pruebas de laboratorio se realizaron basándose en los protocolos de evaluación descritos en la norma ASTM Designation: D1413 – 07^{e1}: Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures.

2.2.6.1 Diseño experimental.

Bifactorial de $2 \times 5 = 10$ tratamientos distintos, con 6 repeticiones cada uno.

- i) Cepas de hongos de pudrición (factor A).
- ii) Retenciones del preservante CA-B (factor B).

Factor A:

HB1: *Coriolus versicolor*; Hongo de pudrición blanca.

HC1: *Lentinus lipideus*; Hongo de pudrición café.

Factor B:

R0: Retención cero (solo con disolvente).

R1: Retención 0,6 kg/m³ de Cu elemento.

R2: Retención 1,0 kg/m³ de Cu elemento.

R3: Retención 1,4 kg/m³ de Cu elemento.

R4: Retención 1,8 kg/m³ de Cu elemento.

2.2.6.2 Medio de cultivo.

Para efectos de propagación del hongo, mantenido en latencia hasta entonces en el Laboratorio de biodeterioro, se preparó un medio nutritivo agar-malta que contempló aproximadamente 2% en peso de extracto de malta y 1,5% en peso de agar. La mezcla fue disuelta en agua destilada caliente y puesta a hervir hasta obtener un medio homogéneo y sin presencia de grumos. Luego de esto fue dispuesto en placas Petri y sometidas a esterilización a baño maría por 20 minutos con presión de 15 psi (103 KPa).

Una vez enfriado el medio en sala esterilizada, se procedió a inocular con ambos hongos las placas correspondientes y en la cantidad necesaria para asegurar el buen establecimiento y desarrollo de hongos en suficientes placas para el ensayo. Las placas inoculadas y selladas se ubicaron en cámara de cultivo a una temperatura de 26°C.

Periódicamente se observó su desarrollo hasta obtener una buena cobertura del hongo en las placas, momento en el cual se procedió a instalar bajo el mismo cuidado de asepsia y previamente también esterilizadas, las bandas o feeders, que se usan para alimentar el hongo y promover su desarrollo.

Las placas con los feeders fueron nuevamente reinstalados en la cámara de cultivo a igual temperatura con el objeto de lograr la propagación del hongo en las piezas de madera.

Figura 4. Preparación del medio de cultivo.



2.2.6.3 Sustrato Suelo.

Se empleó una mezcla de suelo con una capacidad de retención de agua de 30% aproximadamente y pH neutro y un peso promedio de 370 -460 g/cm³, cernido en tamiz N° 6 (U.S.), al cual se le añadió agua hasta completar el 130% de capacidad de retención, es decir 190 ml aproximadamente en total.

Los frascos con suelo, el agua necesaria y las tapas a medio cerrar, se esterilizaron con vapor a 15 psi por 30 min, junto a las probetas de madera, impregnadas para el estudio.

Después de esterilizados los frascos y las probetas y enfriados en condiciones de asepsia, se incorporaron los feeders con propagación de hongo en los frascos y sobre ellos las probetas de ensayo: Dos probetas por frasco y un feeder por probeta. Los frascos de cultivo fueron cerrados con tapas liberadas de un cuarto de vuelta desde una posición apretada y se pusieron en incubación aleatoriamente dentro de la cámara, a la temperatura deseada por el tiempo de duración del estudio (12 semanas).

Durante el periodo que duró el ensayo, semanalmente los frascos fueron rotados procurando evitar condiciones particulares de temperatura o luz en alguno de los frascos: complementariamente se adicionó agua esterilizada a los frascos cada 3 semanas durante este periodo para mantener la humedad deseada.

Al cabo de doce semanas se retiraron los frascos de la cámara de incubación y las probetas o bloques se dispusieron en la cámara de acondicionamiento por un periodo de tres semanas. Luego de dicho periodo y constatando estabilidad en el peso de las probetas a 0,01 g se registró su peso definitivo y se procedió a su retiro y puesta en horno a 103± 2°C por 24 horas para llevar a peso anhidro, después de lo cual, nuevamente fueron pesadas para su evaluación final.

2.2.7 Implementación de estudio con termitas.

Las pruebas de laboratorio se realizaron siguiendo los protocolos de evaluación descritos en la Norma Chilena NCh 3060.Of 2007; Preservantes de la madera- Determinación de la eficacia contra termitas subterráneas- Método de laboratorio.

2.2.7.1 Diseño experimental.

Se trabajó con un solo factor; Retención de Cu kg/m³ (IA) de CA-B en la madera y bajo la siguiente nomenclatura:

R0: Retención cero (solo con disolvente).

R1: Retención 0,6 de IA.

R2: Retención 1,0 de IA.

R3: Retención 1,4 de IA.

R4: Retención 1,8 de IA.

2.2.7.2 Constitución de las colonias.

En frascos cilíndricos de vidrio con una capacidad de 1000 cm³ se dispuso la formación de cada colonia. Para ello, se agregó a cada uno, 125 g de agua y posteriormente arena de cuarzo inerte hasta completar 600 g netos, entre el peso del agua y la arena. Esto equivale a seis centímetros de altura aproximada y 475 g de arena. Proporción 4:1 entre la arena y el agua.

En el centro de la sección con arena (de manera sumergida) se adicionó alrededor de 0,5 g de madera de cría a cada frasco.

Un anillo de vidrio se incluyó en cada frasco para que la probeta no estuviera en contacto directo al sustrato, a objeto de prevenir la aparición de hongos o mohos y procurando sumergirlo en la arena hasta la mitad de su altura, dejando aproximadamente 1 cm sobresaliendo en superficie. Este se ubicó a un costado de la pared del frasco, previendo la posibilidad de instalar adecuadamente las probetas sobre ellos. Figura 5.

Luego de esto, cada frasco con sus tapas a medio cerrar, fue marcado y esterilizado con vapor a 15 psi por 30 minutos, luego de lo cual y una vez fríos, se procedió a distribuir en cada uno, un grupo de termitas como se indica a continuación.

250 obreras provenientes de la cámara de crianza, fueron seleccionados con la ayuda de un pincel húmedo para evitar dañarlas, evitando insectos en periodo de muda, con poca movilidad o algún daño visible. Adicionalmente se incluyó en cada grupo en formación, un número de cinco soldados y 10 ninfas.

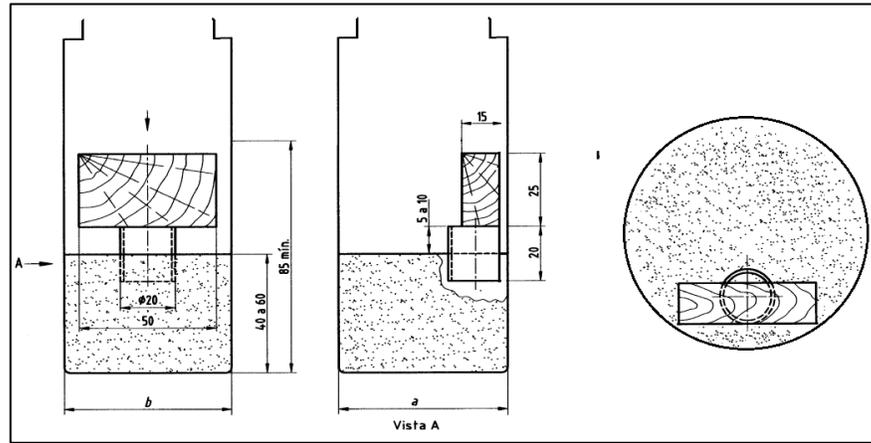
Un grupo o nueva colonia se constituyó en cada frasco. Cada frasco, a su vez, sería el receptor de una probeta. 15 colonias fueron constituidas, más 10 adicionales como respaldo, si algunas de las iniciales no se constituía adecuadamente o se contaminaba.

Completados los frascos, estos se colocaron en el criadero por el lapso de 4 días, periodo tras el cual y habiendo constatado un adecuado establecimiento de las colonias (termitas libremente en movimiento bajo superficie) se procedió a pesarlo nuevamente, restituir el volumen de agua inicial y se dispuso sobre los anillos de vidrio cada probeta debidamente marcada y esterilizada.

Dado el buen establecimiento de las 25 colonias, se procedió a incluir dos (2) repeticiones adicionales por tratamiento, solo a modo complementario de investigación. Los frascos fueron pesados individualmente, cerrados y puestos nuevamente en la cámara de criadero o ensayo.

Semanalmente se corrigió la disponibilidad de agua por diferencia de peso, a través de una piseta y se registró el estado visual de cada colonia. Esto por las ocho semanas que duró el ensayo.

Figura 5. Disposición de probetas en frascos de ensayos con termitas.



3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las pruebas con hongos y termitas, al que fueron sometidas probetas de madera de pino con cinco niveles de retención de preservante CA-B.

3.1.1 Estudio con hongos.

El grado de ataque de los hongos hacia la madera se determinó a través de la pérdida de peso de las probetas, en base a la masa inicial de las probetas acondicionadas y el valor equivalente obtenido luego de ser sometidas al ataque de hongos de pudrición.

La variable respuesta evaluada fue la pérdida de masa producida por efecto de hongos de pudrición blanca y pudrición café a probetas impregnadas con cinco retenciones diferentes.

En la Tabla 4 se muestran los resultados de pérdida de masa para los diversos tratamientos por efecto del ataque del hongo de pudrición blanca *Coriolus versicolor*.

Tabla 4. Pérdida de masa por efecto del ataque del hongo de pudrición blanca *Coriolus versicolor* en probetas de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) tratadas con preservante CA-B.

Grupo de Retención	Retención Obtenida kg/m ³	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Masa	
		G	g	g	%
Control (Sin Preservante)	0,00	3,53 (0,20)	3,37 (0,17)	0,16 (0,05)	4,50 (0,01)
0,6	0,67 (0,01)	3,56 (0,09)	3,43 (0,11)	0,13 (0,05)	3,71(0,01)
1,0	1,05 (0,02)	3,68 (0,10)	3,55 (0,14)	0,13 (0,04)	3,56 (0,01)
1,4	1,43 (0,04)	3,24 (0,06)	3,17 (0,04)	0,08 (0,05)	2,30 (0,01)
1,8	1,80 (0,02)	2,94 (0,12)	2,87 (0,11)	0,06 (0,05)	2,08 (0,01)

Promedios obtenidos de 6 repeticiones de cada tratamiento.

Valores entre paréntesis=Desviación estándar.

Las diferencias de pérdidas de peso no resultaron muy relevantes (< 5%) ni muy diferentes entre los distintos tratamientos, pero se observó, aunque discreta, una disminución de la pérdida de masa promedio de los distintos grupos, en función del aumento de la retención de preservante. El grupo de retención R4 (1,8 kg/m³) presentó la menor pérdida de masa con un 2,08% promedio. El grupo control (sin preservante) obtuvo una pérdida de masa promedio de 4,5%.

Hecho el análisis de varianza de un factor (ANOVA) para el caso de las probetas expuestas a hongo de pudrición blanca, donde se contrastó la hipótesis nula de que las medias de las poblaciones ($n > 2$) fuesen iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado, se obtuvo que la diferencia honestamente significativa, indicó que solo hay diferencias significativas entre los grupos de retenciones 1,4 y 1,8 respecto del testigo (APÉNDICE 2).

En cuanto al hongo de pudrición café, en la Tabla 5 se muestran los resultados de pérdida de masa obtenidos para los diversos tratamientos por efecto del ataque del hongo *Lentinus lipideus*. En este caso, se pudo observar un ataque muy severo en los bloques de madera control, respecto de todos bloques con preservante, independiente del nivel de retención. Se observa también entre grupos de retención una correlación negativa entre el nivel de retención de preservante y la pérdida de masa de los bloques. A mayor nivel de retención, menor pérdida de masa.

El grupo de retención inferior ($0,6 \text{ kg/m}^3$) arrojó en promedio, la mayor pérdida de masa con un 8,78 %. El tratamiento testigo mostró una pérdida de masa superior a 50%. Los bloques de madera de los grupos de retención de 1,0, 1,4 y $1,8 \text{ kg/m}^3$ obtuvieron en promedio una pérdida de masa inferior a 5%.

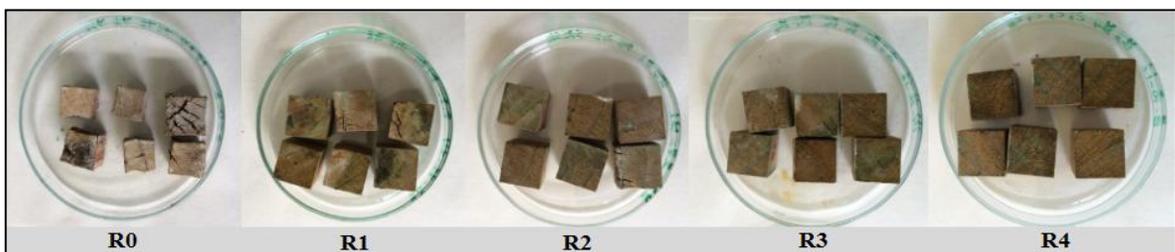
Tabla 5. Pérdida de masa por efecto del ataque del hongo de pudrición café *Lentinus lipideus* en probetas de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) tratadas con preservante CA-B

Grupo de Retención	Retención Obtenida	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Masa	
	kg/m^3	G	g	g	%
Control (Sin Preservante)	0,00	3,52 (0,27)	1,69 (0,34)	1,82 (0,48)	51,41 (0,12)
0,6	0,66 (0,01)	3,53 (0,07)	3,22 (0,24)	0,31 (0,20)	8,78 (0,06)
1,0	1,06 (0,01)	3,65 (0,07)	3,49 (0,07)	0,15 (0,08)	4,15 (0,02)
1,4	1,44 (0,05)	3,28 (0,09)	3,16 (0,06)	0,13 (0,04)	3,79 (0,01)
1,8	1,79 (0,05)	3,01 (0,15)	2,93 (0,14)	0,08 (0,02)	2,49 (0,01)

Promedios obtenidos de 6 repeticiones de cada tratamiento.
Valores entre paréntesis=Desviación estándar.

El análisis de varianza (APÉNDICE 2) para el caso de las probetas expuestas al ataque del hongo de pudrición café, mostró diferencias significativas entre el testigo y todos los grupos de retención restantes, no así entre los grupos de retención > 0 .

Figura 6. Probetas control e impregnadas con CA-B después del ataque de *Lentinus lipideus*.



3.1.2 Estudio con termitas.

La variable respuesta evaluada fue el grado de ataque visual producido por las termitas a las probetas impregnadas en comparación a probetas testigo impregnadas solo con disolvente.

En la Tabla 6 se muestra el resumen de los resultados del estudio, expresados de acuerdo a lo estipulado en la Norma Chilena NCh 3060.Of2007 y donde se pueden observar los distintos grados de ataque experimentados por las probetas. El menor valor es cero (0) y corresponde a la no observación de ataque. El mayor valor es cuatro (4) correspondiente a un ataque severo por parte del insecto.

Tabla 6. Grado de ataque de termitas *Reticulermes flavipes*, basado en Norma Chilena NCh 3060. Of2007, a probetas de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don), tratadas con preservante CA-B.

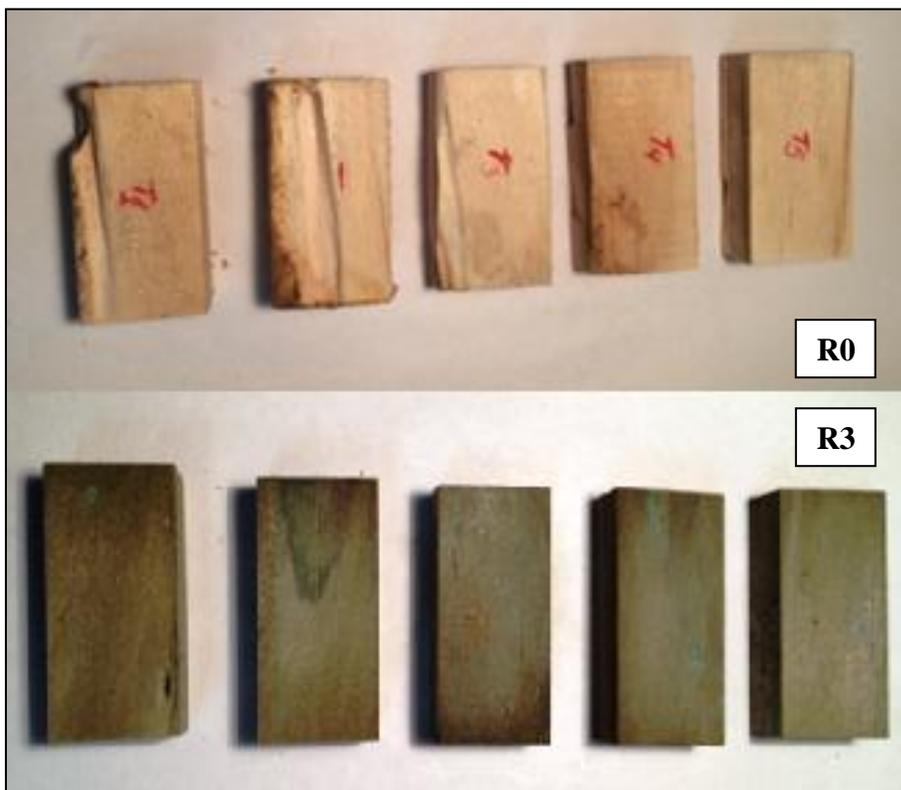
Concentraciones estudiadas %(m/v)	Número de probeta	Absorción de solución por probeta. g	Retención de Preservante		Resultados de los exámenes		
			Por Probeta kg/m ³	Media kg/m ³	Sobrevivencia de obreros. redondeado %	Soldados (S) y/o ninfas (N) vivos	Examen Visual
1,45	6	8,2	0,58	0,67 (R1)	2	N	1
	7	9,7	0,69		2		1
	8	8,8	0,62		10		2
2,10	11	8,9	0,90	1,01 (R2)	1	N	1
	12	9,7	0,98		1		2
	13	10,4	1,05		10		0
2,80	16	11,2	1,53	1,46 (R3)	0	0	2
	17	10,3	1,39		0		1
	18	11,2	1,52		6		1
3,20	21	12,1	1,86	1,83 (R4)	16	0	1
	22	12,0	1,85		1		1
	23	11,8	1,80		2		1
0 Control (sin preservante)	21	0	0	0 (R0)	50	S-N	4
	22	0	0		54		4
	23	0	0		51		4

Fuente: Elaboración propia en base a la forma de presentación de resultados establecido en la Norma Chilena NCh 3060. Of2007.

De acuerdo Norma Chilena NCh 3060.Of2007, la eficacia del preservante CA-B para el presente estudio y que protegería a la madera de pino del ataque de termita subterránea *Reticulermes flavipes* está comprendida entre los valores límites, 1,46 kg/m³ (R3) y 1,83 kg/m³ (R4). El primero corresponde a la concentración inmediatamente inferior en la serie para la cual la madera no está suficientemente protegida, es decir, la concentración a la cual una o varias probetas presentan un ataque de nivel 2 o mayor. El segundo, corresponde a la concentración más baja que protege a la madera, es decir, la concentración para la cual ninguna de las tres probetas presenta un ataque mayor que 1. Estos valores de retención están expresados en kilogramos de ingrediente activo (Cu) por metro cúbico de madera tratada.

En virtud de la citada norma, la prueba puede considerarse válida, dado que todas las probetas testigos, no tratadas, muestran visualmente un nivel de ataque cuatro (4) y las colonias correspondientes concluyeron con más de un 50% de sobrevivientes al finalizar la prueba.

Figura 7. Probetas control e impregnadas con CA-B después del ataque de termita subterránea *Reticulermes flavipes*.



3.2 Discusión.

Los principios, relaciones y generalizaciones que pueden ser apoyados por los resultados son los siguientes:

3.2.1 Estudio con hongos.

En ambos estudios con hongos (podrición café y blanca) se observó una relación inversamente proporcional entre el aumento de la retención de preservante y la pérdida de masa de las probetas, lo cual era esperado por el efecto del cobre contenido en el preservante. Tablas 4 y 5.

3.2.1.1 Hongo de pudrición blanca.

Como se observa en el Tabla 4 en el estudio con *Coriolus versicolor* hongo pudrición blanca, si bien se mantuvo la tendencia descrita, la pérdida de masa no fue importante en ninguno de los casos, llegando en el caso más extremo (probeta testigo) a un 3,62%, considerado bajo (según Carmona, 2012).

En base a la información de literatura, la baja actividad del hongo no puede atribuirse al hecho que este tipo de hongos ataca preferentemente madera latifoliada y no de coníferas (Reinprecht, 2016). En un estudio con el mismo hongo y preservante, la pérdida de masa experimentada por el control, fue superior a 20%, lo que no ocurrió en el caso del presente estudio. La pérdida de masa de probetas con preservante, no obstante, fue similarmente baja en dicho estudio, no superior a 1,3% (Goodell *et al.*, 2007). Por otra parte, si bien la baja actividad del hongo pudo haber estado acotada aleatoriamente a las probetas control, la homogénea baja actividad en estas, dejan pocas opciones a dicha posibilidad.

Si bien el hongo utilizado, en la etapa de salida de latencia y diseminación en el medio de cultivo, mostró un desarrollo satisfactorio, su expresión sobre la madera no resultó aparentemente muy agresiva. Todos los tratamientos y repeticiones fueron sometidos al mismo manejo en el transcurso del estudio.

Probetas control de pino radiata expuestas al ataque de hongos de pudrición blanca *Peniophora spp*, *Pleurotus spp* y *Trametes spp*, en un estudio desarrollado por Barahona (2009), mostró pérdidas promedio de peso de entre 4,2 y 11,7%.

A pesar de la ocurrencia de la condición descrita, las concentraciones de CA-B más altas, lograron igualmente diferenciarse del testigo sin preservante, en cuanto a la protección de la madera frente al ataque del hongo de pudrición blanca *Coriolus versicolor*, lo que muestra el efecto supresor del preservante frente al hongo.

En base a estos antecedentes y los resultados de la prueba, sin embargo, no se puede concluir satisfactoriamente respecto del nivel de control del preservante CA-B contra este hongo en particular.

3.2.1.2 Hongo de pudrición café.

Las diferencias de pérdida de masa observadas entre las probetas control y las tratadas, frente al ataque del hongo de pudrición café *Lentinus lipideus* (Tabla 5), fueron por el contrario, significativas. En efecto, todos los tratamientos mostraron diferencia estadísticamente significativa con el testigo, el cual alcanzó un porcentaje promedio de pérdida de masa de 52%, superando una probeta el 60%, otorgándole a su vez, validez al estudio. El valor promedio de pérdida de masa fue, para todas las probetas tratadas, 4,33%.

El grupo de retención menor (0,60 kg/m³) arrojó, en promedio, una pérdida de masa de 8,78 %. Aunque superior al 5%, considerado normal, en un estudio de biodeterioro de esta naturaleza (Carmona, 2012) y bastante menor al observado en el tratamiento control.

Los valores de pérdida de masa de la madera preservada a los diferentes niveles de retención, se movieron entre 1,4 y 19,3%, este último valor, observado en una probeta, en la concentración más baja (0,6 kg/m³).

Los bloques de madera de los grupos de retención de 1,0, 1,4 y 1,8 kg/m³ obtuvieron en promedio una pérdida de masa de 2,82%. Las menores pérdidas se observaron consecuentemente en la concentración más alta de preservante (1,8 kg/m³) las cuales fueron en promedio solo de 1,63%.

Si bien, en base a los resultados del estudio, es esperable también la muy alta probabilidad de que ninguno de los valores individuales de un tratamiento con retención $\geq 1,0$ kg/m³ del preservante en estudio, supere el 5% de pérdida de masa, frente al ataque de *Lentinus lipideus*, es necesario destacar, el hecho que estudios con hongos de pudrición café e incluso blanca, han mostrado, en condiciones de laboratorio, un errático control del preservante, con porcentajes de pérdida de masa, en ocasiones, similares al control, >50% y retenciones de 1,7 kg/m³, (Goodell *et al.*, 2007), mientras otros, con similares hongos han mostrado resultados satisfactorios, a las mismas o menores concentraciones (Arch Wood Protection, 2007). Según estos resultados, aparentemente el tipo de hongo y la especie de madera, son relevantes en el desempeño del preservante CA-B.

3.2.2 Estudio con termitas.

De acuerdo al criterio de evaluación empleado (Norma Chilena NCh 3060.Of 2007), la retención necesaria para el control de termita subterránea, en las condiciones del estudio; madera de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) preservada con CA-B, se encuentra entre las retenciones 1,4 y 1,8 kg/m³, rango en el cual se encuentra el valor actualmente considerado por la Norma Chilena NCh 819, 2012, (1,7 kg/m³) para las categorías de riesgo R1-R3, avalando el presente estudio, el criterio exigido por la citada norma.

Se puede observar el efecto positivo del preservante contra termita subterránea en este y otros estudios disponibles, incluso tratamientos superficiales de preservante CA entre otros, potencian significativamente la resistencia de la madera contra hongos y termitas (Ma *et al.*, 2013), así también, el preservante CA-B satisface adecuadamente los requerimientos de AWWA Standard E1-15, sin embargo, la información generada no permitió avalar la exigencia mínima en las categorías de riesgo R1-R3 (1kg/m³) de la Australian Standard®, AS 1604.1-2012. Specification for preservative treatment, Part 1: Sawn and round timber, para control de termita subterránea *Reticulermes flavipes* en *Pinus radiata* D.Don.

Desafortunadamente, la literatura disponible es escasa y no suficientemente categórica para permitir establecer relaciones relevantes entre esta y los resultados obtenidos en el presente estudio. La totalidad de la información a la cual se pudo acceder, en este sentido, se basa en estudios realizados en condiciones distintas a las del presente estudio, con otras especies de madera y/o termitas, lo cual dificulta la comparación. Es clara por lo tanto la necesidad de profundizar en los análisis en condiciones locales del producto que permitan confirmar o modificar los valores exigidos por la NCh 819, 2012.

En este mismo sentido y aunque no es ámbito u objetivo de este estudio, cabe señalar que preservantes alternativos al CCA-C e incluso el propio CCA-C, han mostrado en pruebas similares, rangos de efectividad sobre termita subterránea *Reticulermes flavipes* en pino radiata tratado, superiores a los requeridos por NCh 819,2012 para las categorías R1-R3 (Barahona, 2009 y Carmona, 2005, para ACQ y CCA-C respectivamente) por lo que quizás sea válido preguntarse si además del desempeño de los preservantes disponibles, los propios requerimientos de retención exigidos por la norma chilena son o no revisables.

En múltiples ensayos para diversas especies de pinus, retenciones menores a las exigidas actualmente en Chile han resultado efectivas frente al ataque de diversas termitas subterráneas y barrenadores marinos. Amburgey and Parikh, 2007, L-joints in QFRI Test 372. 2001. Radiata Pine L-joint samples, Sivrikaya *et al.*, 2016, entre otros.

En este mismo sentido y en relación al criterio de evaluación descrito por la NCh3060, 2007 Preservantes de la madera. Determinación de eficacia contra termita subterránea. Método de laboratorio, cabe mencionar una situación particular que aconteció a raíz del resultado obtenido en probetas de respaldo que acompañaron el estudio en las mismas condiciones y que introduce una duda razonable acerca de la sensibilidad de la información generada por esta vía.

Si bien en términos generales el comportamiento de las repeticiones de respaldo mantenidas (dos por tratamiento) y que siguieron los mismos procedimientos de evaluación, fue de similar tendencia a la observada con las probetas del ensayo, incluidas las probetas testigo, las cuales sufrieron el mayor grado de ataque esperado y calificadas correspondientemente en categoría 4, una situación particular y anecdótica, aconteció con el grupo de retención $1,4 \text{ kg/m}^3$ y que es necesario describir. Ambas probetas de respaldo de este grupo de retención, calificaron en categoría 1 y una de las tres del estudio como ya se mencionó, calificó en categoría 2 marcando el límite inferior de retención que sería eficaz para el control de termita subterránea, *Reticulermes flavipes*. De esta forma, surge la inquietud acerca de la sensibilidad del criterio de evaluación que propone la normativa empleada, dado que si por azar se hubiesen seleccionado tres de las cuatro que en total obtuvieron categoría 1, el resultado sería otro. En tal caso el resultado se hubiese expresado de la siguiente manera: “La concentración mínima que controlaría termita subterránea en madera de pino radiata tratado con preservante CA-B, en el presente estudio, está entre 1,0 y $1,4 \text{ kg/m}^3$, sin embargo, como se ha señalado, esto no fue validado dado en el ensayo hubo una probeta de las tres repeticiones, que calificó en categoría 2. Lo paradójico de esto, es que, no obstante la duda que ahora se presenta, ésta, también se generaría si la probeta en categoría 2 se hubiese encontrado entre las de respaldo.

4 CONCLUSIONES

Las probetas de madera de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) tratadas con CA-B, en los grupos de retención 1,4 y 1,8 kg/m³, presentaron diferencias estadísticamente significativas respecto a las probetas testigo contra el ataque de *Coriolus versicolor* (hongo de pudrición blanca), lo cual indica el positivo efecto del preservante en el control del hongo, a las concentraciones señaladas.

Las probetas, en los grupos de retención de 0,6 y 1,0 kg/m³, no mostraron diferencias estadísticamente significativas con el testigo en la prevención del ataque de *Coriolus versicolor*, por lo cual, a dichas concentraciones del preservante en estudio, la madera de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don), no estaría suficientemente protegida contra el ataque de dicho hongo.

Las probetas de madera de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) tratadas con CA-B en todos los grupos de retención (0,6, 1,0, 1,4 y 1,8 kg/m³), presentaron diferencias significativas respecto a las probetas testigo contra el ataque de *Lentinus lepideus* (hongo de pudrición café), es decir, todos los niveles de retención estudiados para el preservante, se diferenciaron positivamente de las probetas control en la protección contra el ataque de *Lentinus lepideus*. Por otra parte, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con preservante, por lo que no se puede afirmar la mayor efectividad de algún grupo de retención en particular.

De acuerdo a la guía de evaluación empleada (Norma Chilena NCh 3060.Of 2007) en el estudio contra termita subterránea con probetas de madera de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) tratadas con CA-B, la retención necesaria de preservante para el control de termita subterránea *Reticulitermes flavipes* se encontraría entre 1,4 y 1,8 kg/m³.

En base a los resultados obtenidos, no se pueden suponer requisitos distintos a los exigidos por la Norma Chilena Oficial. NCh 819:2012 para madera de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) tratadas con CA-B, dado que, si bien el producto mostró un buen desempeño contra hongos de pudrición, el valor de retención establecido por la norma para las categorías de riesgo R1-R3, considera la eventual exposición a termita subterránea, y la retención exigida en la norma referida, para estos efectos, se encuentra en el rango de los resultados del presente estudio.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Alday. 2007. Aplicación del fenómeno de cavitación ultrasónica para el control de térmitas subterráneas (*Reticulermes hesperus* Banks).
- Amburgey & Ms.S.V Pariskh. 2007. Laboratory test to determinate the resistance to Formosa subterranean termites (*Coptotermes formosanus*) of wood treated with three formulations. Forest Products Department, Forest and Wildlife Research Center. Mississippi State University.
- American Wood Protection Association Standard, 2015- AWPAE1-15.
- Araujo R. L. 1977. Catálogo dos Isoptera do novo mundo. Río de Janeiro. Brasil. Academia Brasileira de Ciencias. p. 10-69.
- Arch Wood Protection, 2001. Proposal to the General Preservatives Committe and SubCommitte P-4 to Include Copper Azole- Type B in Section 4 of the Use Category Syste, and Standard P-5. Copper Azol-Wood Preservative, CA type B.
- Artigas. J. 1994. Entomología económica. insectos de interés agrícola. forestal. médico y veterinario (nativos. introducidos. y susceptibles de ser introducidos). Concepción. Chile. Ed. Universidad de Concepción. 1 v. 1126 p.
- ASTM. D 1413-07ε. Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures.
- Australian Standard®. AS 1604.1-2012. Specification for preservative treatment. Part1: Sawn and round timber.
- Baeza. Mauricio; Briones. Rodrigo y Hernández. Gonzalo.Retención mínima de sales CCA en madera de pino radiata que protege del ataque de la termita subterránea.Maderas. Cienc. Technol.[online]. 2002. vol.4. n.2 [citado 2017-06-11]. pp. 186-192. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0718221X2002000200009&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-221X. [Http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2002000200009](http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2002000200009).
- Barahona. Angelina del Carmen.2009. 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.
- Bluth. A. 2013. Productos de ingeniería en Chile. ¿Es posible?. Revista Lignum. N°143. Septiembre-October.76: 5-10.
- Cabrera. P.; Parra. P.1998. Defendamos nuestra madera. Santiago. Chile. INFOR (Instituto Forestal). Folleto de difusión. 15 p.

Caneva. G., Nugari M. P., Salvadori O. 2000. La Biología en la restauración. Editorial Nerea. Junta de Andalucía. Sevilla. 280 p.

Carmona C. R., and Durán F. A., 2005. Eficacia de preservantes en madera de *Pinus radiata* D. Don. frente al ataque de termitas subterráneas (*Reticulitermes hesperus*): Maderas. Ciencia y tecnología. v. 7. p. 27-36.

CONAF. 2011. Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Santiago de Chile. 28 p.

CONAF. 2017. Plantaciones Forestales (en línea). Chile <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/plantaciones-forestales>. Consultado 11 Agosto 2017.

CORMA. 2014. Seminario. Impregnación de Pino Radiata en Chile (en línea). Chile http://www.corma.cl/_file/material/seminario-8-enero-08-biblioteca.pdf. Consultado 11 Agosto 2014.

Creffield. J. W., Drysdale. J. A., Chew. N., Nguyen. N-K. 1995. Laboratory evaluation of the termiticidal effectiveness of Tanalith® 3485. Research Institute of Wood Industry. IRG/WP 95-10109.

Creffield. J. W., J A Drysdale. N Chew. 1996. In-ground evaluation of a copper azole wood preservative (Tanalith® E) at a tropical Australian test site. Research Institute of Wood Industry. IRG/WP 96-30100.

Cruz de León. J. 2010. Manual para la protección contra el deterioro de la madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Dhyani. S. & Kamdem. D.P. 2012 Bioavailability and form of copper in wood treated with copper-based preservative. . Wood Sci Technol (2012) 46: 1203. doi:10.1007/s00226-012-0475-x.

Drysdale, 2002. Global regulatory changes restrict the use of CCA. NZ Journal of Forestry.

Environmental Protection Agency (EPA). 2003. Response to Requests to Cancel Certain Chromated Copper Arsenate (CCA) Wood Preservative Products and Amendments to Terminate Certain Uses of other CCA Products. Federal Register, 68(68): 17366-17372.

Freeman, Nicholas, Schultz. 2004. Non-Arsenical wood protection: Alternatives for CCA, Creosote, and Pentachlorophenol.

Gara. R.; L. Cerda. M. Donoso. 1980. Manual de entomología forestal. Valdivia. Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 61 p.

Goodell *et al.*, 2007. Brown-rot decay of ACQ and CA-B treated lumber.

González G. 2012. Patologías bióticas de la madera. Capítulo 5: Insectos Xilofagos Sociales: Termitas. Módulo 1-Magíster en Construcciones en Madera. Universidad del Bío Bío. Concepción. Chile.

INFOR. 2016. Anuario Forestal. Boletín 154. Santiago de Chile.171 p.

INFOR. 2016. Industria del Aserrío 2016. Boletín 155. Santiago de Chile.113 p.

INFOR. 2016. Industria Forestal Primaria en Chile, Periodo 2005-2016. Santiago de Chile.174 p.

Islam *et al.*, 2013. Impregnation of Preservative and Fire Retardants into Japanese Cedar Lumber by Passive impregnation. BioRessouces 8(1): 395-404.

Instituto Nacional de Normalización. 1987. NCh 789. Of. 87. Maderas – parte1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural.

Instituto Nacional de Normalización. 2012. . NCh 819:2012. Madera preservada. Pino radiate. Clasificación según riesgo de deterioro en servicio y muestreo.

Instituto Nacional de Normalización 2007. NCh 3060.Of 2007; Preservantes de la madera- Determinación de la eficacia contra termitas subterráneas- Método de laboratorio.

Ma *et al.*, 2013. Effect of Wood surface treatment on fungal decay and termite resistance.

Miller. M. 1974. Biología de los termes. Consejo Nacional Para la Enseñanza de la Biología. Cía. Editorial Continental S.A. 1ª Edición. 376 p.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 1992. Decreto Ley N°47. Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones.

Montes, Latorre, Ducaud, Hanke 2011. Test de estacas para evaluar efectividad en el tiempo del preservante Wolman CA-B.

Morales. 2003. Control de Termitas Subterráneas: Prevención es Clave. Nadie está Libre. Revista BIT. Santiago. (64) 48-52.

Pearce. J. 1997. Termites: biology and pest management. CAB International. Wallingford. UK 180 p.

CORFO. 2014. Programa Estratégico Mesoregional “INDUSTRIA SECUNDARIA DE LA MADERA MAULE - BIOBÍO – ARAUCANÍA – LOS RÍOS”. Gerencia de Desarrollo Competitivo de CORFO. 25 p.

Reinprecht L.2016 Wood Deterioration, Protection and Maintenance, First Edition. JohnWiley & Sons, Ltd. Published 2016 by JohnWiley & Sons, Ltd. 366 p.

Ripa. 2013. Termitas y madera; enemigas naturales. Informe técnico. Revista Lignum N° 143.

Rodriguez. J. A. 1998. Tratado de rehabilitación. Departamento de construcción y tecnología arquitectónica. Universidad Politécnica de Madrid.

Ross. R. J. 2010. Wood handbook: wood as an engineering material. Centennial ed. General technical report FPL; GTR-190. Madison. WI: U.S. Dept. of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. 1 v.

Salminen *et al.*, 2014. Wood preservation with chemicals. Best Available Techniques (BAT). Nordic Council of Ministers.

Sánchez. F. P. 2001. Protección preventiva de la madera. Asociación de Investigación y Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. 430 p.

Schultz. T. P. Nicholas. D. D.. Preston. A. F. 2007. A brief review of the past, present and future of wood preservation. Pest Management Science. 63: 784–788. doi: 10.1002/ps.

Schultz. T. P. Nicholas. D. D. 2009. Short – and long-term ground-contact decay efficacies of three copper-organic system and possible implications for standarization criteria for copper-based system.

Silva. 2007. Aplicación de ondas ultrasónicas como medio de control al ataque de termitas subterráneas *Reticulermes Hesperus* Banks en madera de *Pinus radiata* (D.Don).

Sivrikaya. *et al.*, 2016. Performance of copper azole treated softwoods exposed to marine borers. Maderas. Cienc. tecnol. [online]. vol.18. n.2 [citado 2017-04-10]. pp.349-360.

Tascioglu C. 2010. Biological performance of copper azole-treated wood and wood-based composites. *Holzforschung* 64(3):399-406.

United States Department of Agriculture. Forest Products Laboratory (USDA). 2012. General Technical Report FPL-GTR-190. Wood handbook—Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory. 509 p.

Zelinka. Samuel L. 2013. Corrosion of fasteners in wood treated with newer wood preservatives. General Technical Report FPL-GTR-220. Madison. WI: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. 64 p.

ANEXO 1
Antecedentes norma chilena NCh 819.2012

Cuadro1. Preservantes utilizados para tratamientos de pino radiata.

Tipo de preservante	Ingrediente activo
ACQ	Cobre alcalino cuaternario
B_2O_3 (SBX)	Oxidos de boro
BS	Boro silicio
CA-B	Cobre más tebuconazol tipo B
CCA	Oxidos de cobre, cromo y arsénico
Creosota	Creosota y petróleo pesado, fuel oil N°5
LFF	Lignofenolformaldehído
LOSP	Permetrina
LOSP	Permetrina más tebuconazol más propiconazol
LOSP	Permetrina más TBTN
MCA_z	Cobre micronizado más tebuconazol
$\mu CA-C$	Cobre micronizado más tebuconazol más propiconazol

Fuente : Norma Chilena NCh819: 2012.

Cuadro 2. Clasificación de riesgo, según uso y agente biológico de deterioro.

Nivel de Riesgo de deterioro	Condición de uso	Agente biológico de deterioro (ingreso y ataque)
Riesgo 1 (R1)	Uso en interiores, sobre el nivel del suelo y ambientes secos	Insectos, incluida la termita subterránea
Riesgo 2 (R2)	Uso en interiores, sobre el nivel del suelo, con posibilidad de adquirir humedad, ambientes mal ventilados	Hongos de pudrición e insectos, incluida la termita subterránea
Riesgo 3 (R3)	Uso en exteriores o interiores, exposición a las condiciones climáticas	Hongos de pudrición e insectos, incluida la termita subterránea
Riesgo 4 (R4)	Uso en exteriores o interiores, en contacto con el suelo, con posibilidades de contacto esporádico con agua dulce	Hongos de pudrición e insectos, incluida la termita subterránea
Riesgo 5 (R5)	Uso en exteriores o interiores, en contacto con el suelo, componentes estructurales críticos, contacto con agua dulce	Hongos de pudrición e insectos, incluida la termita subterránea.
Riesgo 6 (R6)	Uso en contacto con agua marina	Horadores marinos, hongos de pudrición e insectos, incluida la termita subterránea.

Fuente: NCh 819: 2012.

Cuadro 3. Retención mínima de preservante (I.A.) según nivel de riesgo de deterioro de la madera.

Riesgo	ACQ (kg/m ³)	B ₂ O ₃ (SBX) (kg/m ³)	BS (kg/m ³)	CA-B (kg/m ³)	CCA (kg/m ³)	Creosota (kg/m ³)	LFF (kg/m ³)	LOSP Permetrina (kg/m ³)	LOSP Permetrina + tebuconazol +propiconazol (kg/m ³)	Permetrina más TBTN (kg/m ³) No se especifica	MCA ₂ (kg/m ³)	μCA-C (kg/m ³)
1	4,0	4,4	11,2	1,7	4,0	No se debe usar	34	0,086	0,086	0,086 + No se especifica	1,0	0,8
2	4,0	4,4	11,2	1,7	4,0	No se debe usar	34	No se debe usar	0,086/0,2	0,086 + 0,34	1,0	0,8
3	4,0	No se debe usar	11,2	1,7	4,0	No se debe usar en ambiente interior 128 - 400	42	No se debe usar	0,086/0,26	0,086 + 0,34	1,0	0,8
4	6,4	No se debe usar	No se debe usar	3,3	6,4	128	51	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	2,4	2,2
5	9,6	No se debe usar	No se debe usar	5,5	9,6	192	55	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	3,7	3,6
6 ^{a)} Zona de ensayo exterior	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	24 ó 40	400	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar
6 ^{b)} Zona de ensayo interior	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	14 ó 24	400	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar

a) La retención mayor se debe usar cuando existe riesgo de ataque de *Teredo* y *Limnoria tripunctata*.

b) Densidad básica utilizada para madera de radiata: 429 kg/m³.

Fuente: NCh 819: 2012.

APÉNDICE 1

Resultados Ensayos de Biodegradación

Hongo pudrición blanca <i>Coriolus versicolor</i>					Resultados			
Grupo de Retención	Parámetro	Volumen	Densidad Aparente	Retención Obtenida	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Peso	
	Unidad	cm ³	g/cm ³	kg/m ³	g	g	g	%
Sin Tratamiento	Prom 6 Probetas	6,73	0,48	0,00	3,53	3,37	0,16	4,50
	Desvest	0,06	0,03	0,00	0,20	0,17	0,05	0,01
0,6	Prom 6 Probetas	6,81	0,48	0,67	3,56	3,43	0,13	3,71
	Desvest	0,11	0,01	0,01	0,09	0,11	0,05	0,01
1,0	Prom 6 Probetas	6,77	0,50	1,05	3,68	3,55	0,13	3,56
	Desvest	0,08	0,01	0,02	0,10	0,14	0,04	0,01
1,4	Prom 6 Probetas	6,81	0,44	1,43	3,24	3,17	0,08	2,30
	Desvest	0,06	0,01	0,04	0,06	0,04	0,05	0,01
1,8	Prom 6 Probetas	6,78	0,40	1,80	2,94	2,87	0,06	2,08
	Desvest	0,17	0,02	0,02	0,12	0,11	0,05	0,01

Hongo de pudrición café <i>Lentinus lipideus</i>					Resultados			
Grupo de Retención	Parámetro	Volumen	Densidad Aparente	Retención Obtenida	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Peso	
	Unidad	cm ³	g/cm ³	kg/m ³	g	g	g	%
Sin Tratamiento	Prom 6 Probetas	6,77	0,48	0,00	3,52	1,69	1,82	51,41
	Desvest	0,05	0,04	0,00	0,27	0,34	0,48	0,12
0,6	Prom 6 Probetas	6,75	0,48	0,66	3,53	3,22	0,31	8,78
	Desvest	0,10	0,00	0,01	0,07	0,24	0,20	0,06
1,0	Prom 6 Probetas	6,75	0,50	1,06	3,65	3,49	0,15	4,15
	Desvest	0,10	0,01	0,01	0,07	0,07	0,08	0,02
1,4	Prom 6 Probetas	6,83	0,44	1,44	3,28	3,16	0,13	3,79
	Desvest	0,04	0,01	0,05	0,09	0,06	0,04	0,01
1,8	Prom 6 Probetas	6,85	0,40	1,79	3,01	2,93	0,08	2,49
	Desvest	0,04	0,02	0,05	0,15	0,14	0,02	0,01

APÉNDICE 2
Análisis de Varianza ensayo con hongos

RESUMEN Hongo Pudrición Blanca <i>Coriolus versicolor</i>								
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>				
Columna 1	6	0,2169501	0,0361583	0,0000450				
Columna 2	6	0,1922593	0,0320432	0,0000580				
Columna 3	6	0,1813060	0,0302177	0,0000829				
Columna 4	6	0,1133194	0,0188866	0,0001299				
Columna 5	6	0,1040983	0,0173497	0,0001406				
ANÁLISIS DE VARIANZA								
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>		
Entre grupos	0,001671567	4	0,00042	4,57839	0,00653	2,75871		
Dentro de los grupos	0,002281871	25	0,00009					
Total	0,003953439	29						
				HSD=	0,016264			
Diferencia honestamente significativa	HSD= 0,016264							
Valores críticos para Tuckey	Multiplicador= 4,17							
Cuadrado del error Medio	Mse= 9,12749E-05							
Tamaño de muestra de los grupos	n= 6							
				0	0,6	1	1,4	1,8
			0		0,004	0,006	0,017	0,019
			0,6			0,002	0,013	0,015
			1,0				0,011	0,013
			1,4					0,002
			1,8					

RESUMEN Hongo de pudrición café <i>Lentinus lipideus</i>								
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>				
Columna 1	6	3,11978	0,51996	0,01263				
Columna 2	6	0,48342	0,08057	0,00346				
Columna 3	6	0,22898	0,03816	0,00043				
Columna 4	6	0,18068	0,03011	0,00006				
Columna 5	6	0,09844	0,01641	0,00000				
ANÁLISIS DE VARIANZA								
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>		
Entre grupos	1,113486986	4	0,278371746	83,93627342	4,08109E-14	2,75871047		
Dentro de los grupos	0,082911635	25	0,003316465					
Total	1,196398621	29						
				HSD=	0,09804			
Diferencia honestamente significativa	HSD= 0,098039							
Valores críticos para Tuckey	Multiplicador= 4,17							
Cuadrado del error Medio	MSE= 0,003316465							
Tamaño de muestra de los grupos	n= 6							
				0	0,6	1	1,4	1,8
			0		0,44	0,48	0,49	0,50
			0,6			0,04	0,05	0,06
			1,0				0,01	0,02
			1,4					0,01
			1,8					