



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA
MADERA**

**Evaluación de los métodos de impregnación por inmersión, baño
caliente-frío y presión, utilizando sales de boro y azoles de cobre
en la madera de *Quercus rugosa* Née.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
Ingeniero en Tecnología de la Madera**

PRESENTA:

Juan Antonio Díaz López

ASESOR DE TESIS:

**Maestro En Ciencia y Tecnología de la Madera Luz Elena Alfonsina
Ávila Calderón**

CO-ASESOR DE TESIS

**Maestro En Ciencia y Tecnología de la Madera Marco Antonio Herrera
Ferreyra**

MORELIA MICHOACÁN, FEBRERO 2014

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Investigaciones relacionadas con la impregnación con sales de boro.....	3
2.2. Investigaciones relacionadas con la impregnación con CA-B.....	4
3. GENERALIDADES.....	6
3.1. Generalidades de la especie de encino.....	6
3.1.1. Características botánicas de la especie de encino en estudio.....	6
3.1.2. Características macroscópicas de la madera.....	7
3.1.3. Características microscópicas de la madera.....	7
3.1.4. Propiedades físicas y mecánicas de la madera.....	8
3.2. Generalidades de las sustancias preservantes sustitutas del CCA.....	9
3.3. Generalidades de los tratamientos de impregnación.....	12
3.3.1. Procesos sin presión.....	12
3.3.2. Procesos con vacío-presión.....	13
4. OBJETIVOS.....	15
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
5.1. Materiales.....	16
5.2. Métodos.....	16
5.2.1. Madera.....	16

5.2.2. Preparación de sustancias preservantes.....	17
5.2.3. Impregnación.....	17
5.2.4. Determinación de absorción y retención.....	18
5.2.5. Penetración.....	19
5.2.6. Rango de tratabilidad.....	20
5.3. Diseño experimental.....	21
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
6.1. Color.....	22
6.2. Absorción.....	22
6.3. Penetración.....	23
6.4. Rango de tratabilidad.....	24
6.5. Retención.....	25
6.6. Análisis estadístico.....	25
7. CONCLUSIONES.....	28
8. RECOMENDACIONES.....	29
9. REFERENCIAS.....	30
10. ANEXOS.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Distribución geográfica de <i>Q. rugosa</i>	7
Figura 6.1. Colores finales de la madera de acuerdo al tratamiento recibido.....	22
Figura 6.2. Resultado de las pruebas colorimétricas de penetración.....	23
Figura 6.3. Retenciones promedio de la madera de <i>Q. rugosa</i> en cada tratamiento.....	25
Figura 6.4. a) Grafica de medias de las sustancias preservantes; b) Grafica de medias de los métodos de impregnación; c) Grafica de medias del efecto combinado de los factores.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Características macroscópicas y microscópicas de <i>Q. rugosa</i>	8
Tabla 3.2. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de <i>Q. rugosa</i>	9
Tabla 5.1. Secuela de secado T3-C1 para <i>Quercus</i> spp. de 8/4”.....	17
Tabla 5.2. Matriz de repeticiones en cada tratamiento.....	21
Tabla 6.1. Promedios y coeficientes de variación de las absorciones obtenidas en cada tratamiento.....	22
Tabla 6.2. Resultados de tratabilidad de la madera de <i>Q. rugosa</i> en cada tratamiento...	24
Tabla 6.3. Clasificación de acuerdo a las retenciones obtenidas, Nivel de Riesgo (retención mínima).....	25
Tabla 6.4. Análisis de varianza (ANOVA) de las retenciones.....	26
Tabla 6.5. Prueba DSH de Tukey.....	26

RESUMEN

Este trabajo tuvo por objetivo evaluar el comportamiento de la madera de *Quercus rugosa* Née impregnada por tres métodos (inmersión, baño caliente-frío y vacío-presión) usando sales de boro y azoles de cobre (CA). Ambas sustancias son consideradas como candidatas a sustituir al arsenato cromatado de cobre (CCA) empleadas en la industria de la construcción residencial. Dicho desplazamiento del CCA en la madera impregnada para construcción, obedece a la percepción de riesgo en la salud humana, asociada con la presencia de arsénico en las formulaciones del CCA.

Para la realización del ensayo se prepararon lotes de 14 piezas de madera de albura de 20 mm de espesor x 20 mm de ancho x 300 mm de largo y se utilizaron las sustancias preservantes a una concentración de 1,5 %. La inmersión se realizó durante 48 h, el tratamiento de baño caliente-frío (BCF) se realizó con periodos de 16 h y 32 h respectivamente, el tratamiento de vacío-presión se realizó con 50 mmHg y 8 kg/cm². Para evaluar la efectividad de los métodos de impregnación se determinaron la absorción y la retención en cada pieza de acuerdo con JUNAC; la penetración de boro y cobre se determinó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-C-410-ONNCCE-1999. Los resultados de absorción y penetración fueron ponderados obteniéndose así los rangos de tratabilidad de la madera, arrojando que con ambas sustancias la madera es difícil de tratar (DT) por el método de inmersión, moderadamente tratable (MT) por los métodos de BCF y vacío-presión. Las retenciones mayores se obtuvieron por el método de vacío-presión (4,09 kg/m³ con sales de boro y 3,5 kg/m³ con CA); seguido del método de inmersión (3,01 kg/m³ con sales de boro y 2,88 kg/m³ con CA); y finalmente BCF (2,10 kg/m³ con sales de boro y 2,09 kg/m³ de CA). De acuerdo a estos resultados de las retenciones con sales de boro la madera puede emplearse en un nivel de riesgo R1 (madera en interiores, ambiente seco y ventilado) de acuerdo con la norma NMX-C-322-ONNCCE-11-2003; para la madera impregnada con CA, de acuerdo con la norma U1-12 de la AWPA, la retención obtenida por BCF entra en la categoría de uso UC3 (madera para uso exterior sin contacto con el suelo), las retenciones por vacío-presión entra en la categoría UC4A (categoría madera usada en componentes no críticos y en contacto con el suelo o agua dulce). En cuanto al análisis estadístico arroja que existen diferencias significativas ($p < 0,01$) en el efecto de la sustancia preservante y el método de impregnación, y con interacción de ambos factores no existe diferencia significativa ($p \geq 0,01$).

Palabras clave:

Quercus rugosa, arsenato cromatado de cobre (CCA), sales de boro, azoles de cobre (CA), tratabilidad.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the behavior of wood *Quercus rugosa* Née which is impregnated by three different procedures (immersion, hot-cold bath and vacuum-pressure) using boron salts and copper azole (CA). Both substances are considered as candidates for substitution of chromated copper arsenate (CCA) used in the residential construction industry. This shift implies of CCA in the impregnated wood used for building construction, this due to a perception of human's health hazard, it is associated with the presence of arsenic in the CCA formulations.

For test purposes, batches of 14 pieces of sapwood were prepared, with 20 mm thickness x 20 mm width x 20 mm length and the preservatives substances were used at concentration of 1,5 %. First, the immersion was performed during 48 h; the hot-cold bath treatment was conducted with periods of 16h and 32h respectively, vacuum-pressure treatment was performed with 50 mmHg and 8 kg/cm². Then, in order to evaluate the effectiveness of methods of impregnating, the absorption and retention of each piece were determined by JUNAC; the boron and copper's penetration were determined based on Mexican Standard NMX-C-410-ONNCCE-1999. Then, results of absorption and penetration were weighted thus obtaining ranges of treatability wood, demonstrating both substances, the wood is difficult to treat (DT) by the immersion procedure, moderately treatable (MT) by the methods of hot-cold bath and vacuum-pressure. There were higher retentions by the procedure of vacuum-pressure (4,09 kg/m³ with boron salts and 3, 5 kg/m³ with CA); followed by the immersion method (3,01 kg/m³ with boron salts and 2, 88 kg/m³ with CA); and finally hot-cold bath (2,10 kg/m³ with boron salts and 3, 5 kg/m³ with CA). Based on the findings of boron salts' retentions, the wood can be used in a level of risk R1 (interior wood, dry and ventilated place) according to the Standard NMX-C-322-ONNCCE-11-2003; to the impregnated wood for CA, based on the Standard U1-12 of AWPA, the retention obtained by the hot-cold bath falls under the category of use UC3 (wood for exterior use without contact to the ground), vacuum-pressure retentions fall under the category UC4A (category, the wood used on noncritical components and ground contact or freshwater). Finally, with regard to statistical analysis shows us that there are great differences ($p < 0,01$) in the effect between preservative substances and the impregnation method, and there is no significant difference between the interaction of both factors ($p \geq 0,01$).

Keywords:

Quercus rugosa, chromated copper arsenate (CCA), boron salts, copper azole (CA), treatability.

1. INTRODUCCIÓN

En el medio natural, los residuos de madera se reincorporan como nutrientes al suelo a través de la acción degradante de hongos, insectos y otros organismos como los xilófagos marinos (moluscos y crustáceos). En algunas circunstancias estos mismos recicladores naturales (agentes de deterioro) tienen el potencial para degradar la madera utilizada en la construcción (Lebow y White, 2007).

Para prevenir o contrarrestar la acción de estos agentes de deterioro, es que se introducen determinadas sustancias químicas (los preservantes) en el interior de la madera (Tuset y Duran, 1979). Estos preservantes para madera se pueden dividir en dos clases generales: (1) preservantes oleosolubles, tales como creosota-petróleo y soluciones de pentaclorofenol, y (2) preservantes hidrosolubles, los cuales son aplicados en solución acuosa. Los métodos de impregnación de la madera son de dos tipos generales: (a) los procesos de presión, en el que la madera se impregna en recipientes cerrados sometidos a presiones considerablemente superiores a la atmosférica, y (b) los procedimientos sin presión, que varían ampliamente en los procedimientos y equipos utilizados (Forest Products Laboratory FPL, 2010).

Actualmente la industria de la preservación de la madera está claramente dividida en dos segmentos: uno que sirve al mercado de la construcción residencial y el segundo que sirve a mercados industriales. Históricamente, las sustancias preservantes más utilizadas son el pentaclorofenol (PCF), la creosota y el arsenato cromatado de cobre (CCA); de éstos el más antiguo es la creosota que data de 1681; hacia 1986 decrece el uso del PCF, que inició en 1931, y remonta la demanda de CCA, las cuales aparecieron en 1983 (Barnes y Murphy, 1995 citados por Machuca y col., 2006). En los últimos 20 años, los preservantes hidrosolubles han sido los más comunes, siendo el CCA el preservante más utilizado en el tratamiento a presión (Loferski, 2001).

La percepción de riesgos a la salud humana, asociados con la presencia de arsénico en la madera tratada con CCA, ha dado lugar a la revisión en el ámbito internacional de las normas de formulación y códigos de uso. En Europa, la Comisión Directiva de la Unión Europea restringe el uso de arsénico por medio del acta 76/769/EEC decretada en el 2000 la cual establece que los compuestos de arsénico no deben ser utilizados para el tratamiento de preservación de la madera al menos que el uso final sea para instalaciones industriales. La industria de la preservación de la madera en los Estados Unidos voluntariamente limitó la disponibilidad de madera tratada con CCA para aplicaciones residenciales el 31 de diciembre del 2003, con esto se restringe la producción de madera preservada para uso residencial con ciertas excepciones, por lo cual la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) sólo permite su aplicación en la industria (USEPA, 2003). En Australia, la Autoridad Australiana de Pesticidas y Medicina Veterinaria (APVMA) da por

concluido el uso del CCA para aplicaciones de la madera en contacto con el ser humano a partir de marzo del 2006 (Kear y col., 2008).

Actualmente en el mercado existen varias sustancias preservantes libres de arsénico para el tratamiento de la madera: cobre alcalino cuaternario (ACQ), boratos o boro inorgánico, azoles de cobre (CA), ácido cromatado de cobre (ACC) y dimetilcarbamato de cobre (CDDC) (Lebow y col., 2004; Groenier y Lebow, 2006; FPL, 2010; USEPA, 2012).

Con lo planteado anteriormente, la industria de preservación de la madera en el mundo está sufriendo una transformación, por lo cual es de gran importancia tener información de cómo se comportan las maderas mexicanas sometidas a dichas sustancias preservantes sustitutas ya que el futuro de la madera impregnada con CCA no parece prometedor, especialmente en la construcción de uso residencial. Entre las maderas mexicanas se encuentran los encinos, como comúnmente se le conoce en México al género *Quercus* spp. que son el conjunto de especies que constituyen el recurso maderable más abundante, después de los pinos (Zavala, 1995; Aguilar y col., 1999 citados por De la Paz y col., 2000), a pesar de esto su aprovechamiento ha sido reducido e inadecuado debido principalmente al desconocimiento taxonómico y tecnológico de las especies existentes; que no está de acuerdo con las excelentes características que presentan varias de las especies arbóreas integrantes de este grupo (De la Paz y Aguilar, 1978).

En consecuencia, el correcto aprovechamiento de este importante género se logrará en la medida en que las diferentes metodologías y tecnologías para su uso sean conocidas y, a su vez, a la disposición, sensibilización y educación de los industriales para seguir las recomendaciones sugeridas en los estudios pertinentes.

Debido a las situaciones expuestas anteriormente, este trabajo tiene como fin evaluar el comportamiento de la madera de *Quercus rugosa* Née frente a la impregnación con sales de boro y azoles de cobre: con el objeto de contribuir al conocimiento de la especie y con base en los resultados se sugieren posibles aplicaciones.

2. ANTECEDENTES

El escrutinio bibliográfico se conforma por la cita de autores que han realizado investigación acerca de la impregnación de la madera por diferentes métodos utilizando los compuestos de boro y azoles de cobre.

2.1. Investigaciones relacionadas con la impregnación con sales de boro

Tsunoda y col. (2002) evaluaron la efectividad del octaborato disódico tetrahidratado (DOT) en soleras para el control de termitas subterráneas y pudrición, usando 2 concentraciones (2% y 3%), obteniendo retenciones en un rango 1,1 a 5,4 kg/m³. La evaluación del ataque y deterioro de las soleras lo realizaron 5 años después de haber sido instaladas en los sitios de pruebas, de dicha evaluación obtuvieron que los controles fueron atacados fuertemente por las termitas y presentaron signos de pudrición, mientras que excepcionalmente solo dos de las veinte soleras tratadas presentaron mínimos rastros de ataque de termitas.

Waldron y col. (2004) desarrollaron modelos de lixiviación de los preservantes arsenato cromatado de cobre-tipo C (CCA-C), cobre alcalino cuaternario-tipo C (ACQ-C), azoles de cobre-tipo B (CA-B) y octaborato disódico tetrahidratado (DOT). Usando tres parámetros: componente total lixiviable, relacionado con la lixiviación intensiva fina por la abrasión del sustrato; cantidad de componente disuelto o disociados en agua; y coeficiente de difusión de compuestos preservantes en dirección longitudinal y transversal. Obtuvieron retenciones con el CCA-C de 4,3 kg/m³, con DOT de 2,28 kg/m³, con ACQ de 3,15 kg/m³ y con CA-B de 1,94 kg/m³, de acuerdo al modelo obtenido concluyen que el DOT se lixiviará después de 1 año, el ACQ y el CCA-C se lixiviará 2/3 de cobre después de 1 año en cuanto al CA-B no obtuvieron el modelo de predicción debido a que no alcanzó el punto de equilibrio de lixiviación. Concluyen que los resultados predicen que el ACQ tendrá mayores tasas de lixiviación iniciales comparadas con el CCA y CA-B, esta última continuará la lixiviación de cobre a una velocidad apreciable durante un tiempo mucho mayor.

Gómez y Bonilla (2009) impregnaron la madera de diferentes niveles del fuste del *Croton lechleri* Muell (Sangre de grado). Compararon la retención y penetración del tetraborato de sodio decahidratado con una concentración del 30% utilizando el método de impregnación por difusión por periodos de dos a cuatro semanas. Las retenciones a dos semanas fueron de 0,918 kg/m³; a cuatro semanas de 4,11 kg/m³. La penetración a dos semanas, fue parcial irregular y parcial regular; para el periodo de cuatro semanas fue total irregular y total regular.

Casimiro (2012) realizó la impregnación de madera de *Pinus pseudoestrobis* Lindl, utilizando sales de boro y CA-B por los métodos de inmersión simple y baño caliente-frío (BCF). Obteniendo retenciones con las sales de boro de 2,34 kg/m³ en inmersión simple y 3,41 kg/m³ en BCF, y retenciones de CA-B de 3,01 kg/m³ en el inmersión simple y 3,81

kg/m³ en el tratamiento de BCF. El autor argumenta que los valores obtenidos superaron el requisito mínimo de retención para uso sin contacto con el suelo.

2.2. Investigaciones relacionadas con la impregnación con CA-B

Lebow y col. (2004) publicaron el artículo “Madera tratada en transición: una revisión de los candidatos de remplazo del CCA”. En este trabajo se mencionan las retenciones mínimas de azoles de cobre tipo-A (CBA) son 3,20 kg/m³ y 6,57 kg/m³ para uso sin contacto con suelo y en contacto con el suelo respectivamente; se requiere una retención de 9,77 kg/m³ específicamente para miembros estructurales críticos en contacto con el suelo. Las retenciones mínimas de CA-B son 1,60 kg/m³ o 3,36 kg/m³ para madera sin contacto con suelo y en contacto con el suelo respectivamente, una retención de 4,97 kg/m³ específicamente para miembros críticos de madera en contacto con el suelo.

Matsunaga y col. (2004) realizaron el estudio sobre la micro-distribución de los azoles de cobre en la madera de cedro japonés (*Cryptomeria japonica*) utilizando un microscopio electrónico de barrido equipado con energía dispersante de rayos X (SEM-EDXA) obteniendo que la concentración de cobre en orden descendente se encuentra en: la pared secundaria de las traqueidas, lámina media, borde de las punteaduras areoladas, torus de las traqueidas y depósitos en el parénquima longitudinal.

Islam y col. (2009) estudiaron el comportamiento de la madera de abeto douglas (*Pseudotsuga menziesii* Franco) preservada con CA-B utilizando el método de impregnación pasiva, realizando dos diferentes densidades de incisiones (7500 y 10000 incisiones/m²), por lo cual utilizaron para la inmersión una solución de 0,68% de ingrediente activo de CA-B, obteniendo retenciones totales promedio que variaron de 1,61 kg/m³ para la madera verde con densidad de incisión 7500 sumergida durante 3 horas a 2,68 kg/m³ para la madera seca con densidad de incisión de 10,000 incisiones/m² sumergido durante 12 horas.

Momohara y col. (2009) analizaron el efecto del secado en troncos de cedro japonés sobre la impregnación con azoles de cobre, utilizando el método de impregnación de célula llena. Encontrando que la absorción del preservante tiende a disminuir con un incremento del contenido de humedad; la penetración no tuvo correlación con el contenido de humedad, el peso dimensional, y la absorción de preservante. Afirman que la penetración promedio en la madera secada al aire libre fue significativamente mayor con un 99,6% teniendo una desviación estándar de 0,8%, en las de secado al horno que fue de 80% con una desviación estándar de 13,2%.

Ando y col. (2011) estudiaron la lixiviación del CA-B en la madera de Sundri (*Heritiera fomes* Buch.-Ham) tratada por los métodos de impregnación pasiva y célula llena, obteniendo retenciones promedio de 1,33 y 1,43 kg/m³ respectivamente aclarando que dichos valores no son significativos; la penetración y dispersión resultaron mayores con el

método pasivo de preservación con un 66%, que con el método de célula llena que fue de 43%. Concluyen que la lixiviación del preservante fue significativamente mayor en la madera tratada por el método de célula llena con 1,18% que por el método de impregnación pasiva con 0,92%.

3. GENERALIDADES

En este capítulo se hará referencia a la información publicada acerca de las características botánicas de esta especie, la caracterización macroscópica y microscópica de la madera, además de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Además un apartado donde se menciona las características y formulaciones de las principales sustancias preservantes consideradas como sustitutas del arsenato cromatado de cobre (CCA).

3.1. Generalidades de la especie de encino

3.1.1. Características botánicas de la especie de encino en estudio

Familia: Fagácea

Género: *Quercus*

Subgénero: *Quercus*

Sección: *Quercus* (sinónimos *Lepidobalanus* y *Leucobalanus*)

Nombre científico: *Quercus rugosa* Neé (Valencia, 2004).

Nombres comunes: Encino de asta (Colima); encino blanco (Baja California); encino cuero (Chihuahua); tulán, roble (Chiapas); encino blanco liso (Durango); encino quiebra hacha (Hidalgo); encino roble (Guerrero); palo colorado (San Luis Potosí); Cu-hó, T-nuyá (chinanteco y zapoteco en Oaxaca); encino avellano, tocuz (Michoacán); encino de miel, encino roble, encino prieto, encino negro, sharari en otras localidades (CONAFOR, s./f.).

Descripción botánica de la especie: **Árbol** de 3-25 m de alto, tronco con un diámetro de 10-80 cm o más; **ramillas** de 3-6 mm de grueso, tomentulosas al principio, después casi glabras color café grisáceo; **estipulas** lineares u oblanceoladas, de 6-7 mm de largo o aún más, escariosas y pilosas; **hojas** muy gruesas, rígidas y coriácea, frecuentemente cóncavas por el envés, muy rugosas, obovadas, de elíptico-obovadas a casi suborbiculares, de 4-17 cm de largo por 1,8-10 cm de ancho, ápice anchamente obtuso o redondeado, margen engrosado con dientes y ondulaciones, estos dientes rematan un mucrón o arista recta en número de 3-17 a cada lado, base redonda o cordada en la que hay de 8-13 pares de nervios laterales, haz lustroso y glabro, envés tomentoso con pelos ramificados y pelos glandulares abundantes, vermiformes, de color ámbar o rojizo, epidermis glauco-cerosa, papilosa y algo ampulosa; **peciolos** pubescentes de 3-13 mm de largo; 2-12 **flores** femeninas en el pedúnculo largo y delgado de 6-7,5 cm de largo; **fruto** solitario o en grupos de 2-3, involucro de 12-17 mm de diámetro por 7-9 mm de alto, bellota ovoide de 16-25 mm de largo por 9-14 mm de diámetro (Bello y Labat, 1987).

Distribución botánica de la especie: en Michoacán tiene una distribución más o menos continua en la cordillera Neovolcánica. También se encuentra distribuida por los estados de

Aguascalientes, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz y Zacatecas. En EUA: desde Arizona (Arizaga y col, 2009). Por lo cual Valencia (2004) menciona que esta especie es la que mayor distribución presenta en el territorio nacional (Figura 3.1.).

Hábitat: laderas de cerros, barrancas y cañadas húmedas, terrenos planos, suelos someros o profundos, en pocas ocasiones rocosos y pedregosos, lugares secos o muy húmedos, a veces forma parte del matorral subtropical o del bosque mesófilo de montaña, pero generalmente en bosques de pino-encino, encino pino, encino y en el bosque de oyamel (Bello y Labat, 1987).

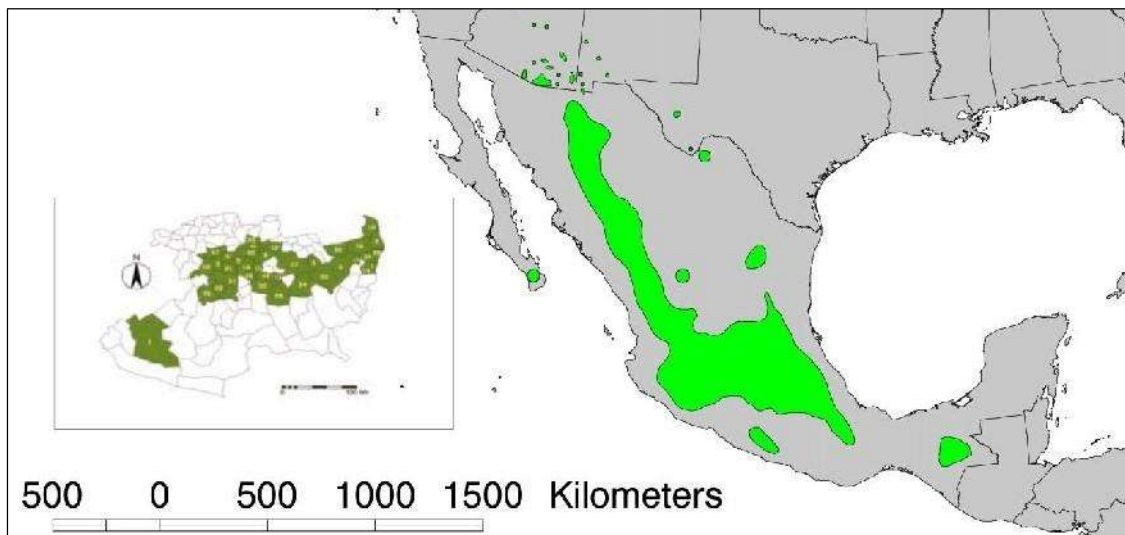


Figura 3.1. Distribución geográfica de *Q. rugosa* (Fuente: Arizaga y col, 2009; USGS, 2013).

3.1.2. Características macroscópicas de la madera (Tabla 3.1.)

La madera presenta diferencia de **color** entre albura y duramen. La albura es de color castaño muy pálido (10YR 8/3) y el duramen es de color castaño amarillento (10YR 5/3). Los radios multiseriados en la albura son de color gris claro (10YR 7/2) contrastando levemente con los demás elementos celulares. Los radios multiseriados en el duramen son de color castaño grisáceo oscuro (10YR 4/2) contrastando con los demás elementos celulares. No tiene **olor** ni **sabor**, el **brillo** es mediano, el **veteado** pronunciado, la **textura** gruesa y el **hilo** recto. Los anillos de crecimiento no están bien marcados (De la Paz Pérez y col., 2006).

3.1.3. Características microscópicas de la madera (Tabla 3.2.)

De la Paz Pérez y col. (2006) reportan que la madera presenta porosidad difusa, los poros son exclusivamente solitarios en arreglo diagonal y radial, son poco numerosos, de

contorno oval circular, de diámetro tangencial mediano. Los elementos de vaso son de longitud mediana, con placas perforadas simples, paredes terminales oblicuas y puntuaciones areoladas alternas de forma oval. Las puntuaciones de vaso-radio son simples, con bordes reducidos y arreglo vertical. Alrededor de algunos vasos de la madera temprana se encuentran traqueidas vasicéntricas. Los vasos presentan gran cantidad de tñlides. El parénquima axial es difuso en agregados. Presenta gomas. Los radios son uniseriados y multiseriados, homogéneos, formados por células procumbentes. Los primeros son numerosos, de 11 células de altura. Los multiseriados son poco numerosos, altos y extremadamente anchos. Presentan gran cantidad de gomas. Las fibras son de tipo libriforme y fibrotraqueidas, de longitud mediana, diámetro fino y pared gruesa.

3.1.4. Propiedades físicas y mecánicas de la madera

Honorato y Fuentes (2001) realizaron el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato, entre ellas *Q. rugosa*, la mayoría de los ensayos que realizaron siguieron los procedimientos de la norma ASTM D143-83, y particularmente los de impacto con norma NFB51-009. Los resultados promedio de las propiedades físicas y mecánicas obtenidos en dicho estudio se resumen en el Tabla 3.2.

Tabla 3.1. Características macroscópicas y microscópicas de *Q. rugosa*

Color	Olor Sabor	Brillo	Veteado	Textura	Hilo	Radios Multiseriados		Visibilidad
						No. En mm	Altura En cm	
Castaño amarillento radios castaño grisáceo amarillento	no distinguibles	mediano	pronunciado	gruesa	recto	pocos min 1 max 2 med 2	altos min 1 max 3,5 min 2,0	Todos a simple vista
VASOS								
POROS			ELEMENTOS VASCULARES					
Porosidad	Agrupación Y Arreglo	No. Por mm ²	Diámetro Tangencial mm	Longitud mm	Placa Perforada	Puntuaciones	Campos de cruce	Traqueidas vasicéntricas
difusa	Solitarios/en hileras radiales	Pocos min 2 max 4 med 3	mediano min 80 max 210 med 150	mediana min 330 max 780 med 520	simple	areoladas alternas	simples de bordes reducidos y arreglo vertical	presentes en madera temprana
PARENQUIMA								
AXIAL		RADIAL (RADIOS)						
Tipo	Clase Y Tipo	Uniseriados			Multiseriados			
difuso agregado	uniseriados y multiseriados homogéneos	No. por mm	No. de células		Anchura µm		No. de series	
		numerosos min 7 max 13 med 10	min 3 max 26 med 11		extremadamente anchos min 502 max 673 med 597		min 30 max 41 med 37	
FIBRAS								
tipo	longitud µm	diámetro µm		grosor de pared µm				
libriformes y fibrotraqueidas	mediana min 1100 max 1600 med 1470	fino min 2 max 5 med 4		Muy grueso min 5 max 10 med 7,5				
CONTENIDO CELULAR								
Vasos			Parénquima (axial y radial)				Fibras	
gran cantidad de tñlides			Abundantes gomas en el radial				gomas	
min= mínima, max= máxima, med= mediana								

Tabla 3.2. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Q. rugosa*

Propiedades Físicas						
Densidades en (g/cm ³)						
Verde	Al 12% de CH		Anhidra	Básica		
1,23	0,96		0,88	0,72		
Contracciones (%)						
Al 12% de CH			Totales			
Radial (βtr)	Tangencial (βtt)	Volumétrica (βtv)	Radial (βtr)	Tangencial (βtt)	Volumétrica (βtv)	
2,79	10,03	12,80	5,12	13,80	17,72	
Coeficiente de relación de anisotropía (βtt/βtr)			2,69			
PROPIEDADES MECANICAS						
Condición	Flexión estática					
	ELP	MOE	MOR	WLP	WCM	
Condición Saturada	375,56	209803,52	624,48	0,0388	0,02044	
Al 12%	710,53	3643444,11	1194,16	0,0072	0,0448	
	Compresión axial					
	ELP	MOE	EMC	WLP	WCM	
Condición Saturada	238,88	212814,66	289,20	0,1469	1,096	
Al 12%	422,64	259218,88	558,38	0,3634	2,876	
	Impacto					
	W	F	RI	MOR	K	
Condición Saturada	4,41	5,32	171,82	656,14	0,287	
Al 12%	5,08	6,50	209,88	988,42	0,323	
	Compresión perpendicular	Dureza (kg)		Cortante	Rajado	Tensión perpendicular
		extremos	lateral			
Condición Saturada	67,3	752,01	732,67	113,9	72,44	46,46
Al 12%	172,31	1361,27	1233,79	192,46	94,82	57,85

ELP= Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm²), MOE= Módulo de Elasticidad (kg/cm²), MOR=Módulo de Ruptura (kg/cm²), WLP= Trabajo al límite proporcional (kg-cm/cm³), WCM= Trabajo a la carga máxima (kg-cm/cm³), EMC= Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm²), W=Trabajo Total de Ruptura (kg.m), F=Fuerza (kg), RI= Reacción instantánea, K= Coeficiente de resiliencia, EM= Esfuerzo máximo (kg/cm²).

3.2. Generalidades de las sustancias preservantes sustitutas del CCA

Cobre alcalino cuaternario (ACQ)

El cobre alcalino cuaternario (ACQ) es uno de los varios preservantes que se han desarrollado en los últimos años como una alternativa al arsenato cromatado de cobre (CCA). Los fungicidas e insecticidas presentes en el ACQ son el óxido de cobre (67%) y un compuesto de amonio cuaternario (33%). Actualmente múltiples variaciones de ACQ han sido estandarizadas. El ACQ tipo B es una formulación de cobre-amoniaco; ACQ tipo D es una formulación de cobre-amina; ACQ tipo C está formulado con amoniaco o amina, y un compuesto cuaternario ligeramente diferente. Con ACQ-B la madera tratada tiene un color marrón verdoso oscuro que se desvanece hasta un marrón más claro y puede tener un ligero olor a amoniaco hasta que la madera seque. La madera tratada con ACQ-D tiene un color

marrón más claro y poco olor perceptible, mientras que la madera tratada con ACQ-C varía en apariencia entre la de ACQ-B y ACQ-D, dependiendo de la formulación. Las formulaciones múltiples de ACQ permiten una cierta flexibilidad para lograr la compatibilidad con una especie específica de madera y su aplicación. Cuando se utiliza amoníaco como portador, el ACQ tiene mejor capacidad de penetración en especies difíciles de tratar. Sin embargo, si la especie de madera es fácilmente tratable, tal como la albura del pino del sur, se puede utilizar amina como portador con lo cual se puede proporcionar un aspecto superficial más uniforme (FPL, 2010). Las retenciones mínimas de ACQ son de 4 kg/m^3 ($0,25 \text{ lb/ft}^3$) para aplicaciones sin contacto con el suelo, $6,4 \text{ kg/m}^3$ ($0,4 \text{ lb/ft}^3$) para aplicaciones que impliquen contacto con el suelo, y $9,6 \text{ kg/m}^3$ ($0,6 \text{ lb/ft}^3$) para la construcción de carreteras. Las diferentes formulaciones de ACQ permiten una cierta flexibilidad en la consecución de la compatibilidad con una especie específica de la madera y la aplicación. Todos los tratamientos ACQ aceleran la corrosión de sujetadores metálicos (Groenier y Lebow, 2006).

Boratos o boro inorgánico (SBX)

Los preservantes compuestos de boratos son fácilmente solubles en agua y altamente lixiviables, por lo cual la madera debe ser utilizada sin estar en contacto con el suelo y protegida de la humedad. Cuando se utiliza sin estar en contacto con el suelo y protegida de la humedad, este preservante es muy eficaz contra la pudrición, las termitas y escarabajos. El boro inorgánico (SBX) de acuerdo con las norma de la AWPA (American Wood-Preserves' Association) se indica para aplicaciones protegidas tales como elaboración de bastidores de madera para uso residencial. El sólido o la solución para el tratamiento preservante con borato deben ser mayores de 98% de pureza, en una base anhidra. Los compuestos de borato aceptables para la preparación de formulaciones son octaborato de sodio, tetraborato de sodio, pentaborato de sodio y ácido bórico. Estos compuestos se derivan del borato de sodio mineral, que es el mismo material utilizado en los aditivos de lavandería. Además de los tratamientos de presión también se pueden aplicar por rociado, brocha o ser inyectado para tratar la madera en las estructuras ya instaladas. La difusión es satisfactoria en la madera verde, por lo que estos preservantes se utilizan a menudo como tratamiento curativo de la madera. Los boratos se utilizan ampliamente para casas de troncos, acabados de madera natural, y aglomerados de madera dura (FPL, 2010). Los compuestos inorgánicos de boro son también utilizados en tratamientos de presión para una amplia variedad de especies de coníferas utilizadas fuera del contacto con el suelo y continuamente protegido del agua. Las retenciones mínimas de borato (B_2O_3) es de $2,7 \text{ kg/m}^3$ ($0,17 \text{ lb/ft}^3$). Una retención de $4,5 \text{ kg/m}^3$ ($0,28 \text{ lb/ft}^3$) se especifica para las zonas con las termitas subterráneas (Groenier y Lebow, 2006).

Azoles de cobre (CA)

Los azoles de cobre (CA) son otra formulación de preservante recientemente desarrollado, que se basa principalmente en cobre-amina, pero que también incluye un co-biocida para proteger adicionalmente a la madera de pudrición y ataque de insectos. La primera formulación de

azoles de cobre en desarrollarse fueron los azoles de cobre – tipo A (CBA-A), que contienen 49% de cobre, 49 % de ácido bórico, y 2% de tebuconazol. Los CA-B son una formulación compuesta de cobre amina (96%) y tebuconazol (4%). Los CA-C es muy similar al CA-B pero la mitad del tebuconazol es remplazado por propiconazol. En los CA-C los ingredientes activos están en proporción de 96% de amina de cobre, 2% tebuconazol y 2% propiconazol. Aunque aparecen como una formulación de amina, también se pueden formular con una formulación amino-amoniaco y ser utilizada para tratar especies refractarias. Sin embargo, la inclusión de amoniaco, afecta ligeramente la apariencia superficial y el olor de la madera tratada (Lebow y col., 2004). Las retenciones mínimas de CA-B en la madera son de 1,6, 3,4 y 5 kg/m³ (0,10, 0,21, y 0,31 lb/ft³) para la madera utilizada sin contacto con el suelo, en contacto con el suelo y en componentes estructurales críticos, respectivamente (Groenier y Lebow, 2006).

Ácido cromatado de cobre (ACC)

El ácido cromatado de cobre (ACC) se ha utilizado como un preservante de la madera en Europa y en los Estados Unidos desde 1920. El ACC contiene óxido de cobre 31,8 % y 68,2% de trióxido de cromo. La madera tratada tiene un color claro verde-marrón y olor poco perceptible. En pruebas de estacas y postes que fueron impregnados con ACC se mantuvieron bien cuando fueron expuestos a la descomposición y al ataque de termitas, aunque pueden ser susceptibles a los ataques de algunas especies de hongos resistentes al cobre. El ACC es recomendado por AWP para una amplia gama de maderas de coníferas y latifoliadas, con un mínimo de retención de 4 kg/m³ (0,25 lb/ft³) para madera usada sin contacto con el suelo y 8 kg/m³ (0,5 lb/ft³) para madera que está en contacto con el suelo. En aplicaciones críticas estructurales, tales como la construcción de carreteras, los listados de AWP el ACC se limitan a postes, pasamanos, barandillas y vigas laminadas utilizadas sin contacto con el suelo. El alto contenido de cromo de ACC evita gran parte de la corrosión que de otro modo podría convertirse en un preservante cobre ácido. ACC no contiene arsénico, pero la formulación del preservante utiliza cromo hexavalente. El cromo se convierte en el estado trivalente más benigno durante el tratamiento y almacenamiento de la madera. Este proceso de reducción de cromo es la base para la fijación en el ACC y depende del tiempo, la temperatura y la humedad. No se han desarrollado normas de fijación o de mejores prácticas de manejo para ACC debido al uso relativamente bajo. Como una guía general, las consideraciones establecidas sobre la fijación para el CCA se pueden aplicar a ACC, pero los tiempos de fijación deben ser extendidos debido a su contenido alto de cromo (Groenier y Lebow, 2006).

Dimetilditiocarbamato de cobre (CDDC)

El dimetilditiocarbamato de cobre es un producto de la reacción formada entre la madera que ha sido tratada con dos diferentes soluciones. Estos compuestos contienen cobre y azufre. El CDDC protege contra los hongos de pudrición e insectos. No ha sido normalizado para su uso marítimo. El CDDC está estandarizado para el tratamiento de pino del sur de Estados Unidos y

algunas otras especies de pino. Las retenciones mínimas de cobre son de 1,6 kg/m³ (0,1 lb/ft³) en madera que se utiliza sin contacto con el suelo y 3,2 kg/m³ (0,2 lb/ft³) en la madera que encuentren en contacto con el suelo. La madera tratada CDDC tiene un color marrón claro y poco o ningún olor (Groenier y Lebow, 2006).

3.3. Generalidades de los tratamientos de impregnación

Existen numerosos métodos de tratamiento para la impregnación de la madera las cuales deben atender a las características propias de la madera y el uso al cual será destinado. A continuación se mencionarán los métodos de tratamiento más utilizados resumidos en el siguiente listado:

Tratamientos de impregnación:

a) Procesos sin presión

- Por brocha, rodillos y aspersion.
- Inmersión
- Baño caliente-frío

b) Procesos a vacío-presión

- Procedimiento Célula llena o Método Bethell.
- Procedimiento Célula vacía o Método Lowry.

3.3.1. Procesos sin presión

Por brocha, rodillos y aspersion

Son los métodos más sencillos para aplicar preservantes a la madera, siendo especialmente indicados para maderas ya instaladas en vivienda, cobertizos u otros tipos de construcciones. Estos métodos son muy antiguos, consisten en extender el preservante utilizando brocha o rodillos en la superficie de la madera que se somete a tratamiento. Para que la madera sea receptiva al líquido preservante, debe de estar seca (CH menor de 20%) y sin recubrimientos de cera, lacas, barnices, pinturas o corteza que actúen como barreras e impidan la penetración del preservante. Lo más indicado es cubrir íntegramente la superficie de la madera, la cual se consigue con aplicaciones consecutivas si se trata de brocha, o con el empleo de abundante preservante si se trata de aspersion. La elección entre el método por brocha o aspersion estará vinculada a razones de índole económica; la efectividad del preservante en cualquiera de los métodos es similar, demandando mayor mano de obra el de brocha o rodillos pero mayor inversión por concepto de equipo el de aspersion. Según el volumen de madera a tratar, puede usarse pulverizadoras accionadas a mano o a motor, con boquillas aspersoras convenientemente seleccionadas para el tipo de preservante utilizado, a fin de que la aplicación del producto sea lo más uniforme posible y no se presenten excesos que incidan directamente en el costo de tratamiento. En la aplicación de estos métodos, el operador debe de estar protegido con mascarilla, guantes, mandil u otros que le den comodidad y mayor

seguridad en el trabajo. Los tratamientos por brocha y aspersión son temporales y deben repetirse periódicamente al menos una vez al año. Su uso está limitado a madera para interiores o protegidas en alguna forma de la intemperie (Tuset y Duran, 1979; JUNAC, 1988).

Inmersión

Este tratamiento consiste en sumergir la madera en una solución preservante empleando recipientes apropiados. Las piezas de madera a tratar se mantienen sumergidas mediante dispositivos que impidan que floten. Según el tiempo que dure el tratamiento, la inmersión puede ser breve o prolongada; en el primer caso la madera y el preservante permanecen en contacto por segundos o minutos, mientras que en el segundo se pueden emplear horas o días. Después de la impregnación, la madera debe secarse antes de ser puesta en obra, no solo para que escurra, sino también para dar lugar a la fijación del producto químico. El tratamiento por inmersión se recomienda para piezas acabadas de poco espesor y que han de ser colocadas en sitios de poco riesgo, ya que la retención que se obtiene es baja (JUNAC, 1988).

Baño caliente-frío

Consiste en sumergir la madera durante un tiempo determinado en una solución preservante o en agua caliente y luego en otra a temperatura ambiente. La variación de temperatura entre los dos baños permite conseguir en poco tiempo buenos resultados de tratamiento. Al calentarse la madera, el aire contenido en su interior se expande y sale de ella. Luego, durante el enfriamiento, se produce un vacío parcial que favorece la penetración e incrementa la absorción del producto preservante. La variación de la temperatura dependerá de las características del producto preservante. La duración de cada baño depende de la especie, del tipo de solución y de las dimensiones de la madera a tratar. La temperatura del baño caliente debe ser lo más alta posible, pero sin poner en peligro la marcha de la operación o la eficacia del producto químico usado como preservante. El tratamiento se realiza de la siguiente manera: se calienta el preservante y la madera en un recipiente por un tiempo adecuado—de 4 a 8 horas—que depende de la especie y de la sección transversal; luego se dejan enfriar en el mismo recipiente donde recibieron el baño caliente. Para reducir los tiempos de enfriamiento se puede recurrir a la utilización de un segundo tanque con preservante frío, al cual se traslada la madera rápidamente desde el tanque caliente; también se logra el mismo efecto al remplazar el preservante caliente por preservante frío (JUNAC, 1988).

3.3.2. Procesos con vacío-presión

Estos tipos de procesos permiten regular las condiciones del tratamiento, de modo que sea posible variar la penetración y retención del líquido preservante para satisfacer las exigencias de la utilización final de la madera. Son instalaciones más costosas donde se requiere una gran producción que justifique la inversión realizada (Tuset y Duran, 1979).

Célula llena (Método Bethell)

Mediante este método se procura inyectar a la madera la mayor cantidad de líquido preservante posible, dejando la máxima concentración del producto químico en la zona tratada. La madera a impregnar debe tener entre 25 y 28 % de contenido de humedad, estar libre de corteza y poseer las formas y medidas finales o de uso; asimismo, debe de ser cubicada o pesadas (JUNAC, 1988). El proceso se inicia cuando la madera se introduce al autoclave y se da comienzo a un vacío inicial, de aproximadamente 600 mm de mercurio al nivel del mar por un periodo que depende del tipo de madera a tratar (de 15 a 60 minutos). Luego se deja pasar el preservante hasta que se llene el autoclave, manteniendo el vacío. Seguidamente, con la bomba a presión se comprime la solución en el autoclave utilizando presiones de 8 a 14 kg/cm² y se va midiendo la cantidad de preservante que va penetrando en la madera; la presión se mantiene hasta obtener la retención fijada o hasta que produzca el rechazo virtual por parte de la madera. Se devuelve el líquido de tratamiento al tanque de trabajo o almacenamiento. Antes de retirar la carga de madera tratada se puede practicar un vacío final por espacio de pocos minutos, con el objeto de lograr que escurra de la madera el exceso de preservante antes de abrir la puerta del autoclave (Tuset y Duran, 1979).

Célula vacía (Método Lowry)

En el proceso Lowry no se hace vacío inicial como en el método Bethell sino que una vez colocada la madera en el cilindro de tratamiento se llena este con el preservante a presión atmosférica; una vez lleno se eleva el preservante a presión atmosférica de 10 a 12 kg/cm² manteniéndola durante cierto tiempo; luego se bombea el preservante al tanque de almacenamiento y finalmente se hace un vacío para recuperar el exceso de líquido y secar la superficie de la madera. Como se puede apreciar por lo descrito anteriormente, la madera queda con el aire en su interior, el cual es comprimido durante la etapa de presión; luego, al cesar esta, se produce la expansión del aire, recuperándose parte del preservante que había sido introducido, complementándose la recuperación con el vacío que se realiza en la parte final del proceso (Tuset y Duran, 1979).

4. OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar los métodos de impregnación por inmersión, baño caliente-frío y vacío- presión utilizando sales de boro y azoles de cobre aplicados en la madera de *Quercus rugosa* Née.

Objetivos específicos:

Determinar la absorción y retención de las sustancias preservantes en la madera.

Determinar el grado de penetración de las sustancias preservantes en la madera.

Analizar estadísticamente las retenciones obtenidas con el fin de evaluar el efecto de la sustancia preservante, el método de impregnación e interacción de ambas.

Sugerir el método de impregnación con mejores resultados en la madera de *Q. rugosa* y las aplicaciones más recomendables para la madera impregnada.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

El material de estudio constó de dos trozas que se obtuvieron de un árbol de *Q. rugosa*, el cual fue colectado en el área forestal de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro Michoacán, e identificado por el M. C. Miguel Ángel Silva Farías.

El aserrado, secado, maquinado e impregnación de la madera se realizaron en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera perteneciente a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. El secado de la madera se realizó en una estufa de secado convencional Marca Hildebrand con capacidad de 1 m³ (424 pt), provista de ventilación axial, calefacción y vaporizador eléctricos.

En el caso de la impregnación vacío-presión se realizó en una planta piloto, la cual tiene un diámetro de 20 cm y una altura de 40 cm, conectada a los equipos que realizarán el vacío y presión. Además de contenedores metálicos y plásticos necesarios para el tratamiento de impregnación de inmersión simple y baño caliente-frío.

5.2. Métodos

Para cumplir los objetivos planteados fueron utilizados dos sustancias preservantes: sales de boro y azoles de cobre-tipo B (CA-B). Estas sustancias fueron aplicadas por los métodos de impregnación: inmersión simple, baño caliente-frío (BCF) y vacío-presión, se determinó la absorción, retención y penetración en cada tratamiento.

5.2.1. Madera

Las trozas fueron aserradas obteniendo tablas y tablones las cuales fueron sometidas a un presecado bajo techo con el fin de reducir el contenido de humedad de la madera. Se continuó el secado de la madera introduciéndola en una estufa de secado, hasta que la madera alcanzó un contenido de humedad del 12% \pm 2.

El proceso de secado siguió los parámetros estipulados en el programa de secado T3-C1 (Tabla 5.1.), el control del proceso y definición de la etapa de secado se realizó de acuerdo al cambio de contenido de humedad en las muestras de secado. Lo anterior se realizó siguiendo los procedimientos recomendados por el Manual del operador de estufas de secado (Simpson, 1991) y Secado de maderas duras (Denig y col., 2000).

Preparación de las probetas

De las tablas y tablones se obtuvieron 84 probetas de 20 mm x 20 mm x 300 mm, posteriormente fueron selladas de los extremos por una capa de sellador para madera y dos capas de pintura alquidálico e identificadas para cada tratamiento. El sellado se realizó con el

fin de tener una mayor apreciación de las penetraciones por las caras radiales y tangenciales de las sustancias preservantes.

Tabla 5.1. Secuela de secado T3-C1 para *Quercus* spp. de 8/4”.

Etapa de secado	CH	TBS	$\Delta^{\circ}T$	HR	CHE
1	>40	110	3	90	19
2	40	110	4	87	17,5
3	35	110	6	80	15,1
4	30	120	10	72	12,1
5	25	130	25	43	6,8
6	20	140	45	19	3,4
7	15	160	45	25	3,7

CH = Contenido de humedad (%), TBS = Temperatura de bulbo seco ($^{\circ}F$), $\Delta^{\circ}T$ = Depresión de temperatura ($^{\circ}F$), HR = Humedad relativa, CHE = Contenido de humedad en equilibrio.

5.2.2. Preparación de sustancias preservantes

La solución de octaborato de sodio, se compone de ácido bórico (39,40%) y tetraborato de sodio (bórax) (60,60%) de acuerdo con la norma NMX-C-178-ONNCCE-2001 (ONNCCE, 2002).

Las sustancias utilizadas fueron borato de sodio y ácido bórico.

Preparación: se disolvió el ácido bórico y tetraborato de sodio en agua a la temperatura de 35° C hasta obtener una solución homogénea. Se prepararon 40 L de solución preservante a una concentración de 1,5 %.

La solución de CA-B, se compone de cobre (Cu) 96,1% y tebuconazole (azole) 3,9% de acuerdo con la norma AWPA P5-07 (AWPA, 2007).

Las sustancias utilizadas fueron tebuconazol, sulfato cúprico y etanolamina.

Preparación: se disolvió el sulfato cúprico en una cantidad de agua igual a 5 L, para mejorar la disolución se agregaron pequeñas cantidades de etanolamina, se repitió este paso hasta obtener una mezcla homogénea. Se continuó agregando el tebuconazol y resto de agua, hasta preparar un total de 40 L de solución tratante a una concentración de 1,5 %.

5.2.3. Impregnación

Los pasos a seguir en los métodos de impregnación se basaron en la propuesta de Ávila y Herrera (2010).

A las probetas utilizadas en todos los tratamientos se midió espesor, ancho y longitud con precisión de 0,01 mm y se pesaron en una balanza digital con precisión de 0,001 g antes de ser

ingresadas a cada tratamiento. El contenido de humedad al cual fueron impregnadas las probetas fue del 8%.

Inmersión simple

Las probetas se colocaron dentro de la tina y acomodadas con separadores, se continuó con la colocación de contrapesos para evitar la flotación. Posteriormente se agregó la sustancia preservante, en cantidad suficiente para cubrir completamente las probetas. Después de 48 horas se retiraron los contrapesos, se sacaron las probetas y dejó escurrir el exceso de solución. Enseguida se pesaron y se registraron los valores obtenidos.

Baño caliente-frío

En un contenedor metálico para el baño caliente se vertió agua, esta se calentó a una temperatura constante de 60°C, posteriormente las probetas se ingresaron dentro del contenedor metálico y se colocaron contrapesos para evitar la flotación. Las probetas se mantuvieron en estas condiciones durante 16 horas. Transcurrido este tiempo las probetas fueron pesadas nuevamente y se transfirieron a una tina de inmersión que contenía la sustancia preservante con la concentración correspondiente. Se colocaron los contrapesos para evitar la flotación. Después de 32 horas se retiraron los contrapesos, se sacaron las probetas y se dejó escurrir el exceso de solución. Enseguida se pesaron y se registraron los valores obtenidos.

Vacío-presión

Dentro del autoclave se colocaron las probetas, esta se cerró, para continuar con la aplicación de vacío hasta alcanzar un valor de 50 mmHg durante 5 min, posteriormente se ingresó la sustancia preservante dentro de la autoclave y aplicar una presión de 8 kg/cm² manteniéndola constante durante 10 minutos. Se liberó la presión y extrajo la solución preservante del autoclave para continuar con la aplicación del vacío final durante 5 min, finalmente se destapa el autoclave, se sacaron las probetas y dejó escurrir el exceso de solución. Enseguida se pesaron y se registraron los valores obtenidos.

5.2.4. Determinación de absorción y retención

Absorción

La absorción es la cantidad total de preservante que queda en la madera después de la impregnación. La absorción se determinó con la siguiente ecuación (JUNAC, 1988):

$$A = \frac{(P_2 - P_1)}{V} \quad (5.1)$$

Dónde:

A = absorción (kg/m³)

P₁ = peso inicial antes del tratamiento (kg)

P_2 = peso final al terminar el tratamiento (kg)
 V = volumen de la madera tratada (m^3)

Los resultados se clasificaron de acuerdo a los siguientes rangos (JUNAC, 1988):

Absorción alta (AA). Más de $200 \text{ kg}/m^3$;
Absorción buena (AB). De 150 a $200 \text{ kg}/m^3$;
Absorción mala (AM). De 100 a $149 \text{ kg}/m^3$;
Absorción nula (AN). Menos de $100 \text{ kg}/m^3$.

Retención

La retención es equivalente a la absorción neta y se expresa en kilogramos de sustancia activa (óxido del preservante) por metro cúbico de madera. Se determinó mediante la siguiente relación, considerando la concentración (C) de la solución (Ávila y Herrera, 2010):

$$R = A \frac{C}{100} \quad (5.2)$$

Dónde:

R = retención (kg/m^3)
A = absorción neta (kg/m^3)
C = concentración de la sustancia preservante (%)

5.2.5. Penetración

Es la profundidad alcanzada por el preservador, medida desde la superficie hasta el centro de la pieza de madera. Se expresa en unidades de longitud o en porcentaje del área transversal penetrada.

Para determinar la penetración de las sustancias preservantes en cada uno de los tratamientos, se prepararon diversas soluciones que ayudarán a determinar la profundidad alcanzada de las mismas sustancias, siguiendo los lineamientos plateados en la norma NMX-C-410-ONNCCE-1999 (ONNCCE, 1999).

Determinación de penetración de sales de boro

Se prepararon dos soluciones como se indican a continuación:

- a) Solución 1: se combinó 1 g de curcumina con 90 g de alcohol etílico. Se agitó y filtró la solución.
- b) Solución 2: En un matraz volumétrico de 100 ml se colocó 20 ml de ácido clorhídrico concentrado y se aforó con alcohol etílico. Se vertió todo el contenido a un vaso de precipitado y se agregó ácido salicílico hasta la saturación (aproximadamente 13 g/100 ml).

Nota: Aun cuando la norma indica disolver 10 g de curcumina, en este estudio se disolverá 1 g, lo cual no afecta en los resultados obtenidos.

Procedimiento: La superficie de la madera se mantuvo seca y limpia, se aplicó la solución 1 con un gotero sobre toda la superficie, sin escurrimientos, se dejó secar durante unos minutos. Se aplicó de la misma forma la solución 2 en las áreas que se colorearon de amarillo debido a la aplicación de la solución 1. Los cambios de color deben observarse con cuidado en un intervalo de 10 a 20 minutos. La presencia de boro se indicó con una coloración roja.

Determinación de penetración de cobre

Para la determinación de cobre se preparó una solución de cromo-s-azurol-acetato de sodio: se disolvió 0,5 g de cromo azurol y 5 gramos de acetato de sodio en 80 ml de agua destilada, finalmente se diluyó todo a 500 ml.

Procedimiento: Con la ayuda de un gotero, se aplicó la solución de cromo-s-azurol-acetato de sodio a las superficies tratadas, evitando escurrimientos: la aparición de un color azul oscuro reveló la profundidad alcanzada por el cobre.

Posteriormente a la identificación de la presencia de las sustancias activas del preservante por medio de las reacciones colorimétricas, se procedió a clasificar con los siguientes criterios (JUNAC, 1988):

Total regular (TR):	Cuando toda la sección esta penetrada con concentración uniforme.
Total irregular (TI):	Cuando en la zona penetrada existen lagunas pequeñas con secciones de mayor concentración.
Parcial regular (PR):	Cuando la zona penetrada es periférica y más o menos uniforme.
Parcial irregular (PI):	Cuando la zona penetrada es periférica y presenta lagunas no sigue un patrón fijo.
Parcial vascular (PV):	Cuando la penetración se realiza siguiendo los elementos de conducción (penetración longitudinal).
Penetración nula (PN):	Cuando no existe penetración significativa en la zona examinada.

5.2.6. Rango de tratabilidad

Una vez determinadas las absorciones y penetraciones se obtendrán los rangos de tratabilidad (JUNAC, 1988):

Fácil de tratar (FT):	Absorción alta (AA) y penetración total regular e irregular (TR y TI).
Moderadamente tratable (MT):	Absorción buena (AB) y penetración parcial regular e irregular (PR y PI).
Difícil de tratar (DT):	Absorción mala (AM) y penetración parcial vascular (PV).
Imposible de tratar (IT):	Absorción nula (AN) y penetración nula (PN).

5.3. Diseño experimental

Se adoptó un diseño experimental factorial 2 x 3 dando un total de seis tratamientos para cada tipo de probeta, esto puede observar en la siguiente matriz.

Tabla 5.2. Matriz de repeticiones en cada tratamiento.

Método de impregnación	Inmersión	Baño caliente-frio	Vacío-presión
Sales de Boro	14	14	14
Azoles de cobre-B	14	14	14

Los datos de retención obtenida en cada tratamiento fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), usando el paquete estadístico Statistica versión 7.0 Statsoft y adoptando un diseño experimental factorial 2 x 3, el modelo estadístico factorial utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (5.3)$$

Donde:

Y_{ij} = Representa la observación correspondiente al nivel (i) del factor A y al nivel (j) del factor B.

μ = Media general.

τ_i = Efecto producido por el nivel i-ésimo de la sustancia preservante (sales de boro y azoles de cobre-B).

β_j = Efecto producido por el nivel j-ésimo de los métodos de impregnación (inmersión, BCF y vacío-presión).

$(\tau\beta)_{ij}$ = Efecto producido por la interacción entre el i-ésimo de la sustancia preservante y el j-ésimo de los métodos de impregnación.

ϵ_{ijk} = Error asociado al experimento y a las observaciones

En los casos en que el ANOVA mostró significancia en la prueba de F, se realizó la prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey con un nivel de confianza del 99% ($\alpha=0,01$), partiendo de las hipótesis planteadas a continuación:

Con el fin de determinar si hay diferencias entre las sustancias preservantes

H_0 : efecto de la sustancia preservante (A) = 0

H_1 : efecto de la sustancia preservante (A) \neq 0

Para probar la efectividad de los métodos de impregnación

H_0 : efecto de método de impregnación (B) = 0

H_1 : efecto de método de impregnación (B) \neq 0

Para probar la interacción de los factores

H_0 : efecto de interacción (AB) = 0

H_1 : efecto de interacción (AB) \neq 0

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Color

En la Figura 6.1 se muestra las coloraciones de acuerdo con Munsell (1975) de la madera sin impregnar y las probetas impregnadas después del secado al aire libre. Con las sales de boro por el método de inmersión y BCF la madera adquirió tonos claros, solo en el caso de vacío-presión se obtuvieron tonos oscuros; con los CA-B por los tres métodos la madera adquirió tonos oscuros.





	Sin impregnar: Color amarillo claro (HUE 5Y 8/3)	
Impregnadas		
	Sales de boro inmersión simple: blanco (HUE 2.5 Y 8/2)	CA-B inmersión simple: castaño claro (HUE 10 YR 6/3) radios de color castaño grisáceo (HUE 10 YR 4/2)
	Sales de boro BCF: amarillo claro (HUE 5 Y 7/3) radios castaño amarillento (HUE 2.5 Y 6/4)	CA-B BCF : amarillo claro (HUE 5Y 7/4)
	Sales de boro vacío-presión: castaño amarillento (HUE 2.5 Y 6/4) con radios de color oliva (HUE 5Y 4/4)	CA-B vacío-presión: castaño grisáceo (HUE 2.5 Y 4/2) radios de color oliva (HUE 5Y 5/3)

Figura 6.1. Colores finales de la madera de acuerdo al tratamiento recibido.

6.2. Absorción

En la tabla 6.1 se muestran las absorciones totales promedios y los coeficientes de variación para cada tratamiento. De acuerdo a las clasificaciones propuestas por JUNAC (1988) la madera de *Q. rugosa*, con el método de inmersión presentó absorción buena (AB); con el método BCF absorción mala (AM) y con vacío-presión presento absorción alta (AA).

Tabla 6.1. Promedios y coeficientes de variación de las absorciones obtenidas en cada tratamiento.

Sustancia	Sales de Boro			CA - B		
	Inmersión	BCF	Vacío-presión	Inmersión	BCF	Vacío-presión
Absorción (kg/m³)	200,77	139,82	272,64	191,68	139,50	233,53
Coefficiente de variación (%)	6,64	29,55	13,70	8,63	10,22	11,91

Las absorciones totales obtenidas en las probetas impregnadas con sales de boro y CA-B, fueron superiores a las obtenidas por Machuca y col. (2005) que impregnaron con CCA madera de *Q. oleoides* (encino blanco) obtuvieron absorciones promedio en inmersión durante 192 horas de 259,67 kg/m³ y con vacío-presión 152,77 kg/m³. Casimiro (2012) impregnó madera de *Pinus pseudoestrobis* Lindl, obtuvo absorciones de sales de boro por el método de inmersión simple de 234,98 kg/m³ y por BCF 341,97 kg/m³, con CA-B por el método de inmersión simple 301,46 kg/m³ y por BCF 381,86 kg/m³, estos resultados fueron superiores a los obtenidos en esta prueba.

El coeficiente de variación (Tabla 6.1.) de la absorción de las sales de boro fue mayor por el método BCF seguido del método vacío-presión y método de inmersión. En el caso de los CA-B la variabilidad fue mayor por el método vacío-presión, seguido del método BCF y finalmente en el método de inmersión simple.

6.3. Penetración

Las mejores penetraciones se obtuvieron por el método BCF, seguido de vacío-presión y finalmente inmersión (Figura 6.2.). Las sales de boro fueron las sustancias que penetraron a mayor distancia de la periferia al centro y que mayor área cubrió en la madera.

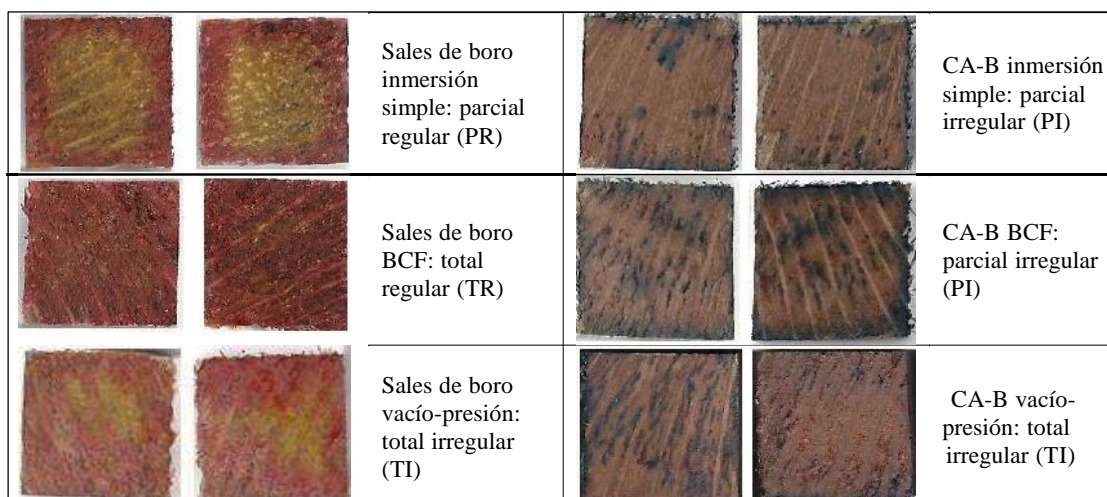


Figura 6.2. Resultado de las pruebas colorimétricas de penetración.

La uniformidad y alta penetración de las sales de boro de acuerdo con Nicholas y col. (1990), Chen y col. (1995) y Lebow y col. (2005) se puede atribuir a que las sales de boro tienen una alta solubilidad en agua y se difunde fácilmente en la madera. En lo referente a la baja penetración de los CA-B se puede atribuir a la poca solubilidad debido a la formación de carbonatos de cobre las cuales son difíciles de introducir en la madera, siendo solo posible por medio de métodos de impregnación a presión de acuerdo con Kraemer (1958). Schultz y col. (2008) recomiendan el uso de mayores cantidades de etanolamina para mejorar la solubilidad del cobre evitando la formación de carbonatos, además de aumentar la fijación de cobre en la

madera y disminuir la corrosión del metal en contacto con la madera; Leach y Zhang (2006) y Freeman y McIntyre (2008), recomiendan el micronizado de los compuestos de cobre el cual consiste en la molienda mecánica, con ayuda de agua y dispersantes/humectantes hasta llegar al 90 por ciento o más de las partículas de menos de 1000 nanómetros (nm) de tamaño, con la disminución de tamaño se busca facilitar la penetración y distribución del cobre en la madera.

6.4. Rango de tratabilidad

La tratabilidad de la madera de *Q. rugosa* se muestra en la Tabla 6.2. observándose que los comportamientos con ambas sustancias preservantes y métodos de impregnación son similares.

Tabla 6.2. Resultados de tratabilidad de la madera de *Q. rugosa* en cada tratamiento.

	Inmersión	BCF	Vacío-presión
Sales de boro	Difícil de tratar AB y PR	Moderadamente tratable AM y TR	Moderadamente tratable AA y TI
CA-B	Difícil de tratar AB y PI	Moderadamente tratable AM y PI	Moderadamente tratable AA y TI

Los resultados de tratabilidad obtenidos por el método de inmersión simple se atribuye de acuerdo a lo propuesto por Kraemer (1958) y Kollman (1960) a que las fibras de la madera extraen el agua de soluciones acuosas, de esta forma se obtiene una absorción buena pero poca penetración de las sustancias preservantes, siendo la solubilidad de las sustancias preservantes el factor determinante en la penetración y uniformidad de esta. Kraemer (1958) y JUNAC (1988) recomiendan el usar madera con contenidos de humedad alrededor del punto de saturación de la fibra con el fin de que las sustancias preservantes penetren por efecto de la difusión. En el caso de usar madera seca, se recomienda usar sustancias preservantes de baja concentraciones para compensar la absorción de agua al principio de la inmersión además de usar mayores tiempos de inmersión.

En lo referente a la tratabilidad de la madera con el método BCF, se puede atribuir a que la exposición de la madera a agua caliente permite remover compuestos inorgánicos, taninos, gomas, azúcares, material colorante y almidones (Browning, 1967). La remoción de dichos compuestos favorece la permeabilidad de la madera con lo que aumenta el contenido de humedad durante el baño caliente beneficiando así la difusión de la sustancia preservante en la madera durante el baño frío, esto de acuerdo a lo descrito por la Ley de Fick (Treybal, 2007) que enuncia que la masa puede transferirse por medio del movimiento molecular fortuito en los fluidos (movimiento individual de las moléculas), debido a la diferencia de concentraciones, hasta alcanzar la uniformidad.

6.5. Retención

Las retenciones totales promedio se muestran en la Figura 6.3. y tabla 6.3. en el que se clasifica el nivel de riesgo de acuerdo a las retenciones obtenidas. En el caso de las retenciones de la madera obtenida con ambas sustancias por el método inmersión, ésta se descarta debido a la poca penetración obtenida con ambas sustancias.

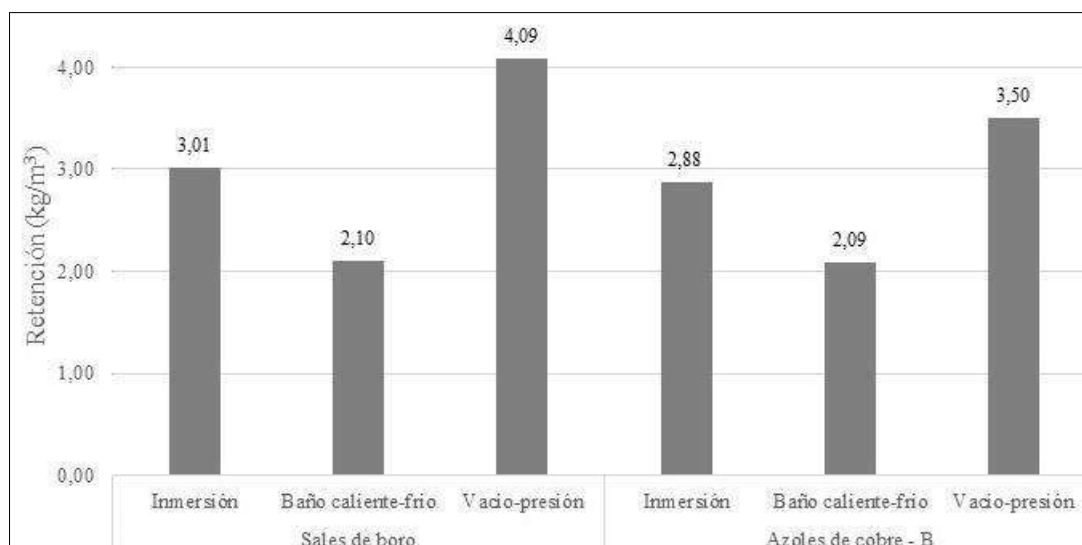


Figura 6.3. Retenciones promedio de la madera de *Q. rugosa* en cada tratamiento.

Tabla 6.3. Clasificación de acuerdo a las retenciones obtenidas, Nivel de Riesgo (retención mínima).

	Inmersión	BCF	Vacío-presión
Sales de boro	No recomendable	-	R1 ¹ (2,70 kg/m ³)
CA-B	No recomendable	UC3 ² (1,7 kg/m ³)	UC4A ² (3,3 kg/m ³)

¹ norma NMX-C-322-ONNCCE-11-2003

² norma AWWA U1-12

R1 madera en interiores, ambiente seco y ventilado

UC3 madera para uso exterior sin contacto con el suelo

UC4 categoría madera usada en componentes no críticos y en contacto con el suelo o agua dulce

El nivel de riesgo R1 de acuerdo con la norma NMX-C-322-ONNCCE-11-2003 corresponde a los usos comunes de la madera como revestimiento interior, muebles de interiores, puertas interiores, escaleras y pisos. Según la norma U1-12 de la AWWA, la categoría UC3 es para madera utilizada en exterior para revestimiento, pisos, marcos para puertas y ventanas exteriores; la categoría UC4A son para madera utilizada en cercas, pisos, barras de contención, durmientes, postes (áreas de baja degradación), juegos infantiles, y muebles de jardín.

6.6. Análisis estadístico

En el ANOVA de las retenciones (Tabla 6.4.) se obtuvo que existen diferencias significativas ($p < 0,01$) del efecto de la sustancia preservante en la retención y al igual de la influencia del

método de impregnación, y con interacción de ambos factores no existe diferencia significativa.

Tabla 6.4. Análisis de varianza (ANOVA) de las retenciones.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor -F	Valor p
Sustancia preservante (SP)	1,2567	1	1,2567	7,3973	0,008049
Método de impregnación (MI)	40,3788	2	20,1894	118,8400	0,000000
SP*MI	1,3341	2	0,6670	3,9263	0,023729
Error	13,2512	78	0,1699		

Se realizó análisis de comparación de medias de las retenciones con un nivel de confiabilidad del 99% ($\alpha=0,01$) a través de la prueba DSH de Tukey (Tabla 6.5.)

Tabla 6.5. Prueba DSH de Tukey.

Sustancia preservante	Retención (kg/m ³)
Sales de boro	3,07 (a)
CA-B	2,82 (b)

Método de impregnación	Retención (kg/m ³)
Inmersión	2,94 (d)
BCF	2,09 (c)
Vacío-presión	3,79 (a)

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas

Se corroboró la existencia de diferencia significativa en factor sustancia preservante (Figura 6.4. (a)) siendo las sales de boro la de mayor retención en la madera en el factor método de impregnación se obtuvo que hay diferencia significativas, siendo el método vacío-presión el más eficiente (Figura 6.4. (b)); respecto al efecto combinado de la sustancia preservante y el método de impregnación se corrobora que no hay diferencia significativo obtenido por el ANOVA (Figura 6.4. (c)).

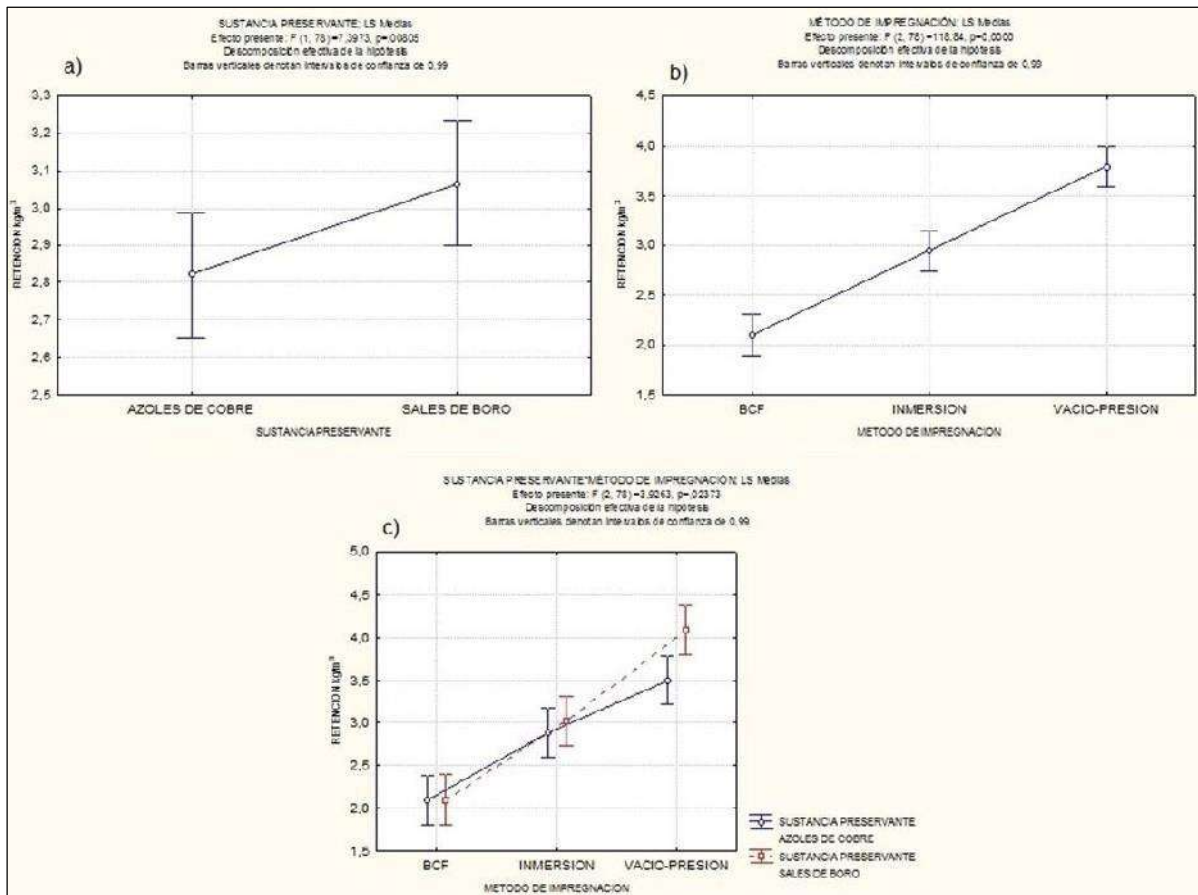


Figura 6.4. a) Grafica de medias de las sustancias preservantes; b) Grafica de medias de los métodos de impregnación; c) Grafica de medias del efecto combinado de los factores.

Los resultados obtenidos corroboran la importancia de mejorar la solubilidad de las sustancias preservantes para impregnar de forma adecuada la madera. Se puede mejorar la retención en métodos sin presión usando mayores tiempos de inmersión.

7. CONCLUSIONES

La madera de *Q. rugosa* absorbió mayor sustancia preservante por el método vacío-presión, aunque por el método BCF se presentó mayor penetración de las sustancias preservantes debido a que propició la difusión de la sustancia preservante en la madera; por el método inmersión simple la penetración fue periférica y de poca profundidad.

La solubilidad de las sales de boro favoreció una mayor absorción y penetración regular en la madera, en los CA-B la posible formación de carbonatos de cobre influyó en la poca e irregular penetración en la madera.

La tratabilidad de madera con ambas sustancias usando el método BCF y vacío-presión se les considera como moderadamente tratable y difícil de tratar por el método de inmersión simple.

En el análisis estadístico se concluye que la retención por efecto de la sustancia preservante (sales de boro y CA-B) muestra diferencia significativa, en el factor método de impregnación muestra diferencia significativa, siendo la interacción de ambos factores estadísticamente no significativo. Las sales de boro fueron los preservantes que mayor retención presentaron en la madera y; el método vacío-presión el que mayor retención presentó en la madera.

El método de impregnación inmersión simple no es viable utilizando ambas sustancias debido a la poca penetración de la sustancia preservante en las piezas de madera, esto es debido a que la difusión de la sustancia está restringida por el bajo contenido de humedad de las piezas de madera con lo cual se disminuye la difusión del preservante.

8. RECOMENDACIONES

Para mejorar la solubilidad de los CA-B se puede hacer uso de mayor cantidad de etanolamina o disminuir el tamaño de las partículas de cobre sometiéndolo a micronizado.

El método de inmersión se recomienda usarlo en madera con CH alrededor del PSF para así propiciar la difusión de la sustancia preservante, además de usar concentraciones mayores. El método BCF aumentar el tiempo de baño frío esto aumentaría la penetración de la sustancia preservante.

La madera impregnada con sales de boro por el método vacío-presión puede ser utilizada para muebles de interiores, puertas interiores, escaleras y pisos, procurando ambientes secos y ventilados, de acuerdo a las condiciones establecidas por el nivel de Riesgo 1 de la norma NMX-C-322-ONNCCE-11-2003.

La madera impregnada CA-B por el método BCF puede ser utilizado en piezas expuestas al exterior para revestimiento, acabados, pisos, marcos de puertas y ventanas exteriores, protegido, sin contacto con el suelo y sin exposición continua de humedad. Las retenciones obtenidas con vacío-presión permiten el uso de la madera al exterior en contacto con el suelo o agua, como muebles de jardín (mesas, bancas, etc.), juegos infantiles, cercas, pisos, barras de contención, durmientes, postes (áreas de baja degradación), de acuerdo a las recomendaciones de la AWWA.

Se recomienda el uso del método BCF con ambas sustancias, utilizando mayores tiempos baño frío y concentraciones mayores a la utilizada en este trabajo.

9. REFERENCIAS

- Ando, K.; Islam, M. N.; Yamauchi, H.; Hattori, N. 2011. Preservative leaching from copper azole-treated lumber: a comparison between the full-cell method and the passive-impregnation method. [Internet]. Forest Products Journal, USA. Disponible en: <<http://www.freepatentsonline.com/article/Forest-Products-Journal/268868305.html>>. [Consulta: agosto 27, 2012].
- Arizaga, S.; Martínez-Cruz, J.; Salcedo-Cabrales, M.; Bello-González, M. A. 2009. Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) - Instituto Nacional de Ecología (INE). México. 147p.
- Ávila Calderón, L. E. A.; Herrera Ferreyra, M. A. 2010. Manual de prácticas de preservación de la madera. FITECMA. UMSNH. Mexico. 45 p.
- AWPA (American Wood-Preserves' Association). 2007. Standard P5-07. Standard For Waterborne Preservatives.
- _____. 2012. Standard U1-12. Standard For Waterborne Preservatives.
- Bello González, M. A.; Labat, J. N. 1987. Los encinos (*Quercus*) del estado de Michoacán, México. Cuadernos de estudios michoacanos 1. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos- Centro D'études Mexicaines et Centraméricaines. México. 93p.
- Browning, B. L. 1967. Methods of wood chemistry. Volume II. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY. USA. 882 p.
- Casimiro Cenobio, J. C. 2012. Impregnación de madera de *Pinus pseudostrabus Lindl.* con sales de boro y sales de cobre azol por métodos de inmersión simple y baño caliente-frío. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 49 p.
- Chen, P. Y. S.; Guo, Y.; Bodkin, R. E. 1995. Effects of diffusion time and kiln drying on borate retention in cottonwood lumber. [Internet]. USDA Forest Service North Central Forest Experiment Station Carbondale. Disponible en: <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/5281/Effects_Diffusion_ocr.pdf?sequence=1>. [Consulta: septiembre 20, 2013].
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). S./f. *Quercus rugosa*. [Internet]. México. Disponible en: <http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/secciones/usos/UsosPDF.php?especie URL=Quercusrugosa>. [Consulta: Octubre 06, 2012].

De la Paz Pérez O., C.; Aguilar Enríquez, M. L. 1978. Diferencias morfológicas externas y anatómicas de la madera de los encinos blancos y rojos. Bol. Tec. Inst. Nac. Invest. For. México. 19 p.

_____ ; Dávalos Sotelo, R.; Guerrero Cuacuil, E. 2000. Aprovechamiento de la madera de encino en México. Madera y Bosques. 6(1):3-14.

_____ ; Vélez Jiménez S.; Ceja Romero, J. 2006. Anatomía de la madera de ocho especies de *Quercus* (Fagaceae) de Oaxaca, México. Madera y Bosques. 12(1):63-94.

Denig, J.; Wengert, E. M.; Simpson, W. T. 2000. Drying hardwood lumber. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-118. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI: USA. 138 p.

FPL (Forest Products Laboratory). 2010. Wood Handbook-Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. USA. Madison, WI: U.S. 508 p.

Freeman, M. H.; McIntyre, C. R. 2008. A comprehensive review of copper-based wood preservatives with a focus on new micronized or dispersed copper systems. Forest Products Journal. 58(11): 6-27

Gómez Zambrano, S.; Bonilla Salazar, W. 2009. Determinación de las características de preservación de la madera de *Croton lechleri* Muell Arg. (Sangre de Grado) por el método de difusión con compuestos de boro. Instituto de investigaciones de recursos naturales de la Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Ucayali. Revista Forestal de Ucayali. 5(1):176-194.

Groenier, J. S.; Lebow, S. 2006. Preservative-treated wood and alternative products in the Forest Service. Tech. Rep. 0677-2809-MTDC. Department of Agriculture, Forest Service, Missoula Technology and Development Center. Missoula, MT: USA. 44 p.

Honorato Salazar, J. A.; Fuentes López, M. E. 2001. Propiedades físico-mecánicas de la madera de cinco especies de encino del estado de Guanajuato. Rev. Cien. For. en México. 26(90):5-28.

Islam, M. D.; Ando, K.; Yamauchi, H.; Hattori, N. 2009. Preservative treatment of Douglas-fir lumber by the passive impregnation method with copper azole. Eur. J. Wood Prod. 67:77-81.

JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena). 1988. Manual del grupo andino para la preservación de maderas. Lima. Perú. 300 p.

Kear, G.; Wú, H.; Jones M. S. 2008. Corrosion of ferrous-and zinc-based materials in CCA, ACQ and CuAz timber preservative aqueous solutions. *Materials and Structures*. 41:1405–1417.

Kollmann, F. 1960. *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. Instituto Forestal de Investigación y Experiencias y el Servicio de la Madera. Ministerio de Agricultura. Madrid. 675 p.

Kraemer Koeller, G. 1958. *Compendio de la conservación de maderas*. Imprenta Cervantina. Santander, España. 527 p.

Leach, R. M.; Zhang, J. 2006. Micronized wood preservative compositions. United States. Patent Application. 20060288904.

Lebow, S.; Winandy, J.; Bender, D. 2004. Treated wood in transition: a look at CCA and the candidates to replace it. *Wood design focus*. 14(2): 3-8.

_____; Hatfield, C.; Abbott, W. 2005. Treatability of SPF framing lumber with CCA and Borate preservatives. *Wood and Fiber Science*. 37(4): 605–614

_____; White, R. 2007. Durability of wood in Construction. *In: Avallone, E.A.; Baumeister III, T.; Sadegh, A. M. (eds.). Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*. 11th ed.. McGraw-Hill. New York. pp.6-129 – 6-131.

Loferski, J. R. 2001. Technologies for wood preservation in historic preservation. *Archives and Museum informatics*. 13:273-290.

Machuca Velasco, R.; Fuentes Salinas, M.; Borja de la Rosa, A. 2006. Absorción de soluciones preservantes de nueve especies de maderas, mediante procesos de impregnación a vacío - presión e inmersión. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12(1): 71-78.

Matsunaga, H.; Matsumura, J.; Oda, K. 2004. X-ray microanalysis using thin sections of preservative-treated wood. Relationship of wood anatomical features to the distribution of copper. *IAWA Journal*. 25(1):79-90.

Momohara, I.; Saito, S.; Ohmura, W.; Kiguchi, M. 2009. Effect of drying method as a pretreatment on CuAz preservative impregnation in Japanese cedar logs. *J. Woods Sci*. 55:441-445.

Munsell Color Company. 1975. *Munsell soil color charts*. Munsell Color Company. Baltimore, Maryland. 17 p.

Nicholas, D. D.; Jin, L.; Preston, A. F. 1990. Immediate research needs for diffusible boron preservatives. *Forest Products Research Society*: Madison, WI. USA. 121-123.

ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación). 1999. Norma Mexicana NMX-C-410-ONNCCE-1999. Industria de la Construcción – Vivienda de Madera – Retención y Penetración de Sustancias Preservadoras en Madera – Métodos de Prueba.

_____. 2002. Norma Mexicana NMX-C-178-ONNCCE-2001 Industria de la Construcción – Preservadores para Madera – Clasificación y Requisitos.

_____. 2003. Norma Mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2003. Industria de la Construcción – Madera preservada a presión – Clasificación y Requisitos.

Schultz, T. P.; Militz, H.; Freeman, M. H.; Goodell, B.; Nicholas, D.D. 2008. Development of commercial wood preservatives: efficacy, environmental, and health issues. ACS symposium series; 982. 1. Wood—Preservation. American Chemical Society. Division of Cellulose and Renewable Materials. Washington, DC.

Simpson, W. T. 1991. Dry kiln operator's manual. Agriculture Handbook 188. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, WI: USA. 274 p.

Treybal, R. E. 2007. Operaciones de transferencia de masa. Segunda edición. Mc Graw Hill. México. 858 p.

Tuset R.; Duran F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 370 p.

Tsunoda, K; Grace, J.K.; Byrne, A.; Morris, P.I. 2002. Effectiveness of disodium octaborate tetrahydrate (Tim-Bor) in controlling subterranean termite attack and decay of house sill plates. Journal of the Japan Wood Research Society. 48(2):107-114.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2003. Response to Request to Cancel Certain Chromated Copper Arsenate (CCA) Wood Preservative Products and Amendments to Terminate Certain Uses of other CCA products. [Internet]. Federal Register, Washington, DC. Disponible en: <https://www.federalregister.gov/articles/2003/04/09/03-8372/response-to-requests-to-cancel-certain-chromated-copper-arsenate-cca-wood-preservative-products-and?utm_content=next&utm_medium=PrevNext&utm_source=Article>. [Consulta: agosto 27, 2012].

_____. 2012. Chromated Copper Arsenate (CCA): Alternatives to Chromated Copper Arsenate. [Internet]. EUA. Disponible en: <<http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/alternativestocca.htm>>. [Consulta: agosto 27, 2012].

USGS (United States Geological Survey). 2013. Digital Representations of Tree Species Range Maps from "Atlas of United States Trees" by Elbert L. Little, Jr. (and other publications). [Internet]. Estados Unidos de América .Disponible en: <<http://esp.cr.usgs.gov/data/little/querrugo.pdf>>. [Consulta: abril 27, 2013].

Valencia A., S. 2004. Diversidad del genero *Quercus* (Fagaceae) en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 75:33-53.

Waldron, L.; Copper, P.; Ung, T. 2004. Modeling of wood preservative leaching in service. In: Environmental Impacts of Preservative-Treated Wood. (pre-conference proceedings). Florida Center for Environmental Solutions. Gainesville, Florida. Pp. 81-97.

10. ANEXOS

A. Clasificación y requisitos de la madera preservada.

A1. Resumen de las propiedades y usos de los preservantes de acuerdo con la norma U1-12 de la AWWA.

Uso estandarizado	Preservante	Características del solvente	Restricciones exposición/manejo	Color	Olor	Corrosión de anclajes
Todos los usos	Creosota	Tipo oleoso	Oleoso, no para contacto humano frecuente	Castaño oscuro	Intenso, perdurable	No es peor que la madera no tratada
Todos los usos	Arsenato amoniacal de cobre-zinc	agua	Seco, pero contiene arsénico	Castaño, posibilidad de áreas azuladas	Leve, a corto plazo	Peor que la madera tratada
Todos los usos	Arsenato cromatado de cobre	agua	Seco, pero su uso es restringido por la EPA	Castaño verdoso, tonos grises	Ninguno	Similar a madera no tratada
Todo lo usos (excepto en agua de mar)	Pentaclorofenol en petróleo crudo	No. combustóleo	Oleoso, no para contacto humano frecuente	Castaño oscuro	Intenso, perdurable	No es peor que la madera no tratada
Todo lo usos (excepto en agua de mar)	Naftenato de cobre	No. combustóleo	Oleoso, no para contacto humano frecuente	Tonos verdes a gris pardusco	Intenso, perdurable	Peor que la madera tratada
Todo lo usos (excepto en agua de mar)	Cobre alcalino cuaternario	Agua	Seco, viable para contacto humano	Castaño verdoso, tonos grises	Leve, a corto plazo	Peor que la madera tratada
Todo lo usos (excepto en agua de mar)	Azoles de cobre	Agua	Seco, viable para contacto humano	Castaño verdoso, tonos grises	Leve, a corto plazo	Peor que la madera tratada
Sin contacto con el suelo, a intemperie	Pentaclorofenol en gasoleo	Alcoholes minerales	Seco, si se protege viable para contacto humano	Castaño claro, tonos grises	Leve, a corto plazo	No es peor que la madera no tratada
Sin contacto con el suelo, a intemperie	Oxina de cobre	Alcoholes minerales	Seco, viable para contacto humano	Castaño verdoso, tonos grises	Leve, a corto plazo	No es peor que la madera no tratada
Sin contacto con el suelo, parcialmente protegido (madera para exterior)	IPBC + permetrina	Alcoholes minerales	Seco, viable para contacto humano	incoloro	Leve, a corto plazo	No es peor que la madera no tratada
Interior (usualmente para protección de insectos)	Boratos	agua	Seco, viable para contacto humano	Incoloro, a menudo se le añade tinte azul	Ninguno	No es peor que la madera no tratada

A2. Condiciones de servicio por designación de categorías de uso de acuerdo con la norma U1-12 de la AWPA

Categorías de uso	Condiciones de servicio	Uso en el medio ambiente	Agentes comunes de deterioro	Aplicaciones típicas
UC1 Interior/seco	Construcción interior, sin contacto con el suelo, seco	Continuamente protegido de la intemperie u otras fuentes de humedad	Insectos	Construcción interior y muebles
UC2 Interior/húmedo	Construcción interior, sin contacto con el suelo, húmedo	Protegido de la intemperie, pero puede ser sujeto a otras fuentes de humedad	Hongos de pudrición e insectos	Construcción interior
UC3A Protegido/sin contacto con el suelo	Construcción exterior, sin contacto con el suelo, protegido, escurrimiento rápido del agua	Exposición a la intemperie, excepto a humedad prolongada	Hongos de pudrición e insectos	Recubrimientos, revestimiento y acabados
UC3B Expuesto/sin contacto con el suelo	Construcción exterior, sin contacto con el suelo, sin protección o pobre drenaje	Exposición a la intemperie, incluye humedad prolongada	Hongos de pudrición e insectos	Terrazas, pisos y pasamanos, estacas de cercado, sin cubierta
UC4A Uso general/contacto con el suelo	Contacto con el suelo o agua dulce, en componentes no críticos	Exposición a la intemperie, exposición normal	Hongos de pudrición e insectos	Cercas, pisos, barras de contención, durmientes, postes (áreas de baja degradación)
UC4B Servicio intenso/contacto con el suelo	En contacto con el suelo o agua dulce, componentes críticos o de difícil replazo	Exposición a la intemperie, pudrición potencial alta, incluyendo salpicadura de agua salada	Hongos de pudrición e insectos, incrementado por el biodeterioro	Cimientos permanentes de madera, postes para construcción, postes para horticultura, durmientes y postes (áreas de alta degradación)
UC4C Servicio extremo/contacto con el suelo	Contacto con el suelo, agua dulce, componentes críticos estructuralmente	Exposición a la intemperie, ambientes severos, pudrición potencial extrema	Hongos de pudrición e insectos, biodeterioro potencial al extremo	Pilotes en tierra o agua dulce, pilotes para cimientos, durmientes y postes (áreas severas de degradación)
UC5A Uso marino	Sal o agua salada y zonas cercanas al fango,	Exposición marina continua (agua salada)	Organismos del agua salada	Pilotes, paredes de contención (represas) y arrostramientos
UC5B Uso marino	Sal o agua salada y zonas cercanas al fango	Exposición marina continua (agua salada)	Organismos del agua salada, incluido la <i>Limnoria tripunctata</i>	Pilotes, paredes de contención y arrostramientos
UC5C Uso marino	Sal o agua salada y zonas cercanas al fango	Exposición marina continua (agua salada)	Organismos del agua salada, incluido la <i>Martesia</i> y <i>Sphaeroma</i>	Pilotes, paredes de contención y arrostramientos
UCFA Uso interior/retardante de fuego	Protección contra fuego como requiere los códigos, sobre el suelo o construcción interior	Continuamente protegido de la intemperie u otras fuentes de humedad	fuego	Revestimiento del techo, vigas del techo, montantes, viguetas y paneles
UCFB Exterior/retardante de fuego	Protección contra fuego como requiere los códigos de construcción sobre el suelo o construcción exterior	Sujeta a humedad	fuego	Paredes verticales en el exterior, in superficies del tejado u otros tipos de construcciones que permita el rápido drenaje

A3. Formulación y retención típica de los preservantes de acuerdo a su uso de acuerdo con la norma U1-12 de la AWWA.

Preservante	Porcentaje de ingredientes activos	Retención, kg/m ³ (lb/ft ³)			
		Interior (UC1)	Sin contacto con el suelo (UC3)	Contacto con el suelo (UC4A)	Estructural crítico (UC4C)
CCA-C	19% CuO, 47% CrO ₃ , 34% As ₂ O ₅		4,0 (0,25)	6,4 (0,40)	9,6 (0,60)
ACQ-B and D	67% CuO, 33% DDAC ¹		4,0 (0,25)	6,4 (0,40)	9,6 (0,60)
ACQ-C	67% CuO, 33% BAC ²		4,0 (0,25)	6,4 (0,40)	9,6 (0,60)
CA-B	96% Cu, 4% Azole ³		1,7 (0,10)	3,3 (0,21)	5,0 (0,31)
CBA-A	49% Cu, 2% Azole ³ , 49% H ₃ BO ₃		3,3 (0,20)	6,5 (0,41)	9,8 (0,61)
Boro inorgánico	98% B ₂ O ₃	2,7 (0,17)	No recomendable		
ACZA	50% CuO, 25% ZnO, 25% As ₂ O ₅		4,0 (0,25)	6,4 (0,40)	9,6 (0,60)
Naftenato de cobre	Naftenato de cobre es el único ingrediente activo		0,6 (0,04) ⁴	0,96 (0,06) ⁴	1,5 (0,075) ⁴
Oxina de cobre	50% Cu-8 ⁵ , 50% Niquel-2-etilhexoato		0,32 (0,02)	No recomendada	

¹ Diccildimetilamonio carbonato

² alquilbencildimetilcloruro amonio

³ Tebuconazole

⁴ retención expresada en cobre metálico

⁵ cobre-8-quinonilato

A4. Clasificación de las maderas según su uso y riesgo esperado en servicio de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-C322-ONNCE-2003.

Niveles de riesgo	clasificación	Condiciones de uso	Ejemplos
R1	Madera e interiores, ambiente seco y ventilado	Continuamente protegida de intemperismo o de cualquier fuente de humedad	Muebles de interiores, puertas interiores, escaleras, pasamanos
R2	Madera en interiores, mal ventilada, sujeta a posibles fuentes de humedad o exteriores pero bajo cubierta	Expuesta a variaciones de humedad, pero no expuesta a la lluvia. De uso no estructural	Pisos, pies derechos, muebles de cocina, sótanos, marcos de puertas, ventanas y lambrín
R3	Madera en exteriores, de uso estructural, expuesta a la humedad	Expuesta a variaciones climáticas y a la lluvia de manera cíclica	Postes, postes de transmisión, crucetas, pisos de terrazas, madera estructural, vigas, armaduras, columnas de portales, tarimas, plataformas de vehículos, techos
R4	Madera en exteriores, en contacto con la tierra o con agua dulce	Madera expuesta a variaciones climáticas y al agua continuamente	Cimientos, pilotes para minas torres de enfriamiento, techo
R5	Madera en contacto con el agua salada o salobre	Madera expuesta al agua salada	Muelles marítimos, pilotes marinos, represas, embarcaciones, plataformas marinas

A5. Retenciones mínimas recomendadas de acuerdo al grado de riesgo en servicio de la madera de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-C322-ONNCE-2003.

Nivel	Retención, kg/m ³ (lb/ft ³)	
	CCA	Boro inorgánico
R1	4,00 (0,25)	2,70 (0,17)
R2	6,40 (0,40)	6,40 (0,40)
R3	9,60 (0,60)	No recomendable
R4	12,80 (0,80)	No recomendable
R5	40,00 (2,50)	No recomendable