



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**

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



**“IMPREGNACIÓN DE MADERA DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. CON SALES DE
BORO Y SALES DE COBRE AZOL POR MÉTODOS DE INMERSIÓN SIMPLE Y
BAÑO CALIENTE-FRÍO”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

P R E S E N T A:

JUAN CARLOS CASIMIRO CENOBIO

DIRECTORA:

M. C. LUZ ELENA A. ÁVILA CALDERÓN

MORELIA, MICHOACÁN. ABRIL DEL 2012.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. GENERALIDADES	5
3.1. Generalidades de la especie	5
3.2. Métodos de tratamiento	7
3.2.1. Métodos de tratamiento sin presión	7
3.2.2. Brocha ó rodillos y aspersión	7
3.2.3. Inmersión	7
3.2.4. Baño caliente-frío	8
3.3. Sustancias preservantes	8
3.3.1. Boro	8
3.3.2. Sales de boro	9
3.3.3. Ácido bórico	9
3.3.4. Azol	10
3.3.5. Preventol a 8 (Tebuconazol)	10
3.3.6. Azoles de cobre tipo CB-A Y CA-B	11
3.4. Normatividad	12
4. OBJETIVOS	14
4.1. General	14
4.2. Específicos	14
5. MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1. Contenido de humedad	15
5.2. Concentración de soluciones	16
5.3. Preparación de las sustancias preservantes	16
5.4. Proceso de impregnación por el método de inmersión simple	17
5.5. Proceso de impregnación por el método baño caliente-frío	18
5.6. Determinación de la absorción	19
5.7. Determinación de la retención	20
5.8. Determinación de la penetración	20
5.9. Preparación de las soluciones para determinar la penetración de las sales de boro	20
5.10. Preparación de la solución para determinar la penetración de las sales de cobre azol	21
5.11. Diseño experimental	21
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	23
6.1. Resultados de absorción y retención	23
6.1.1. Determinación de absorción de sales de boro por el método de inmersión simple y baño caliente-frío	23

6.1.2.	Determinación de retención de sales de boro por el método de inmersión simple y baño caliente-frío	24
6.1.3.	Determinación de absorción de sales de cobre azol por el método de inmersión simple y baño caliente-frío	24
6.1.4.	Determinación de retención de sales de cobre azol por el método de inmersión simple y baño caliente-frío	25
6.2.	Resultados de penetración	26
6.2.1.	Determinación de penetración de sales de boro por el método de inmersión simple	26
6.2.2.	Determinación de penetración de sales de boro por el método baño caliente-frío	26
6.2.3.	Determinación de penetración de sales de cobre azol por el método de inmersión simple	27
6.2.4.	Determinación de penetración de sales de cobre azol por el método baño caliente-frío	27
6.3.	Gráficas de medias	28
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	30
8.	CONCLUSIONES	31
9.	RECOMENDACIONES	32
10.	LITERATURA CITADA	33
11.	APÉNDICE	37
12.	ANEXO	41

1. INTRODUCCIÓN

La madera es un material biológico, que presenta una gran variedad de usos y ventajas frente a otros materiales, como son su disponibilidad en diversas formas y tamaños, gran resistencia, facilidad de trabajo y conductividad térmica, entre otras; las mismas, son ampliamente satisfactorias y han permitido que este material se destaque por encima de otros. Pese a poseer una serie de beneficios en cuanto a sus múltiples usos y propiedades, la madera en su estado natural presenta también ciertas limitaciones que se refieren principalmente a la susceptibilidad de ser atacada por algunos organismos vivos, los que pueden causar daños irreparables. Estos organismos, entre los que se encuentran los hongos, insectos, bacterias y taladradores marinos, necesitan condiciones favorables para su desarrollo en el interior de la madera, específicamente de temperatura y humedad, así como una fuente de alimentación que es proporcionada por la madera (Instituto Forestal INFOR, s/f).

Frente a estos potenciales peligros, surge entonces una forma de proteger la madera incorporándole sustancias preservantes al interior de ella, es decir, productos químicos que no la dañan pero que son tóxicos para los organismos que se alimentan de ella. La madera debidamente protegida con productos químicos no corre el riesgo del ataque de insectos, hongos o agentes climáticos y se torna un material durable y eficaz (INFOR, s/f).

La ciencia de la conservación de la madera podría definirse como el proceso de agregar cantidades adecuadas de sustancias tóxicas o repelentes, para proporcionarle a un producto de madera un mayor grado de resistencia al ataque biológico y hacerlo más duradero (Milton, 1995).

Hoy día existe la necesidad de preservar la madera no solo para aumentar el valor agregado y la durabilidad al producto, sino para que el aprovechamiento racional del bosque sea más íntegro y así conservar también nuestros montes y evitar un poco la tala inmoderada de madera en rollo extraída de los mismos (Martínez, 2008).

La falta de información en el campo forestal en México sobre nuevas sustancias preservantes para madera, ha llevado a seguir utilizando las más conocidas o tradicionales, ignorando que no son las únicas que generan iguales o similares resultados.

Es por ello que el presente documento pretende divulgar la importancia de la preservación de la madera y estudiar una nueva o no tan conocida sustancia preservante y en lo posible utilizar las sustancias aquí mencionadas a nivel industrial. Con el fin de ir cada día aprovechando racionalmente los bosques.

En el presente trabajo se realizaron impregnaciones con sales de boro y sales de cobre azol, por dos métodos de impregnación sin presión: inmersión simple y baño caliente-frío; además se realizó un análisis estadístico de las sustancias utilizadas en ambos métodos determinando retención, absorción y penetración en madera de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

2. ANTECEDENTES

En México, la industria de la preservación inició con la impregnación de postes y durmientes para su uso en las vías del ferrocarril y del telégrafo, pero tanto las técnicas como los preservantes han venido evolucionando (Martínez, 2008).

A continuación se mencionan algunos trabajos realizados con sales de boro.

Raya (1999), realizó trabajos de impregnación sin presión en madera de *Quercus scytophylla* Liemb. con sales de boro para determinar la eficacia contra *Lyctus sp.* El valor de retención de sólidos en la madera que obtuvo fue de 9.31 kg/m^3 , superior a lo que recomienda Pérez (1992) citado por Raya (1999), para el tipo de riesgo bajo que es de 3.2 kg/m^3 y para riesgo medio y alto indican que no es recomendable preservar con este tipo de sales.

Erdoiza y Echenique (1980), preservaron madera de pino con sales de boro por el método de difusión, encontrando que las maderas tratadas con este método quedan protegidas de los termites de madera seca e insectos comúnmente deterioradores de muebles, contra insectos y hongos siempre y cuando se usen en interiores y estén protegidas de la intemperie, con este método y tipo de sal se logra una impregnación completa en toda la superficie transversal de la madera y no sufren modificación alguna en sus propiedades físicas y mecánicas.

Berrocal (2005) citado por Aburto (2006), realiza ensayos de penetrabilidad sin presión de dos preservantes a base de boro en madera de melina (*Gmelina arborea*) crecida en Costa Rica, la preparación de la solución preservante tuvo una concentración del 12 %, se mezcló una parte del ácido bórico y otra del borato de sodio.

Con respecto a los azoles se tiene que en la información o literatura existente en México son escasos los trabajos previos ó registros impresos en los cuales se obtenga información, por lo mismo resulta trascendente este trabajo, entre otras cosas porque se da a conocer, si no diferentes métodos de preservación, sí de diferentes compuestos o sustancias para la preservación o impregnación de madera y en su caso si es posible ir utilizando cada vez en menor cantidad las más convencionales como CCA que en algunos países están prohibidas, además de que a cada momento surgen y se dan a conocer nuevas sustancias preservantes.

Se mencionan algunos trabajos realizados con cobre azoles:

Gaspar *et al.* (2009) realizaron estudios para evaluar el desempeño de las propiedades tecnológicas de madera laminada de pino marítimo tratada con azoles de cobre,

encontrando que tuvieron una resistencia a la flexión satisfactoria con una resistencia máxima en la madera laminada de 0.6 N/mm^2 . Además que el tipo de unión por Finger joint dio también buena resistencia a la flexión y que el tipo de tratamiento no influye en el modulo de elasticidad.

Islam *et al.* (2008) realizaron impregnaciones en madera de abeto Douglas por el método de inmersión con cobre azoles tipo B, para dos contenidos de humedad (18 y 33%) con dos tiempos de inmersión de 3 y 12 h, reportando que la madera es óptima para ser puesta en servicio en condiciones por encima del suelo, determinando una retención de 1,61 a 2,68 kg/m^3 .

Hee Ahn *et al.* (2008), determinaron la eficacia de la protección en madera de preservantes formulados con cobre y/o sales de boro por el método de baño caliente-frío a partir de okara, que es un desecho orgánico extraído de la producción de queso de soja, como sustituto de cobre alcalino cuaternario (ACQ) y cobre azoles (CuAz); resultando que son ambientalmente más amigables, además que la madera puede ser fácilmente tratada y ofrecer protección contra hongos de pudrición.

3. GENERALIDADES

3.1. GENERALIDADES DE LA ESPECIE (Comisión Nacional Forestal CONAFOR, s/f; Comisión Forestal del Estado de Michoacán COFOM, 2003)

Familia: Pinaceae

Nombre científico: *Pinus pseudostrabus* Lindl.

Nombres comunes: Pino blanco, Pino ortiguillo, Pino real, Pino lacio, pino triste

Hojas: Perennifolio

Floración: De febrero a marzo

Asociación vegetal: Bosque de pino, Bosque de Pino-encino

Coordenadas geográficas: De los 17° 15' a 29° 15' de latitud norte y los 92° 05' a 108° 35' de longitud oeste.

Descripción: Es uno de los pinos más esbeltos, llegan a alcanzar de 30 a 40 m de altura y ocasionalmente 45. En el estado de Michoacán se han encontrado arboles de esta especie de hasta 1 m de diámetro, cuando la mayoría presenta de 40 a 80 cm. El fuste comúnmente se encuentra desprovisto de ramas a lo largo de 20 a 30 m, muy cilíndricos y rectos con alta uniformidad, las ramas son principalmente horizontales, en árboles maduros forman una copa redondeada, en árboles jóvenes las tienen más abiertas, extendidas y en verticilos, de forma piramidal con espacios amplios entre las mismas. Sus largos fustes limpios permiten su uso en aserrío, triplay, chapa, pulpa y papel y para cajas de empaque, así como en la industria de la construcción.

Distribución: (Figura 1) Se le encuentra a lo largo del Eje Neovolcánico, en los estados de Michoacán, México, Distrito Federal, Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas. En el estado de Michoacán, se encuentra ampliamente distribuido desde los límites con el estado de México hasta la región sur occidental en los municipios de Coalcomán, Aguililla y Tumbiscatio. Su amplio rango de distribución le permite establecerse en una gran variedad de climas, pudiendo encontrarse en climas subtropicales y templados.

La especie es encontrada sobre pendientes montañosas en elevaciones de 1,600 a 3,200 m.s.n.m. su rango de precipitación varía de 800 mm a 1,500 mm anuales. Los árboles más grandes fueron encontrados en elevaciones de 2,200 a 2,400 m.s.n.m., en el oeste de

Michoacán. Crece sobre suelos de origen volcánico, profundos con precipitaciones anuales de 1,500 mm. En muchos lugares de México, se le ha encontrado con especies de *Abies spp.*, *P. montezumae*, *P. douglasiana*, *P. michoacana*, *P. maximinoi*, *P. pringlei* y *Quercus spp.*

Hojas: Se encuentran en fascículos de 5, flexibles y ligeramente colgantes de 20 a 25 cm de longitud. Es un pino buen productor de resina, muy apreciado con este fin en Michoacán. Su madera de buena calidad de color ligeramente amarillenta, suave pero fuerte.

Conos: Son ovoides o largamente ovoides, de 8 a 10 cm de largo, a veces mas, de color café claro, amarillentos o morenos, levemente extendidos, encorvados y un poco asimétricos, normalmente por pares, no pronto caedizos y sobre pedúnculos de 10 a 15 cm.

Semillas: Vagamente triangulares, oscuras, de unos 6 mm, con ala de 23 mm de largo por 6 a 9 de ancho, abre sus conos de diciembre a enero. Se estiman 46,000 semillas por kg.

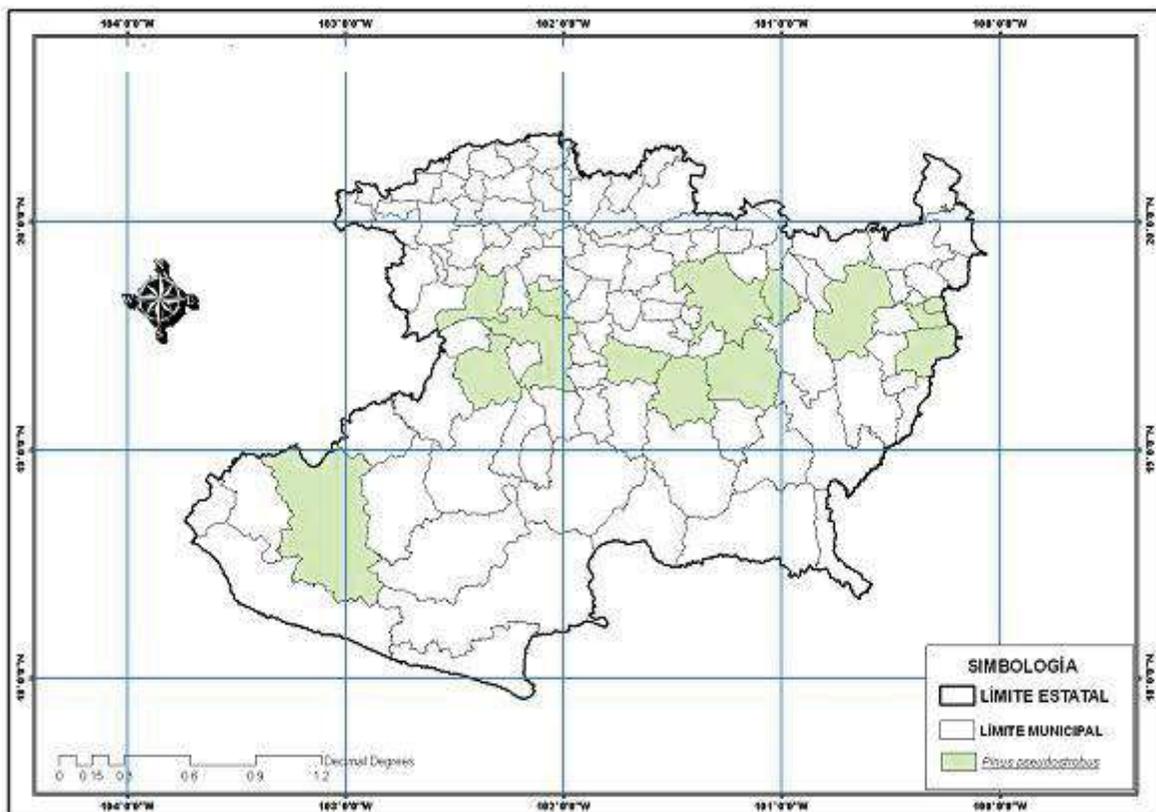


Figura 1. Distribución geográfica de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el estado de Michoacán (CONAFOR 2009).

3.2. MÉTODOS DE TRATAMIENTO

3.2.1. MÉTODOS DE TRATAMIENTO SIN PRESIÓN (Junta del Acuerdo de Cartagena JUNAC, 1988)

Son muchas las formas de aplicación de sustancias preservantes; los más conocidos son:

brocha ó rodillos,
aspersión,
inmersión y
baño caliente-frío

3.2.2 BROCHA Ó RODILLOS Y ASPERSIÓN

Estos métodos son muy antiguos y consisten en extender el preservante en la superficie de la madera que se somete a tratamiento.

Para que la madera sea susceptible al líquido debe poseer un contenido de humedad (C.H.) menor del 20% y sin recubrimiento de cera, barnices o corteza que actúan como barreras e impiden la penetración del preservante. Lo más adecuado es cubrir íntegramente la superficie de la madera lo cual se consigue con aplicaciones consecutivas si se trata de brocha, o con el empleo de abundante preservante si se trata de aspersión.

Según el volumen de madera a tratar pueden 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 incidentes que afecten directamente en el costo.

En la aplicación de estos métodos el operador debe estar protegido con mascarilla, guantes, mandil u otros, que le den mayor seguridad en el trabajo.

Los tratamientos por brocha y aspersión son temporales y deben repetirse periódicamente por lo menos una vez al año. Su uso está limitado a maderas para interiores o protegida en alguna forma de la intemperie.

3.2.3. INMERSIÓN

Tratamiento en el cual la madera se sumerge en una disolución de compuesto preservante, normalmente a temperatura ambiente y por periodos generalmente mayores a 24 h, dependiendo de la especie, tamaño y C.H. de la madera y el tipo de compuesto preservante (NMX-C-419-ONNCCE-2001).

Consiste en sumergir la madera en una solución preservante empleando recipientes apropiados a los tamaños de piezas a tratar. Las piezas de madera a tratar se mantienen sumergidas mediante dispositivos que impidan que floten.

El tiempo de inmersión puede ser breve o prolongado dependiendo de la cantidad de preservante que se pretenda introducir en la madera. Después de la impregnación, la madera debe secarse antes de ser puesta en obra, no solo para que escurra sino para dar una fijación al producto.

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.

3.2.4. BAÑO CALIENTE-FRÍO

El baño caliente-frío es el tratamiento en el cual se sumerge la madera seca sucesivamente en un baño caliente y en un baño-frío del mismo compuesto preservador (NMX-C-419-ONNCCE-2001).

Este tratamiento consiste en sumergir la madera en agua caliente ya sea con preservantes o sin ellos, posteriormente se pasan las piezas a una solución preservadora a temperatura ambiente siempre teniendo cuidado de que las piezas estén totalmente sumergidas colocándoles un contrapeso. Lo importante de este tratamiento es procurar una diferencia de temperatura considerable ya que al calentarse la madera, el aire que se encuentra en su interior se expande y sale de ella; y al poner la madera en una solución fría se produce un vacío parcial que favorece a la penetración del preservante en la madera. Se debe tener en cuenta el producto preservante que se pretende utilizar, ya que las sales hidrosolubles se descomponen por encima de los 45 °C, pero a los productos oleosos (pentaclorofenol y creosota) les favorecen mayores temperaturas. Una consideración importante es que se recomienda que el tiempo del baño-frío sea el doble que el del baño caliente (COFAN, 1999).

Para la aplicación de este método, la madera debe ser descortezada, con un C.H. no mayor a 30%.

3.3. SUSTANCIAS PRESERVANTES

3.3.1. BORO (Lenntech, s/f; Burns, 2003)

Símbolo químico, B; número atómico 5; peso atómico 10.811. Tiene tres números de valencia y se comporta como no metal. Se clasifica como metaloide y es el único elemento no metálico con menos de cuatro electrones en la capa externa. El elemento libre se prepara

en forma cristalina o amorfa. La forma cristalina es un sólido quebradizo, muy duro. Es de color negro azabache a gris plateado con brillo metálico. Una forma de boro cristalino es rojo brillante. La presentación amorfa es menos densa que la cristalina y es un polvo que va del café castaño al negro. En los compuestos naturales, el boro se encuentra como una mezcla de dos isótopos estables, con pesos atómicos de 10 y 11.

Muchas propiedades del boro no están lo suficientemente establecidas en forma experimental por la pureza discutible de algunas fuentes de boro, las variaciones en los métodos y las temperaturas de preparación.

3.3.2. SALES DE BORO (Aburto, 2006)

El octaborato de sodio es un producto preservador, contra insectos depredadores de la madera, tales como termitas, polilla, hormigas carpinteras, escarabajos y hongos que causan la pudrición de la madera.

Componentes:

Ingrediente Activo: Octaborato Di-Sodio tetra hidratado $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ -----100%

Contenido total de óxidos activos como B_2O_3 -----51.70%

3.3.3. ACIDO BÓRICO H_3BO_3 (Electroquímica El Carmen EQC, 2006)

El boro es usado en metalurgia como un agente desgasificante y se forman aleaciones junto con hierro, acero y aluminio para aumentar la dureza. Además se utiliza para absorber neutrones en reactores nucleares. Se aplica sobre madera para protegerla del fuego, es un preservante y antiséptico. Se utiliza en la fabricación de vidrio, esmaltes, en la industria cerámica, cosméticos, cemento, porcelana, madera, cuero, alfombras, sombreros, jabones y piedras preciosas artificiales. Se utiliza en curtiembres, imprentas, tintorerías, en pinturas y fotografías, en pomadas, en baños de níquel, en condensadores eléctricos, para impregnar mechas y endurecer aceros. Además, se usa como micronutriente en la agricultura. El boro ha sido reconocido como una sustancia nutriente esencial para las plantas.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Ácido bórico (H_3BO_3).....	99,60%
Boro (B).....	17,40%
Oxido bórico (B_2O_3).....	56,10%
Sulfatos (SO_3).....	0,020%
Cloro (Cl).....	0,080%
Hierro (Fe) menos de.....	0,0015%

PROPIEDADES FÍSICAS

Aspecto.....	Cristales blancos
Inflamabilidad.....	No Inflamable
Densidad aparente	0.8 – 0.9 gr/cm ³
Punto de fusión.....	170 °C
Valor pH.....	3,9 (conc.3% - 20°C)

3.3.4. AZOL (Wikipedia, 2010)

En química, un azol es un compuesto heterocíclico aromático de estructura similar al 1,3-ciclopentadieno, pero en el que algunos de los átomos de carbono son sustituidos por átomos de nitrógeno u otro elemento distinto de carbono.

3.3.5. PREVENTOL A 8 (TEBUCONAZOL) (Bayer CropScience, 2005. y AGRO-CARE CHEMICAL, 2002)

Datos Generales de la Sustancia Química

Tipo de producto: Fungicida

Ingrediente activo: Tebuconazole

Nombre químico: (RS)-1-p-clorofenil-4,4-dimetil-3-(1H-1,2,4-Triazol)-1-ilmetil)-pentan-3-ol

Familia química: Triazol

Categoría toxicológica: IV

Fórmula molecular: C₁₆H₂₂ClN₃O

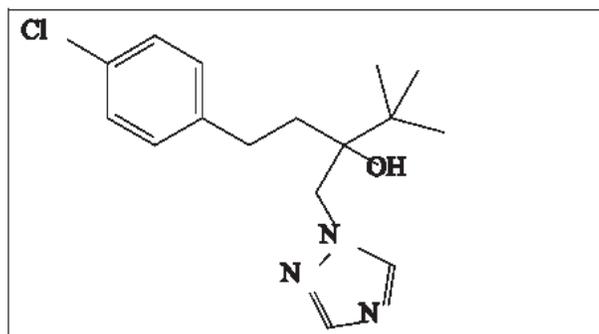


Figura 2. Fórmula estructural del Preventol A 8 (Tebuconazole).

3.3.6. AZOLES DE COBRE TIPO CBA-A Y CA-B (Groenier, 2006; wikipedia, 2011)

Los azoles de cobre son otra formulación que se han desarrollado recientemente como preservante que se basa principalmente en el cobre amina, pero con biocidas adicionales, para proteger la madera de la descomposición y el ataque de insectos.

La primera formulación de azoles de cobre que se desarrolló fueron los azoles de cobre tipo A (CBA-A), que contiene 49 % de cobre, 49 % de ácido bórico y 2 % de tebuconazol. Estos azoles tipo A ya no se usan en los Estados Unidos. La formulación de los azoles de cobre tipo (CA-B) se estandarizaron recientemente. Los azoles (CA-B) no contienen ácido bórico. Está compuesto de 96 % de cobre y 4 % tebuconazol. La madera tratada con formulaciones de azoles de cobre tiene un color marrón verdoso y poco o ningún olor.

Las pruebas usando formulaciones de azoles de cobre en postes en contacto con el suelo mostraron resistencia al ataque de hongos e insectos.

En especies que son difíciles de tratar se puede adicionar amoníaco a los azoles de cobre, aunque puede oscurecer ligeramente la apariencia de la superficie de la madera e inicialmente afecta el olor de la madera tratada. Los tratamientos con azoles de cobre aumentan la velocidad de corrosión de los conectores de metal en relación a la madera sin tratar, se recomienda el uso de conectores de acero galvanizado.

Aunque los azoles de cobre se introdujeron en Estados Unidos recientemente, cerca de 100 instalaciones de tratamiento utilizan estos preservantes actualmente. En México es difícil su adquisición y resultan relativamente caros.

Denotados como CA-B y C-CA por la American Wood Protection Association (AWPA) son preservantes de madera a base de cobre más importantes que ha llegado a un amplio uso en Canadá, EE.UU., Europa, Japón y Australia a raíz de las restricciones de las CCA. Su uso se rige por las normas nacionales e internacionales, que determinan el volumen de captación de conservación necesaria para un uso final específico de la madera. Los azoles de cobre son similares al ACQ (Cobre alcalino cuaternario) con la diferencia de que el preservante de cobre disuelto se complementa con un azol co-biocida en lugar de los biocidas utilizados en ACQ. Se comercializan ampliamente bajo la marca Wolmanized en América del Norte, y la marca Tanalith en toda Europa y otros mercados internacionales.

Los preservantes de azoles de cobre incorporan triazoles orgánicos, tales como tebuconazol o propiconazol como co-biocida, que también se utilizan para proteger los cultivos de alimentos. El aspecto general de la madera tratada con conservantes azoles de cobre es similar a la CCA con una coloración verde.

La retención estándar recomendada por la AWPA para **(CA-B)** es de 0,10 lb/ft³ (1.6 kg/m³) para aplicaciones de superficie y 0,21 lb/ft³ (3-4 kg/m³) para aplicaciones de contacto con el suelo. La retención estándar recomendada por la AWPA de **CA-C** es de 0,06 lb/ft³ para aplicaciones de superficie y 0,15 lb/ft³ para aplicaciones de contacto con el suelo.

3.4. **NORMATIVIDAD**

De acuerdo a la NMX-C-322-ONNCCE-2003. Los niveles de riesgo al biodeterioro en que se clasifica la madera, según el tipo y condiciones de servicio y los requerimientos de retención se establecen en los cuadros 1 y 2:

Cuadro 1. Niveles de riesgo al biodeterioro de acuerdo a la NMX-C-322-ONNCCE-2003.

Niveles de riesgo	Clasificación	Condición de uso	Ejemplos
R1	Madera en interiores, ambiente seco y ventilado	Continuamente protegida del 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 en 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 y ventanas, 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, techos
R5	Madera en contacto con el agua salada o salobre	Madera expuesta al agua salada	Muelles marítimos, pilotes marinos, represas, embarcaciones, plataformas marinas

Cuadro 2. Requisitos mínimos de retención y penetración de acuerdo a la NMX-C-322-ONNCCE-2003.

Requisito	Tolerancia											
Requisitos mínimos de penetración	En piezas iguales o menores de 2,5 cm de espesor, el preservador debe penetrar el 100% de la albura.											
	En piezas de mas de 2,5 cm de espesor, el preservador debe penetrar por lo menos el 85% de la albura ó 2,5 cm de profundidad en cada cara que contenga albura											
Requisitos mínimos de retención	Retenciones mínimas recomendadas del preservador de acuerdo al grado de riesgo en servicio de la madera. kg/m ³ (lb/pie ³).											
	Tipo Nivel	Oleoso	Oleosolubles				Hidrosolubles					
		Creosota (2)	PCP (3)	CuN (4)	Q8Cu (5)	TBTO (6)	ACC (7)	ACA (8)	ACZA (9)	CCA (10)	BORO (11)	FCAP (12)
	R1	NR (13)	NR	0,64 (0,04)	0,32 (0,02)	0,208 (0,013)	4,00 (0,25)	4,00 (0,25)	4,00 (0,25)	4,00 (0,25)	2,70 (0,17)	4,00 (0,25)
	R2	NR	6,40 (0,40)	6,40 (0,40)	0,32 (0,02)	0,234 (0,015)	6,40 (0,40)	6,40 (0,40)	6,40 (0,40)	6,40 (0,40)	6,40 (0,40)	6,40 (0,40)
	R3	128,00 (8,00)	8,00 (0,50)	0,96 (0,06)	NR	NR	9,60 (0,60)	9,60 (0,60)	9,60 (0,60)	9,60 (0,60)	NR	NR
	R4	160,00 (10,00)	9,60 (0,60)	1,20 (0,075)	NR	NR	12,80 (0,80)	12,80 (0,80)	12,80 (0,80)	12,80 (0,80)	NR	NR
R5	400,00 (25,00)	NR	1,20 (0,075)	NR	NR	40,00 (2,50)	40,00 (2,50)	40,00 (2,50)	40,00 (2,50)	NR	NR	

En México no están normadas las retenciones de sales de azol. En azoles se menciona la norma AWWA T1-07 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Retenciones mínimas de sales de cobre azoles, AWWA T1-07.

Preservative		Specified Retention	Minimum Retention of Individual Component: (kg/m ³)							Min. Sum of Component Retentions		
Abbrev.	Name		Copper as CuO	Chromium as CrO ₃	Quat, Active	Zinc as ZnO	Arsenic as As ₂ O ₅	Copper as Cu	Azole		H ₂ BO ₃	HDO
ACC	Acid Copper Chromate	4.0	1.0	2.2							4.0	
		8.0	2.0	4.4								8.0
ACQ-B	Azomiacal Copper Quat, Type B	4.0	2.1		1.1							4.0
		6.4	3.4		1.8							6.4
		9.6	5.1		2.6							9.6
		13	6.7		3.5							13
		16	8.5		4.3							16
ACQ-C	Alkaline Copper Quat, Type C	4.0	2.1		1.1							4.0
		6.4	3.4		1.8							6.4
		9.6	5.1		2.6							9.6
ACQ-D	Alkaline Copper Quat, Type D	4.0	2.1		1.1							4.0
		6.4	3.4		1.8							6.4
ACZA	Azomiacal Copper Zinc Arsenate	4.0	1.6			0.80	0.80					4.0
		6.4	2.6			1.3	1.3					6.4
		9.6	3.8			1.9	1.9					9.6
		16	6.4			3.2	3.2					16
		24	9.6			4.8	4.8					24
40	16			8.0	8.0					40		
CA-B	Copper Azole, Type B	1.7						1.3	0.053			1.7
		3.3						2.6	0.11			3.3
		5.0						3.8	0.16			5.0
		6.6						5.1	0.21			6.6
CBA-A	Copper Boron Azole, Type A	3.3						1.3	0.053	1.3		3.3
		6.5						2.6	0.11	2.6		6.5
		9.8						3.8	0.16	3.8		9.8
CCA-A	Chromated Copper Arsenate, Type A	4.0	0.66	2.4			0.59					4.0
		6.4	1.0	3.8			0.95					6.4
		9.6	1.6	5.7			1.4					9.6
		16	2.6	9.5			2.4					16
		24	3.9	14			3.5					24
40	6.5	24			5.9					40		
CCA-C	Chromated Copper Arsenate, Type C	4.0	0.67	1.7			1.2					4.0
		6.4	1.1	2.7			2.0					6.4
		9.6	1.6	4.2			2.9					9.6
		16	2.7	6.9			4.9					16
		24	4.0	10			7.4					24
40	6.7	17			12					40		
CuN-W	Copper Naphthenate, Waterborne	1.12						1.12				1.12
		1.76						1.76				1.76
CX-A	Copper HDO, Type A	3.3	1.62							0.65	0.37	3.3

4. OBJETIVOS

4.1. General

- ❖ Evaluar las sales de boro y sales de cobre azol (CA-B) en la impregnación de madera de *Pinus pseudostrobus* Lindl. empleando dos tipos de tratamiento.

4.2. Específicos

- ❖ Evaluación de los métodos de inmersión simple y baño caliente-frío con ambas sustancias preservantes determinando retención, absorción y penetración de las sustancias en la madera de *Pinus pseudostrobus* Lindl.
- ❖ Aplicar el diseño factorial 2 x 2 para determinar diferencias estadísticas entre las variables de estudio.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

El material de estudio fue colectado en el municipio de Zitácuaro, Michoacán, el material de herbario fue identificado por el M.C. Xavier Madrigal Sánchez, del herbario de la Facultad de Biología de la UMSNH.

A partir de tablonces de 5 cm de espesor x 30 cm de ancho x 244 cm de largo se elaboraron 30 probetas de 2.5 cm x 2.5 cm x 20 cm para cada tratamiento. Estando libres de defectos como por ejemplo nudos, bolsas de resina ó alabeos. Además teniendo sellados los extremos de las mismas probetas.

Adicionalmente se requirió:

Material para inmersión

- Recipiente de inmersión
- Contrapesos (tabiques)
- Balanza digital OHAUS
- Guantes

Material para baño caliente-frío

- Baño maría SHEL LAB
- Recipiente de inmersión
- Contrapesos (tabiques)
- Balanza digital OHAUS
- Termómetro
- Guantes

5.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

Las probetas habilitadas para este ensayo presentaron un C.H. promedio de 12 % (± 0.2).

Para determinar el C.H. se utilizó la ecuación siguiente:

$$C. H. = \frac{P_i - P_f}{P_f} (100) \quad [1]$$

donde:

C. H.= Contenido de humedad (%)

Pi= Peso inicial

Pf= Peso final

5.2. CONCENTRACIÓN DE SOLUCIONES

La concentración de una solución es la cantidad (en kilogramos) del preservador activo (óxidos en el caso de sales hidrosolubles), disuelto y contenido por cada 100 L de disolvente (NMX-C-419-ONNCCE-2001).

La concentración empleada en este ensayo fue de 1 %, para su preparación se empleó la siguiente ecuación (Ávila y Herrera, 2010).

$$N_1 V_1 = N_2 V_2 \quad [2]$$

donde:

N_1 = Concentración de la solución a preparar (%)

V_1 = Volumen de la solución a preparar (L)

N_2 = Concentración de la solución inicial (%)

V_2 = Volumen de la solución inicial que debe tomarse para preparar la solución (L)

5.3. PREPARACIÓN DE LAS SUSTANCIAS PRESERVANTES

La preparación de la mezcla de las sales de boro se basó en las especificaciones de la norma NMX-C-178-ONNCCE-2001.

Las sustancias utilizadas fueron: borato de sodio y ácido bórico, marcas Fermont y Meyer respectivamente, las cuales para mayor facilidad hubo que disolver en agua a temperatura de 35° C. Se prepararon 50 L.

En el caso de las sales de cobre azol (CA-B), la preparación de la mezcla de las sustancias se basó en las especificaciones de la norma de la AWPA P-5 07.

Las sustancias utilizadas fueron: tebuconazol, sulfato cúprico, y etanolamina, marcas Lanxess para la primera y Golden Bell para las últimas.

Se inició disolviendo el sulfato cúprico en una cantidad de agua de 5 L, agregando poco a poco la etanolamina para ayudar a su mejor disolución, después se agregó el tebuconazol y el resto del agua. Se prepararon 40 L de solución.

5.4. PROCESO DE IMPREGNACIÓN POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN SIMPLE

Este proceso de impregnación se utilizó para los dos tipos de sustancias preservantes.

A continuación se describen los métodos mediante los cuales se llevaron a cabo las impregnaciones de madera de *Pinus pseudostrubu* Lindl, que constan de los siguientes pasos (Figuras 3-8):

Se inició registrando sus dimensiones y peso antes del tratamiento.

En el recipiente utilizado, se colocaron las 30 probetas junto con la solución impregnante, sobre ellas se les colocaron contrapesos para que no flotaran.

Estuvieron sumergidas por un periodo de 48 h, una vez transcurrido el tiempo se retiraron del recipiente, dejando escurrir el excedente de la sustancia preservante y se registró una vez más su peso después del tratamiento.

Al finalizar la impregnación, las probetas se dejaron secar al aire libre, por un tiempo de 10 días.



Figura 3. Pesado de probetas para la impregnación con sales de boro por el método de inmersión simple.



Figura 4. Probetas en inmersión con sales de boro por el método de inmersión simple.



Figura 5. Probetas impregnadas con sales de boro por el método de inmersión simple y apiladas para secado.



Figura 6. Apilado de probetas para inmersión con sales de cobre azul por el método de inmersión simple.



Figura 7. Probetas en inmersión con sales de cobre azul por el método de inmersión simple.



Figura 8. Probetas impregnadas con sales de cobre azul por el método de inmersión simple y apiladas para secado.

5.5. PROCESO DE IMPREGNACIÓN POR EL MÉTODO BAÑO CALIENTE-FRÍO

El siguiente proceso de impregnación fue utilizado de igual manera para los dos tipos de sustancias preservantes (Figuras 9-16):

Para este método se inició registrando las dimensiones y el peso de las probetas.

En el recipiente de baño maría se colocaron las 30 probetas, sobre éstas se colocaron contrapesos para que no flotaran, se agregó agua suficiente para cubrir las muestras, se registró el inicio del tratamiento una vez que alcanzó 80 °C, que duró 16 h a temperatura constante.

Las probetas se retiraron del baño maría dejando escurrir el excedente de agua y, se registraron los pesos al término de esta etapa.

Las mismas probetas se colocaron rápidamente en la sustancia preservante fría, por un periodo de 32 h.

Transcurrido el tiempo se retiraron los contrapesos y se extrajeron las probetas, dejando escurrir el excedente de la sustancia y se registró su peso después del baño-frío.

Finalizada la impregnación, las probetas se dejaron secar al aire libre durante 10 días.



Figura 9. Apilado de probetas en el termobañero para la impregnación con sales de boro por el método baño caliente-frío.

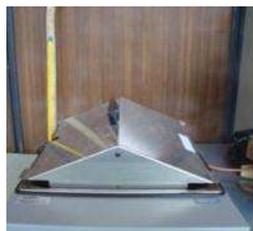


Figura 10. Probetas en baño caliente para la impregnación con sales de boro.



Figura 11. Probetas en inmersión con sales de boro después del baño caliente.



Figura 12. Probetas impregnadas con sales de boro por el método baño caliente-frío y apiladas para secado.



Figura 13. Probetas en baño caliente para la impregnación con sales de cobre azol.



Figura 14. Probetas en inmersión con sales de cobre azol después del baño caliente.



Figura 15. Pesado de probetas después del baño-frío impregnadas con sales de cobre azol.



Figura 16. Probetas impregnadas con sales de cobre azol por el método baño caliente-frío y apiladas para secado.

Una vez finalizadas las impregnaciones, por los métodos de inmersión simple y baño caliente-frío, con ambas sustancias preservantes, se determinó la absorción y la retención de acuerdo a JUNAC (1988) y la penetración según la 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”. Con los valores de retención obtenidos se clasificaron las probetas de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2003 “Industria de la construcción-Madera preservada a presión-Clasificación y requisitos”.

5.6. DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN

La absorción es el volumen de solución preservante que ingresa a la madera, por unidad de volumen de madera realmente impregnada (L/m^3), (NMX-C-419-ONNCCE-2001).

Para poder determinar la absorción en los dos métodos de impregnación y en ambas sustancias preservantes, se utilizó la siguiente ecuación.

Ecuación para la determinación de la absorción, Ávila y Herrera (2010)

$$A = \frac{(P_2 - P_1)}{V}; \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \quad [3]$$

donde:

A= Absorción (kg/m^3)

P_1 = Peso de la probeta antes del tratamiento (kg)

P_2 = Peso de la probeta después del tratamiento (kg)

V= Volumen de la madera tratada (m^3)

5.7. DETERMINACIÓN DE LA RETENCIÓN

La retención es la cantidad de componentes tóxicos activos del preservante que permanece en la madera al término del proceso de impregnación (kg/m^3), (NMX-C-419-ONNCCE-2001).

Para determinar la retención de las dos sustancias preservantes y en ambos métodos de impregnación, fue necesario utilizar la siguiente ecuación.

Ecuación para la determinación de la retención, Ávila y Herrera (2010)

$$R = A * \frac{(C)}{100}; \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \quad [4]$$

donde:

R= Retención (kg/m^3)

A= Absorción (kg/m^3)

C= Concentración (%)

5.8. DETERMINACIÓN DE LA PENETRACIÓN

La penetración es la profundidad a la cual entra el compuesto preservante a la madera en el sentido normal a las fibras. Se expresa en centímetros o en porcentaje de albura (NMX-C-419-ONNCCE-2001).

Para poder determinar la penetración de las sustancias preservantes en cada uno de los métodos de impregnación, se tuvieron que preparar diversas soluciones que nos ayudaron a determinar la profundidad alcanzada de las mismas sustancias.

5.9. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES PARA DETERMINAR LA PENETRACIÓN DE LAS SALES DE BORO (NMX-C-410-ONNCCE-1999)

- a) Solución 1: Se mezcló 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 colocaron 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, para efectos y fines prácticos, en este estudio se disolvió 1 g, lo cual no afecta en los resultados obtenidos.

Procedimiento:

La superficie de la madera debe estar seca y limpia, se aplica la solución 1 con un gotero o con un aspersor sobre toda la superficie, sin escurrimientos, dejándola secar durante unos minutos. Aplicar de la misma forma la solución 2 en las áreas que se ha coloreado 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. En presencia de boro aparece una coloración roja.

5.10. PREPARACIÓN DE LA SOLUCION PARA DETERMINAR LA PENETRACIÓN DE LAS SALES DE COBRE AZOL (Norma P-5 07 AWPA, NMX-C-410-ONNCCE-1999)

De acuerdo con la norma P-5 07 de la AWPA, se determinó la penetración del cobre ya que la concentración de este elemento se presenta en mayor proporción.

- a) Solución de cromo-s-azurol-acetato de sodio: se disolvieron 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 aspersor, aplicar la solución de cromo-s-azurol-acetato de sodio a las superficies tratadas, evitando escurrimientos: la aparición de un color azul oscuro revela la profundidad alcanzada por el cobre.

5.11. DISEÑO EXPERIMENTAL

A fin de determinar las diferencias estadísticas de los métodos de impregnación, en la misma sustancia y entre las sustancias, se aplicó un diseño experimental factorial 2x2, con n=30; teniendo los siguientes factores y niveles:

A = Sustancias preservantes (sales de boro y sales de cobre azol)

B = Métodos de impregnación (baño c-f e inmersión simple)

El modelo estadístico correspondiente a tal diseño (Montgomery, 2008) es el siguiente:

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

donde:

- Y_{ijk} = variable de respuesta
- μ = efecto medio general
- τ_i = efecto de la sustancia preservante
- β_j = efecto de método de impregnación
- $(\tau\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción
- ϵ_{ijk} = error aleatorio

Las hipótesis de interés a probar son:

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

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

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

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

H_0 : efecto de interacción (AB) = 0

H_1 : efecto de interacción (AB) \neq 0

Para tal diseño, la variable de respuesta fue la retención.

Para realizar la comparación de medidas de las variables en estudio se aplicó el método de la mínima diferencia significativa (LSD); el nivel de confianza con el que se analizaron los datos fue del 95% y los resultados se obtuvieron con el paquete estadístico STATISTICA 7.0 Statsoft.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Las probetas impregnadas con las diferentes sustancias presentaron un cambio de color. Las impregnadas con sales de boro aunque no hubo un cambio radical en el color se decoloraron o deslavarón ligeramente; posiblemente debido a la remoción de extraíbles. En las probetas impregnadas con sales de cobre azol (CA-B) hubo un cambio en la apariencia y color de la madera tornándose de color verde azulado parecido al que presenta la madera tratada con sales CCA-C.

6.1. RESULTADOS DE ABSORCIÓN Y RETENCIÓN

En las figuras 19 a la 22 se muestran los resultados obtenidos de las determinaciones de absorción y retención con sales de boro y sales de cobre azol con ambos métodos de impregnación.

6.1.1. DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE SALES DE BORO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN SIMPLE Y BAÑO CALIENTE-FRÍO

Se determinaron absorciones promedio por el método de inmersión simple con sales de boro de 234.98 kg/m^3 , con valores mínimos de 196 kg/m^3 y máximos de 284.8 kg/m^3 (Figura 17, Apéndice 1 y 2). Estos valores fueron menores a los obtenidos con el método de Baño caliente-frío de 341.97 kg/m^3 , con mínimos de 265.6 kg/m^3 y máximos de 388 kg/m^3 .

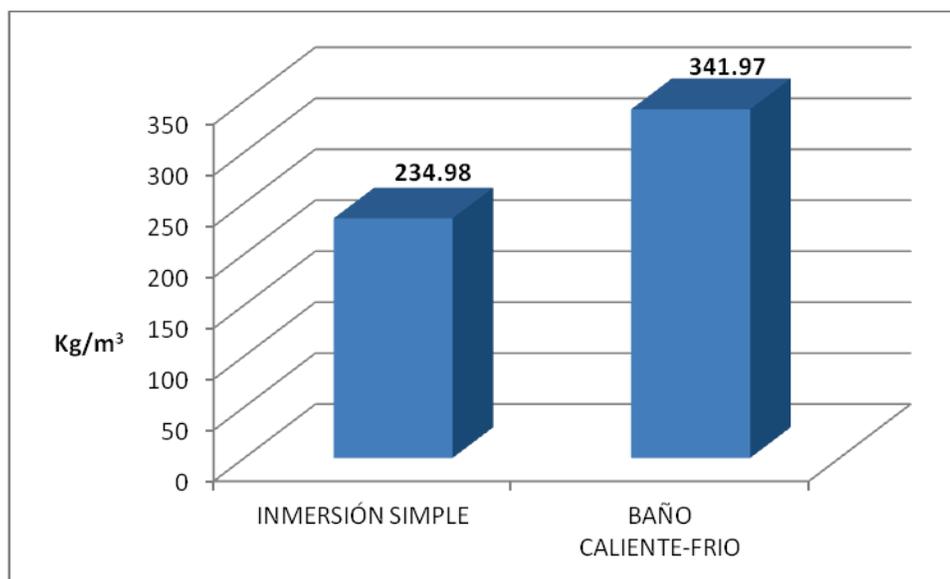


Figura 17. Absorción de sales de boro por el método de inmersión simple y baño caliente-frío.

6.1.2. DETERMINACIÓN DE RETENCIÓN DE SALES DE BORO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN SIMPLE Y BAÑO CALIENTE-FRÍO

Se determinaron retenciones promedio por el método de inmersión simple con sales de boro de 2.34 kg/m^3 , con valores mínimos de 1.96 kg/m^3 y máximos de 2.84 kg/m^3 (Figura 18, Apéndice 1 y 2). Estos valores fueron menores a los obtenidos con el método de Baño caliente-frío de 3.41 kg/m^3 , con mínimos de 2.656 kg/m^3 y máximos de 3.88 kg/m^3 .

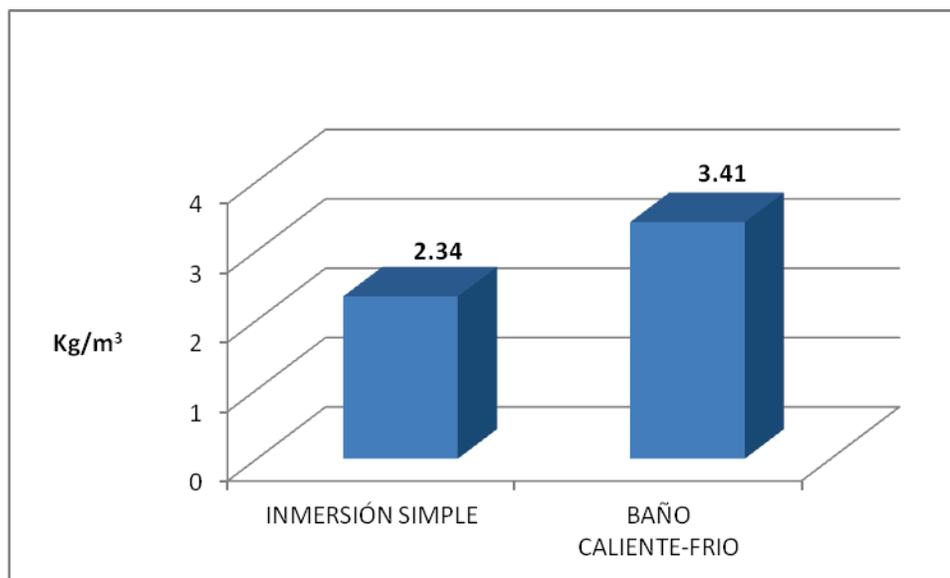


Figura 18. Retención de sales de boro por el método de inmersión simple y baño caliente-frío.

Aunque la NMX-C-322-ONNCCE-2003, establece las retenciones mínimas para sales de boro, y otras sustancias preservantes; cabe mencionar que está hecha para maderas tratadas a presión. Sin embargo, de acuerdo con las retenciones obtenidas, la madera impregnada con sales de boro por el método de inmersión simple y baño caliente-frío, puede emplearse para un nivel de riesgo 1 (Cuadro 2).

6.1.3. DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE SALES DE COBRE AZOL POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN SIMPLE Y BAÑO CALIENTE-FRÍO

Se determinaron absorciones promedio por el método de inmersión simple con sales de cobre azol de 301.46 kg/m^3 , con valores mínimos de 279.2 kg/m^3 y máximos de 324 kg/m^3 (Figura 19, Apéndice 3 y 4). Estos valores fueron menores a los obtenidos con el método de Baño caliente-frío de 381.86 kg/m^3 , con mínimos de 315.2 kg/m^3 y máximos de 532.8 kg/m^3 .

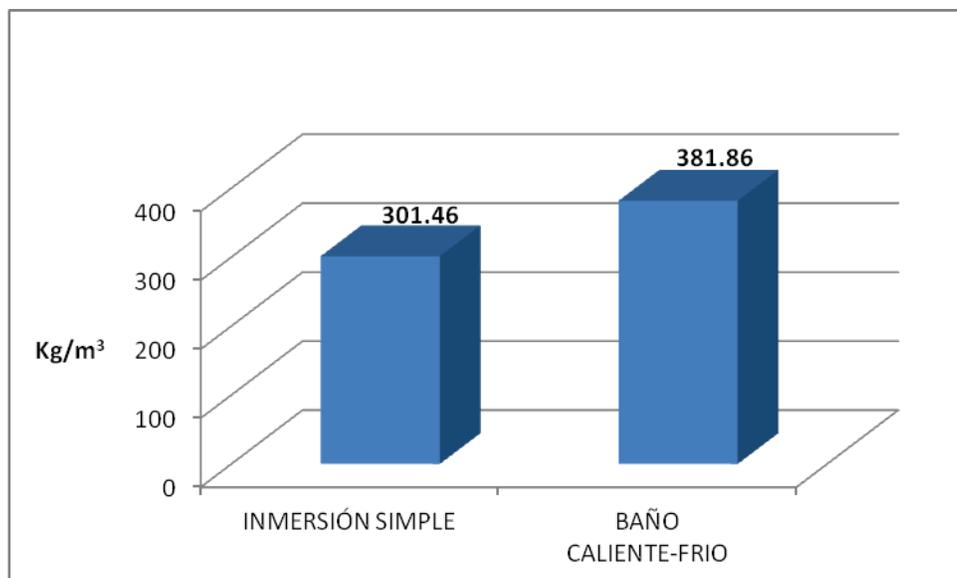


Figura 19. Absorción de sales de cobre azul por el método de inmersión simple y baño caliente-frío.

6.1.4. DETERMINACIÓN DE RETENCIÓN DE SALES DE COBRE AZOL POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN SIMPLE Y BAÑO CALIENTE-FRÍO

Se determinaron retenciones promedio por el método de inmersión simple con sales de cobre zol de 3.01 kg/m^3 , con valores mínimos de 2.792 kg/m^3 y máximos de 3.24 kg/m^3 (Figura 20, Apéndice 3 y 4). Estos valores fueron menores a los obtenidos con el método de Baño caliente-frío de 3.81 kg/m^3 , con mínimos de 3.152 kg/m^3 y máximos de 5.328 kg/m^3 .

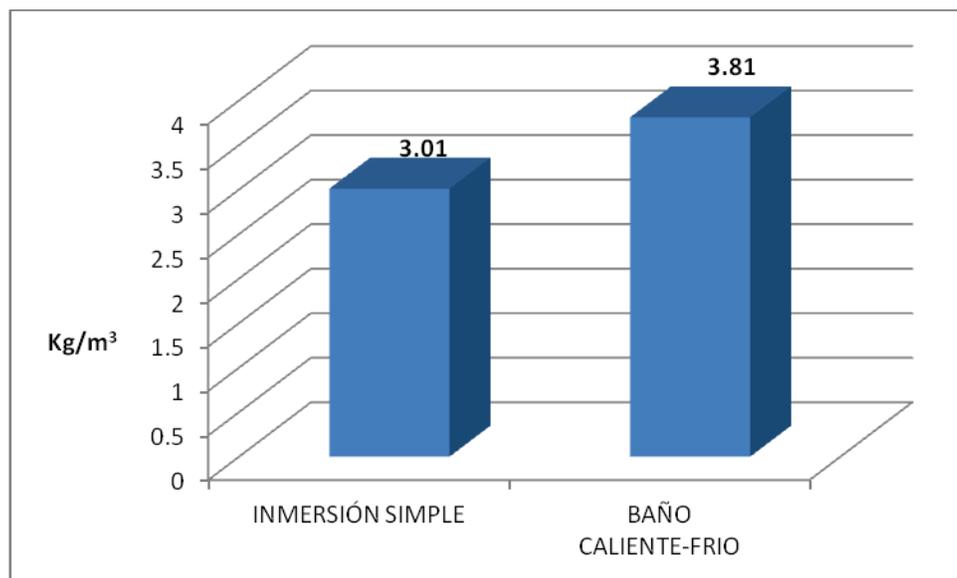


Figura 20. Retención de sales de cobre azul por el método de inmersión simple y baño caliente-frío.

6.2. RESULTADOS DE PENETRACIÓN

6.2.1. DETERMINACIÓN DE PENETRACIÓN DE LAS SALES DE BORO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN SIMPLE

En las figuras 21 y 22, se observa que la penetración obtenida con sales de boro por el método de inmersión simple fue parcial regular (Anexo 1). La coloración rojiza revela la presencia del boro, mientras que las áreas teñidas de amarillo implican la ausencia de éste.



Figura 21. Probetas impregnadas con sales de boro por el método de inmersión simple. Aplicación de la solución 1.



Figura 22. Probetas impregnadas con sales de boro por el método de inmersión simple. Aplicación de la solución 2.

6.2.2. DETERMINACIÓN DE PENETRACIÓN DE LAS SALES DE BORO POR EL MÉTODO BAÑO CALIENTE-FRÍO

El tipo de penetración obtenida con sales de boro por el método baño caliente-frío fue parcial regular (Anexo 1), como se observa en las figuras 23 y 24.



Figura 23. Probetas impregnadas con sales de boro por el método baño caliente-frío. Aplicación de la solución 1.

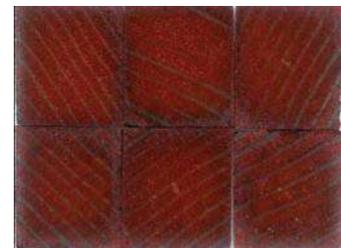


Figura 24. Probetas impregnadas con sales de boro por el método baño caliente-frío. Aplicación de la solución 2.

6.2.3. DETERMINACIÓN DE PENETRACIÓN DE LAS SALES DE COBRE AZOL POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN SIMPLE

En la figura 25, se observa que el tipo de penetración obtenida con sales de cobre azol por el método de inmersión simple fue total regular (Anexo 1).

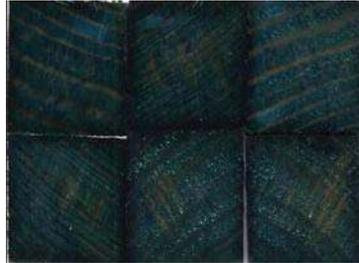


Figura 25. Probetas impregnadas con sales de cobre azol por el método de inmersión simple. Aplicación de la solución de cromo-s-azurol.

6.2.4. DETERMINACIÓN DE PENETRACIÓN DE LAS SALES DE COBRE AZOL POR EL MÉTODO BAÑO CALIENTE-FRÍO

La penetración obtenida con sales de cobre azol por el método baño caliente-frío fue total irregular (Anexo 1), como se observa en la figura 26.

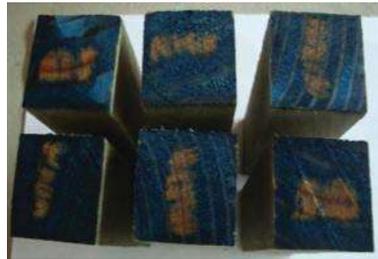


Figura 26. Probetas impregnadas con sales de cobre azol por el método baño caliente-frío. Aplicación de la solución cromo-s-azurol.

En el cuadro 1, se presenta el análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental aplicado, nótese que $F(\text{sales}) = 97.39$ y $F(\text{tratamiento}) = 302.21$ son muy elevadas, es decir que existe una gran diferencia entre la interacción del tipo de sales y el tratamiento. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Por otro lado, no hubo diferencia significativa para el efecto combinado del tipo de sales y tratamiento.

Cuadro 4. Análisis de varianza.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Sales	8.486	1	8.486	97.39	0.000000
Tratamiento	26.335	1	26.335	302.21	0.000000
Sales*Tratamiento	0.530	1	0.530	6.08	0.015106
Error	10.108	116	0.087		

6.3. GRÁFICAS DE MEDIAS

A continuación se muestra la relación entre el tipo de sales y el tipo de tratamiento, así como su interacción.

Se observa la diferencia existente entre el tipo de sales, es decir, existe una mayor retención en las sales de cobre azol con respecto a las sales de boro (Figura 27).

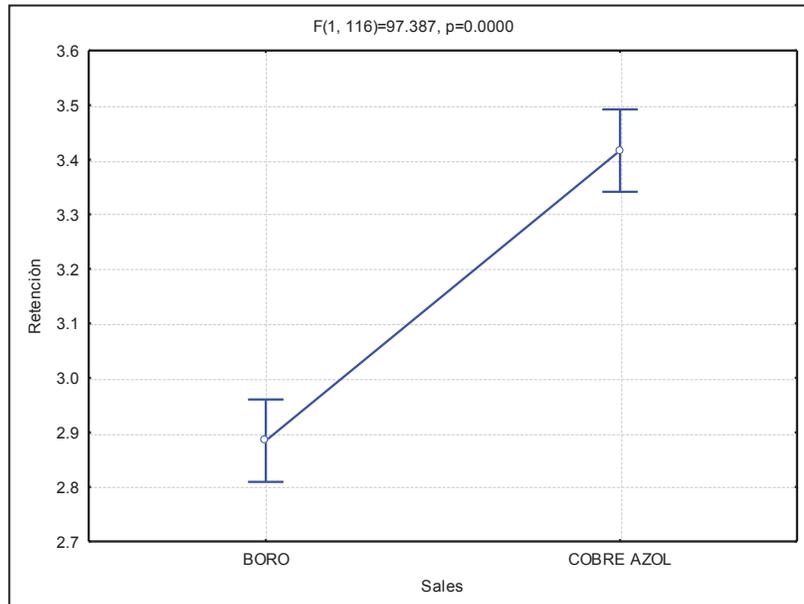


Figura 27. Relación entre el tipo de sales y la retención.

En la figura 28 se muestra que existe diferencia significativa en la variable método de tratamiento, siendo mayor en el tratamiento baño caliente-frío respecto al de inmersión simple.

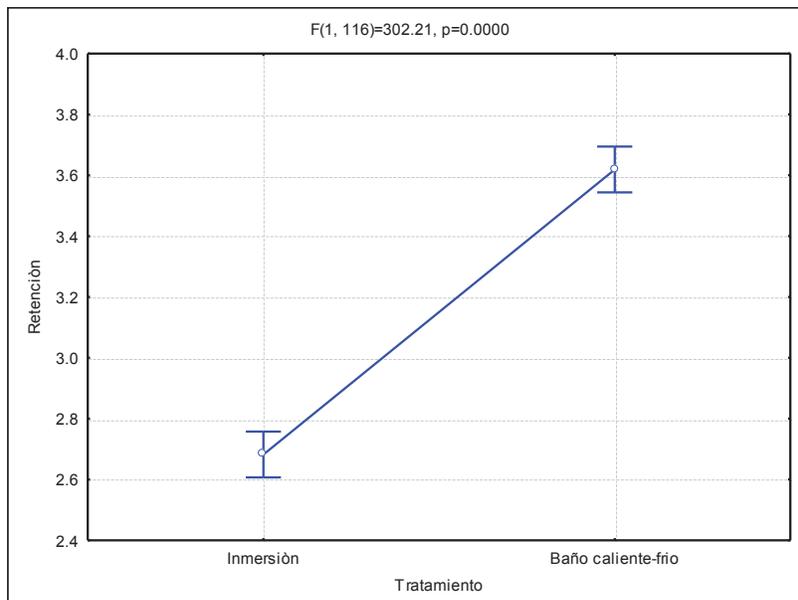


Figura 28. Relación entre el tipo de tratamiento y la retención.

Se observa que no existe diferencia significativa del efecto combinado de las variables de estudio: tratamiento y sales (Figura 29).

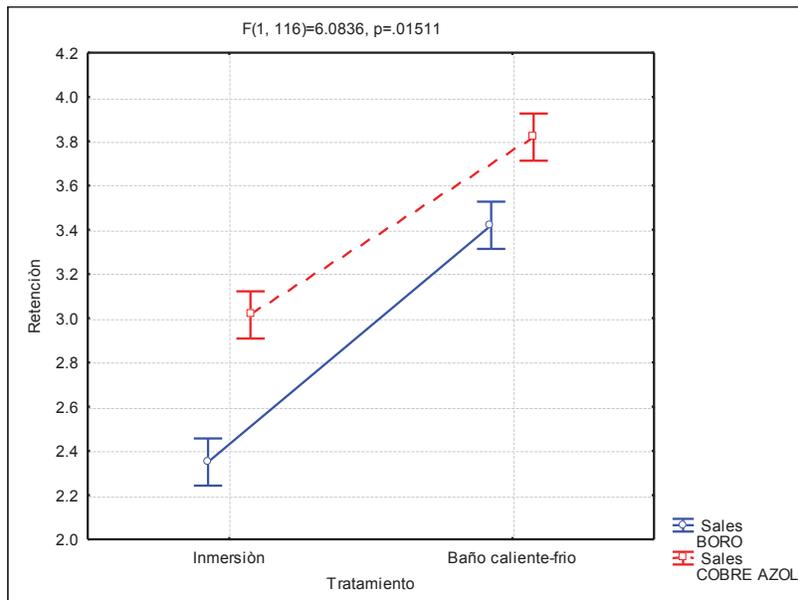


Figura 29. Relación entre el tipo de tratamiento y el tipo de sales.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la impregnación con madera de *Pinus pseudostrobus* Lindl. (pino) con sales de boro por el método de inmersión simple, muestran una absorción de 284.8 kg/m³ en 48 h y una retención máxima de 2.848 kg/m³ en igual periodo de tiempo. Aburto (2006) encontró que la madera de *Mangifera indica* L. (mango) impregnada con sales de boro al 1% por el mismo método, presentó valores de absorción y retención mayores a los obtenidos con *Pinus pseudostrobus* Lindl. La absorción para madera de mango impregnada durante 168 h fue de 291.006 kg/m³ y la retención de 5.82 kg/m³.

En cuanto a la madera de pino de este estudio, la penetración máxima alcanzada fue de 10 mm, en cambio para madera de mango el resultado que obtuvo fue nulo en el mismo tiempo de impregnación en este trabajo.

En la madera de *Pinus pseudostrobus* Lindl. (pino) impregnada con sales de boro por el método baño caliente-frío se obtuvo una retención máxima de 3.88 kg/m³, una penetración de 12 mm y absorción de 388 kg/m³. Raya (1999) reportó que la madera de *Quercus scytophylla* Liemb. (encino) impregnada con sales de boro por el método de baño caliente-frío a una concentración de 20 % (de ácido bórico equivalente), presentó valores de retención mayores a los obtenidos con madera de (pino) pero valores de penetración menores. La retención para madera de encino fue de 9.31 kg/m³ y la penetración de 7.78 mm, la absorción no fue determinada.

En la impregnación de madera de abeto Douglas empleando sales de cobre azol, Islam *et al.* (2008) determinó retenciones menores a las obtenidas en este trabajo al impregnar madera con C.H. iniciales de 18 y 33%. El área máxima penetrada para madera de abeto Douglas con un C.H. de 18 % fue entre 88 % y 96 % a lo largo del grano y en madera con un C.H. de 33 %, fue entre 85 % y 90 % a lo largo del grano respectivamente; mientras que para la madera de este estudio la penetración alcanzada fue del 100 %, para todos los casos por el mismo método de impregnación.

La retención del preservante total varió de 1.61 a 2.68 kg/m³, superando el requisito mínimo de retención para su uso por encima del suelo (1.6 y 3.6 kg/m³) de acuerdo con Lebow (1996), citado por Islam *et al.* (2008).

8. CONCLUSIONES

- ❖ Las probetas impregnadas con sales de boro al 1 %, pueden emplearse para el nivel de riesgo 1: en interiores (muebles, puertas, pasamanos, otros) y en lugares protegidos del intemperismo.
- ❖ Debido a que la impregnación con sales de boro no es recomendable para niveles de riesgo mayores a 2, resultaría poco rentable utilizar concentraciones demasiado elevadas.
- ❖ Las probetas impregnadas con sales de cobre azol (CA-B) por ambos métodos presentaron absorciones, retenciones y penetraciones mayores que las impregnadas con sales de boro.
- ❖ La madera tratada con sales de cobre azol, puede ser utilizada en aplicaciones de contacto con el suelo y en la superficie.
- ❖ El color de la madera impregnada con sales de cobre azol se tornó de un color verde azulado parecido a la coloración de las CCA-C, con mayor intensidad en el método de baño caliente-frío. Las probetas impregnadas con sales de boro aclararon su color.
- ❖ El tipo de penetración de las sales de boro en ambos métodos es parcial regular.
- ❖ El tipo de penetración de las sales del cobre azol en el método de inmersión simple es total regular, y total irregular para el método baño caliente-frío.
- ❖ De acuerdo al análisis estadístico se encontró que hubo diferencia significativa para el tipo de sales y para el método de impregnación; no existe diferencia significativa entre la interacción del tratamiento y la sustancia preservante.

9. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda realizar ensayos de impregnación con sales de cobre azol utilizando métodos con presión: Bethell, Lowry, etc.
- ❖ Realizar ensayos utilizando piezas de medidas comerciales.
- ❖ Se recomienda utilizar mayores concentraciones y tiempos más prolongados en los mismos métodos de tratamiento, para obtener mayores retenciones y niveles de riesgo más altos.
- ❖ Realizar análisis de durabilidad de la madera impregnada contra agentes biológicos.
- ❖ Disolver el sulfato cúprico en agua tibia (25 - 30 °C) para mayor facilidad.

10. LITERATURA CITADA

- Aburto Guzmán G. 2006. Impregnación de la madera de mango (*Mangifera indica* L.) con sales CCA y sales de boro por los métodos de inmersión y célula llena. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México.
- Agro-Care Chemical Industry Group. 2002. Tebuconazole. [Internet]. Disponible en: <<http://www.agrocare.com.cn/Products/Tebuconazole.htm>>. [consulta: febrero 8, 2011].
- Ávila Calderón, L.E.A. y Herrera Ferreyra, M.A. 2010. Manual de prácticas de Preservación de la Madera. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- AWWA (American Wood-Preserves' Association). 2007. Standard P5-07. Standard For Waterborne Preservatives.
- AWWA (American Wood-Preserves' Association). 2007. Standard T1-07. Processing and treatment standard.
- Bayer CropScience. 2005. Productos Fitosanitarios. Hoja de datos de seguridad. [Internet]. Disponible en: <[http://www.bayercropscience.com.mx/bayer/cropscience/bcsmexico.nsf/id/5CB78549E185E77AC1256FE1004FFAF9/\\$file/hds_Folicur.pdf](http://www.bayercropscience.com.mx/bayer/cropscience/bcsmexico.nsf/id/5CB78549E185E77AC1256FE1004FFAF9/$file/hds_Folicur.pdf)>. [consulta: febrero 8, 2011].
- Burns Ralph A. 2003. Fundamentos de Química. 4ta ed. Prentice Hall. México.
- COFAN (Comisión Forestal de América del Norte). 1999. Manual de Construcción de Estructuras Ligeras de Madera. 2da ed. Consejo Nacional de Madera en la Construcción – Universidad Autónoma Chapingo – Natural Resources Canada – United States Department of Agricultura. México.
- COFOM (Comisión Forestal del Estado de Michoacán). 2003. Las Coníferas de Michoacán. Boletín Técnico No. 4. Vol. 1.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2009. Protocolo de tres especies forestales. Coordinación general de conservación y restauración.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). s/f. Ficha Técnica. [internet]. Disponible en:

- <<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/981Pinus%20pseudostrobus.pdf>>. [consulta: febrero 17, 2011].
- EQC (Electroquímica El Carmen). 2006. Acido bórico. Especificaciones técnicas. [Internet]. Disponible en: <<http://www.eqcsa.com.ar/Descargas/Acido%20Borico.pdf>>. [consulta: febrero 8, 2011].
 - Erdoiza J. y Echenique-Manrique R. 1980. Preservación de madera de pino con sales de boro. La madera y su uso en la construcción. Boletín Técnico No. 4, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver., México.
 - Gaspar F., Cruz H., Gómez A., Nunes L. 2009. Production of glued laminated timber with copper azole treated maritime pine. European journal of Wood and Wood products. Springer. [Internet]. Disponible en: <<http://www.springerlink.com/content/t261503011583880/fulltext.pdf>>. [consulta: noviembre 18, 2011]. 64 (2).
 - Groenier S. J. 2006. Preservative-Treated Wood and Alternative Products in the Forest Service. Forest Products Laboratory. USDA Forest Service. Missoula, MT.
 - Hee Ahn S., Chang Oh S., Choi In-Guy., Kim Ho-Yong., Yang I. 2008. Efficacy of wood preservatives formulated from okara with copper and/or boron salts. Journal of Wood science. Springer. 54(6). [Internet]. Disponible en: <<http://www.springerlink.com/content/u3574p5075455u57/fulltext.pdf>>. [consulta: noviembre 18, 2011].
 - INFOR (Instituto Forestal). s/f. Doble vacío. Fondo de Innovación Tecnológica de la Región del Bio Bio. Gobierno de Chile. [Internet]. Concepción, Chile. Disponible en: <http://www.infor.cl/doble_vacio/antecedentes.htm>. [consulta: febrero 8, 2011].
 - Islam N., Ando K., Yamauchi H., Hattori N. 2008. Preservative treatment of Douglas-fir lumber by the passive impregnation method with copper azole. European journal of Wood and Wood products. Springer. 67 (1). [Internet]. Disponible en: <<http://www.springerlink.com/content/6174621447125t13/fulltext.pdf>>. [consulta: noviembre 18, 2011].
 - JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena). 1988. Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas. Lima. Perú.

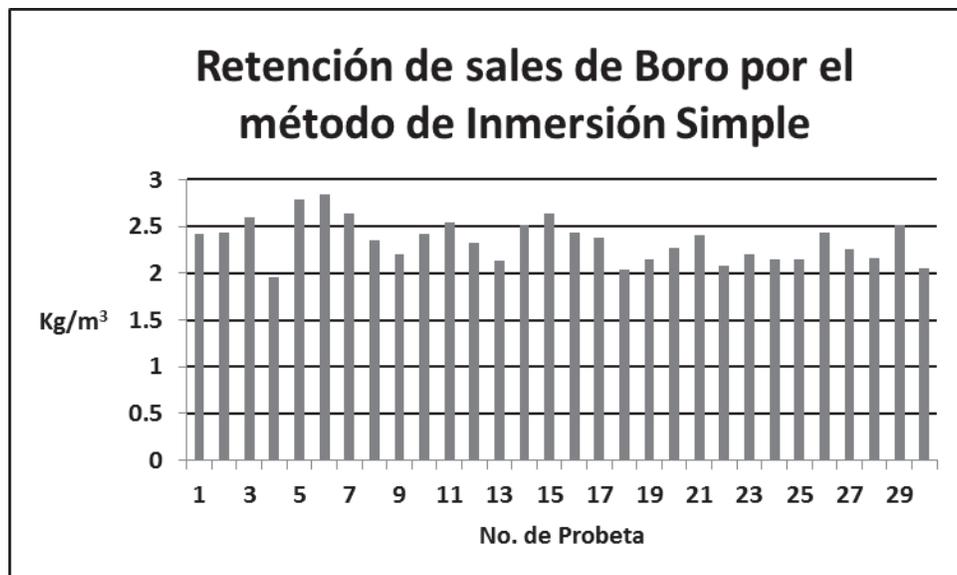
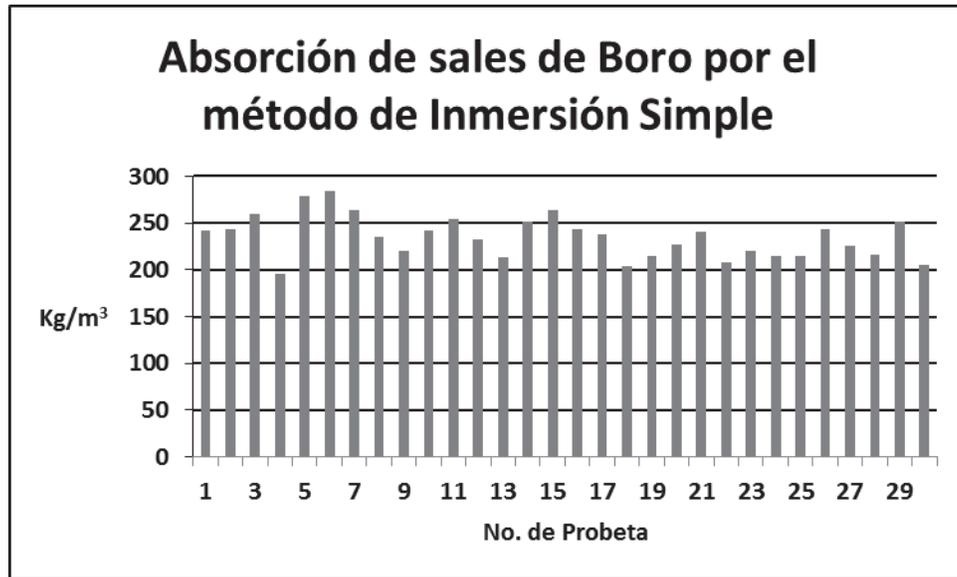
- Lenntech. S/F. Water Treatment Solutions. [Internet]. Disponible en: <<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/b.htm>>. [consulta: febrero 8, 2011].
- Martínez López J. 2008. Panorama actual de la preservación de maderas en México. Documento recepcional técnico. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México.
- Milton, T. 1995. The Preservation of Wood. A Self Study Manual for Wood Treaters. University of Minnesota. USA. 32 p.
- Montgomery. 2008. Diseño y análisis de experimentos. 2da ed. Limusa.
- 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.
- ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación). 2002. Norma Mexicana NMX-C-419-ONNCCE-2001. Industria de la Construcción – Preservación de Maderas – Terminología.
- ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación). 2006. Norma Mexicana NMX-C-178-ONNCCE-2001. Industria de la Construcción – Preservadores para Madera – Clasificación y Requisitos.
- ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación). 2006. Norma Mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2003. Industria de la Construcción – Madera Preservada a Presión – Clasificación y requisitos.
- Raya González D. 1999. Eficacia de los extractos de *Eucaliptus cinerea* F. v. Muell., *Eucaliptus tereticornis* Sm. y *Nerium oleander* L. en la protección de la madera de *Quercus scytophylla* Liemb. contra *Lictus* sp. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México.

- Wikipedia. 2010. Azol. [Internet]. Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Azol>>. [consulta: febrero 8, 2011].

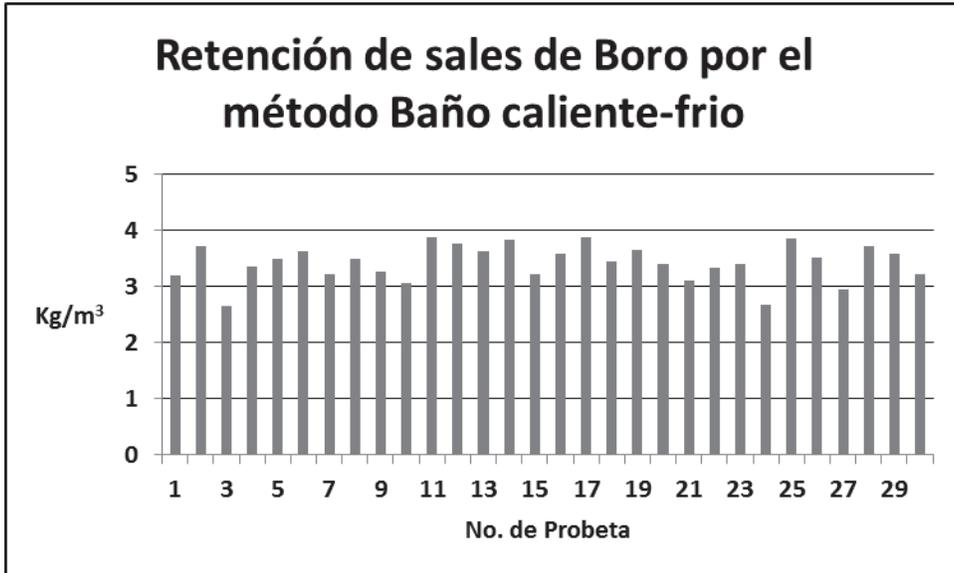
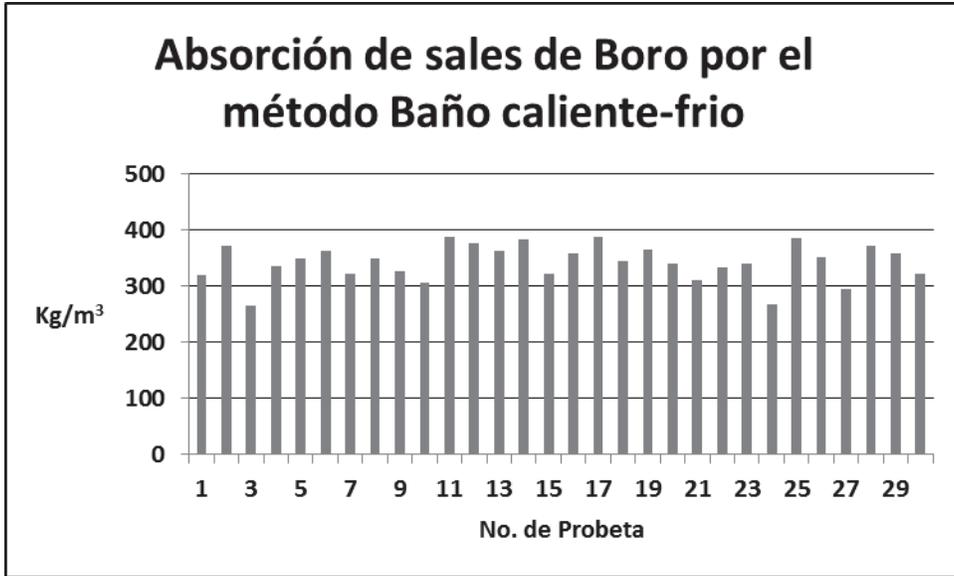
- Wikipedia. 2011. Cobre azoles. [Internet]. Disponible en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wood_preservation#Copper_azole>. [consulta: noviembre 20, 2011].

11. APÉNDICE

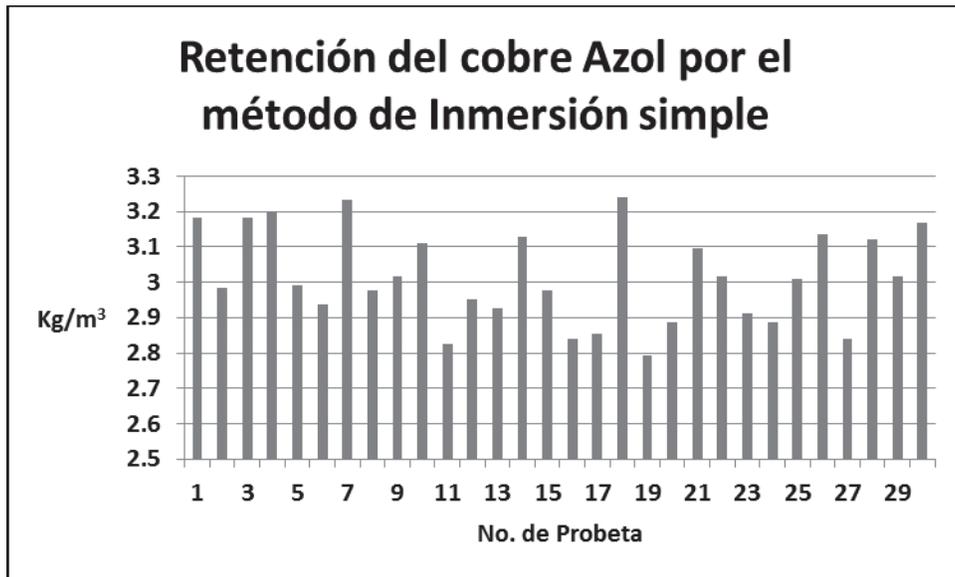
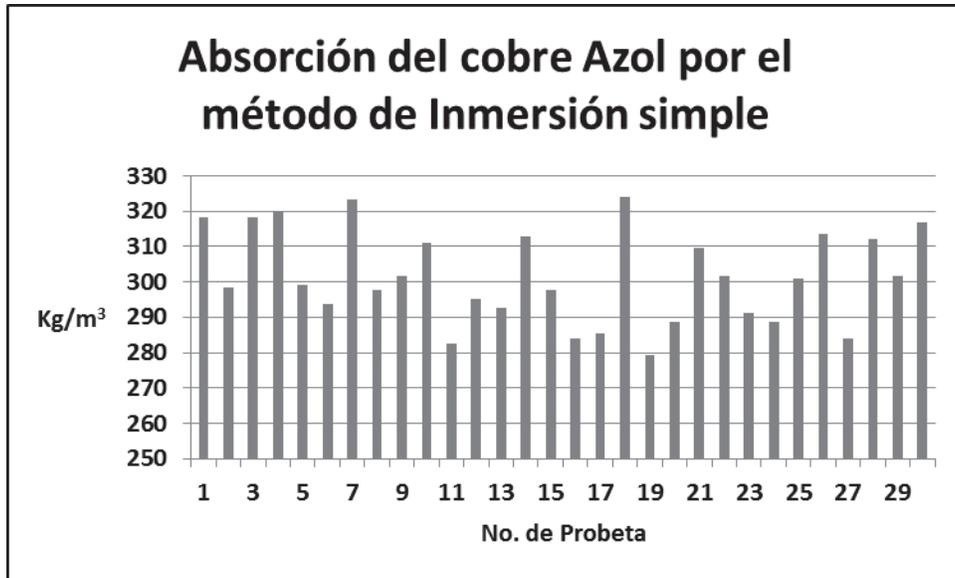
APÉNDICE 1. ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE SALES DE BORO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN SIMPLE



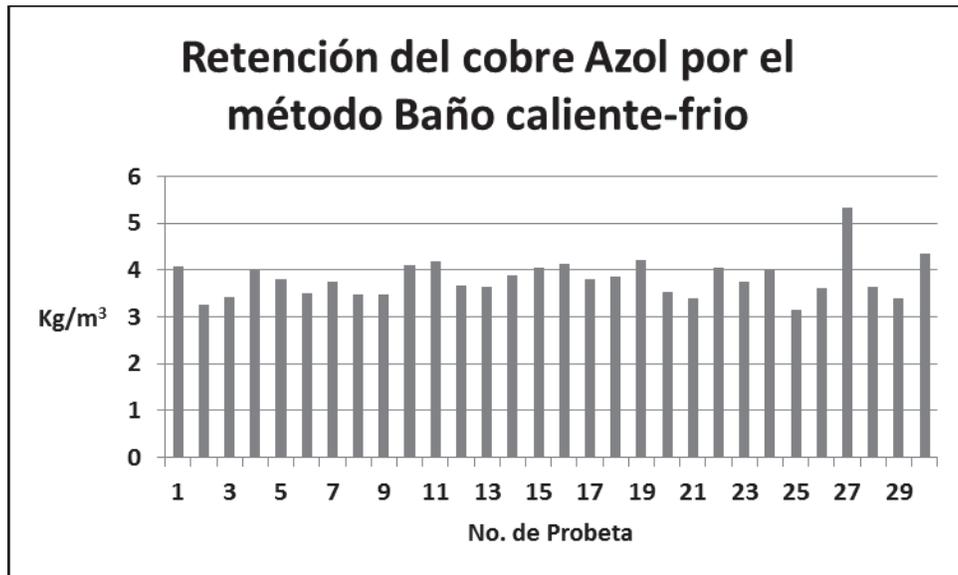
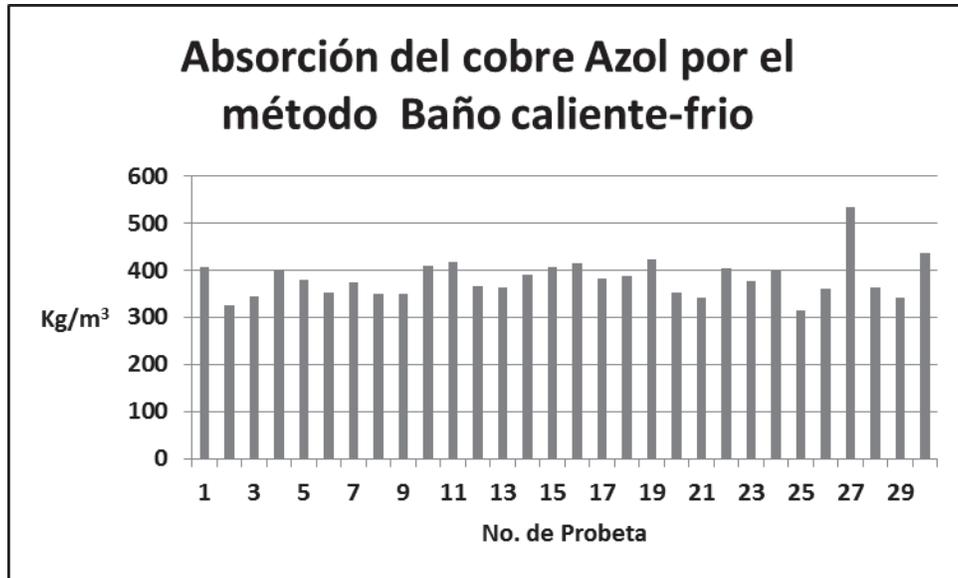
APÉNDICE 2. ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE SALES DE BORO POR EL MÉTODO BAÑO CALIENTE-FRÍO



APÉNDICE 3. ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE SALES DE COBRE AZOL POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN SIMPLE

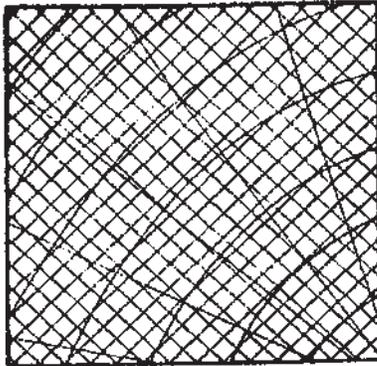


APÉNDICE 4. ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE SALES DE COBRE AZOL POR EL MÉTODO BAÑO CALIENTE-FRÍO

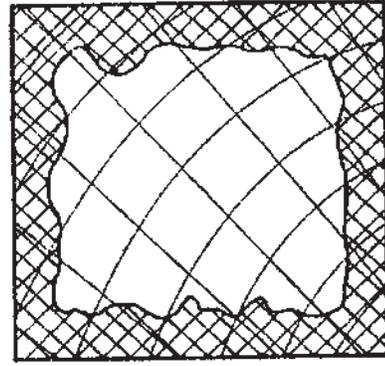


ANEXO 1

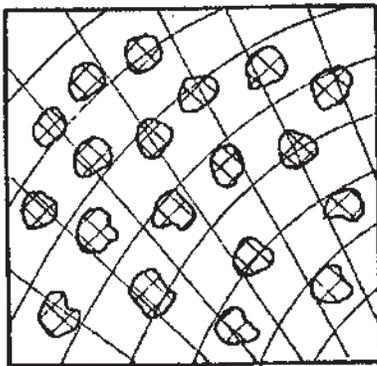
TIPOS DE PENETRACIÓN EN MADERA TRATADA (JUNAC, 1988)



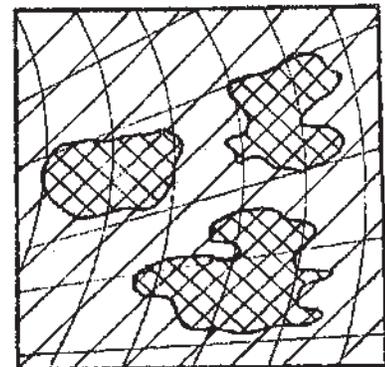
Total regular



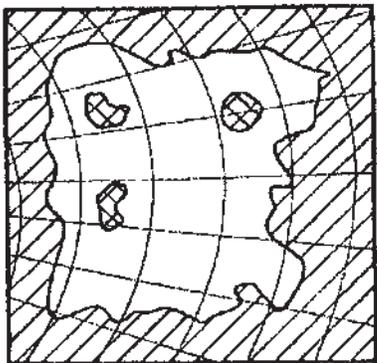
Parcial regular



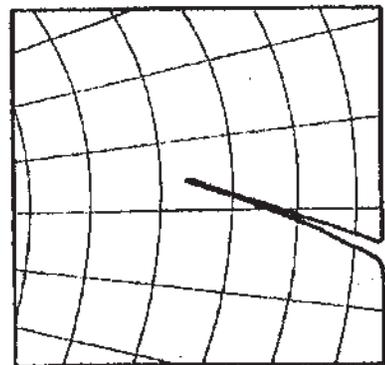
Parcial vascular



Total irregular



Parcial irregular



Penetración nula