



Facultad de
Ingeniería
en **Tecnología de la Madera**

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL FUEGO QUE
LE TRANSMITEN TRES DE LOS PRESERVANTES COMERCIALES A
LA MADERA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN TECNOLOGÍA
DE LA MADERA**

PRESENTA

GABRIEL ALEJANDRO GARIBAY GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS

M.C. MARCO ANTONIO HERRERA FERREYRA

MORELIA MICHOACÁN, JUNIO DEL 2012



CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	3
3.	MARCO TEÓRICO	5
3.1.	Preservantes comerciales para madera	5
3.2.	Creosota	6
3.3.	Sales de boro	7
3.4.	Sales CCA-C	10
3.5.	Pentaclorofenol (PCF)	10
4.	RELACIÓN ENTRE FUEGO Y MADERA	14
5.	OBJETIVO	18
6.	METODOLOGÍA	19
6.1.	Habilitación del material de estudio	19
6.2.	Pesado de las probetas	20
6.3.	Preservación de las probetas	20
6.4.	Determinación de Absorción y Retención	21
6.5.	Ensayos de resistencia al fuego	22
6.6.	Pérdida de peso después de la combustión	22
6.7.	Análisis estadístico	23
7.	RESULTADOS	24
7.1.	Determinación de la absorción para los tres tratamientos	24
7.2.	Determinación de la retención para los tres tratamientos	24
7.3.	Pérdida de peso	24
8.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	25
8.1.	Gráfica de comparación múltiple de medias	27
9.	CONCLUSIONES	30
10.	RECOMENDACIONES	31
11.	BIBLIOGRAFÍA	32
12.	APÉNDICE	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Madera utilizada para las probetas del ensayo	19
Figura 2	Sellado de las cabezas con pintura de aceite	19
Figura 3	Probetas impregnadas con sales CCA-C	21
Figura 4	Desprendimiento de humo en probeta impregnada con CCA-C	25
Figura 5	Desprendimiento de humo en probeta impregnada con pentaclorofenol	25
Figura 6	Cenizas de probeta impregnada con pentaclorofenol	26
Figura 7	Cenizas de probeta impregnada con sales de boro	26
Figura 8	Cenizas de probeta impregnada con Sales CCA-C	26
Figura 9	Cenizas de probeta utilizada como testigo	26
Figura 10	Comparación de medias y la pérdida de peso	27
Figura 11	Relación entre la pérdida de peso y los preservantes	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Material empleado en el ensayo	19
Cuadro 2	Promedios resultado de la Absorción	24
Cuadro 3	Promedios resultado de la Retención	24
Cuadro 4	Promedios de la pérdida de peso (%)	24
Cuadro 5	Análisis de Varianza	27
Cuadro 6	Resultados de la Prueba de Tukey	28

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1	Pérdida de peso en porcentaje (%) de cada una de las probetas utilizadas	35
Apéndice 2	Diferencia entre el peso inicial y el peso final para cada uno de los tratamientos	36
Apéndice 3	Análisis de Varianza (Prueba de Tukey)	36
Apéndice 4	Tubo de Fuego utilizado para el ensayo	37

1. INTRODUCCIÓN

La madera es uno de los recursos naturales más abundantes del planeta y ha tenido siempre un papel muy significativo e importante en la economía humana. Ha proporcionado al hombre desde tiempos prehistóricos, materia prima para la elaboración de elementos estructurales, combustible, herramientas, fabricación de medios de transporte, medicinas, entre otros; sin embargo, por ser un material de origen orgánico, es susceptible a los procesos de biodeterioro.

La preservación de madera en México, ocupa un lugar importante quizá no al mismo nivel que otros países en los cuales la madera es el principal material de construcción. Ésta práctica de la preservación tiene variadas aplicaciones, por ejemplo: En la industria eléctrica se utiliza para preservar los postes que se emplean para el cableado eléctrico; en la construcción se preserva la madera para la edificación de inmuebles; también en la industria ferroviaria se preservan los durmientes para las vías, entre muchas otras aplicaciones.

Esta actividad permite utilizar especies que tradicionalmente han sido consideradas de baja durabilidad natural, así como madera de albura de especies procedentes de plantaciones forestales, lo cual representa un porcentaje importante del volumen industrializado actualmente.

Al preservar una madera se logra mejorar sus características, otorgándole una mayor resistencia a la biodegradación. El principal objetivo por el cual se preserva una madera es para incrementar su vida útil en servicio, y esto disminuye obviamente los costos de mantenimiento, ya que no es necesario hacer reemplazos frecuentemente de piezas dañadas (FAO, 1996).

Se considera importante contar con preservantes que sean eficientes para cada una de las actividades antes mencionadas y lo ideal sería que estos productos le dieran además propiedades de resistencia al fuego a la madera tratada.

Para que un preservante para madera se considere apropiado debe cumplir varios requisitos: que tenga un rango de toxicidad amplio para organismos degradantes de la

madera, baja volatilidad, resistencia a la lixiviación, cierta estabilidad química, alta penetrabilidad, buen grado de retención en la madera, que no sea corrosivo y lo más importante que no sea tan elevado su costo. Los preservantes que se utilizan actualmente cumplen con la mayoría de los requisitos aunque no con todos (Haygreen y Bowyer, 1996). Las clasificaciones de los preservantes para madera son diversas, aunque tradicionalmente se hace de acuerdo con su origen y uso. Dos grandes grupos los constituyen los productos oleosolubles y los hidrosolubles (JUNAC, 1988).

El presente trabajo surge de la idea del estudio de las propiedades de los preservantes con los que se trata la madera en la actualidad y de los beneficios que estos pueden aportar a la madera tratada en relación con la resistencia al fuego. Con lo cual se pretende divulgar la importancia de preservar la madera con sustancias que no favorezcan al fuego en caso de incendio y que proporcionen a la madera una mayor vida útil. Con la finalidad de que en la actividad de la construcción con elementos de madera mejore día a día el nivel de seguridad para las personas.

2. ANTECEDENTES

En México no existe mucha información relacionada con estudios acerca de las propiedades de resistencia al fuego de los preservantes para madera CCA-C, boro y pentaclorofenol, entre la información que se encuentra destacan los trabajos de:

Reyes (2001) evaluó la eficacia de dos tratamientos retardantes al fuego, conocidos comercialmente como Nom Flame y Flame Proof, realizando ensayos de combustión mediante el método de la criba, dando como resultado que el retardante FLAME PROOF fue el más eficaz y el que produjo una menor pérdida de peso de la madera expuesta al fuego directo, además obtuvo una disminución considerable de la duración de la flama, en comparación con la madera no tratada.

Silva (2002) comparó los grados de retención, absorción y penetración de sales CCA en madera de pino mediante los métodos de inmersión simple y baño caliente – frío. Los mayores valores de las variables analizadas se obtuvieron por el método baño caliente –frío.

Winandy (1995) menciona que los tratamientos a base de borato inhiben o reducen la velocidad de degradación térmica en la madera expuesta a elevadas temperaturas, pero también pueden ser efectivos tratamientos remediales para contrachapado tratado con retardante al fuego, si se obtuviera la suficiente retención del químico a base de borato.

Reyes (2006) realizó ensayos de combustión para probar la eficacia de dos productos retardantes al fuego en madera de *Pinus pseudostrobus* Lind. Utilizando 3 métodos de impregnación (inmersión, baño caliente – frío y presión). Teniendo como resultado que los métodos de impregnación con los que se obtuvieron mejores resultados, que se tradujeron en una menor pérdida de peso, fue el de presión y el de baño caliente – frío con las 16 y 24 h, combinados con el retardante al fuego Flame Proof.

Richardson y Cornelissen (1987) demostraron que la hinchazón resultado de la aplicación de pintura retardante a la flama y sistemas de cubiertas para tablas de

madera podría reducir la formación de carbón en las tablas hasta un 70% durante los primeros 30 minutos de exposición al fuego. Señalaron que las aplicaciones de esos sistemas de cubiertas para las superficies expuestas de las tablas usadas en construcción en pesadas estructuras de madera ensambladas podría aumentar la resistencia al fuego de esos componentes al menos 30 minutos. Indican que esto podría representar un aumento significativo en la resistencia al fuego de sistemas de techos de madera pesada y podría extender el uso de este tipo de sistema de construcción para muchas de las construcciones no residenciales para las cuales los actuales códigos de construcción requieren resistencia al fuego, mayor a 1 hora.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Preservantes comerciales para madera

Históricamente, los preservantes más utilizados son el pentaclorofenol, la creosota y las sales CCA, de estos últimos el más antiguo es la creosota, que data de 1961. Hacia 1986 decrece el uso del pentaclorofenol (PNP), que inició en 1931, y remonta la demanda de las sales CCA, las cuales aparecieron en 1983 (Machuca *et al.* 2006).

Los preservantes son productos químicos de efectividad comprobada cuya formulación está normalizada y que se aplican en la madera mediante varios métodos de preservación. Pueden ser solubles en agua y se consideran como hidrosolubles. En su composición intervienen sustancias de conocido poder fungicida e insecticida, además de un fijador que impida su lixiviación (Hoheisel, 1988).

Los preservantes hidrosolubles se presentan comercialmente en envases en forma de polvo, líquido pastoso o pasta (Huiricán, 2008).

La madera ha sido siempre un material favorito para una gran cantidad de actividades y especialmente para la construcción de viviendas. Es un material cálido, con un aspecto agradable, fácil de utilizar y en el estado de Michoacán aún es fácil conseguirla. (Osmose Internacional, s/f).

Desde el año de 1934 (Osmose *op. cit*), se han utilizado sustancias preservantes para la madera, de entre las cuales se encuentran las sales CCA, las sales de Boro y el Pentaclorofenol, que se aplican por el hecho de que le transfieren a este material, propiedades que lo hacen más resistente al ataque de hongos, insectos xilófagos como las termitas, hongos y todo tipo de organismos que se alimentan de ella.

El uso de los preservantes como el pentaclorofenol y la creosota ha ido en disminución, debido a los riesgos que tiene para los seres humanos y el ambiente. Lo anterior ha permitido un crecimiento significativo en el uso de los preservantes hidrosolubles, los cuales presentan menos riesgos industriales y producen menos contaminación, debido a que es posible reutilizar los residuos líquidos que se producen en el proceso de preservación de la madera (Johnson, 1999).

Existe una gran variedad de compuestos químicos retardantes de fuego usados en madera y tableros a base madera, tanto por impregnación, incorporación a la masa o aplicación superficial (Forest Products Laboratory, 1999).

Los preservantes comerciales más empleados en México son:

3.2. Creosota

La creosota es un preservante para la madera obtenido de la destilación de alquitrán de hulla, producido por carbonización a temperatura elevada de la hulla bituminosa (Hoheisel, 1988).

El alquitrán de hulla y el residuo de alquitrán de hulla son generalmente líquidos espesos de color negro o pardo oscuro, o son semisólidos con olor a humo. La creosota de alquitrán de hulla es el preservativo para maderas de más uso en los Estados Unidos (ATSDR, 2002).

La creosota es resultado de la mezcla de muchas sustancias químicas (unas 200) la mayoría de las cuales son hidrocarburos aromáticos, que se originan en los procesos de combustión de la madera. Se obtiene fundamentalmente por destilación entre 200 y 400°C de alquitranes procedentes de la combustión de carbones grasos (hulla) entre 900 y 1200°C. La composición química es compleja, formando parte de ella alquitranes ácidos (fenol, cresol, xileol, y otros. en un 5% aproximadamente), básicos (piridinas, quinolinas, acridinas, entre otros. en otro 5% aproximadamente) y neutros (antraceno, benceno, fenantreno, naftaleno, entre otros. en un 90% aproximadamente) (Bobadilla, 2004).

La creosota se usa como preservante para madera, como plaguicidas y en medicamentos a base de hierbas. Se utiliza en casas o cabañas de troncos, empalmes de ferrocarril, postes de teléfono, puentes, rejas, etc. También se usa como plaguicida, insecticida, fungicida y en medicinas para tratar enfermedades en la piel, tal como psoriasis. La creosota se encuentra frecuentemente en lugares donde se desechan

materiales peligrosos (LOSH, 2003). Este tipo de preservante se caracteriza por su dificultad de penetración y por manchar la madera, haciendo incompatible la madera tratada con cualquier acabado. Sólo se utilizan para el caso de postes, rollizos, estacas y durmientes (Vignote, 2000).

3.3. Sales de boro (JUNAC, 1988)

Las sales de boro constituyen una de las principales sustancias preservantes para la madera de uso interior. Son relativamente eficientes contra hongos pudridores e insectos xilófagos, además de contar con su probada capacidad como retardantes del fuego.

Los preservantes de boro son una excelente alternativa para maderas que van a ser utilizadas en interiores, dadas sus ventajas comparativas con otros productos, no cambian el color de la madera, son poco tóxicos para los seres humanos, no son inflamables y protegen a la madera de la acción destructora de los hongos e insectos.

Los boratos tienen características únicas de solubilidad, durabilidad, volatilidad y toxicidad, las cuales los hacen idóneos para ser utilizados como preservantes de la madera (Grece, 1997).

Su carácter insecticida y fungicida complementario, baja la tensión superficial de la madera haciéndola más permeable y por tanto de más rápida y profunda penetración en la madera (Vignote, 2000). Además de que los riesgos para aves, peces y mamíferos son mínimos, aunque deben tomarse ciertas precauciones al manipularlas (Berrocal *et al*, 2004).

Su acción es: protectora, preventiva, de larga duración, elimina y previene la formación de mohos y hongos en la madera y además es repelente a la carcoma. Cuando la madera está infestada es necesario que las sales penetren en profundidad (Huiricán, 2008).

Como retardante al fuego está en relación con la cantidad impregnada, para la aplicación en la madera es necesario que el agua se evapore por completo (24 – 48 horas) antes de eliminar los residuos e impregnar y si es posible, comprobar la humedad de la madera con instrumentos adecuados.

Las sales de boro no contienen resinas alquidáticas, vinílicas, acrílicas, poliuretánicas, isoparafinas, biosidas, no son fitotóxicas, no aumentan la inflamabilidad, no imparten olores a la madera y permiten buenos acabados (Huiricán, 2008).

Las propiedades químicas del boro son las siguientes: (Vernicinaturali, 2008)

- No reacciona con el agua, ni con el ácido clorhídrico.
- Reacciona con el oxígeno para formar óxido bórico y con el nitrógeno para formar el nitruro de boro.
- Con los metales forma boruros o sales de boro, a partir del ion borato.
- El boro en su estado puro no es tóxico, pero el ácido bórico y los boranos si lo son.
- No tiene muchas propiedades definidas porque sus fuentes para obtener su elemento no dan estabilidad a las propiedades por falta de pureza, lo que más le afecta son las variaciones de temperatura durante la preparación del elemento.
- Aunque el boro tiene número de oxidación 3 y su posición en la tabla periódica indicaría una relación cercana con el aluminio, en realidad es mucho más parecido al carbono y al silicio en sus propiedades químicas.

Este elemento tiene importantes aplicaciones en el campo de la energía nuclear. Se utiliza en los detectores de partículas, y debido a su alta absorción de neutrones se utiliza como absorbente de control en los reactores nucleares y como material constituyente de los escudos contra neutrones.

3.4. Sales CCA-C (Osmose Mexicana, s/f)

Este preservante para madera es permanente en forma de sales hidrosolubles para el tratamiento a presión o inmersión de productos de madera en todo tipo de usos.

Se utiliza para el tratamiento de maderas húmedas al rededor del punto de saturación de la fibra (30% de C.H.), aprovechando la difusión de las sales en la propia agua de la madera. Los preservantes a base de cobre, cromo y arsénico se clasifican en tres tipos (A, B y C) dependiendo sus características y de la proporción en que se encuentren los elementos tóxicos activos en el producto terminado, en el caso de este trabajo se utilizó una concentración del 5%.

El nombre CCA proviene de los componentes químicos que son el Cromo, el Cobre y el Arsénico. Cada uno de ellos cumple una función específica dentro de la madera. El Cobre, es el elemento que impide el ataque de hongos, bacterias y actúa como fungicida, el Arsénico, protege a la madera contra los insectos y hace la función de insecticida, el Cromo, es el elemento responsable de la fijación definitiva del preservante en la madera.

En todo caso, es altamente recomendable que los componentes o materias primas usadas en la fabricación del preservante CCA sean óxidos puros y no mezclas de sales inorgánicas. El preservante CCA protege los productos de madera contra el ataque y deterioro causado por los agentes destructores de todo tipo que se alimentan de ella.

El preservante CCA-C se utiliza en todas las actividades en donde la madera está expuesta al deterioro por pudrición y ataque de insectos, entre los usos más comunes podemos mencionar: maderas estructurales, envigados, pisos, cubiertas, fachadas, recubrimientos exteriores, cercas, durmientes para minas y ferrocarriles, postes para cableado eléctrico entre muchas otras (Osmose Mexicana, s/f).

El uso de maderas no durables pero tratadas a presión con CCA-C prolonga la vida útil en servicio por más de 30 años en: viñas y parrales, construcción, postes de transmisión eléctrica y teléfonos, cercos agrícolas y ornamentales, juegos infantiles,

muebles rústicos, terrazas en exteriores y muchas otras aplicaciones han podido beneficiarse de las bondades de la madera tratada con este tipo de preservante.

La madera tratada con CCA-C ha mostrado que no representa peligro alguno para el hombre, animales domésticos, vida silvestre y el medio ambiente.

Una larga experiencia en el uso de la madera tratada la señalan como el material ideal para construcción de viviendas, uso agrícola, contacto con el agua en obras civiles, empleo en proyectos lacustres, fluviales, marinos y la instalación de parques infantiles (Indargentol, s/f).

3.5. Pentaclorofenol (PCF) (CORMA, 2008)

El pentaclorofenol fue sintetizado por primera vez a mediados de siglo XIX, pero no fue sino hasta 1936 cuando se inició su producción a escala comercial. Para finales de los años 70's, se producían en todo el mundo alrededor de 100,000 toneladas de pentaclorofenol por año. Tan sólo en EUA la producción para 1979 se estimó en 23,000 toneladas y en aquel país hasta hace pocos años ocupó el segundo sitio entre los plaguicidas más utilizados (Edgehill, 1983).

El pentaclorofenol tuvo amplio uso como pesticida y para preservar madera desde 1984, su compra y uso ha sido restringido solamente para individuos autorizados. Ya no está disponible para uso del público en general. Todavía se usa industrialmente como preservante para madera en postes de empresas de servicio público, rieles de ferrocarriles y pilotes de muelles (ATSDR, 2001).

El pentaclorofenol es una sustancia química manufacturada que no se encuentra naturalmente. Ha sido utilizado como herbicida, alguicida, defoliante, conservador de madera, germicida, fungicida y molusquicida. Como conservador de madera, por lo general se aplica en una solución al 5%. El compuesto se volatiliza a partir de la madera y de los productos textiles tratados. El mismo tiene un significativo olor fenólico, que aumenta cuando el material es calentado.

Su estado físico son cristales incoloros de olor permanente, la sustancia se descompone al calentarla intensamente por encima de 200°C, produciendo gases y humos tóxicos, que contienen cloruro de hidrógeno, dioxinas y fenoles clorados. Reacciona lentamente con oxidantes fuertes y agua, originando peligro de incendio y explosión.

Es un compuesto caracterizado por su baja solubilidad en agua y tiene alta toxicidad para los elementos biológicos pero presenta cualidades importantes como lo son: No es corrosivo, tiene gran poder de penetración y no es inflamable una vez que el solvente se ha evaporado. El pentaclorofenol es un compuesto organoclorado de origen antropogénico y como compuesto puro forma cristales incoloros.

Algunas de las propiedades químicas del PCF se muestran a continuación:

⇔ Punto de ebullición : 309 °C

⇔ Punto de fusión: 191 °C

⇔ Densidad relativa 1.98 g/cm³

No presenta riesgo de incendio y se obtiene industrialmente por cloración catalítica del fenol. Sin embargo, hay que destacar que el pentaclorofenol es generalmente utilizado en disoluciones en aceite o en solventes orgánicos, que pueden presentar riesgos de incendio o explosión.

En razón de la alta toxicidad de los productos de descomposición, las personas encargadas de combatir el fuego, deberán utilizar siempre aparatos de respiración autónoma. En caso de incendio donde estén implicadas estas sustancias, los agentes de extinción recomendados son el dióxido de carbono, las espumas y los polvos químicos (Mutual, s/f).

Variando los solventes se pueden crear muchas combinaciones para dar lugar a productos limpios, que no alteren la apariencia de la madera (Hoheisel, 1988). Su estructura con anillo clorado lo dota con una buena estabilidad química, mientras que su grupo polar OH facilita su degradación biológica.

El pentaclorofenol posee una elevada tendencia a formar sales, especialmente de sodio. En forma pura, su solubilidad en agua es reducida; no obstante, la sal de sodio se disuelve fácilmente en dicho medio. Es una sustancia relativamente volátil (ATSDR, 2001).

Los usos en general del pentaclorofenol son los siguientes: (Landini, 1987).

- ⇔ Utilizado como insecticida, para la destrucción de insectos que son plagas de cultivos.
- ⇔ Utilizado como herbicida, para la destrucción de malezas.
- ⇔ Como fungicida, para controlar el crecimiento de hongos en plantas, semillas, productos agrícolas y maderas destinadas a la construcción.
- ⇔ Su aplicación más importante es como preservante de madera. Es altamente tóxico. No hay antídotos.

Las superficies interiores tratadas en exceso pueden ser una fuente de exposición suficiente como para causar irritación de los ojos, nariz y garganta. El PCF técnico contiene cantidades bajas de fenoles clorados (4 - 12%) además de trazas de clorobenzodioxinas, clorobenzofuranos y clorobenzenos. La combustión incompleta de madera tratada con PCF puede conducir a la formulación de estos compuestos.

Sin embargo, actualmente la compra y uso de dicho compuesto se encuentran restringidos en varios países, incluyendo a México, teniendo acceso a él solamente aplicadores certificados que lo utilizan para conservar productos de madera prioritarios (ATSDR, 2001).

Estos riesgos evidentemente estarán en función de la naturaleza de los solventes utilizados. Cuando se calienta a una temperatura superior a 200 °C el producto fundido se descompone con emisión de vapores de cloruro de hidrógeno y formación de otros clorofenoles y trazas de policlorodibenzo-p-dioxinas.

Los usos registrados del pentaclorofenol en nuestro país son los siguientes: (Cicoplafest, 1998).

- ⇔ Para uso forestal: fungicida-bactericida, tratamiento de madera.
- ⇔ Uso urbano: tratamiento de madera.
- ⇔ Uso industrial: plantas formuladoras exclusivamente.

Estos usos están restringidos, debe usarse equipo de protección y la aplicación debe hacerse por personal especializado.

Los nombres bajo los cuales se comercializa el pentaclorofenol son:

Pentadragon 50 pino, Pentamadera, Pentarin, Penta-flakes y Duramadera.

4. RELACIÓN ENTRE FUEGO Y MADERA (Garay y Enríquez, 2010)

El fuego ha fascinado a la humanidad durante siglos. Quizá el ser humano cobró conciencia de su superioridad cuando dominó el fuego, al que los animales temían. Sus primeros usos fueron el calor y la defensa ante las alimañas, pero enseguida dio pruebas de que era algo más.

La simple observación de que la punta del palo con que se removían las brasas de una fogata, se carbonizaba y ganaba dureza, convirtiéndolo en arma de caza más eficaz, fue el principio de su aplicación como generador de técnicas.

El fuego es un fenómeno químico de combustión que necesita para producirse de cuatro elementos que son: el combustible que es el elemento que se oxida, el comburente que es el oxidante, calor y una reacción en cadena para que active los tres elementos anteriores (Benítez y Romero, 1985).

A su alrededor, y gracias a su calor, han vivido miles de hombres. El hombre ha sabido usar la energía del fuego en su provecho, para extraer la energía de los materiales que le proporcionaba la naturaleza o poder moldearlos a su gusto. Si bien la mano es la herramienta principal del hombre, también el fuego tiene parte en la responsabilidad de la construcción de la actual cultura.

Una de las consideraciones históricas más importantes, es la influencia del científico Lavoisier padre de la química al descubrir la intervención de los gases aéreos como el oxígeno en las combustiones, sustituyendo la teoría del "flogisto".

Dicha teoría trataba de explicar la combustión suponiendo que un cuerpo ardía por el hecho de contener un principio inflamable, denominado flogisto, descendiente directo del "azufre" de los alquimistas y más remoto que el antiguo elemento "fuego" era una sustancia imponderable, misteriosa, que formaba parte de los cuerpos combustibles.

Cuanto más flogisto tuviese un cuerpo, mejor combustible era. Los procesos de combustión suponían la pérdida del mismo en el aire. Lo que quedaba tras la

combustión no tenía flogisto y, por tanto, no podía seguir ardiendo. El aire era indispensable para la combustión, pero con carácter de mero auxiliar mecánico.

Desde luego, se trataba de una teoría subjetiva que se completó científicamente por Lavoisier al explicar que los cuerpos ardían en presencia de oxígeno, intervención del mismo u otro comburente, cuando aparecía una fuente de calor que activase la reacción. Es una de las fuentes de energía más antigua.

Se llama fuego a la reacción química de oxidación violenta de una materia combustible en este caso la madera, con desprendimiento de llamas, calor, vapor de agua y dióxido de carbono. Es un proceso exotérmico. El fuego es la manifestación visual de la combustión (Benítez y Romero, 1985).

El comportamiento frente al fuego en materiales de construcción se evalúa a través de parámetros tales como tiempo de ignición, pérdida de peso, índice de carbonización, propagación de llama, tasa de calor liberado y generación de humos, entre otros. La resistencia al fuego se mide en minutos y es la capacidad que exhibe un elemento de construcción para conservar durante un periodo determinado sus cualidades estructurales dentro de ciertos límites de temperatura (Garay, 1996).

Bajo ciertas condiciones, la madera presenta una buena resistencia al fuego gracias a la formación de una capa carbonizada; ya que expuesta a altas temperaturas se descompone para proporcionar una capa aislante de carbón que retarda aún más la degradación de la madera.

La capacidad de resistencia al fuego de una estructura de madera depende de su esquadría, así, la cantidad de carbonización de la sección transversal es el principal factor en la resistencia al fuego de miembros estructurales de madera. En cambio en otras aplicaciones, su comportamiento frente al fuego es limitado puesto que cuando forma parte de muebles, revestimientos de muros, cielos u otros usos que emplean piezas más delgadas, arde con facilidad (Forest Products Laboratory, 1999).

Cuando la madera ha sido sometida a fuentes directas de fuego, puede llegar a perder aproximadamente entre 0.5 y 1 mm de material por minuto de exposición, dependiendo del tipo de madera, lo que es ocasionado por el fenómeno de carbonización. Cuando la madera es pre-tratada con alguna sustancia retardante de fuego, puede resistir un período de tiempo mayor, lo cual no significa que la madera no sufrirá carbonización.

Cuando los retardantes son aplicados sobre los sustratos, éstos son absorbidos y eliminan el espacio para el oxígeno con objeto de detener el fuego y su propagación. Cuando la fuente del fuego continúa en contacto con el material impregnado por el retardante, el objeto se consume de forma mucho más lenta a lo habitual, lo que permite extinguir el incendio (QuimiNet, 2006).

La madera, pese a ser considerada un material combustible, resulta un producto valioso cuando se le utiliza en estructuras resistentes al fuego. Al quedar la superficie de una pieza de madera expuesta a temperaturas elevadas durante períodos de tiempo prolongados a la acción del fuego, experimenta una descomposición química o pirolisis que genera gases inflamables, que comenzarán a arder, resultando una carbonización superficial.

La conductividad térmica de la madera es de por sí baja, y la del carbón considerablemente menor, por lo que hacia el interior de la madera no carbonizada, los incrementos de temperatura, y consecuentemente las reducciones de las propiedades mecánicas, serán moderadas.

El carbón genera por su parte un estrato que limita, tanto la conducción del calor hacia la madera del interior, como también el paso de los gases inflamables que constituyen el combustible del fuego desde el interior hacia el exterior. De esta forma, pese a ser combustible, cuando se le utiliza, empleando piezas de dimensiones transversales suficientemente grandes, la madera puede ser considerada como un material de construcción resistente al fuego.

La eficiente utilización de la madera en construcciones que deben satisfacer exigencias específicas de resistencia al fuego exige conocer, con cierta confiabilidad, la velocidad de avance de la carbonización que experimenta al quedar expuesta a las llamas. Este valor se emplea para calcular las reducciones de las dimensiones de la sección transversal de una pieza durante un incendio.

La carbonización resulta más intensa en la región de las aristas de las piezas, dado que el efecto térmico de las caras convergentes se adiciona en estos sectores, situación que se evidencia a través del redondeo de las aristas.

La madera es un material polimérico de naturaleza orgánica que al quedar expuesto a temperaturas superiores a 120 °C durante períodos de tiempo prolongados puede inflamarse y entrar en combustión. En la medida que la intensidad del efecto térmico aumenta, el lapso de tiempo requerido para la inflamación de la madera disminuye, pudiendo producirse una inflamación espontánea de la superficie de madera expuesta ante temperaturas del orden de los 300° C dando como resultado la formación de grandes volúmenes de gases inflamables, humo y carbón.

Sin embargo la capacidad de la madera de carbonizarse lentamente, con una velocidad de avance del proceso prácticamente constante e independiente de las condiciones del incendio, ha permitido desarrollar criterios de diseño y de verificación de la capacidad resistente de elementos estructurales y de uniones. Estos consideran las dimensiones originales de las piezas de madera, su condición de exposición al fuego, la profundidad de carbonización y la reducción experimentada por las propiedades mecánicas producto del efecto de calentamiento (Hilam, 2007).

5. OBJETIVO GENERAL

Determinar mediante ensayos de resistencia al fuego si tres preservantes para madera (CCA-C, boro y pentaclorofenol) poseen propiedades retardantes del fuego.

6. METODOLOGÍA

6.1. Habilitación del material de estudio

Para la elaboración de las 120 probetas utilizadas en el ensayo se utilizó madera de *Pinus sp* con un contenido de humedad del 10%, la cual fue necesario cepillar y cantear para obtener superficies similares a las utilizadas en la construcción (Cuadro 1).

Cuadro1. Material empleado en el ensayo.

<i>Pinus sp</i>	GRUESO	ANCHO	LARGO
4(piezas)	1 ½"	8"	8'

Una vez dimensionadas las 120 probetas (Figura 1) como lo establece la norma ASTM E69 – 02, se les sellaron las cabezas aplicándoles pintura vinílica a base de aceite para evitar pérdida o ganancia significativa de humedad (Figura 2).



Figura 1. Madera utilizada para las probetas del ensayo.



Figura 2. Sellado de las cabezas con pintura de aceite.

6.2. Pesado de las probetas

Una vez que se tuvieron las probetas selladas en sus extremos, se les asignó un código de acuerdo al número de probeta, seguido del preservante con el cual trató a tratar y se tomó su peso.

6.3. Preservación de las probetas

Para esta actividad se habilitó un tubo de PVC, con la finalidad de utilizarlo como depósito de preservante para impregnar.

Una vez listo se colocaron las probetas dentro del recipiente, las piezas fueron acomodadas horizontalmente separadas con tubos de plástico para evitar que las probetas estuvieran en contacto una con otra y lograr tener una mejor impregnación.

A las probetas se les colocó un contrapeso para mantenerlas sumergidas en el preservante. Se colocó el preservante dentro del tubo hasta cubrir completamente las probetas. Utilizando un total de 5 litros de preservante para lo que corresponde a las sales de Boro y a las sales CCA-C, y en cuanto al pentaclorofenol, se utilizaron 6 litros debido a su volatilidad.

El primer tratamiento se hizo con sales CCA-C a una concentración del 5 % y se dejaron preservando 24 horas, durante el proceso se estuvo observando el recipiente para asegurarse que efectivamente las probetas siempre estuvieran cubiertas del preservante. Transcurridas las 24 horas fueron retiradas del recipiente y apiladas para eliminar los excesos de preservante.

Cuando ya no mostraban exceso de preservante fueron pesadas por segunda ocasión en la balanza digital con precisión 0.01 g y con esto se determinó la absorción y retención. Finalmente las probetas ya pesadas fueron apiladas para su secado al aire libre.

El procedimiento aplicado para las sales CCA-C fue el mismo que se utilizó para el tratamiento con pentaclorofenol a una concentración del 5 % y de igual manera para las sales de boro al 5 %.

Las 90 probetas resultado de los tres tratamientos se dejaron secar al aire libre, sus pesos se estuvieron registrando hasta obtener peso constante, con un total de 5 pesadas, las primeras dos cada 8 días y el resto intercaladas con un rango de entre los 12 y 16 días, realizando el último registro de peso el día que se realizaron los ensayos en el tubo de fuego.

Las 30 piezas que se utilizaron como testigo desde el inicio se secaron al aire libre, al igual que el resto se les tomó su peso inicial y también fueron pesadas periódicamente.

6.4. Determinación de Absorción y Retención

La absorción es la cantidad total de preservante que queda en la madera después de la impregnación (figura 3) y se determina mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{(P2-P1)}{V} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad [1]$$

En donde:

A = Absorción (kg/m³).

P1 = Peso de la probeta antes del tratamiento(kg).

P2 = Peso después de la impregnación (kg).

V = Volumen de la probeta tratada con el preservante (m³).



Figura 3. Probetas impregnadas con sales CCA-C.

La retención es equivalente a la absorción real de preservante y se expresa en kilogramos de sustancia activa por metro cúbico de madera y se determina mediante la siguiente relación tomando en cuenta la concentración de la solución (Valdés, 2008).

$$R = A \frac{C}{100} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad [2]$$

En donde:

R = Retención (kg/ m³).

A = Absorción (kg/ m³).

C = Concentración de la solución (%).

Cuando el peso de las probetas impregnadas mostraron un peso estable se les aplicaron los ensayos en el tubo de fuego.

6.5. Ensayos de resistencia al fuego

En el proceso de quemado de las probetas fue necesario instalar el equipo (Apéndice 4) en un área adecuada para lograr tener las condiciones que se piden en la norma ASTM E69 – 02 que especifica que no deben existir corrientes de aire en el lugar.

Los ensayos se realizaron bajo las especificaciones de la norma ASTM E-69 – 02 la cual especifica que las condiciones a las que se deben quemar las probetas debe ser entre los 180 ± 5 °C, para cumplir con esto se utilizó un termómetro que se colocó en la parte superior del tubo un momento después de haber encendido y colocado el mechero en la base del tubo.

Posteriormente se reguló la llama, se buscó que esta fuera homogénea para todo el procedimiento y con ello mantener las mismas condiciones para todas las probetas. Cuando el montaje de las probetas se tuvo listo, se colocó el mechero directamente durante 4 minutos. Cumplidos los 4 minutos, el mechero se retiró del tubo.

El tiempo que duró la probeta en apagarse fue en promedio de 3 minutos para el caso de las piezas tratadas con pentaclorofenol. Cuando el fuego se extinguió se recolectaron las cenizas, se dejaron enfriar y finalmente se pesaron.

El procedimiento y las condiciones de la llama para las 120 probetas fue el mismo.

6.6. Pérdida de peso después de la combustión

Para la obtención de los resultados se utilizó la fórmula establecida en la Norma ASTM E-69 – 02 que se muestra a continuación:

$$X = \frac{W_i - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100 \quad [3]$$

En donde:

X = Pérdida de peso en porcentaje (g).

W_i = Peso inicial de la probeta (g).

WOD = Peso final de la probeta (g).

6.7. Análisis estadístico

Con la finalidad de determinar las diferencias estadísticas entre los tipos de preservantes, se aplicó un diseño experimental con $n = 30$.

Las hipótesis de interés a probar son:

$H_0: T_1 = T_2 = T_3$ Los preservantes no poseen propiedades de resistencia al fuego

$H_k: T_1 \neq T_2 \neq T_3$ Los preservantes poseen propiedades de resistencia al fuego

donde:

H_0 = hipótesis nula

H_k = hipótesis alternativa

T_1, T_2 y T_3 = sustancias preservantes

Para este diseño, la variable de respuesta fue la pérdida de peso.

Para llevar a cabo la comparación múltiple de medias de la variable de estudio se aplicó el método de alta diferencia significativa (HSD); el nivel de confianza con el que se realizaron los datos fue de $\alpha = 0.05$ % y los resultados se obtuvieron con el paquete STATISTICA 7.0 Statsoft.

7. RESULTADOS

7.1. Determinación de la absorción para los tres tratamientos

En el cuadro 2 se muestra el promedio de la absorción que se tuvo en cada uno de los tratamientos.

Cuadro 2. Promedios resultado de la Absorción.

TRATAMIENTO	PROMEDIO DE LA ABSORCIÓN (Kg / m ³)
SALES DE CCA	235.93
SALES DE BORO	138.87
PENTAFLOROFENOL	186.46
TESTIGO	0

7.2. Determinación de la retención para los tres tratamientos

En el cuadro 3 se presenta el promedio de retención obtenido después de aplicar la fórmula correspondiente a los datos de cada tratamiento.

Cuadro 3. Promedios resultado de la Retención.

TRATAMIENTO	PROMEDIO DE LA RETENCIÓN (Kg / m ³)
SALES DE CCA	0.12
SALES DE BORO	0.06
PENTAFLOROFENOL	0.09
TESTIGO	0

7.3. Pérdida de peso

En el cuadro 4 se muestra el promedio correspondiente a los pesos iniciales, a los pesos finales y el porcentaje de la pérdida de peso para cada uno de los tratamientos.

Cuadro 4. Promedios de la pérdida de peso (%).

TRATAMIENTO	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PERDIDA DE PESO(%)
PENTAFLOROFENOL	102.75	18.95	75.76
SALES CCA-C	101.73	10.7	82.39
SALES DE BORO	105.86	25.94	69.36
TESTIGO	105.44	17.45	77.46

8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los primeros resultados obtenidos fueron para el pentaclorofenol (Figura 8 y 9), las que arrojaron como resultado un promedio de pérdida de peso de **75.76 %** en el proceso de los ensayos de resistencia al fuego.

Las piezas tratadas con sales de boro presentaron un promedio de pérdida de peso igual a **69.36 %** los restos de estas probetas fueron en su mayoría en forma de carbón, es decir que no se tuvo un alto porcentaje de cenizas volátiles ni humo en gran cantidad (Figura 10).

Las probetas utilizadas como testigos para este experimento presentaron un promedio de pérdida de peso del **77.46 %** se quemaron fácilmente y sin liberar humo en grandes cantidades (Figura 12).

Los ensayos de las piezas testigo fueron más rápidos que los otros tres procesos, esto debido a que la intensidad de la llama no fue alta y el tiempo requerido para que se enfriaran las cenizas fue menor.



Figura 4. Desprendimiento de humo en probeta impregnada con CCA-C.



Figura 5. Desprendimiento de humo en probeta impregnada con pentaclorofenol.

Las piezas tratadas con sales de CCA-C dieron como resultado un promedio de pérdida de peso igual a **82.39 %** que presentaron el porcentaje más elevado.

Cuando las probetas estaban en el proceso de quemado, la flama del tubo de fuego en la parte superior aumentó considerablemente comparada con los otros tres tipos de

probetas, además de que estas desprendían una gran cantidad de humo y cenizas volátiles (Figura 7 y 11).

Las cenizas de las piezas que caían por el tubo de fuego fueron significativamente diferentes a los otros tres casos, ya que estas se presentaron de una forma más descompuesta y frágil, tardando un tiempo aproximado de entre 12 y 15 minutos para enfriarse.



Figura 6. Cenizas de probeta impregnada con pentaclorofenol.



Figura 7. Cenizas de probeta impregnada con sales de boro.



Figura 8. Cenizas de probeta impregnada con sales CCA-C.



Figura 9. Cenizas de probeta utilizada como testigo.

El cuadro 5 muestra el análisis estadístico aplicado a los resultados obtenidos en este ensayo. También se puede observar el valor obtenido para la F calculada, la cual es superior a la F de tablas así como una Probabilidad igual a 0, por lo tanto se procede a

rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que nos dice que existe diferencia significativa en al menos uno de los tratamientos.

Cuadro 5. Análisis de Varianza.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
INTERCEPTADO	697497.7	1	697497.7	22480.66	0.000000
TRATAMIENTO	2608.0	3	869.3	28.02	0.000000
ERROR	3599.1	116	31.0		

8.1. Gráfica de comparación múltiple de medias

En la figura 14 se muestra la diferencia existente entre las probetas preservadas con cada una de las sustancias, en donde se puede observar la diferencia entre el tratamiento con CCA-C y el boro, también que la desviación estándar para el tratamiento con pentaclorofenol y para el testigo es igual.

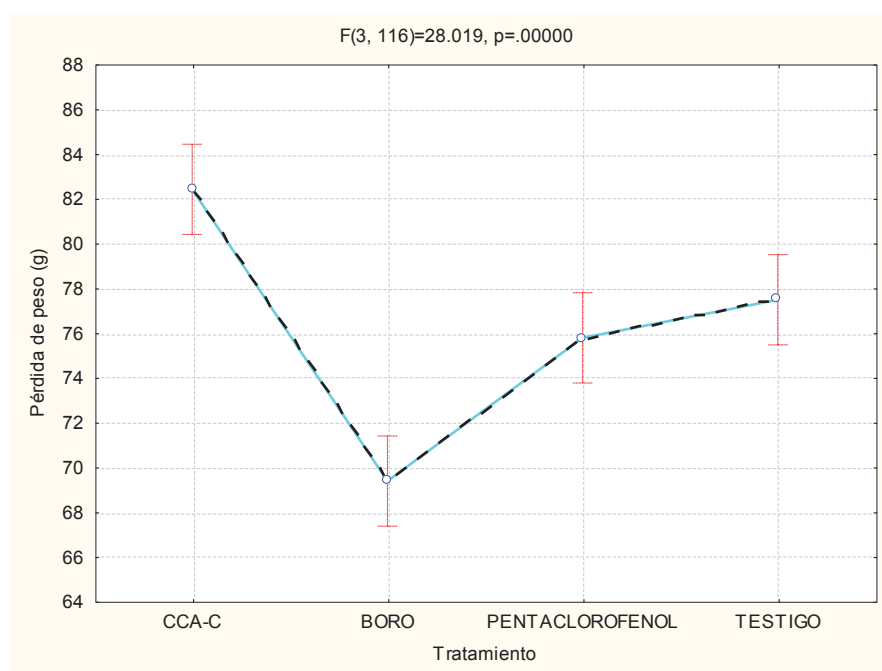


Figura 10. Comparación de medias y la pérdida de peso.

En el cuadro 6 se muestran los resultados de la prueba de Tukey aplicada a los porcentajes de la pérdida de peso, donde se pueden apreciar que el tratamiento con

pentaclorofenol (1) es estadísticamente igual al tratamiento utilizado como testigo (1), se observa también que el tratamiento de boro (2) es estadísticamente diferente al tratamiento de CCA-C (3).

Cuadro 6. Resultados de la Prueba de Tukey.

Tukey HSD test Homogenous Groups, alpha = .05000 MS = 31.027, df = 116.00				
TRATAMIENTO	Pérdida de peso (%)	1	2	3
BORO	69.35639		****	
PENTAFLOROFENOL	75.75533	****		
TESTIGO	77.45553	****		
CCA-C	82.39125			****

En la figura 14 se muestra la diferencia existente entre los porcentajes de pérdida de peso, en donde se tiene que el tratamiento con CCA-C es el que presenta el porcentaje más alto, estando en segundo lugar el testigo, en tercer lugar el tratamiento con pentaclorofenol y finalmente el boro que presenta el porcentaje más bajo siendo con ello el tratamiento con las mejores características retardantes del fuego.

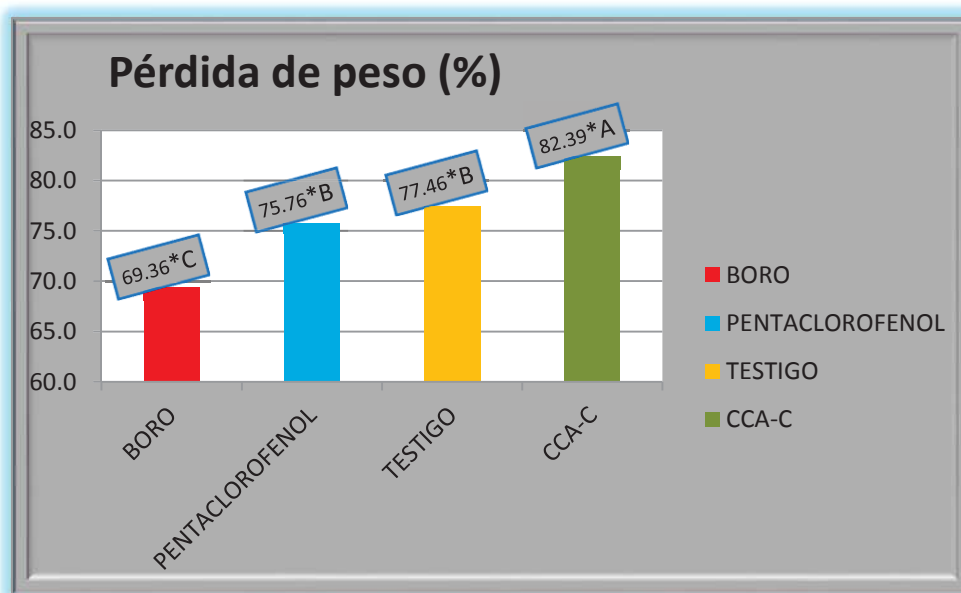


Figura 11. Relación entre la pérdida de peso y los preservantes.

Reyes (2001 ; 2006) menciona que la madera preservada por el método de inmersión como fue el caso en este ensayo, le da una menor protección a la madera, ya que al momento de someterla a ensayos de combustión presentan pérdidas de peso mayores comparadas con piezas impregnadas con métodos de Presión y Baño Caliente- Frío.

El promedio de pérdida de peso obtenido para el tratamiento con CCA-C (82.39 %) coinciden con los resultados obtenidos por Hunt y Garrat (1962) los cuales indican que las muestras de madera no tratadas suelen perder del 80 al 90 % de su peso, lo cual indica que las sales CCA-C incrementan la combustión de la madera.

Los datos que se registraron con la muestra testigo coincide con los reportados por Reyes (2001) quien hace referencia acerca de que la madera sin tratar es la que pierde mayor porcentaje de peso, ya que una vez que comienza la combustión la madera va perdiendo su resistencia estructural hasta convertirse en cenizas.

El porcentaje de pérdida de peso obtenido para el tratamiento con Boro fue el más bajo (69.36%) lo cual coincide con Echenique y Robles (1993) quienes mencionan que las sustancias que le brindan más ventajas a la madera son las formuladas a base de boro, fosfatos y amonio.

9. CONCLUSIONES

Se concluye que el pentaclorofenol posee un grado muy bajo de propiedades retardantes al fuego, debido a que su comportamiento fue estadísticamente parecido al testigo.

También se concluye que las sales CCA-C no poseen propiedades retardantes al fuego sino que al contrario aumentan la propagación de la llama, teniendo como resultado una mayor descomposición mecánica de la madera.

De igual manera se concluye que el boro posee un grado alto de propiedades retardantes al fuego ya que con este tratamiento se obtuvieron los mejores resultados en relación a la pérdida de peso.

10.RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer ensayos en madera de medidas comerciales con un método de preservación a base de presión y/o baño caliente-frío.

En el caso del pentaclorofenol se recomienda que se utilice equipo adecuado para su manejo ya que tiene propiedades tóxicas para los seres humanos.

También se recomienda que si el uso que se le va a dar a la madera es de riesgo 1 o 2, se utilice algún retardante al fuego de los comerciales.

11. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2001. Annual Book of ASTM Standards. Section Four. Construction. Volumen 04. 10. ASTM E69 – 02. Wood. Standard Test Method for Combustible Properties of Treated Wood by the Fire – Tube Apparatus. E.U.A.
- ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2001. Reseña Toxicológica del Pentaclorofenol. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Atlanta, GA. [Internet]. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts51.html>. [Consulta: Agosto 25, 2010].
- ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2002. Resumen de Salud Pública. División de Toxicología. [Internet]. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs85.pdf>. [Consulta: septiembre 8, 2011].
- Benítez, R.; R.; Romero, J.; R. 1985. Resistencia al fuego de elementos estructurales de madera de pino, usados en la construcción. Tesis profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.
- Berrocal, A.; Muñoz, F.; González, G.; Ensayo de penetrabilidad a base de boro en madera de melina (*Gmelina arborea*) crecida en Costa Rica. Revista Forestal (Costa Rica) 1(3), 2004.. [Internet]. Disponible en: <http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior3/pdf/Articulo%201.pdf> [consulta: Septiembre 8, 2010].
- Bobadilla M.; I. 2004. Presente y futuro de la creosota. Boletín de información técnica N° 230. Europa. 40 – 42 p.
- Cicoplafets. (Comisión Intersecretarial para el Control de Proceso y Uso de Plaguicidas y Sustancias Tóxicas) 1998. Pentaclorofenol. [Internet]. Disponible en <www.cicoplafest.com.mx>. [Consulta: Mayo 5, 2010].
- CORMA (Corporación Chilena de Madera). 2008. Pentaclorofenol. Santiago de Chile. [Internet]. Disponible en <www.corma.cl>. [Consulta: Marzo 2, 2010].
- Echenique-Manrique, R.; Robles, F. F. 1993. Ciencia y Tecnología de la Madera II. Textos Universitarios. Universidad Veracruzana. 52 p.
- Edgehill, F. 1983. Influence of chromium (VI) and acidic conditions on removal of pentachlorophenol from soil by arthrobacter strain. 14-18 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1996. Wood preservation manual. Mechanical Wood products branch. Forest industries división. Rome, IT, FAO. Forestry Department. 152 p.

- Forest Products Laboratory. 1999. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.
- Garay, R. 1996. Evaluación técnica de aplicación de retardantes de fuego a tableros MDF. Actas VIII Reunión de Investigación de Productos Forestales. Universidad de Chile. 470 – 483 pp.
- Garay, R.; Henríquez, M. 2010. Maderas Ciencia y Tecnología. Comportamiento Frente al Fuego de Tableros y Madera de Pino Radiata con y sin Pintura Retardante de Llama. [Internet]. 12(1): Disponible en:<<http://www.scielo.cl/pdf/maderas/v12n1/ART02.pdf>> [Consulta: enero 5, 2010].
- Grece, J, K. 1997. Review of recent research on the use of borates for termite prevention. In International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives and Pesticides. (2°, 1997, Madison, Wisconsin). Proceedings. Madison, Wisconsin, US, Forest Products Society. 85-92 pp.
- Haygreen, J.; G; Browyer, J.; L. 1996. Forestry products and Wood. An introduction. Iowa, US, Iowa State University Press. 484 p.
- Hilam, 2007. Comportamiento al fuego de elementos constructivos de madera. 2007 [Internet]. Disponible en:<http://www.plataformaarquitectura.cl/wp-content/uploads/2007/11/1830442160_hilam_capitulo_3.pdf> [consulta Mayo 3, 2011].
- Huiricán. V.; A. 2008. Retención y penetración de sales CCA en rolletes de raleo de Pinus radiata D. DON. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Santiago de Chile. 5 – 17 p.
- Hunt G.; M.; Garrat, G.; A. 1962. Preservación de la Madera. Salvat. Barcelona, Madrid. 485 p.
- Indargentol. S/f. Productos. [Internet]. Disponible en <<http://www.indargentol.com/productos.php>>. [Consulta: Abril 27, 2010].
- Johnson, B. 1999. Alternatives to pentachlorophenol-treated utility poles. Palo Alto, California, US, EIP Associates. 21 p.
- JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena). 1988. Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas. Lima. Perú.
- Landini, J.; H. 1987. Intoxicaciones con plaguicidas. Ed. CASAFE (Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes). [Internet]. Disponible en <<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Pentaclorof.htm>> [Consulta: Mayo 5, 2010].

- LOSH (Labor Occupational Safety & Health). 2003. La creosota, lo que usted necesita saber. [Internet]. Disponible en: <http://www.losh.ucla.edu/losh/resources-publications/fact-sheets/creosota_espanol.pdf> University of Los Ángeles, California. [Consulta: Febrero 5, 2012].
- Machuca, R.; Fuentes M.; Borja A.; Revista Chapingo. 2006. Absorción de soluciones preservantes de nueve especies de maderas, mediante procesos de impregnación a vacío – presión e inmersión. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 12, número 001. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 71 – 78 p.
- Mutual, s/f. Fichas de sustancias químicas. Pentaclorofenol. [internet]. Disponible en: <http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/esco/INGENIERIA_PREVENCION/Ficha_quimica_pentaclorofenol.pdf>. [Consulta: Junio 3, 2010].
- Osmose Internacional Inc. S/f. Osmose boletín. Non Flame. Protección contra el fuego.
- Osmose Mexicana. S/f a. Osmose boletín. Flame Proof. Protección contra el fuego.
- QuimiNet. 2006 Los retardantes de fuego. [Internet]. Disponible en: <http://www.quiminet.com.mx/ar1/ar_4%2514%2501%2512%251B%2510%2560%2501.htm> [Consulta Julio 14, 2008].
- Reyes J., L. 2001. Eficacia de dos productos comerciales retardantes al fuego. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.
- Reyes J., L. 2006. Eficacia de dos productos retardantes al fuego en madera de *Pinus Pseudostrobus* Lindl. Utilizando 3 métodos de impregnación. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.
- Richardson, L. R; A. A. Cornelissen. 1987. Fire – resistant coatings for roof/ceiling deck timbers. Fire and Materials. 1911 p.
- Silva C., E. G. 2002. Evaluación de los Métodos de Inmersión Simple y Baño Caliente y Frío para preservar madera de pino con sales CCA. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.
- Valdés Rios, J. A. 2008. Determinación de Retención, Absorción, Penetración e Hinchamiento de la Madera de Pino impregnada con Sales de CCA tratada a diferentes presiones. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 13 p.
- Vernicinaturali., S/f. Sales de Boro. Documento técnico 16 de Mayo/2008. [Internet]. Disponible en <

http://www.vernicinaturali.it/upload/docs/spa/schede_tecniche/salidiboroL10.pdf>
[consulta: Abril 17, 2010].

Vignote S., J. 2000. Tecnología de la madera. 2da ed. Madrid, Ministerio De Agricultura, Pesca y Alimentación. 337 p.

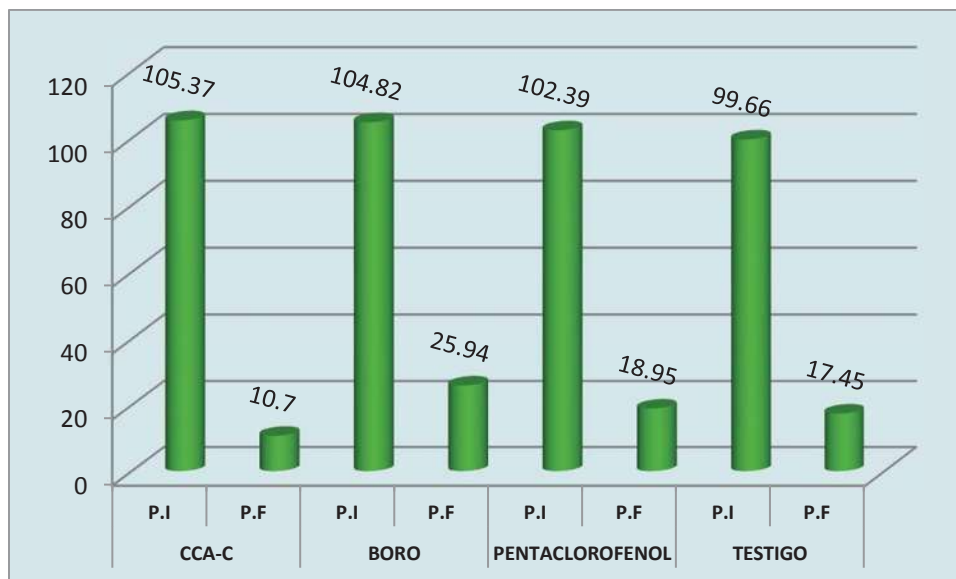
Winandy J. E. 1995 Effects of fire retardant treatments after 18 months of exposure at 150 °F (66 °C). Res. Note FLP – RN – 0264. USDA. Forest Serv., Forest Products Laboratory., Madison. Wis. 13 p.

12. APÉNDICE

Apéndice 1. Pérdida de peso en porcentaje (%) de cada una de las probetas utilizadas.

PROBETA	CCA-C	BORO	PENTAFLOROFENOL	TESTIGO
1	70.94	65.86	72.86	84.71
2	93.75	67.77	67.87	80.98
3	70.65	66.76	82.85	73.18
4	72.66	67.91	77.13	74.19
5	93.10	68.68	78.36	80.85
6	93.79	66.81	77.06	79.28
7	71.45	67.34	81.08	70.01
8	82.65	68.25	71.59	78.16
9	87.80	72.64	80.54	80.09
10	90.20	68.30	71.39	75.88
11	84.59	72.27	80.24	70.50
12	84.39	68.07	72.83	81.79
13	84.77	67.97	74.04	84.00
14	84.23	62.02	74.52	82.51
15	85.74	72.96	67.38	82.40
16	84.44	63.29	81.98	79.76
17	76.28	74.95	69.80	74.45
18	92.22	68.46	80.38	76.32
19	71.84	71.30	77.75	74.73
20	82.50	67.11	68.23	77.70
21	88.13	75.65	75.75	77.09
22	88.88	70.59	78.75	81.19
23	89.40	72.82	77.66	76.71
24	69.96	69.14	66.90	73.42
25	76.25	75.13	79.39	65.66
26	71.36	63.88	78.89	73.03
27	92.08	69.46	79.37	81.44
28	83.20	64.81	80.87	83.50
29	70.32	76.55	77.13	75.35
30	84.18	73.93	70.06	74.79
Suma	2501.37	2080.69	2272.66	2323.67
Desviación Estandar	9.566	3.503	4.826	4.652
Valor medio \bar{x}	82.39	69.36	75.76	77.46
n	30	30	30	30
Media aritmética de todos los resultados, $\bar{x} = 76.49$				
Número total de resultados, N = 120				

Apéndice 2. Diferencia entre el peso inicial y el peso final para cada uno de los tratamientos



Apéndice 3. Análisis de Varianza (Prueba de Tukey)

Tukey HSD test; variable Var2 (Spreadsheet3)						
Homogenous Groups, alpha = .05000						
Error: Between MS = 31.027, df = 116.00						
Cell No.	Var1	Var2 Mean	1	2	3	
2	2	69.35639		****		
3	3	75.75533	****			
4	4	77.45553	****			
1	1	82.39125			****	

Apéndice 4. Tubo de Fuego utilizado para el ensayo

ASTM E 69

