

## PRESERVACION NO CONVENCIONAL DE LA MADERA

Iris Vázquez Cooz

### RESUMEN

La preocupación mundial por el ambiente es cada vez más intensa. En lo referente a la industria, ésta se ha visto en la necesidad de buscar productos con niveles cada vez más bajos de toxicidad, para tratar o procesar la madera. La preocupación actual por el ambiente ha impulsado una serie de investigaciones sobre métodos no convencionales para preservar la madera. Estos tratamientos no convencionales son efectivos en prevenir el ataque de micro-organismos y a la vez no son dañinos al medio ambiente o al hombre. La desventaja de los tratamientos no convencionales es su alto costo. Se requiere más investigación para conocer las características de los organismos degradadores de la madera y sus vías bioquímicas, lo cual revelaría los mecanismos claves del proceso de pudrición. En la última parte del trabajo, se señalan algunos riesgos a la salud que pueden causar los productos químicos para la madera.

**Palabras clave:** Preservación de la madera, toxicidad, tratamientos no convencionales, procesos de pudrición, productos químicos.

## NON - CONVENTIONAL PRESERVATION OF WOOD

Iris Vázquez Cooz

### SUMMARY

Concern for the environment is every each time more intensive in the world. In reference to industry, this latter has had the need to search for products with lower toxicity levels. Products to treat or process wood are not a side in relation to industry. The current concern for the environment has led to a number of investigations on non-conventional methods to preserve wood. These non-conventional treatments are effective in preventing microorganisms attack and at the time, they are not harmful to the environment and man. One disadvantage of non- conventional treatments is the high cost. More investigations are required to know degradator organisms of wood and their biochemical ways, which would reveal key mechanisms of decay process. In the last part of the paper, some risks to health that chemical products to wood might cause, are indicated.

**Key word:** wood preservation, toxicity, non-conventional treatments, decay process, chemical products.

## INTRODUCCION

La más efectiva manera de prolongar el suministro de madera es usarla de manera tal que su vida útil se prolongue; esto se logra mediante el uso adecuado de preservantes.

Aunque los preservantes convencionales son generalmente efectivos, están siendo cuestionados debido a su toxicidad. Todos los preservantes comerciales para la madera son efectivos en prevenir el ataque por microorganismos, y la mayoría de ellos son clasificados como preservantes de amplio espectro, es decir, efectivos contra varios tipos diferentes de sistemas de vida (Rowell, 1977).

Debido a los peligros de la toxicidad y las preocupaciones por el medio ambiente, y por la prevención de la pudrición de la madera, son necesarios métodos alternativos de preservación no basados en la toxicidad para su efectividad.

Según la bibliografía al respecto existen métodos de preservación no tóxicos, pero su aplicación a nivel comercial no está extendida, y hace falta más investigación en este campo poco conocido. Se presentan aquí los métodos no convencionales de preservar la madera del ataque de los agentes destructores.

En la última parte del trabajo se señalan algunos riesgos que se corren cuando se manipulan preservantes tóxicos y otros productos de la madera. También se mencionan las proporciones límites de estas sustancias que puede tolerar el cuerpo humano.

### **Requerimientos de los micro-organismos para que la madera sea fuente de nutrimento.**

Los micro-organismos pueden ser controlados por otros medios diferentes al envenenamiento. Conociendo sus necesidades básicas se pueden tratar los agentes que destruyen la madera; entre los requerimientos que necesitan están: oxígeno, agua, alimento (compuestos esenciales) y medio ambiente favorable.

Al eliminar cualquiera de estos factores se controlará el crecimiento de los micro-organismos.

**Oxígeno:** Es muy difícil restringir el oxígeno de los micro-organismos, y las medidas de control basadas en este enfoque serán infructuosas.

**Agua:** La madera con un contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras no se pudre, por lo tanto restringiendo la cantidad de agua en la pared celular por debajo del punto de saturación de la fibra, los microorganismos no prosperan.

**Alimento:** Restringiendo o eliminando un componente esencial en la cadena alimenticia del microorganismo tales como metales, vitaminas, minerales, etc., provocará que los organismos busquen otro lugar para alimentarse. Modificando la madera, el organismo no la reconoce como alimento y protegerá la madera del ataque. Inhibiendo los sistemas de enzimas, tales como las celulasas, únicas para los agentes descomponedores de la madera, la protegerá sin necesidad de recurrir a los tratamientos tóxicos, tan dañinos y tan cuestionados hoy día.

La consideración final, un medio ambiente favorable, si se crea un medio ambiente hostil para los organismos estos abandonarán el material. Por ejemplo, cambiando el pH de la madera, o manteniendo una temperatura por arriba o por debajo de la requerida por los organismos controlará efectivamente su crecimiento. El problema con esta técnica es que algunas condiciones que no son favorables para los organismos son también no favorables para mantener las propiedades deseables de la madera. Un pH bajo, los componentes de la madera sometidos a hidrólisis, causan severa pérdida en la resistencia.

Para prevenir el ataque de los organismos que destruyen la madera basándose no en su toxicidad, los mecanismos de efectividad probablemente estarán basados en la combinación de varios factores. Por ejemplo, en referencia a la modificación química de la madera, el mecanismo para la acción protectora puede deberse a:

- Bloques de los sitios conformacionales requeridos para las reacciones enzima-sustrato altamente específicas que tienen lugar.
- Tapando los espacios en el escudo lignina-hemicelulosa que protegen la celulosa.
- Estabilizando las unidades de polímeros que pueden ser el punto del primer ataque de hongos.
- Eliminación de los químicos solubles de la madera que son requeridos por el microorganismo para comenzar o mantener el ataque.

Cambiando la relación madera-agua como para hacerla dañina a la vida microbiana.

Combinaciones de éstas u otras posibilidades.

### **Tipos de Pudrición.**

Los más importantes y potentes organismos que pudren madera son los hongos de pudrición blanca y la pudrición marrón. La pudrición marrón es la más común y el tipo más destructivo de pudrición.

Las necesidades óptimas de los hongos de la pudrición marrón y blanca varían, pero las necesidades nutricionales básicas son satisfechas por los carbohidratos estructurales y ciertos materiales extraños a la madera. La degradación de la lignina no ocurre en ausencia de los carbohidratos de la madera, y la lignina probablemente es de poca importancia como fuente de carbón (Kirk and Feen, 1982).

La colonización exitosa de la madera depende en mucho de la habilidad del hongo para extenderse rápidamente. Las hifas de los hongos tanto a la pudrición blanca como de la marrón son extendidas por todas partes en la madera antes que cualquier pérdida de peso significativa sea detectable (Hulme and shields, 1970).

Las hifas penetran de una célula a otra a través de las punteaduras o a través de huecos taladrados en la pared celular. La pudrición inicial (temprana) está caracterizada por la presencia de por lo menos una rama de un hifa en cada célula, sugiriendo esto, que las enzimas extracelulares no pueden ser capaces de difundirse fuera de las células de la madera en la cual están ocultas (Wilcox, 1970).

El nitrógeno juega el papel más importante de los nutrientes no estructurales en la madera. La escasez del nitrógeno en la madera (0,03 a 0,01 por ciento) indica que los hongos de la pudrición tienen un mecanismo eficiente para el metabolismo y el reuso del nitrógeno. Algunos hongos (Basidiomycetes) pueden vivir con pequeñas cantidades de nitrógeno disponible en la madera mediante autólisis (autodescomposición) y reuso del nitrógeno de su propio micelio, o por la lisis (desintegración) de otros hongos en la madera durante la pudrición.

También los hongos pueden tener un uso extremadamente económico de nitrógeno en el metabolismo. Sin embargo, otras fuentes de nitrógeno, tal como fijación bacteriana, pueden ser requerida para formar las esporas

La triamina, la única vitamina esencial para el crecimiento de la mayoría de los hongos de la pudrición está presente en la madera.

Varios componentes de la pared celular son atacados diferentemente por los hongos de la pudrición blanca y marrón. Los de la pudrición blanca utilizan la celulosa y la hemicelulosa a aproximadamente la misma tasa relativa a las cantidades originales presente; la lignina es usualmente utilizada a una tasa relativa algo más rápida. Estos hongos causan que la madera llegue a tener color pálido y puede eventualmente reducirla a una masa fibrosa y blancuzca.

Los hongos de la pudrición marrón utilizan las hemicelulosas y la celulosa de la pared celular, dejando la lignina esencialmente sin digerir. Sin embargo, los hongos modifican la lignina, como lo indica la dimetilación y a la acumulación de polímeros oxidados de la degradación de la lignina.

Los hongos de la pudrición marrón causan una rápida pérdida de las propiedades de resistencia de la madera, que los hongos de la pudrición blanca, lo cual refleja la depolimerización de la holocelulosa. La reducción en la tenacidad causada por la pudrición marrón, podría ser explicada por la reducción en el grado de polimerización de la celulosa durante la pudrición, pero la pérdida de la tenacidad en la pudrición blanca consiste en otra razón, ya que estos hongos reducen la celulosa gradualmente.

### **Control de la Pudrición.**

El control de la pudrición se puede hacer considerando las dos direcciones siguientes:

1. Estudio de la biosíntesis y de las vías que pueden ser dirigidas al desarrollo de mejores métodos para controlar la pudrición.
2. Incremento de la habilidad de los micro-organismos para prevenir el ataque de hongos, conocido como control biológico.

## **Control de la pudrición a través de la biosíntesis y de las vías degradativas.**

La información básica sobre los agentes bioquímicos en el ataque de hongos responsables de la degradación, puede ser utilizada para desarrollar nuevos métodos de preservación de la madera que no sean peligrosos para el ambiente.

La investigación debe estar dirigida hacia tres áreas principales:

**Interacción madera/hongos** (cómo puede el hongo moverse entre la madera).

El microscopio electrónico y las técnicas de tinte citoquímico fueron usadas para identificar los sitios del ataque y los cambios morfológicos, que ocurren durante la degradación de la celulosa y la madera cuando es atacada por hongos de pudrición blanca y marrón.

En la pudrición de la madera, la matriz gelatinosa (envoltura) que cubre la hifa del hongo juega un papel esencial.

La envoltura de la hifa es de naturaleza carbohidrato, y rodea la hifa, a menudo está adherida a la pared celular de la madera. La envoltura parece consistir de una red extensa de microfibrillas arregladas en una matriz de glucán, que puede contener también unas estructuras membranosas extracelulares trilaminares.

Los esteroides son el principal componente en las membranas de la mayoría de los hongos. La inhibición de la formación de la matriz podría ser un efectivo medio de prevenir la pudrición.

## **Enzimas digestivas y de crecimiento.**

Desde el punto de vista de control, la regulación de las enzimas claves de la digestión importantes son aquellas que descomponen celulosa, hemicelulosa y lignina. Para el crecimiento, las enzimas claves son aquellas implicadas en el metabolismo del nitrógeno, tales como la sintetasa y las poliaminas; en la formación de la pared celular tal como la sintetasa quitina.

**Enzimas digestivas:** para la digestión de los constituyentes de la pared celular, las enzimas deben ser liberadas externamente por el hongo. Un método de prevenir el ataque fúngico de la madera será inactivar las enzimas degradantes extracelulares in situ o prevenir su liberación de la hifa del hongo. No obstante, se sabe que las

enzimas extracelulares son bastante estables, frecuentemente, se requieren concentraciones más altas de químicos para inactivar la enzima, más que para prevenir el crecimiento (Micales y otros, 1987); (Highley y Micales, 1990).

Los surfactantes llamados "Tween" han sido observados afectando la secreción de las enzimas. La adición de "tween" (20, 40, 60 y 80) cambia la morfología del cultivo de *Pastia placenta*, quizás por alterar la composición de la envoltura de la hifa.

**Enzimas del crecimiento:** casi nada se conoce acerca del metabolismo del nitrógeno en la pudrición por hongos, pero el nitrógeno juega el papel más importante de los nutrientes no estructurales en la madera. El contenido de nitrógeno en la madera es muy bajo, con un promedio de relación C/U de 350:500/L; el nitrógeno está principalmente presente como proteína. Lo más probable es que los hongos reusan el nitrógeno en su propio micelio a través de la autólisis. En los estados iniciales de la colonización, la asimilación del nitrógeno podría depender de la secreción de proteasas extracelulares.

Las poliaminas son compuestos de nitrógeno encontrados en los hongos, son esenciales para el crecimiento y desarrollo. Se podría ejercer el control específico de la pudrición por efectos solamente a el crecimiento y desarrollo fungal. Los inhibidores "suicidas" como el diflourometilomitina (DFMO) inhibe la pudrición por hongos (Illman, 1990).

Los inhibidores son enzimas específicas e irreversibles, que actúan en el sitio catalítico de la enzima, el cual resulta el "suicida". Estos inhibidores son candidatos ideales para encontrar "El talón de Aquiles" de la pudrición por hongos. Esta técnica está siendo estudiada para controlar las enfermedades en los cultivos agrícolas. Otra técnica que podría ser utilizada para la inhibición específica del crecimiento y desarrollo fungal es el uso de químicos, que detienen la síntesis de la quitina, componente esencial de las paredes de los hongos. Los animales vertebrados no poseen tejidos quitinosos, ésta diferencia ha sido considerada en el desarrollo de pesticidas que inhiben la síntesis de la quitina y tienen poco o ningún efecto sobre otros organismos. Ha habido algún éxito, para la repuesta a la inhibición varía entre especies, probablemente porque la enzima que sintetiza la quitina no está igualmente accesible en todas las especies.



## Depolimerización de la celulosa en la pudrición marrón.

Los hongos de la pudrición marrón son los únicos que pueden degradar la celulosa de la madera sin remover primero la lignina. Estos hongos dejan un residuo marrón de la lignina parcialmente dimetilizada. Luego de la colonización de la madera, el hongo produce una rápida y extensa depolimerización de la celulosa, como ocurre la depolimerización es todavía confuso ya que hasta las enzimas más pequeñas parecen demasiado grandes para penetrar los poros de la madera. Las investigaciones deben ser guiadas en las siguientes áreas: -Cambios ultra estructurales en la celulosa de la pudrición marrón. -Caracterización de la celulosa de la pudrición marrón. -Descomposición no enzimática de la celulosa.

Los cambios ultra estructurales estudiados por Highley y otros (1983) usando el sistema de sustrato sólido para estudiar la degradación de la celulosa purificada por 11 hongos de la pudrición marrón. Según esto no se observaron canales de erosión o depresiones en la superficie de la fibra y en los puntos de contacto con la hifa.

No obstante, la celulosa dentro de las fibras fue degradada extensamente sin considerar la invasión hifal. Este tipo de degradación de la celulosa es diferente, si comparamos con otros micro-organismos que descomponen celulosa, en la cual un ataque ya localizado en la celulosa ocurre cerca de las células del organismo que esta invadiendo. Los hongos de la pudrición blanca en contacto con las fibras de celulosa erosionan la superficie de la fibra. Los hongos del moho como *Trichoderma spp.* y *Aspergillus spp.*, estos hongos penetran las fibras hacia el lumen, y dentro de la pared celular.

## Control biológico mediante micro-organismos no degradadores.

Otra técnica para la protección de la madera ambientalmente segura es aprovechar las relaciones que ya existen en la naturaleza. El potencial del biocontrol para proteger los productos madereros contra el deterioro por micro-organismos ha sido reconocido desde hace mucho tiempo, como lo indica un memorándum en 1940 de Maes S. Chidester, ella sugirió el posible uso de *Trichoderma lignorum* como un control para los hongos que pudren la madera tal como *Lenzites sepiaria*, evidentemente este propósito no fue seguido con trabajo experimental, o por lo menos no fue publicado.

El primer trabajo publicado por los científicos del Servicio Forestal en biocontrol de los hongos que atacan la madera, parece ser el de Lindgren y Harvey (1952), en

el Laboratorio de Productos de Madison. Estos investigadores usaron pulpa de Pino Sureño pretratado con fluoruro para propiciar el crecimiento abundante de *Trichoderma*, y observaron la pudrición reducida en la pulpa de pino sureño tratado con trichoderma.

### Control mediante hongos antagonicos.

Algunos investigadores estudiaron la capacidad de *Gliocladium virens* y diversos *Trichoderma spp.* contra hongos de la pudrición blanca y marrón. *G. virens* y *T. spp* cubrieron el cultivo de hongos de la pudrición en medio de agar malta y en la mayoría de los casos los eliminó.

También en ensayos de bloques en contacto con el suelo, *Gliocladium virens* detuvo el crecimiento de *Antrodia carbonica*, pero no el de otro hongo de pudrición. Este hecho sugiere que *Gliocladium* y *Trichoderma* tienen potencial como agentes naturales para el biocontrol de la pudrición de la madera.

Diferentes estudios fueron conducidos por los investigadores del Laboratorio de Productos Forestales de Madison, para evaluar el potencial y aplicación de preparaciones comerciales de *Trichoderma* para controlar la pudrición de la madera por hongos. Estas preparaciones están principalmente disponibles como un polvo humedecible y como píldoras, ambas formas contienen propágulos de *Trichoderma spp.*

Para tener éxito el agente de biocontrol contra los hongos de la pudrición, el efecto antagonico debe perdurar por muchos años. Una interesante observación fue hecha por Croan y Highley (1991), quienes encontraron que la mancha azul del hongo *Ceratocystis coerulecens* podría ser controlado por productos metabólicos, liberados por diferentes Basidiomycetes que pudren la madera. En este caso, es posible proteger la madera contra los hongos que la decoloran mediante tratamiento con productos metabólicos fungitóxicos.

### Control mediante bacterias antagonicas.

En un ensayo inicial de pudrición, una preparación bacteriana previno la pudrición por hongos de pudrición blanca y marrón, cuando se ensayaron por el procedimiento de agar-bloque. No obstante, en posteriores ensayos con el método de cementerio de estacas, la preparación bacteriana no fue efectiva. El fracaso de la solución bacteriana esterilizada para proteger la madera de la pudrición,

mostró que es necesario el crecimiento activo de las bacterias. Desde el punto de vista de protección a la madera a largo plazo, esto es desalentador, pues la madera no permanecería protegida luego de muertas las bacterias (Benko y Highley, 1990).

Estudios con *Streptomyces rimosus* referentes al desarrollo de parámetros de cultivos para optimizar la producción de metabolitos fungitóxicos. Las bacterias desarrollaron unos muy potentes metabolitos antifúngicos, que efectivamente previeron el moho y el ataque del manchado en secciones de rolas de pino, en ensayos de campo simulado. *Streptomyces rimosus* ha sido reportado de producir la rimocidina, antibiótico antifúngico que no ha sido identificado, pero son responsables de la prevención del moho y el manchado.

### Principios de la preservación no tóxica (enfoques).

Se ha considerado dos enfoques básicos:

1. La modificación química de los componentes de la madera, de manera tal que los organismos atacantes no la reconozcan como alimento.
2. Tomar ventaja de la diferencia entre micro-organismos y los humanos, encontrando materiales tóxicos solamente a los micro-organismos.

El Laboratorio de Productos Forestales de Madison (U.S.A.) estudió un sistema de modificación química que da buena protección a la madera contra los hongos y las termitas.

Los químicos son incorporados a los componentes de la madera, y así no son lixiviados. Estos químicos deben reunir ciertos requisitos:

- La madera tratada debe poseer las propiedades deseables de la madera sin tratar.
- Los químicos deben reaccionar rápidamente con la madera a baja temperatura y bajo condiciones de moderada presión.
- No deberán ser subproductos producidos para ser extraídos y desechados.
- Los enlaces químicos formados deben ser estables para asegurar la permanencia.

El sistema óxido alcalino del Laboratorio de Productos Forestales de Madison reúne todos estos requisitos, y es sólo uno del amplio rango de posibles tratamientos de modificación química, funciona de la misma manera como el estómago humano ataca los alimentos. Las enzimas ayudan a descomponer la estructura química de su fuente de alimento en unidades solubles pequeñas, las que

llegan a ser nutrientes para los organismos. Las reacciones de las enzimas son muy específicas, y si la fuente de alimento es químicamente cambiada, esta acción de tipo digestivo no tiene lugar.

Por lo tanto, si los compuestos químicos que forman la madera son modificados con materiales no tóxicos, o llegan a ser no tóxicos después de la reacción; la madera no será venenosa a los micro-organismos o a los humanos, pero será irreconocible como fuente de alimento para mantener el crecimiento microbiótico.

#### **Tipos de óxidos:**

- Oxido propilénico
- Oxido de butileno
- Epiclorohidrina

Se ensayaron estos óxidos en maderas de coníferas y latifoliadas, se utilizó la trietilamina como catalizador para producir la reacción. Aunque el tratamiento es más costoso que los métodos convencionales, dan a la madera estabilidad dimensional, resistencia a la pudrición y a las termitas. La madera tratada con óxido encontrará uso en productos tales como: ventanas, mueblería, instrumentos musicales, pisos, mangos de herramientas, cuchillos, etc.

La técnica no tóxica para preservación de la madera necesita más investigación y desarrollo antes que el proceso sea comercialmente disponible (Rowell, 1978).

#### **Técnicas de investigación de los métodos de preservación no convencionales.**

a) **Irradiación** (para alterar la estructura polimérica de la madera), Pino ponderosa, roble rojo y blanco y Douglas fir, fueron tratados con radiación gamma altamente penetrante emitida por el cobalto en un ensayo para alterar la estructura del polímero de la madera. Después de la irradiación de la madera, la resistencia a la pudrición fue determinada usando:

Ensayos de cementerio de estacas empleando el hongo *Poria monticola* (*Poria placenta*) o ensayos de bloque-agar usando *Lenzites trabea* (*Gloeophyllum trabeum*) (Kenaga 1959). Los niveles de radiación desde  $10^2$  -  $10^7$  reps no mostró cambios en la resistencia a la pudrición de la madera irradiada con respecto a los bloques control no irradiados.

Varios investigadores han encontrado que los efectos primarios de la alta energía de radiación sobre los polímeros de la madera son: depolimerización, descristalización. Era de esperar que los efectos de la irradiación causarían una disminución de la resistencia de la madera a la pudrición más que aumentarla.

### **Destrucción de la tiamina.**

Se ha demostrado que la tiamina es uno de los metabolitos esenciales para el crecimiento de los hongos. La tiamina en un ensayo de 2 horas a 100 °C y a pH 7, fue destruida, a igual temperatura pero a pH 8, la destrucción fue completa en 1 hora, y a pH 9 en 15 minutos.

Estos resultados animaron a los investigadores a tratar la madera con amonio o hidróxido de sodio, para presumiblemente destruir la tiamina, protegiendo así la madera mediante la remoción de vestigios de un componente esencial como la tiamina.

Douglas-fir, abedul y pino sureño fueron tratados con 1% de amonio acuoso o hidróxido de sodio a varias temperaturas, presión y tiempo. Estas muestras fueron sometidas a los ensayos de cementerio de estacas, con dos hongos de pudrición marrón *Poria monticola* y *Lentinus lepideus* y dos hongos de la pudrición blanca *Polyporus versicolor* (*Coriolus versicolor*) y *P. anceps*; también se hicieron ensayos de exposición a la intemperie. En los ensayos de cementerio de estacas (estacas enterradas), la madera tratada fue resistente a los hongos de la pudrición marrón, pero no fue resistente a los dos hongos de la pudrición blanca. En los ensayos de estacas a la intemperie, el promedio de vida fue de 3.5 años mientras que los controles no tratados tuvieron un promedio de vida de 3.6 años. Los ensayos a la intemperie mostraron que no se incrementa la resistencia a la pudrición mediante este tratamiento.

### **Tratamiento de calor**

Varias maderas fueron calentadas bajo humedad y en condiciones de calentamiento en seco, para determinar el efecto que el calor tiene sobre la resistencia a la pudrición. Cedro de Alaska, cedro blanco de Atlántico, ciprés calvo, Douglas-fir, caoba, madera roja, roble blanco, spruce sitka y cedro rojo del oeste, fueron calentados bajo condiciones secas o condiciones húmedas a temperaturas de 80 -180 °C por tiempos variables.

Se ha encontrado que el calentamiento en seco a 100 °C, o calentamiento al vapor a 120 °C, por 20 minutos, no tuvo efecto sobre la resistencia a la pudrición. Así pues, los tratamientos de calor no aumentan la resistencia de la madera a la pudrición, y en algunos casos fue observada una ligera pérdida de la resistencia.

### Compuestos plásticos

Muchas maderas han sido tratadas con monómeros orgánicos y monómeros catalíticamente polimerizados dentro de la estructura de la madera. El tratar la madera para formar compuestos plásticos fue descubierto por el Dr. John Meyer. Principalmente estos compuestos han sido preparados y estudiados para su uso en productos estables dimensionalmente.

Estacas de Pino del Sur, Douglas-fir, y Yellow poplar fueron impregnadas con resina fenólica y curadas (impregnadas) con resina fenólica comprimida y curada. Muestras separadas fueron tratadas con Urea-formaldehído y curadas, estas muestras fueron colocadas en la tierra, y se determinó su promedio de vida útil. Los resultados se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1

Promedio de vida útil de madera impregnada con resina en contacto con el suelo.

Tratamiento	Retención (lb/ft <sup>3</sup> )	Vida Promedio años
Control	--	1,8 - 2,7
Resina fenólica	5	6,8 - 11,7
Resina fenólica	10	12,4 - 19,5
Compregy - fenol resina	10	19,5
Urea - formaldehído	6	9,1

Fuente: Propia

## Repelentes

Es cuestionable si un repelente tiene cualquier efecto sobre los micro-organismos, pero ha sido estudiada la aplicación para proteger la madera contra formas de vida más evolucionadas, pues es considerable la cantidad de daños a estructuras de madera causados por animales.

El enfoque aquí es repeler la posible comida, no matar el agente destructor. Repelentes distintos han sido ensayados para diferentes animales. Soluciones o mezclas de estos compuestos han sido aplicados en estructuras de madera. Dado que componentes relacionados a la madera toman lugar, estos repelentes son filtrados, volatilizados, separados, y eliminados de la madera; y una nueva técnica en ésta área es la de encapsular el repelente en una concha resistente o de lenta liberación (acción prolongada). Esta manera es muy lenta, en cualquier caso, la repelencia es hasta que el animal llega a estar en contacto con la madera. Este contacto origina que la concha se rompa y libere el repelente.

Los químicos encapsulados podrían ser agregados a un dispersante o pintura y ser aplicados a la superficie de la madera. Si las cápsulas pudieran ser hechas lo suficientemente pequeñas, la penetración profunda por presión de impregnación pudiera ser posible (Hampel, 1973).

## Toxinas asociadas

Otra técnica más, para tratar la madera esta ligada químicamente a un compuesto tóxico sobre un componente de la madera, de manera tal que pueda filtrarse o escaparse de la madera. El compuesto, una vez que reacciona tiende a mantener sus propiedades tóxicas.

Los compuestos ahora utilizados como preservantes de la madera son tóxicos al organismo ya que son ingeridos por él. Si los compuestos tóxicos estuviesen ligados a la madera, pueden ser tóxicos al organismo solamente cuando son ingeridos.

Es posible hacer reaccionar cloruros ácidos o compuestos con anhídridos para formar enlaces éster con grupos hidróxilos sobre unos de los componentes de la madera. Los enlaces de esteres podrían hidrolizar lentamente y liberar la toxina asociada, en este caso, la liberación de los preservantes sería una función de la

velocidad de hidrólisis y no relacionada directamente con los efectos del ambiente (como solubilidad del agua, presión de vapor, degradación ultravioleta, etc.).

La liberación controlada de fungicidas basados ya sea en hidrólisis lenta o en la erosión de la cápsula, podrían disminuir grandemente la cantidad del preservante necesario para proteger una estructura de madera adecuadamente.

### Diferencia metabólica.

Los micro-organismos atacan la madera mediante la secreción de las enzimas en la estructura inmediata la cual descompone los componentes de la madera y las unidades solubles llegan a ser los nutrientes para el organismo. La principal enzima destructiva del sistema madera-destructor contiene una clase de proteína conocida como celulasa. Estas enzimas descomponen la celulosa polimérica, que es el sostén fuerte de la madera, en unidades digeribles.

Aprovechando esta diferencia metabólica entre las formas de vida más desarrolladas y los micro-organismos, es la base para la técnica de investigación para la protección de la madera. Los compuestos están disponibles los cuales inhiben los sistemas de enzimas celulasas, sin embargo, su especificidad no ha sido determinada. Se ha logrado aislar a partir de las hojas de "bayberry un extracto que fue un inhibidor muy efectivo del sistema de la celulasa, a una concentración de 0,00018%, este extracto inhibió las enzimas celulasas aisladas del *Trichoderma viride*, el componente o componentes activos no son conocidos.

Se necesita investigar nuevos materiales que sean inhibidores específicos de las enzimas celulasas. Esta técnica de investigación requerirá la protección de los químicos contra las soluciones de enzimas puras de actividad conocida. La especificidad debe ser determinada usando una variedad de enzimas de tipo humano tales como las transferasas, fosforilasas, deshidrogenasa, etc.

El éxito final dependerá en encontrar compuestos que son solamente inhibidores de las enzimas celulasas. Una técnica básica para esta área sería estudiar las enzimas celulasas mismas, si los sitios activos y la naturaleza verdadera de esta proteína se conocieran se podría determinar la inhibición selectiva.



## Modificación química

La modificación química de la madera implica una reacción química entre alguna parte reactiva de un componente de la madera y un reactivo químico sólo, con o sin catalizador para formar un enlace covalente entre los dos. El componente de la madera puede ser la celulosa, hemicelulosa, o lignina. El objetivo de la reacción es hacer a la madera resistente a la pudrición.

El mecanismo de efectividad no es conocido, pero algunas explicaciones posibles han sido dadas. Los sitios reactivos en la madera son los grupos hidróxilos en la celulosa, hemicelulosa, y lignina. Los tipos de enlaces químicos covalente del tipo carbón-oxígeno-carbón que son de mayor importancia son éteres, acetales y ésteres. El enlace éter es estable a las bases, pero inestable a los ácidos, y el enlace éster es inestable tanto a ácidos como a bases.

La madera tratada debe sin embargo poseer las propiedades deseables de la madera no tratada; la resistencia debe permanecer sin alteraciones, los cambios de color deben ser mínimos, se deben mantener las propiedades de aislante eléctrico, encolable, y que acepte barnices, etc. (Hampel 1973). Por esta razón, los químicos a ser considerados para la modificación de la madera deben ser capaces de reaccionar con los grupos hidróxilos de la madera, bajo condiciones neutras o moderadamente alcalinas, a temperaturas por debajo de 120 °C. El sistema químico debería ser simple y capaz de hinchar la estructura de la madera para facilitar la penetración.

Las moléculas reactivas completas deberían reaccionar rápidamente con los componentes de la madera, produciendo enlaces químicos estables que resistirán a la intemperie.

Estos químicos, una vez que reaccionan son efectivos en prevenir el ataque por micro-organismos, pero no son tóxicos a los organismos de la pudrición. El factor importante en prevenir el ataque es lograr un nivel de tratamiento que pueda inhibir el crecimiento de los organismos. Una reciente revisión sobre esta materia muestra que la reacción con anhídrido acético, dimetil sulfato, acrilonitrilo, óxido de butileno, isocianato de fenilo y B - pripiolactón, todos proporcionan buena resistencia a la pudrición a 17 - 25 por ciento en peso ganado (WPG). La excepción a esto es formaldehído, donde un porcentaje de peso ganado de 2 - 5 da resistencia a la pudrición. En este caso, puede ser enlace transversal de más grandes unidades de la madera que puede darle propiedades diferentes.

El promedio de la vida útil de Yellow birch acetilado y de estacas de pino sureño cianoetilado en contacto con el suelo se muestra en el cuadro 2.

**Cuadro 2**

**Promedio de vida útil de la madera modificada químicamente en contacto con el suelo.**

Tratamiento	Nivel de porcentaje de ganancia de peso específico (WPG) (%).	Vida Promedio años
Control	--	2,7
Acetilación	19,2	17,5
Control	--	3,6
Cianoetilación	11	3,9
Cianoetilación	15	5,3

Fuente: propia

En los ensayos preliminares, el pino sureño tratado en óxido alcalino se encontró resistente al ataque de termitas y taladradores marinos, *Teredo* (Shipworm) y *Limnoria*.

### Mecanismo Básico de Ataque

La última solución para prevenir el ataque de micro-organismos vendrá una vez que sea conocido cómo un organismo descompone la madera. Es posible que el ataque inicial de micro-organismos no sea enzimático sino hidrolítico y oxidante en naturaleza (Koenings, 1974). Si esto es así, entonces un sistema preservante debería ser basado en propiedades antioxidantes del químico. Si el ataque inicial puede ser detenido, entonces el ataque total será detenido. También es posible que los ataques iniciales y los prolongados sean causados por una combinación de reacciones químicas y enzimáticas. (hidrolítica, oxidante).

## **Riesgos que pueden causar algunos productos químicos para tratar la madera.**

La preocupación por los daños que muchos materiales para tratar la madera puede causar a la salud y al medio ambiente, ha ido en aumento. Muchas pinturas y preservantes contienen químicos los cuales, en sus formas concentradas, son tóxicos o pueden causar riesgos a la salud. De la misma manera, un número de materiales utilizados para procesar la madera presión de vapor significativa a temperatura del medio ambiente, pueden resultar en contaminación del aire interior de una edificación. En algunos casos los daños causados son menores, tales como irritación de la garganta o dolores de cabeza, pero algunos individuos son más susceptibles a los efectos de los químicos y se hace necesario evitar su exposición en lo posible.

En esta parte del presente artículo, se señala la necesidad de tener precaución cuando se manipule materiales químicos utilizados para tratar la madera.

### **Preservante de la madera.**

Los preservantes de la madera contienen ingredientes activos los cuales son necesariamente tóxicos a los hongos y los insectos. Sin embargo, estos ingredientes activos como también algunos de los solventes en los cuales están disueltos, pueden ser dañinos a las personas, sino son usadas apropiadamente.

El uso seguro de preservantes de la madera, por tanto requiere de un entendimiento de los peligros potenciales y de los procedimientos de trabajo adecuadamente seguros.

En muchos países el control del uso de productos peligrosos, como los preservantes de la madera, están bajo la legislación del gobierno. La seguridad de los operadores, y subsecuentemente de los ocupantes de una edificación y del medio ambiente, pueden solamente estar asegurados mediante la completa ejecución y vigilancia de las precauciones de producción, distribución, uso y disposición de los desechos (Berry et. al. 1995).

## Riesgos a la salud.

La contaminación accidental de operadores, otro personal, o de los ocupantes del edificio con cualquier producto dañino debe evitarse. Sin embargo, los productos preservantes son aprobados bajo regulaciones y solamente después de muy cuidadosas consideraciones del significado de sus propiedades de toxicidad, y la manera en la cual deben ser utilizados.

Muy ocasionales salpicaduras accidentales o derrames ligeros de preservantes resultan en, pequeña contaminación de la piel de los operadores, es por lo tanto, improbable inducir a efectos serios de enfermedades; las acciones inmediatas deben ser tomadas; como lavar la zona afectada. No obstante, si la contaminación es más seria esta puede inducir a reacciones de la piel, inflamaciones de los ojos y náuseas. Las consecuencias graves a la salud incluyen la muerte, que puede ser esperada si presenta gran persistencia el mal uso de un producto preservante.

TIPOS DE PRESERVANTES DE LA MADERA	EJEMPLOS
1. Preservantes derivados de Solventes Orgánicos	- Pentaclorofenol (PCP), lindano, naftenatos de cobre y zinc, dieldrín.
2. Sales	- Sales de arsénico, cromo, cobre, flúor, boro.
3. Aceites de alquitrán	- Creosota

Fuente: Mossberg 1990; Orster, 1994. Citado por Berry et al. 1995.

## Absorción a través de la piel.

Los productos preservantes contaminantes o algunos de sus ingredientes activos y solventes pueden ser absorbidos a través de la piel no protegida de una persona.

Depende del área de la piel contaminada y de las propiedades tóxicas del producto, esto puede afectar la salud del individuo.

La contaminación de la piel puede ocurrir de muchas maneras; por ejemplo, mediante la manipulación de envases de preservantes dañados y con escapes, por salpicaduras o equivocarse las instrucciones del rociado durante el tratamiento o por manipulación durante el tratamiento o por manipulación de la madera tratada antes que el tratamiento preservante haya secado.

### **Inhalación.**

Cuando un preservante para madera es aplicado en forma de rociado, diminutas gotas del producto permanecen suspendidos en el aire por algunas horas después del tratamiento. Este rocío puede ser inhalado hacia los pulmones de una persona protegida (trabajador o que viva en la vecindad) y así, es absorbido en su cuerpo. Ciertos tipos de productos son formulados en solventes a base de petróleo los cuales se evaporan de la madera tratada a medida que el preservante seca. Este vapor se puede acumular en las áreas no ventiladas, alrededor de la madera tratada y así también puede ser inhalado y absorbido por las personas que no estén protegidas. Concentraciones muy altas de solventes a base de petróleo, en el aire, pueden causar efectos narcóticos y pérdida de la conciencia si la exposición es continua por unos pocos minutos (Berry et. al. 1995).

### **Contaminación de los Ojos.**

Muchos de los solventes basados en petróleo y algunos ingredientes activos pueden causar daños serios y permanentes a la vista, si los preservantes son salpicados accidentalmente o rociados en los ojos.

### **Ingestión.**

La ingestión de aún pequeñas cantidades de preservantes de la madera representa un riesgo severo para la salud de un individuo. Esto puede ocurrir si el producto fuese confundido con una bebida debido a un etiquetado inadecuado de los envases. Y más probable es que los alimentos puedan llegar a contaminarse con preservante si no son mantenidos lejos de las áreas que son tratadas. Se debe evitar la transferencia de los preservantes a los alimentos y bebidas como resultado de manipular con las manos contaminadas o con los guantes.

También si los alimentos son colocados directamente en la madera tratada, algunos ingredientes activos pueden ser transferidos al alimento, aún a través del envoltorio. Por esta razón, no todos los preservantes son apropiados para el uso en maderas a ser utilizadas en el almacenaje de alimentos o en las áreas de elaboración.

Los envases de los preservantes no deben ser utilizados para otros propósitos que los originales, pues podrían generar riesgos de la salud, porque los elementos activos del producto pueden ser transferidos al alimento o al líquido (lavar los envases antes de reusarlos no eliminará todos los residuos del preservante).

### **Riesgos de incendios**

Algunos preservantes de solventes de petróleo son usualmente inflamables y presentar riesgos de incendio, tanto durante la aplicación como un tiempo después de la misma.

### **Los formaldehído**

El formaldehído es un gas y su fórmula empírica en  $\text{CH}_2\text{O}$ . Comercialmente el formaldehído es manipulado y procesado la mayor parte como una solución acuosa o en forma sólida. El formaldehído es elaborado por la industria química, e incorporado en una amplia gama de productos incluyendo materiales de construcción, tales como tableros de madera encolada. Aquí, se señalan los efectos del formaldehído a la salud, maneras de controlar la exposición de los trabajadores y ocupantes de edificaciones.

### **Daños a salud que pueden causar los formaldehídos**

Las principales vías de exposición al formaldehído que pueden resultar en efectos agudos son aquellos de inhalación y absorción a través de la piel. Los sitios comunes para efectos agudos adversos son el canal respiratorio, los ojos y la piel. Los efectos pueden ser clasificados como reacciones irritantes y reacciones de sensibilidad/alérgicas. Las reacciones alérgicas pueden ser inducidas por niveles de formaldehído muy por debajo de aquellas que causan respuestas irritantes. Los

efectos irritantes ocurren en la mayoría de las personas mientras las reacciones alérgicas/sensibilidad afectarán sólo a pocos individuos.

La exposición de la piel al formaldehído puede producir dermatitis de contacto que es una respuesta inflamatoria de la piel, también la urticaria es una reacción inmediata. La dermatitis de contacto alérgico es una reacción particular similar a la dermatitis de contacto, excepto que un antígeno es formado y la exposición subsecuente a pequeñas cantidades de formaldehído produce una respuesta inmunológica (reacción del cuerpo), después de unas 24 ó 48 horas de exposición.

El contacto con productos que contienen concentraciones pequeñas de formaldehído puede inducir a una respuesta alérgica en una pequeña porción de la población (Berry, 1995).

La inhalación de vapor de formaldehído primero produce irritación de los ojos y la vía respiratoria. Los síntomas son sensaciones de quemadura en la nariz y garganta, picazón, estornudo, tos y lagrimeo en los ojos. La irritación es proporcional a la concentración del formaldehído, aunque existe amplia variación en la susceptibilidad de los individuos. Los estudios reportan un límite de olor de cerca de  $0,05\text{mg}/\text{m}^3$ , un límite de irritación de  $0,1\text{ mg}/\text{m}^3$  e incrementos significantes en los síntomas de irritación  $0,3$  y  $1,0\text{ mg}/\text{m}^3$ .

**Cuadro 3**  
**La Irritación como una función de la concentración de formaldehído.**

EFECTO	Concentración de formaldehído (mg/m <sup>3</sup> )	
	Promedio estimado	Rango reportado
- Límite de detección de olor (incluyendo exposición repetida).	0,1	0,06 - 1,2
- Límite irritación de los ojos	0,5	0,01 - 1,9
- Límite irritación de la garganta	0,6	0,1 - 3,1
- Sensación picante en la nariz y ojos.	3,1	2,5 - 3,7
- Tolerable por 30 minutos (lagrimeo)	5,6	5 - 6,2
- Lagrimeo fuerte, permaneciendo 1 hora	17,8	12 - 25
- Peligro para la vida, edema, inflamación, neumonía.	37,5	37 - 60
- Muerte	125	60 - 125

Existe suficiente evidencia de carcino génesis del formaldehído en animales experimentales, la evidencia de carcinogenesis en humanos es insuficiente.

La exposición de trabajadores al formaldehído esta controlada mediante la fijación de límites de exposición, expresados bien sea como concentraciones promedio asignados a un tiempo, o como valores topes. Por ejemplo, el límite de control para una exposición de 8 horas en el Reino Unido es de 2 ppm (equivalente a 1,25 mg/m<sup>3</sup>).



## **Fuentes y control de los formaldehidos**

### **Tipos de fuentes**

Entre los productos utilizados en la construcción los tableros de fibra de mediana densidad (MDF), tableros de partículas, y los tableros contrachapados son probablemente los emisores potenciales de formaldehído más utilizados. Todos son encolados con resinas de urea formaldehído (UFR). Los UFR o los reactivos relacionados son también utilizados en las telas de algodón y poliester-algodón que son utilizados para tapicería, cortinas y ropa. Otros emisores potenciales de formaldehído son el aislante fibra de vidrio, telas con respaldo de látex, goma espuma aislante de urea formaldehído, y el contrachapado de melamina-formaldehído. Sin embargo, la emisión a partir del tablero de partícula encolado con fenol-formaldehído o el grado exterior del contrachapado es usualmente muy bajo. Las lacas que incorporan resinas de urea formaldehído pueden ser aplicadas a la madera y a sus productos, y son una fuente adicional de formaldehído.

### **Control del Período de Producción.**

Como suplidor de resina, la industria química ha controlado las emisiones mediante el desarrollo de productos que liberan menos formaldehído. Esto ha sido logrado mediante la reducción de relación molar de formaldehído a urea en las resinas, a partir de un valor de aproximadamente 2 a típicamente 1,3 para el uso en tableros de partículas.

Reduciendo las emisiones durante la elaboración de los materiales de los tableros se asegura el control del medio ambiente mediante ventilación. Las primeras emisiones perceptibles ocurren durante el prensado de los tableros, el período de encolado es menos crítico. Las emisiones más fuertes ocurren cuando las prensas son abiertas y el período de enfriamiento subsecuente es también significativo.

Una alternativa para controlar del formaldehído es el uso de productos que no contienen formaldehído. Para materiales de tableros, encolantes inorgánicos tales como cemento, son usados, pero el producto es más costoso y los tableros pesados. Los isocianatos han sido utilizados en lugar de resinas de urea formaldehído, en cuanto a lo que manufactura se refiere, esto involucra sustituir

unos riesgos de salud por otros. Otras resinas como resina de fenol pueden también ser utilizados pero existen desventajas en el costo y problemas de depósito de los residuos. Para material aislante existe un número de alternativas a la goma espuma de urea formaldehído, contra su uso puede tener un castigo por el costo y pueden estar asociados otros riesgos de salud tales como manipular fibras minerales hechas por el hombre.

## BIBLIOGRAFIA

1. BENKO, R.; HIGHLEY, T. L. 1990. EVALUATION OF BACTERIA FOR BIOLOGICAL CONTROL OF WOOD. DOC. IRG/WP/1426. The International Research Group on Wood Preservation.
2. BERRY, R. et. al. 1995. HEALTH HAZARDS OF BUILDING MATERIALS. Lund University, Lund Centre for Habitat Studies. Building Issues, 7 (1): 6 -10.
3. CROAN, S. C.; HIGHLEY, T. L. 1991. BIOLOGICAL CONTROL OF THE BLUE STAIN FUNGUS *Ceratocystis coerulea* WITH FUNGAL ANTAGONIST. Material and organismen. 25 (4): 255-266.
4. HAMPEL, C. A. HAWLEY, G. C. 1973. THE ENCYCLOPEDIA OF CHEMISTRY. Van Nostrand Reinhol Co., 3rd ed., p. 968.
5. HIGHLEY, T. L.; MICALES, J. A. 1990. EFFECT OF AROMATIC MONOMERS ON PRODUCTION OF CARBOHYDRATE-DEGRADING ENZYMAS BY WHITE-ROT AND BROWN-ROT FUNGUS. Fems Microbiology Letters 66: 1 - 22.
6. HIGHLEY, T. L.; MURMANIS, L. L.; PALMER, J. G. 1983. ELECTRON MICROSCOPY OF CELLULOSE DESCOMPOSITION BY BROWN-ROT FUNGI. Holzforschung. 37 (6): 271 - 278.
7. HULME, M. A.; SHIELDS, J. K. 1970. BIOLOGICAL CONTROL OF DECAY FUNGI IN WOOD BY COMPETITION FOR NONSTRUCTURAL CARBOHYDRATES. Nature 227 (5255): 300 -301.
8. IILMAN, B. L. 1990. POLYAMINE SYNTHESIS IN THE BROWN-ROT FUNGUS *Postia placenta*. BIODETERIORATION RESEARCH III. New York: Plenum Press.
9. KENAGA, D. L.; COWLING, E. B. 1959. FOREST PORD. J. 9 (3): 12 - 116.
10. KIRK, T. K.; FENN, P. 1982. FORMATION AND ACTION OF THE LIGNINOLYTIC SYSTEMS IN BASIDIOMYCETES. In: Fanland, Hedger and Swift, eds. Decomposer basidiomycetes. Proceedings of British Mycological Society Symposium, Cambridge University Press: 4: 67 - 90.

11. KOENINGS, J. W. 1974. WOOD & FIBER 6: 1). LINDGREN, R., HARVEY, G. M. 1952. DECAY CONTROL AND INCREASED PERMEABILITY IN SOUTHERN PINE SPRAYED WITH FLOURIDE. Proceedings, Forest Products Research Society: 5: 250-256.
12. MICALES, J. A., GREEN, F. III; CLAUSEN, C. A., HIGHLEY T. C. 1987. PHYSICAL PROPERTIES OF B-1,4-XYLANASE PRODUCED BY PASTIA (= *poria*) placenta: Implications for the control of brown rot. Doc. IRG/WP 1318.
13. ROWELL, R. 1977. NONCONVENCIONAL WOOD PRESERVATION METHODS. TECHNICAL ARTICLE 4. FOREST PRODUCTS LABORATORY Madison, WI. 4: 47-56.
14. ROWELL, R. 1978. NONTOXIC WOOD PRESERVATION TREATMENTS. WOOD & WOOD PRODUCTS. Forest Products Laboratory. Madison, WI. pp 81.
15. WILCOX, W. W. 1970. ANATOMICAL CHANGES IN WOOD CELL WALLS ATTACKED BY FUNGI AND BACTERIA. The botanical Review. 36: 1-28.