

26
10/10



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

**EVALUACION TOXIMETRICA DEL ACEITE
USADO DE MOTOR Y LA CREOSOTA EN
HONGOS CAUSANTES DE PUDRICION
EN LA MADERA**

TESIS

Que para obtener el título de:

B I O L O G A

Presenta:

MARIA DEL CARMEN LETICIA CALDERON EZQUERRO

México, D. F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C O N T E N I D O

RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	2
1.1. Generalidades	2
1.1.1. Deterioro biológico de la madera	3
1.1.2. Preservación de la madera	8
1.1.2.1. Beneficios de la preservación	8
1.1.2.2. Concepto y requisitos de los preservadores	9
1.1.2.3. Tipos de preservadores	11
1.1.2.4. Métodos de tratamiento de madera con preservadores	11
1.1.2.5. Impregnación de la madera	16
1.1.3. Pruebas de toxicidad hacia hongos xilófagos y métodos de evaluación de los preservadores	24
1.2. Antecedentes	25
1.3. Objetivos y fundamentos	28
2. MATERIALES Y METODOS	30
2.1. Hongos utilizados	30
2.2. Creosota y aceite usado de motor	34
2.3. Métodos de ensayo	36
2.3.1. Fase inicial de cultivo	36
2.3.1. Método malta agar	37
2.3.3. Método suelo-bloque	39
3. RESULTADOS Y DISCUSION	50
3.1. Método malta agar	50
3.2. Método suelo-bloque	64
3.3. Análisis general	71
4. LITERATURA CITADA	75

RESUMEN

En este trabajo fue realizada una evaluación toxicométrica comparativa de una muestra de aceite usado de motor y otra de creosota frente a tres cepas de hongos degradadores de madera: *Lentinus lepideus* (FPRL 7B), *Lenzites trabea* (FPRL 108E) y *Poria monticola* (FPRL 304D).

Para evaluar la toxicidad de estas sustancias, se emplearon dos métodos: uno de tipo malta agar en placa y un método suelo-bloque. Las sustancias ensayadas fueron aplicadas tanto al medio de cultivo del primer método, como a los bloques de prueba del segundo en dos concentraciones en escala logarítmica 0.1 y 1.0%; también fue utilizada una mezcla aceite-creosota 1:1 al 1.0%.

Los resultados indican que de los dos métodos utilizados, el de malta agar presentó mayor sensibilidad en la detección de toxicidad, y que aunque la creosota fue más tóxica, el aceite usado de motor presentó cierto grado de toxicidad, llegando a ser moderadamente tóxico frente a *lenzites trabea* en malta agar a la concentración de 1.0%

1. INTRODUCCION

1.1. Generalidades

La madera es uno de los materiales más importantes que existen en la naturaleza, por poseer una gran variedad de propiedades que otros materiales no reúnen simultáneamente. Algunas características sobresalientes de la madera son su alta resistencia mecánica a los impactos, a la flexión, a la compresión y a la abrasión, así como a una gran elasticidad, capacidad de aislamiento térmico y eléctrico, valiosas propiedades acústicas y una excepcional facilidad para ser trabajada. Por esto, la madera puede ser utilizada bajo muy diversas condiciones y para multitud de propósitos, incluyendo diversas estructuras vitales para el transporte y las comunicaciones (postes para cables de conducción de energía eléctrica, para líneas telefónicas, durmientes de las vías ferroviarias), construcciones rurales y urbanas (casas habitación, casetas, establos, cercas, puentes y cimbras), construcciones marinas (pilotes, muelles, embarcaciones), en la industria (tarimas, pisos, empaques) y en la fabricación de instrumentos musicales y artesanías, entre muchas otras cosas.

En muchos de estos usos, la madera puede estar expuesta al ataque de agentes biológicos pues, por estar constituida de substancias orgánicas, es un material aprovechable como fuente de energía por algunos organismos que la degradan y que se denominan xilófagos. Esta degradación ocurre cuando la madera es utilizada en condiciones favorables para el desarrollo de estos organismos.

La pudrición de la madera es importante en dos aspectos completamente opuestos, el biológico y el económico. Biológicamente, la degradación de la madera en el

bosque es una fuente de materia orgánica, importante para el suelo forestal (Boyce, 1961), y este proceso es necesario para el reciclaje de carbono, hidrógeno y oxígeno en la naturaleza (Hudson, 1972). En el aspecto económico, la biodegradación de la madera produce grandes pérdidas en material e inversión monetaria. El deterioro de la madera puede ocurrir en el bosque, durante el almacenamiento, en la elaboración de distintos productos derivados de ella, y especialmente cuando está en servicio como en cercas, viviendas, postes, durmientes, etc. En casos como estos, además de causar pérdidas monetarias, ocasiona interrupción de servicios y riesgos de seguridad.

Por lo anterior, en la actualidad para la industria maderera, relacionada estrechamente con la explotación forestal, debiera tener mucho interés la protección de la madera para prolongar su vida de servicio, lo que también implica la optimización del uso de los recursos forestales. Por ello, es importante la investigación sobre preservadores para madera, tanto de los productos comerciales ya conocidos, como de otras sustancias más económicas, que puedan ser utilizadas en diferentes condiciones, quizá con mayor amplitud (Cartwright y Findlay, 1958; Hunt y Garrat, 1962).

1.1.1. Deterioro biológico de la madera

Entre los agentes biológicos destructores de la madera se encuentran los siguientes, enlistados en orden creciente de importancia:

Aves

Bacterias { Celulolíticas
Lignolíticas

Perforadores marinos { Moluscos
Crustáceos

Insectos { Dípteros
Hemípteros
Lepidópteros
Himenópteros
Coleópteros
Isópteros

Hongos lignícolas { Mohos — hongos imperfectos (hifomicetes)
Hongos cromógenos { hongos imperfectos (hifomicetes)
ascomicetes
Hongos xilófagos { hongos imperfectos (hifomicetes excepcionalmente)
ascomicetes
basidiomicetes

A continuación, se mencionan sólo algunas de las características de los hongos lignícolas, que son los organismos importantes para este trabajo.

Los mohos lignícolas corresponden a hongos imperfectos (hifomicetes) que causan manchas superficiales en la madera y leves coloraciones de aspecto pulverulento. El principal efecto que ocasionan en la madera consiste en alterar la apariencia estética y por ello pierde valor comercial. Pero, también se ha encontrado que después de períodos muy largos de exposición al ataque, la madera puede sufrir un aumento en la permeabilidad y una disminución en la resistencia al impacto, pero sin alterar sus otras propiedades, ya que la lignina y la celulosa permanecen intactas (Scheffer, 1973).

Los hongos cromógenos, que causan el manchado verdadero o profundo de la madera, pertenecen a hongos imperfectos (hifomicetes) y a ascomicetes. El color de las manchas se puede deber a los pigmentos liberados de las hifas del hongo que se difunden por toda la madera. Estos hongos se alimentan de células parenquimáticas que tienen un alto contenido de almidón y azúcares; no afectan la resistencia mecánica de la madera, aunque sí pueden afectar un poco su resistencia al impacto. No obstante, la mayor parte de sus propiedades físicas permanecen inalteradas, debido a que estos hongos tampoco pueden degradar celulosa y lignina (Panshin y De Zeeuw, 1970; Scheffer, 1973). Con este manchado la madera también pierde valor comercial.

Los hongos xilófagos representan el principal problema de biodeterioro en la madera a nivel mundial. Estos hongos, que pertenecen a los ascomicetes y a los basidiomicetes, son capaces con sus enzimas extracelulares, de desintegrar las paredes celulares; además de cambiar las características químicas y físicas de la madera, también ocasionan una desorganización anatómica del material que da lugar al estado llamado pudrición.

Una vez iniciada la colonización de la madera, los hongos se desarrollan tanto en la superficie como dentro de

ella por medio de hifas; en esta etapa incipiente no hay una verdadera degradación de la madera o un cambio aparente en sus características, sino una ligera coloración de la pieza afectada. Más tarde, en la etapa avanzada de la pudrición, la madera se hace blanda, esponjosa, fibrosa, alveolada y fácilmente digerible por los organismos xilófagos, según la naturaleza del hongo atacante y la extensión de su destrucción. En estos estadios avanzados de la pudrición, la madera presenta una notoria reducción en la resistencia mecánica, así como agrietamiento en sentido longitudinal y transversal a la orientación de las fibras, que ocasionan fragmentación en porciones fibrosas desmenuzables.

Dependiendo de los cambios de coloración en la madera, de los sistemas enzimáticos de los hongos y de los sitios de penetración hifal a través de la madera, se reconocen 3 tipos de pudrición: suave, morena y blanca (Hunt y Garrat, 1962; Carey, 1975; Findlay, 1975).

Pudrición suave. Es causada por hongos imperfectos y ascomicetes. La madera más susceptible de ser atacada es la de angiospermas, aunque ninguna especie de madera es inmune a la pudrición ocasionada por estos hongos. El ataque generalmente ocurre en la superficie externa de la madera que esté expuesta a condiciones muy húmedas, sumergida en agua o en contacto con suelo húmedo. La madera blanda se puede separar fácilmente de la sana y cuando está seca aparecen en ella gran número de grietas superficiales a lo largo y a través del grano.

Los hongos de este tipo degradan principalmente a los carbohidratos, como celulosa y hemicelulosas en mayor proporción, y en mucha menor proporción alteran la lignina. Las hifas crecen y avanzan a través de la pared celular, en un patrón que es muy diferente al común de los basidiomicetes. Tales hifas se encuentran característicamente dentro de la pared secundaria, orientadas longitudinal y paralelamente a las microfibrillas de células de la capa S2, que es una capa intermedia de la pared celular formando cavidades romboédricas.

Putrición morena. Es causada por basidiomicetes. Cualquier tipo de madera no tratada, que esté en contacto con el suelo o pueda absorber humedad, es susceptible de ser atacada por estos hongos.

Las hifas que atacan las células de la madera se distribuyen uniforme o irregularmente; penetran a través de las punteaduras o directa y transversalmente en la pared celular. Se produce una descomposición rápida e irregular de la madera que adquiere un color café oscuro y tiende a colapsarse y encogerse irregularmente, probablemente debido a que el material residual no tiene suficiente resistencia para dejar a las células con su anatomía original. Este colapso forma grietas a lo largo y a través del grano, lo que ocasiona una apariencia cuboidal de la pudrición (Cartwright y Findlay, 1958; Wilcox, 1968, 1973). Los hongos causantes de esta pudrición degradan celulosa y hemicelulosas, pero dejan la lignina en condiciones casi naturales (Boyce, 1961).

Los daños en las paredes celulares son detectables en los estados intermedios y avanzados, cuando la madera pierde resistencia mecánica al impacto y la flexión se reduce drásticamente; además aumenta la permeabilidad, aunque la higroscopicidad disminuya, la madera adquiere un color anormal, y finalmente queda disgregada en un material pulverulento (Cartwright y Findlay, 1958; Scheffer, 1973).

Putrición blanca. Es causada por basidiomicetes y se caracteriza por un adelgazamiento progresivo de las paredes celulares. El ataque del hongo es por medio de redes hifales y la descomposición de la madera es lenta y uniforme. La madera tiende a perder su color y generalmente se vuelve blanca, aunque inicialmente puede ser de color amarillo oscuro, bronce o café claro (Boyce, 1961); sin embargo, no se agrieta a través del grano, a menos que esté severamente degradada, y no se encoge ni se colapsa.

Los hongos causantes de esta pudrición descomponen a la celulosa, las hemicelulosas y la lignina. En 1973, Wilcox encontró dos modos de acción de estos hongos: uno en el que

se descomponen la celulosa y la lignina simultáneamente, y otro en el que descomponen preferentemente la lignina en las primeras fases de pudrición.

Los efectos causados en la madera por estos hongos incluyen una marcada disminución en la resistencia mecánica al impacto y a la flexión, así como la transformación de la madera en una masa esponjosa de aspecto fibroso, con bandas separadas (Wilcox, 1968; Scheffer, 1973).

1.1.2. Preservación de la madera

1.1.2.1. Beneficios de la preservación

La finalidad fundamental del tratamiento preservador en la madera es la de aumentar su vida de servicio, para disminuir el riesgo al biodeterioro y evitar la necesidad de reparaciones o sustituciones frecuentes en las construcciones permanentes o semipermanentes y, a la larga, disminuir el costo de construcción y mantenimiento.

A medida que se ha ido reconociendo la eficiencia del tratamiento preservador para prolongar la vida de la madera en la intemperie, ésta ha sido considerada como uno de los materiales de construcción más durables. El tratamiento preservador representa un gran beneficio económico en madera usada como postes, soportes de cimientos de puentes y bastidores que van anclados en el suelo, ya que se puede mantener la resistencia mecánica inicial de la pieza durante un período considerable de tiempo, al evitar un biodeterioro temprano de dichas piezas.

Con la aplicación de preservadores apropiados, se han utilizado un mayor número de especies maderables que se consideraban como inadecuadas por su corta durabilidad, porque empleadas a la intemperie sufrían una pudrición muy rápida o un intenso ataque de diversos insectos. Así, al poder preservar la madera de especies que por su naturaleza no son durables y que por otras características son útiles a la industria, se han aumentado las reservas disponibles de

madera para fines de construcción y esto ha proporcionado beneficios tanto a los productores como a los consumidores de productos forestales. Aunque el material tratado es de hecho más costoso que el material no tratado, a la larga existe un ahorro notable debido al mayor tiempo que el producto será utilizado.

Además de los beneficios mencionados, también es notoria la reducción del presupuesto anual destinado a la conservación de la obra y los materiales como por ejemplo, al evitar la substitución de postes en líneas de conducción de electricidad o telefónica, se evitan transtornos e interrupciones del servicio, que también implican pérdidas económicas y de tiempo, así como períodos de aislamiento (Hunt y Garrat, 1962).

1.1.2.2. Concepto y requisitos de los preservadores

Los preservadores son sustancias químicas que aplicadas adecuadamente a la madera la hacen resistente al ataque de los hongos, insectos y barrenadores marinos. El efecto protector se logra transformando la madera en venenosa o repelente a los elementos biológicos que la atacarían si no estuviera tratada. Estos preservadores pueden ser compuestos químicos puros o mezclas más o menos simples o complejas.

El grado de protección obtenida depende de la toxicidad del preservador usado y de la eficacia del método de aplicación. La madera está mejor protegida cuando es mayor la penetración del preservador, así que debe tomarse en cuenta que algunos métodos de tratamiento aseguren mejor la penetración que otros. También hay diferencia en la tratabilidad de las diversas especies de madera, particularmente del duramen, que resiste más el tratamiento preservador que la albura.

Los preservadores que penetran bien en la madera y permanecen en ella durante mayor tiempo, es decir que tienen una buena retención, son los más eficientes para aumentar la vida de servicio de la madera tratada (Hunt y Garrat, 1962; Forest Products Laboratory, 1955, 1974).

Ningún preservador satisface todos los requerimientos deseables (Cartwright y Findlay, 1958).

De acuerdo con Cartwright y Findlay (1958), Hunt y Garrat (1962), Purslow (1974) y Findlay (1975), entre los principales requisitos que debe reunir un buen preservador están los siguientes:

A) Requisitos primarios:

-Debe poseer una alta toxicidad hacia los organismos destructores de la madera.

-Debe ser capaz de penetrar en la madera a un nivel considerable, teniendo la suficiente fluidez para ello.

-Debe tener una alta capacidad de permanencia en la madera tratada y en su forma original.

-Debe ser seguro de manipular y fácil de aplicar.

-No debe ser corrosivo al metal o causar deterioro a la propia madera.

-Debe tener baja toxicidad hacia animales domésticos en la concentración recomendada para uso en madera.

-Debe ser abundante con respecto a su disponibilidad.

-Debe ser económico tanto en su costo, como en el método utilizado para su aplicación.

B) Requisitos secundarios:

-Debe dejar a la madera, que sea utilizada para ciertos propósitos específicos, limpia en aspecto y aceptable al tacto.

-Debe de ser incoloro para no afectar el aspecto de la madera (veteado, figura, color), utilizada en muebles, casas, instrumentos musicales, etc.

-No debe ser incompatible con los acabados finos de la madera, para que ésta pueda ser tratada con selladores, barnices, lacas, pinturas, etc.

-Debe ser antidilatable, es decir servir como estabilizador dimensional de la madera (para ensambles).

-Debe ser hidrófugo, repelente al agua e impermeabilizante.

1.1.2.3. Tipos de preservadores

Los preservadores son productos químicos que requieren de un solvente (vehículo) para poder penetrar en la madera.

Según Ananthanarayanan (1979), dependiendo del tipo de solvente requerido, los preservadores se clasifican en tres tipos:

A) Solubles en aceite de petróleo (oleaginosos), como la creosota.

B) Solubles en agua (hidrosolubles), como las sales CCA (a base de cobre, cromo y arsénico).

C) Solubles en solventes orgánicos, como el pentaclorofenol.

Dentro de cada uno de estos tipos de preservadores existe una gran variedad que puede ser utilizada según lo requieran las diferentes especies de madera. Muchos son los autores que dan información en cuanto a diversidad de preservadores (Cartwright y Findlay, 1958; Hunt y Garrat, 1962; Cockcroft, 1971; Winslow, 1973; Forest Products Laboratory, 1974; Ananthanarayanan, 1979).

1.1.2.4. Métodos de tratamiento de madera con preservadores

Los métodos de tratamiento varían dependiendo del servicio para el que será utilizada la madera y de las condiciones requeridas para la penetración del preservador. En condiciones de exposición severa al ataque de hongos, termitas, etc., la madera deberá ser impregnada profundamente, pero no tanto cuando no va a ser expuesta a la humedad o a la intemperie.

Hay una gran variedad de procedimientos para aplicar preservadores a la madera. Algunos tratamientos son muy costosos debido a que requieren de plantas de impregnación; en cambio otros, no son tan caros pues su aplicación se lleva a cabo mediante equipos sencillos o manuales. Los procesos en los que no se aplica presión comprenden: brocha y aspersion, baño,

inmersión en tanque abierto para lograr un buen empapamiento y remojo, y difusión cuando se trata de madera verde. Los procesos a presión incluyen los denominados: de célula llena, de célula vacía y de doble vacío. La descripción de estos procesos fue tomada de Cartwright y Findlay, 1958; Kollmann y Côté, 1968; Cockerofft, 1971 y Purslow, 1974.

Brocha y aspersion. La aplicación de preservadores para madera con brocha o aspersion es la más simple porque requiere de una mínima cantidad de equipo. Con estos métodos se pueden aplicar preservadores oleaginosos e hidrosolubles. En material seco, la aplicación es superficial, y no puede recomendarse cuando se pretende brindar una protección de gran duración. La penetración moderada que resulta es rara vez más de unos pocos mm de profundidad. Cualquier daño físico puede romper la delgada cubierta protectora por lo que la pieza queda expuesta al ataque por toda la superficie puesta al descubierto. Si los productos químicos hidrosolubles se hallan en la parte externa de la madera son fácilmente deslavados por la lluvia o por cualquier otra forma de intemperismo, no obstante, los productos oleaginosos pueden dar protección por períodos más largos. Bajo condiciones óptimas, la vida de servicio normal de la madera puede extenderse de uno a tres años, suponiendo que toda la superficie contiene una generosa cantidad de preservador.

Baño. Para este proceso se utiliza un túnel de tratamiento en el que se hacen pasar mecánicamente las piezas de madera, para ser rociadas con soluciones a base de preservadores de solvente orgánico.

Tanque abierto. En cuanto a los procesos en los que se usa un tanque abierto, se dice que es un proceso de inmersión cuando la madera se sumerge por períodos hasta de 10 min; en los tratamientos por empapado y remojo, la inmersión se continúa por algunas horas o hasta días. Como hay mayor flexibilidad respecto al período de tiempo en el que la madera permanece sumergida, es más factible controlar el nivel de tratamiento con el preservador que con brocha o aspersor.

Con el proceso de tanque abierto se utilizan ampliamente los preservadores que son solubles en solventes orgánicos, aunque la creosota se usa algunas veces.

Cualquier tanque que sea a prueba de goteo y lo bastante fuerte para soportar el peso de la madera más la solución preservadora, es adecuado para el tratamiento por inmersión. Es necesario mantener sumergida la madera en la solución, lo que puede lograrse manualmente cuando las piezas de madera son pequeñas y el período de inmersión es corto, o bien se puede recurrir al uso de pesas que mantengan la madera sumergida. Para grandes piezas de madera se pueden utilizar un elevador o una grúa, que junto con pesas o jaulas mantengan sumergida toda la madera. Muchos tratamientos de inmersión se llevan a cabo a temperatura ambiente, de manera que no se necesita equipo de calefacción.

En la actualidad, hay plantas de inmersión modernas que satisfacen los requerimientos de producción de las ensambladoras manufactureras. El proceso ha sido simplificado por el uso de jaulas especiales que logran mantener la madera sumergida en el preservador por un período específico controlado, según sea necesario.

Tratamiento por difusión en madera verde. En este tratamiento sólo puede utilizarse madera verde o parcialmente seca a diferencia de los otros tratamientos que se aplican a madera completamente seca. Este proceso consiste en aplicar un preservador hidrosoluble (en una solución concentrada) en la superficie de la madera, que después es aplicada en condición húmeda. Las pilas de madera tratada se cubren para restringir la desecación y para permitir que una cantidad suficiente de las sales del preservador se difundan hacia el centro de las piezas de madera. El tiempo requerido para la difusión es de unos 30 días para material pequeño y hasta 90 días para madera de mucho grosor que requiere de gran penetración. Con este método no hay un alto grado de control sobre la retención del preservador, pero sí respecto a la penetración. Este proceso es más efectivo cuando se usa una solución más concentrada de

preservador que proporcione una retención inicial bastante alta en la superficie de la madera. Las soluciones con compuestos de boro son bastante solubles y muy usadas con este tipo de tratamiento.

Proceso de célula llena. Durante este proceso la madera madura se coloca en el cilindro hermético de tratamiento, se aplica un vacío inicial y la presión se reduce a menos de 0.75 bar o más baja (560 mm de Hg en el medidor de vacío), de 15 min a una hora. Mientras que se mantiene el vacío, el cilindro se llena con el fluido preservador. Posteriormente el vacío se pierde por la aplicación de presión hidráulica y aire comprimido. Después, se eleva la presión entre 10 y 14 bar y se mantiene en una o en otra por un período específico, o hasta que la cantidad de preservador deseada haya sido forzada a penetrar en la madera. La duración del período de presión puede ser de una a seis horas o más, dependiendo del tipo de material que sea tratado. Una vez transcurrido el tiempo necesario, se libera la presión, se descarga el líquido del cilindro, y se aplica un vacío final para ayudar a secar la superficie de la madera tratada. La característica distintiva de este proceso es el vacío inicial, que saca una gran parte del aire del cilindro y de la madera, lo que facilita la penetración del preservador. Cuando se aplica creosota con este proceso, se utiliza una temperatura entre los 65 y 95 °C. Los preservadores hidrosolubles se aplican normalmente a temperatura atmosférica, ya que tienden a descomponerse cuando se calientan.

Proceso de célula vacía. De éste existen dos variantes: el proceso Rueping y el proceso Lowry. La diferencia esencial entre ellos y el proceso de célula llena es que en el primer estado del proceso de célula llena hay la aplicación de un vacío inicial, que no se sigue en el proceso de célula vacía puesto que hay aire en el cilindro antes y durante el llenado. En el proceso Rueping se inyecta aire en el cilindro de tratamiento cargado a una presión de 4 bar, y se mantiene así durante 30 min, lo que asegura que una cierta cantidad de aire sea forzado a entrar en los espacios internos de la madera y

quede atrapado bajo presión cuando el cilindro se llena con el preservador. Por tanto es importante que la presión del aire inicial se mantenga en un valor constante durante todo el proceso de llenado y antes de que el período principal de presión comience. Normalmente durante el llenado, el aire desplazado se deja escapar por la parte superior del cilindro. Cuando el llenado es completo, la presión se eleva de 10 a 14 bar, lo que fuerza al preservador a entrar en la madera y a comprimir el aire atrapado en ella. Cuando la cantidad requerida de preservador ha sido absorbida por la madera, se libera la presión, se vacía el cilindro y se aplica un vacío final. Con la reducción de presión en el cilindro, el aire en la madera se expande y fuerza a salir una gran cantidad de líquido inyectado. Durante esta operación se puede recobrar una buena cantidad de preservador, dependiendo de las magnitudes relativas de las presiones inicial y de tratamiento, así como de la especie de madera que sea preservada.

El proceso Lowry difiere del Rueping solamente en que no se aplica una presión artificial inicial, sino que el preservador es bombeado dentro del cilindro con la presión atmosférica normal. Consecuentemente, la cantidad de preservador recuperado al final de proceso Lowry es menor que la del proceso Rueping. El proceso de célula vacía normalmente emplea creosota de 65 a 95 °C. Los preservadores hidrosolubles no se aplican comercialmente de esta manera.

Proceso de doble vacío. Este método utiliza la presión diferencial entre un vacío parcial creado en la madera, encerrada en un cilindro de tratamiento y la presión atmosférica externa. Con la madera encerrada en el cilindro se efectúa un vacío inicial y se inunda éste con líquido preservador. Entonces, se pierde el vacío y la presión en el cilindro aumenta, el líquido es forzado a penetrar en la madera; ésta condición se mantiene durante un cierto período, se aplica un vacío final y la madera es sacada del cilindro. El propósito del vacío final es recuperar parte del líquido absorbido por la madera, por lo que se aplica un vacío más severo que el

inicial. La absorción de preservador aumenta considerablemente empleando un alto vacío inicial. Este proceso se aplica principalmente con solventes orgánicos.

1.1.2.5. Impregnación de la madera

El grado de impregnación dado a la madera con preservadores está definido por dos parámetros principales, la penetración y la retención del preservador.

La penetración es la profundidad a la que un preservador entra en la madera. Entre los factores que afectan la penetración están: el contenido de humedad de la madera, la fluidez de la solución, la técnica de incisión, la especie de madera, la estación del año, los tipos de preservadores utilizados, la presencia de manchado en la albura, la presencia de membranas aspiradas en las punteaduras de algunas especies de madera, principalmente.

Cuando una madera contiene preservador se dice que está impregnada, y la cantidad de preservador contenido se denomina retención. Consecuentemente, la retención es la cantidad neta de preservador que es absorbida por la madera, lo que se indica como el peso de preservador que está contenido en un volumen determinado de madera. Pesando la madera antes y después del tratamiento se puede determinar la retención, así como dividiendo el peso registrado del preservador por volumen de la madera cargada. Esta retención puede expresarse en g/cm^3 , Kg/m^3 , o bien en Lb/pie^3 (Ilunt y Garrat, 1962; Kollman y Côtê, 1968; Arsenault, 1973). Según Arsenault (1973), la retención del preservador es el factor más importante que influye en la efectividad de la preservación para extender la vida de servicio de la madera tratada.

La retención del preservador en la madera está influida por algunos factores como la permeabilidad y la relación superficie-volumen. Estos dos factores son importantes por las grandes diferencias en absorción que hay según el diámetro de los troncos o postes a ser tratados.

La penetración y la retención dependen de: a) tipo de preservador y solvente utilizados; b) relación entre

preservador-solvente y método de aplicación empleado, y c) tratabilidad de la madera.

a) Tipo de preservador utilizado

Los preservadores oleaginosos pueden aplicarse tanto en angiospermas como en gimnospermas. La creosota y aceites similares penetran en el lumen de las células y en los espacios intercelulares. Los preservadores hidrosolubles penetran en la estructura de la pared celular.

Cuando los preservadores hidrosolubles pasan a través de la pared celular depositan sus sales en ella, con lo que se logra una distribución uniforme en la madera. Así sucede, por ejemplo, con las sales de cobre, cromo y arsénico de los preservadores CCA. Sin embargo, la mayor parte de las soluciones acuosas absorbidas se acumulan en las cavidades inmediatamente después del tratamiento. Cuando el preservador hidrosoluble contiene sales altamente solubles, éstas se depositan casi completamente en la pared celular como resultado de la difusión que continúa hacia dentro de ella cuando se produce la evaporación del agua libre. En cambio, cuando el preservador contiene sales de baja solubilidad, como el fluoruro de sodio, éstas se saturan al evaporarse el agua disolvente y se depositan en las cavidades celulares antes de que pueda difundirse una buena parte de ellas en las paredes celulares.

El tratamiento de madera verde por difusión se lleva a cabo con preservadores hidrosolubles que contienen sales de boro. La eficacia de los procesos de difusión depende del movimiento del líquido preservador a través de la estructura capilar de la madera con alta humedad, donde utiliza el agua presente en el material como un vehículo. Las sales preservadoras se difunden de una zona de alta concentración a una zona de cero concentración o de baja concentración, y se tiende a igualar la concentración en toda la madera. A mayor contenido de humedad más rápido se difunde el preservador en la madera (Hunt y Garrat, 1962; Purslow, 1974).

b) Relación entre preservador y método de aplicación empleado

En general, para un método de tratamiento particular sólo se utilizan ciertos preservadores; en la actualidad, según Purslow (1974) los principales preservadores y métodos empleados son los siguientes:

Oleaginosos

Tratamiento sin presión: con brocha, por aspersión, en tanque abierto (inmersión, empapado y remojado). En ocasiones se utiliza presión: proceso de célula llena y de célula vacía.

Hidrosolubles

Tratamientos sin presión: inmersión. Tratamientos a presión: procesos de célula llena y de célula vacía. Difusión en madera verde.

Solventes orgánicos

Tratamientos sin presión: inmersión. Tratamientos a presión: doble vacío.

c) Tratabilidad de la madera

Esto depende de algunas propiedades físicas de la madera, como la densidad y biológicas, como la estructura anatómica (Hunt y Garrat, 1962; Arsenault, 1973).

La densidad en su mayor parte, depende de la cantidad de madera verdadera (paredes celulares) que contiene un volumen dado. Por esto, cuando una madera está razonablemente seca, su densidad indica la cantidad aproximada de espacios libres (cavidades celulares) disponibles para contener líquidos. En consecuencia, entre mayor sea el volumen de estas

cavidades en la madera seca (es decir, cuanto menor sea su densidad), mayor absorción se obtendrá, llenándose todas las cavidades. Debido a los diversos obstáculos para la penetración, así como a las limitaciones en la duración de los períodos de tratamiento, generalmente es imposible llenar por completo todos los espacios libres disponibles, particularmente en la madera de grandes dimensiones destinada para construcción. La capa externa de albura o duramen penetrable llega a estar más o menos saturada con preservador, pero la zona interna queda tratada en menor proporción, si es que llega a impregnarse.

Generalmente, no hay correlación directa entre la densidad de la madera y la penetración obtenida, particularmente si se consideran las diferentes especies. Las razones de esta falta de correlación no son muy claras pero pueden atribuirse a las diferencias anatómicas reconocidas entre las especies de que se trate.

La estructura anatómica de la madera también afecta su tratabilidad con el preservador utilizado en los factores de impregnación, penetración y retención. Debido a que la estructura de la madera es un factor muy importante en la impregnación con preservador, la preservación de la madera debería ser investigada muy intensamente desde el punto de vista anatómico. Sin embargo, esto no es frecuente en la literatura ya que se hace más referencia a especificaciones prácticas y técnicas.

En cuanto a la estructura de la madera y su relación con la impregnación, penetración y retención del preservador, a continuación se consideran los siguientes puntos tomados de Rendle y Brazier, 1971 y Purslow, 1974.

Albura y duramen. Se reconoce mundialmente que la propiedad de durabilidad natural es más notable en la zona del duramen que en la de la albura; esto se debe principalmente a la presencia de sustancias tóxicas depositadas en el duramen, que le dan resistencia contra el ataque de hongos e insectos, e incidentalmente imparten las características de

color. Se sabe por tanto que la albura necesita ser protegida, es decir preservada, más intensamente cuando es expuesta a condiciones favorables para el ataque de organismos destructores de madera. Esto se debe a que la albura contiene almidón y otros materiales que proveen de alimento a varios insectos y hongos; consecuentemente, la albura es más susceptible que el duramen de ser atacada. También el contenido de humedad en madera recién cortada influye en que la albura sea la más susceptible al ataque.

En la madera de muchas especies la penetración de un preservador se realiza más fácilmente en la albura que en el duramen. Esto se explica por los cambios que ocurren en la madera cuando la albura se transforma en duramen. La acumulación de extractivos, gomas solidificadas, taninos, resinas y la obstrucción de vasos con tilides, ocasionan que el duramen tenga más resistencia al paso de los líquidos preservadores, mientras que en la albura hay más facilidad para que los preservadores sean absorbidos, por lo que ésta queda mejor protegida y se vuelve más durable que el duramen que ha absorbido menor cantidad de preservador.

Gimnospermas. Las gimnospermas contienen dos tipos de formas celulares, las traqueidas y las células de parénquima en los radios. Las traqueidas del árbol vivo desempeñan una doble función, la conducción de la savia y el soporte mecánico; los radios sirven sobre todo para almacenar y conducir en sentido horizontal las materias alimenticias. Ciertas maderas de este grupo se caracterizan también por la presencia de canales intercelulares verticales y radiales llamados canales resiníferos.

Cuando la madera de gimnospermas es tratada con preservadores, la penetración depende en gran parte de su circulación por los lúmenes de las traqueidas, pasando de una célula a otra por las punteaduras. La membrana de dichas punteaduras es porosa y permite el flujo de líquidos entre las traqueidas cuando la punteadura no está aspirada. Asimismo, la permeabilidad de esta membrana a los aceites pesados y a otros

líquidos viscosos, e incluso a sólidos divididos, existe pero es variable. Cuando la madera se trata a presión, los lúmenes se llenan de creosota o aceite; en cambio, con tratamientos de baja retención de preservador, éste está presente solamente como pequeñas gotas o tapones de aceite en el extremo de las células. Algunas veces la superficie de las paredes hacia los lúmenes también queda recubierta por una delgada película de creosota o de aceite (Hunt y Garrat, 1962).

En algunas gimnospermas, como pinos y otras coníferas, los radios, además de tener las células del parénquima radial, tienen traqueidas que pueden transportar radialmente y almacenar a los preservadores oleaginosos que procedan de las superficies tangenciales de la madera.

Los canales resiníferos, que son un sistema de canales verticales y radiales de intercomunicación, se pueden considerar como canales potenciales que facilitan la circulación de los diferentes tipos de preservadores en la madera durante la impregnación. Los conductos verticales mejoran la penetración del preservador desde los extremos de una pieza de madera, y los conductos radiales ayudan a la penetración por las caras tangenciales de la misma. La eficacia de estos canales para facilitar la penetración del preservador en la madera depende de su tamaño, número, distribución y continuidad, así como de la extensión en que estén obstruidos por resinas endurecidas, por materiales extraños o por tflides.

Las células del parénquima axial en las gimnospermas suelen ser difusas y no densamente agregadas, salvo en torno de los canales resiníferos verticales y en tejido herido. Aunque no contribuyen a la penetración inicial del preservador, la permeabilidad de las células que limitan estos canales pueden influir en la difusión subsiguiente de preservadores desde estos canales de distribución.

Angiospermas. Dentro de las angiospermas hay tres estructuras celulares principales: los vasos, cuya función es la de transportar el agua y los minerales; las fibras, que proporcionan soporte mecánico; y el parénquima, del cual se forman

los radios e hileras axiales de células parenquimáticas, que se encargan del almacenamiento y complementan la conducción de alimento a través del árbol.

Los vasos se consideran factores anatómicos muy importantes para la penetración inicial y depositación del preservador en la madera de angiospermas, ya que éstos sirven de paso natural para la conducción y puede decirse que la extensión con que estos elementos contribuyen a la distribución general del preservador (uniformidad del tratamiento) depende de la permeabilidad de la madera circundante y de que los vasos se encuentran libres de materias extrañas y de tñlides, así como de su tamaño, número y distribución. Todos estos factores varían mucho en las diferentes especies de madera de angiospermas.

Las fibras son importantes almacenadoras de preservadores oleaginosos porque sus lúmenes son angostos y pueden retenerlos, a pesar de la presión interna y de las fuerzas gravitacionales que causan el movimiento de los líquidos contenidos. Aunque las fibras no son factores muy importantes en la penetración inicial de los preservadores su permeabilidad puede tener gran influencia en la extensión subsiguiente de los líquidos procedentes de los vasos y de otros puntos posibles de concentración.

En cuanto a los radios, no hay pruebas de que éstos faciliten la penetración del preservador en este tipo de maderas. Esto quizá se deba a la naturaleza no sólo de las punteas duras simples que tienen las células, sino también al tamaño pequeño de ellas y al hecho de que los radios suelen estar obstruidos por protoplasma seco, materiales alimenticios almacenados y diversos extractivos, que impiden el movimiento del preservador.

Además de las células del parénquima radial, la mayoría de las angiospermas contienen series de parénquima en sentido axial, y su abundancia y distribución es variable dependiendo de las especies de que se trate. Estas células son comparables a las del parénquima radial, y no contribuyen a la

penetración inicial de los líquidos en la madera. Sin embargo, la permeabilidad de las células que rodean los vasos de ciertas angiospermas puede influir en la difusión subsiguiente del preservador desde estos canales de distribución.

Clasificación de la madera según su permeabilidad o resistencia a la impregnación. Debido a la variabilidad de la madera de diferentes especies en sus propiedades de permeabilidad o resistencia a la penetración por soluciones preservadoras, se ha intentado una clasificación de las especies (Redding, 1971).

Esta clasificación es arbitraria, pero los grupos en general son definidos como siguen:

Permeable (P): estas maderas pueden ser penetradas completamente, bajo presión, sin ninguna dificultad y pueden ser fuertemente impregnadas por el proceso de tanque abierto.

Moderadamente resistente (MR): estas maderas son relativamente fáciles de impregnar y esto debe ser posible para obtener una penetración lateral de 6-18 mm después de 2-3 horas bajo presión, o para penetrar una larga proporción de los vasos.

Resistente (R): estas maderas son difíciles de impregnar bajo presión y requieren un largo período de tratamiento. Frecuentemente la penetración de ellas es impracticable lateralmente más allá de 3-6 mm. La incisión es algunas veces usada comercialmente en este tipo de madera en un intento para mejorar la penetración.

Extremadamente resistente (ER): estas maderas absorben solamente una muy pequeña cantidad de preservador después de un largo tratamiento con presión. La penetración lateral es mucho menor que 0.5 mm y la penetración longitudinal es también muy pequeña.

Aunque esta clasificación está obtenida por tratamiento con creosota, en general esto puede aplicarse también para el tratamiento con otros preservadores.

1.1.3. Pruebas de toxicidad hacia hongos xilófagos y métodos de evaluación de los preservadores

Los preservadores para madera son estudiados en el laboratorio con el fin de conocer su toxicidad, su capacidad de penetración, sus propiedades que influyan sobre la resistencia al fuego, su efecto en los herrajes (corrosión) o en los acabados para madera, así como para adquirir información sobre su estabilidad química, su permanencia en la madera, y la cantidad relativa de la substancia necesaria para la protección de la madera contra diversos hongos. Todo esto ayuda a determinar si la substancia ensayada puede utilizarse como preservador eficaz para la madera.

La toxicidad de los preservadores, que por lo general es una de las propiedades principales que se toman en cuenta, se evalúa en el laboratorio bajo condiciones controladas. Estas pruebas se caracterizan por poner el hongo de prueba en condiciones óptimas para su desarrollo en la madera, o en un medio de cultivo, con la sola variante de incluir el preservador en la madera, o en el medio de cultivo, a diferentes concentraciones, según sea el método utilizado. De esta manera, se puede determinar el umbral en el que el preservador es letal para el hongo lo que se llama punto muerto o punto letal del preservador. A una concentración más baja que la del umbral, que evita el desarrollo de hongos, pero sin matarlos, es decir, inhibe su crecimiento, se le llama punto de inhibición total.

Para conocer la concentración necesaria que inhiba el crecimiento del hongo y aquella que lo mata, se recomienda determinar la condición del inóculo al final del período de incubación, transfiriéndolo a placas de medio de cultivo nutritivo sin substancias tóxicas; si no ocurre crecimiento alguno en las placas después de 14 días, el hongo podrá ser considerado muerto (Schmitz, et al. 1931).

Cada preservador tiene diferentes puntos letales y de inhibición total con respecto a un mismo hongo, por lo tanto, estos valores también serán diferentes para cada especie de

hongo. Por esto, los valores experimentales sólo son comparables entre sí cuando se van a determinar para el mismo organismo bajo métodos de ensayo similares.

Las pruebas de toxicidad más conocidas han sufrido muchas modificaciones, pero se ha tratado de aplicar métodos uniformes por medio de normas nacionales e internacionales.

Existen muchos y variados métodos para probar y evaluar la toxicidad de sustancias consideradas como posiblemente tóxicas; en este trabajo se siguieron básicamente dos métodos, con algunas modificaciones hechas por Pinzón-Picaseño et al. (1982).

-Método malta agar, normalizado por un congreso llevado a cabo en el Jardín Botánico de Missouri en 1929 y descrito en 1931 por Schmitz y colaboradores anónimos (Schmitz et al., 1931). Puede evaluarse la actividad tóxica del preservador hacia los hongos xilófagos, mediante el uso de un preservador en concentraciones gravimétricas y en escala logarítmica, que trata de inhibir el crecimiento del hongo en la placa de agar. Los resultados obtenidos se evalúan por mediciones en el crecimiento diametral, así como por la determinación de puntos de inhibición total y letal.

-Método suelo-bloque, adoptado como la norma M10-63 de la American Wood Preservers' Association en 1963 y confirmada en años posteriores (American Wood Preservers' Association, 1971). La evaluación para este método se hace mediante el cálculo de la pérdida de peso en bloques de madera (conteniendo preservador y el hongo), después de un período de incubación. Si al comparar el peso inicial (después de la impregnación) con el peso final (después de la incubación) hay una pérdida moderada de peso, el preservador resulta no ser muy tóxico. Cuando se presenta una pérdida de peso menor en los bloques, el preservador resulta ser muy eficaz.

1.2. Antecedentes

En Mexico, la investigación sobre preservación de made-

ra ha sido realizada esporádicamente:

Guzmán del Proo (1963) comparó la toxicidad del alquitrán de una palma (el coyol), con la creosota y el pentaclorofenol hacia tres hongos xilófagos (*Polyporus tulipiferae*, *Trametes hispida* y *Schizophyllum commune*) y encontró que este aceite de alquitrán fue demasiado viscoso y su toxicidad menor a la de los preservadores, aunque el método de evaluación (suelo-bloque) fue inadecuado por basarse en la exuberancia del micelio, en lugar de tomar en cuenta la pérdida de peso ocurrida en la madera debido a la acción de los hongos sobre ella.

Burillo et al. (1973) desarrollaron un método de inspección para madera tratada con preservador que contiene sales de cobre, cromo y arsénico, basada en una dilución isotópica con detectores radioactivos, demostrando ser muy sensible y preciso. Esta técnica es segura y provee de un rápido y económico control de calidad.

Obrégón Arceo y Echenique-Manrique (1974) realizaron aislamientos e identificación de hongos atacando postes de madera preservada; con base en las características culturales del micelio, y encontraron 3 hongos: *Lentinus lepideus*, *Polyporus mollis* y *Poria monticola*, pero sin llegar a demostrar su papel en el deterioro de los postes.

Pinzón-Picaseño y Echenique-Manrique (1974) realizaron el primer ensayo fidedigno para la evaluación toximétrica de cuatro preservadores comerciales para madera (creosota, pentaclorofenol, CCA tipo A o Greensalt y CCA tipo B o Sal Boliden k-33), utilizando 4 hongos xilófagos aislados en México (*Lentinus lepideus*, *Poria monticola*, *Lenzites trabea* y *Peniophora* sp.) en madera de *Pinus pseudostrobus* y *P. douglasiana*. Encontraron que *L. lepideus* fue el hongo más dañino a la madera de *P. pseudostrobus* sin preservador; *Peniophora* sp. fue la menos dañina a la madera de las dos especies no tratadas con preservador. Encontraron además las retenciones mínimas de preservador por volumen de madera suficientes para evitar el deterioro por estos

hongos, es decir sus valores umbrales.

Pinzón-Picaseño y Echenique-Manrique (1976) hicieron una recopilación bibliográfica y presentaron de una manera concisa y esquemática, aunque no completa, los mecanismos químicos de fijación en la madera y el efecto tóxico hacia los hongos de los preservadores compuestos por sales de cobre, cromo y arsénico.

Herrera Rodríguez (1977) presentó una serie de opciones para llevar a cabo la preservación de piezas de madera para estructuras por métodos sencillos y económicos, muy útiles para su uso en el campo.

López Guerrero (1979) llevó a cabo una serie de ensayos para la caracterización de 20 cepas de hongos xilófagos de procedencia extranjera, desde el punto de vista de su papel como organismos degradadores de la madera. Esta autora integró varias técnicas para determinar el tipo de pudrición causada por los hongos con los que trabajó, evaluar su capacidad de producir pudrición y estimar su tolerancia a preservadores para madera. Entre estos ensayos incluyó modificaciones para estimar la tolerancia de los hongos hacia la creosota y añadió un método de evaluación con base en los porcentajes relativos de crecimiento diametral.

Véliz Ávila (1982) realizó una serie de ensayos para la caracterización de 22 cepas de hongos xilófagos, provenientes de una región tropical de México (Los Tuxtlas, Ver.), con el mismo enfoque y metodología que en el trabajo anterior, aunque añadió una escala para designar niveles de tolerancia hacia los preservadores.

Hernández Jiménez (1984) trabajó con otras 20 cepas de hongos xilófagos provenientes de Los Tuxtlas, Ver., determinó y evaluó su tipo de pudrición, su agresividad hacia la madera y su tolerancia a un preservador para madera (creosota), siguiendo las técnicas empleadas por López Guerrero, (1979) y Véliz Ávila, (1982).

Estos tres últimos trabajos, realizados en el Laboratorio de Biodeterioro y Preservación de Productos Forestales

del Instituto de Biología de la UNAM recabaron información sobre tolerancia a la creosota para 60 cepas de hongos xilófagos; los datos se consideran básicos para posteriores investigaciones sobre tolerancia de estas mismas cepas hacia otros preservadores, así como para contribuir a la obtención de fundamentos para el control químico específico de estos hongos.

En la búsqueda de posibles preservadores, surgió la idea de evaluar el aceite usado de motor ya que, con base en el conocimiento empírico que se tiene de su uso, este producto parece proteger del deterioro a la madera de cimbra para construcción, pues en tal uso el material está expuesto a la intemperie, al cemento fresco, a los hongos, a los insectos, etc.

En un ensayo experimental preliminar sobre la evaluación del aceite usado de motor como posible preservador para madera, realizado por un grupo de estudiantes de la Facultad de Ciencias de la UNAM dirigido por el M. en C. Luis M. Pinzón Picaseño en el Laboratorio de Biodeterioro y Preservación de Productos Forestales (Ortiz Santillán et al., 1983), se utilizó aceite usado de motor como posible preservador de madera. Se observó que dicho aceite tuvo un ligero efecto inhibitor del crecimiento de tres cepas de hongos xilófagos (*Ganoderma applanatum*, *Lentinus lepideus* y *Daedalea quercina*), efecto que se comparó con el preservador comercial CCA-A (sales de cobre, cromo y arsénico tipo A). Los resultados obtenidos mostraron que, obviamente, el CCA fue más tóxico que el aceite; sin embargo, bajo las mismas condiciones experimentales, para las mismas especies de hongos xilófagos, la toxicidad del aceite fue en dos casos superior a la observada para la creosota, según los resultados de López Guerrero (1979).

1.3. Objetivos y fundamentos

A partir de estos antecedentes, el presente trabajo pretende realizar una comprobación experimental más estricta del efecto tóxico hacia hongos xilófagos causado por el acei

te usado de motor y compararlo con el de la creosota, utilizando ambas sustancias tóxicas por separado y mezcladas en igual proporción.

Los hongos seleccionados para la realización de este trabajo fueron cepas de *Lenzites trabea*, *Poria monticola* y *Lentinus lepideus*. Las dos primeras cepas fueron catalogadas como altamente agresivas hacia la madera, lo que es indicativo de su importancia como organismos degradadores de ella, mientras que la tercera especie fue registrada como agresiva, de acuerdo con los resultados de López Guerrero (1979). Estos hongos pertenecen a los basidiomicetes y causan pudrición morena en la madera.

Las dos últimas especies de hongos mencionados han sido aisladas en México de postes para líneas de conducción eléctrica, de la Comisión Federal de Electricidad, tratados con creosota (Obregón Arceo y Echenique-Manrique, 1974), lo que indica que estos hongos son capaces de prosperar después de algún tiempo, aun en madera trada con dicho preservador, o bien que son tolerantes al mismo, lo que refuerza la idea de encontrar otros productos más adecuados para su control.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Hongos utilizados

Las tres especies de hongos utilizados en este trabajo se clasifican según Ulloa y Hanlin (1978), de la siguiente manera:

Reino Fungi

División Eumycota

Subdivisión Basidiomycotina

Clase Holobasidiomycetes

Orden Agaricales

Familia Tricholomataceae

Género *Lentinus*

- 1) Especie *L. lepideus* Fr. = *L. squamosus*
(Schaeff.) Quéf.

Orden Aphyllophorales

Familia Polyporaceae

Género *Poria*

- 2) Especie *P. monticola* Murr. (= *P. microspora*
Overholts)

Género *Lenzites*

- 3) Especie *L. trabea* (Pers.) Fr. = *Trametes*
trabea (Pers.) Bres., *T. protracta*
Fr., *L. thermophila* Falk., *Gloeophyllum*
trabeum (pers.) Murr.

La cepa de *Lentinus lepideus* utilizada en este trabajo con número de registro FPRL 7 B, fue aislada en Alemania (Forest Products Research Laboratory, 1969), y es la misma cepa utilizada por López Guerrero, 1979, y Ortiz Santillán, et al., 1983.

L. lepídeus se encuentra distribuido mundialmente, en particular en Europa y en Norte América, aunque no es muy abundante. En los bosques se desarrolla en tocones de coníferas y en madera trabajada que ha sido mal preservada con creosota. Se encuentra asociado con la pudrición de durmientes, puentes de madera y postes de líneas de telégrafos, energía eléctrica y teléfono. También es uno de los hongos más importantes que causan pudrición en las maderas usadas en minas, y ha sido encontrado ocasionalmente en construcciones, provocando daños severos (Cartwright y Findlay, 1958). En México, este hongo ha sido hallado en troncos de pinos, madera de construcción y durmientes de ferrocarril (Guzmán, 1977), y causando mucho daño en postes de madera de coníferas tratados con creosota (Obregón Arceo y Echenique-Manrique, 1974).

L. lepídeus es causante de pudrición morena, atacando principalmente el duramen aunque rara vez ataca el duramen de pinos vivos; cuando así lo hace no se restringe a ninguna porción particular del tronco (Cartwright y Findlay, 1958). En los estados tempranos de la pudrición ocasionada por este hongo, sólo son causadas pequeñas alteraciones visibles de la madera. En el estado avanzado de la pudrición, la madera llega a obscurecerse más de lo normal, agrietándose a lo largo y a través del grano.

En la superficie de la madera podrida se puede presentar una capa de micelio suave, y la mayor parte de esta capa presenta un color blanquecino, aunque son frecuentes los matices cafés y café-púrpura oscuro. La pudrición ha sido descrita por Wagener (1929, citado por Cartwright y Findlay, 1958) quien notó la consistencia pegajosa de la madera podrida. El micelio es moderadamente abundante en la madera podrida, y en los estados avanzados de la pudrición las hifas pueden desaparecer en gran proporción, dejando perforaciones y cristales que marcan su presencia previa. El diámetro de las hifas en la madera es generalmente de 1-2.5 μm , aunque ocasionalmente se forman numerosas y grandes perforaciones, con un promedio de 8 μm y algunas veces por arriba de 12 μm de

diámetro; éstas pueden ser redondas u ovaladas. En las hifas frecuentemente se encuentran conexiones en grapa o fíbulas.

Este hongo crece moderadamente en malta agar y su incremento diametral diario en cultivo en placa es aproximadamente de 10 mm, a la temperatura óptima, que es alrededor de los 27°C. La máxima temperatura a la que puede crecer es de 37°C aproximadamente.

L. lepídeus puede causar una rápida pudrición, con la consecuente pérdida de peso, en la madera de muchas coníferas. En común con otros hongos que causan pudrición morena, ataca principalmente la celulosa, dejando casi intacta la lignina (Bray y Andreus, 1924, citado por Cartwright y Findlay, 1958). Es notablemente resistente a la creosota con una concentración mayor de 4%; por otro lado, este hongo es muy sensible a ciertos preservadores solubles en agua, como el cloruro de zinc y fluoruro de sodio. Richards (1929, citado por Cartwright y Findlay, 1958) cultivó este hongo en agar y encontró que una concentración de 0.075% de cloruro de zinc resultó tóxica e inhibió su crecimiento.

La cepa de *Lenzites trabea* utilizada en este trabajo con número de registro FPRL 108 E, fue aislada de Kenia (Forest Products Research Laboratory, 1969). Dicha cepa fue utilizada por López Guerrero, 1979.

L. trabea se encuentra comúnmente en el centro y sur de Europa y en América. Es un importante agente en la destrucción de madera almacenada y en construcciones hechas de madera. Típicamente aparece en angiospermas pero puede atacar gimnospermas. Snell (1922, citado por Cartwright y Findlay, 1958) sugirió que este hongo era de los más destructivos de la madera de coníferas que se utiliza en los techos de las fábricas de fibras textiles. En ocasiones, también ha sido hallado en la madera empleada en la construcción de automóviles. Esta especie causa pudrición morena.

La apariencia de este hongo en cultivo fue descrita por Cartwright et al. (1931, citado por Cartwright y Findlay, 1958). Al principio, el micelio es afelpado, blanco y lanoso,

pero lentamente llega a colorearse anaranjado-ante o salmón. En agar inclinado, un cultivo maduro muestra un crecimiento profuso, con un denso cojín velludo y suave en la parte superior de la superficie inclinada del medio, mientras que en la parte inferior de dicha superficie el crecimiento es limitado, poco profundo, y de color amarillo o crema.

Bajo el microscopio, las hifas de este hongo aparecen hialinas o amarillas; miden de 1.5-3.5 μm de diámetro. Las conexiones en grapa o fíbulas son frecuentes y las esporas secundarias se forman abundantemente; las clamidosporas, que son ovales o elípticas de 6.40 x 6-10 μm , pueden presentarse terminal o intercaladamente. En el micelio también se forman oídios, que son esporas de origen asexual.

La principal característica de estos hongos es su capacidad para crecer rápidamente a altas temperaturas; la temperatura óptima es de 35°C y la máxima por arriba de 40°C, razón por la que aparece en países con clima cálido. Es extremadamente resistente a la desecación y ha sido reportado que sobrevive más de 10 años en madera que contiene sólo 12% de humedad (Cartwright y Findlay, 1958).

Según los ensayos de López Guerrero (1979), la cepa de *L. trabea* fue considerada como tolerante a la presencia de creosota cuando ésta se aplica como preservador en un medio de cultivo.

La cepa de *Poria monticola* utilizada en este trabajo con número de registro FPRL 304 D (Madison 698), fue aislada en Estados Unidos de Norte América (Forest Products Research Laboratory, 1969). Dicha cepa fue utilizada por López Guerrero en 1979.

P. monticola causa la pudrición de muchos árboles de coníferas y de la madera que se utiliza en la construcción de buques, canoas, etc., en donde la humedad puede extenderse hasta el área colonizada y favorecer que los hongos se activen y expandan de nuevo. Este hongo, que tiene un micelio de aspecto algodonoso, de color blanco, causa también pudrición morena. En el estado temprano de la pudrición,

la madera atacada presenta muy poca alteración visible, por lo que el hongo no puede ser detectado. Las primeras indicaciones de la pudrición incipiente son rayas indefinidas o parches elongados de color amarillo moreno o rosa moreno; con la punta de un cuchillo se puede constatar que la madera podrida se debilita y fragmenta, porque sus fibras se rompen. Cartwright et al. (1931, citado por Cartwright y Findlay, 1958) encontraron que una pudrición incipiente causada por este hongo ocasiona una inmediata y seria pérdida de resistencia, particularmente de la flexibilidad. En un estado más avanzado se forman paquetes morenos, por la pudrición cuboidal de la madera.

La apariencia de las hifas en secciones de madera podrida ha sido descrita por Cartwright et al. (1930, citado por Cartwright y Findlay, 1958) quienes encontraron la penetración de hifas en las paredes de las traqueidas. Las hifas jóvenes en la madera son muy finas (2-4 μm de diámetro) y llevan conexiones en grapa simples; a veces miden 3-9 μm , y en algunas de estas se desarrollan clamidosporas terminales o intercalares.

La apariencia de las hifas en cultivos de agar ha sido muy bien descrita por Nobles (1943, citado por Cartwright y Findlay, 1958). En la zona de avance, las hifas son hialinas, de pared delgada (2.5-6 μm de diámetro) y lleva numerosas clamidosporas. Las clamidosporas intercalares o terminales son numerosas en el micelio sumergido y también ocasionalmente aparecen en el micelio aéreo. El crecimiento del micelio es moderadamente rápido en cultivo; en una placa de agar a 25°C muestran alrededor de 10 mm de incremento diametral por día. Causa una rápida pérdida en el peso seco de bloques de madera. La temperatura óptima de crecimiento de este hongo es alrededor de 28°C y la máxima está por arriba de los 35°C. En la pudrición el ataque está más o menos confinado a la celulosa y a las pentosas.

2.2. Creosota y aceite usado de motor

La creosota es un subproducto obtenido a partir del

carbón de hulla. Consiste principalmente en hidrocarburos aromáticos, sólidos y líquidos, y contiene notables cantidades de ácidos y bases de alquitrán. Es más pesada que el agua, y tiene un rango continuo de ebullición de 125°C, al menos, comenzando alrededor de los 200°C.

Al destilar el alquitrán de hulla, las primeras fracciones contienen los llamados aceites ligeros, y el residuo que queda, al completarse el proceso, es la brea. La fracción líquida, de ebullición más elevada, que se recupera entre estas dos clases generales del producto, se denomina creosota. La creosota no es una sola sustancia química, sino una mezcla que contiene un gran número de compuestos, muchos de ellos fenólicos. El carácter de la creosota de alquitrán de hulla que se utiliza en la industria de conservación de la madera puede variar en cierto grado. Sin embargo, una ligera diferencia en la composición de los aceites preservadores no le impide prestar un buen servicio, y se puede esperar una eficacia satisfactoria de cualquier creosota de alquitrán de hulla que no difiera mucho de la creosota normal.

Según Hunt y Garrat (1962), los componentes orgánicos de los que está formada la creosota son: ácidos de alquitrán (fenoles, cresoles, xilenoles, naftoles), bases de alquitrán (piridinas, quinolinas, acridinas), e hidrocarburos (benceno, tolueno y fluoreno). La creosota ensayada en este trabajo fue donada por Asarco Mexicana, S. A. Su análisis realizado por la Secretaria Química de la Comisión Federal de Electricidad, mostró la siguiente composición:

Material insoluble en benceno	0.2%
Residuo de coque (% en peso)	3.0% *
Densidad (gravedad específica 38/15.5 °C)	1.06%
Agua (% en volumen)	0.12%

Destilación de creosota libre de agua:

Producto obtenido hasta 210 °C	10.3%
Producto obtenido hasta 235 °C	22.6%
Producto obtenido hasta 270 °C	51.5%
Producto obtenido hasta 350 °C	89.4% *
Residuo	10.6% *

Gravedad específica de las fracciones:

Destilación de 235 a 315 °C	1.03%
Destilación de 315 a 355 °C	1.11%

Los puntos marcados con asteriscos indican variaciones ligeras con respecto a las especificaciones de la Norma ASTM D390 - 64 (American Society for Testing and Materials, 1967c).

El aceite empleado para esta prueba fue obtenida de la recolección de aceite usado de motor de un automovil, desconociéndose los elementos contenidos en él debido a que no se hizo su análisis químico. Este aceite proviene de la misma muestra utilizada por Ortiz Santillán, et al., 1983, quienes realizaron una prueba de ebullición, determinando que el aceite quemado empezó a vaporizar ligeramente a los 120 °C y que el punto máximo de ebullición, y por lo tanto de destilación, se alcanzó a los 215 °C.

2.3. Métodos de ensayo

Los dos métodos de ensayo de los preservadores fueron in dependientes entre sí, pero sus resultados se pueden complementar, como se indica en la sección correspondiente. Un método fue el de malta agar conteniendo el preservador; este método fue inicialmente descrito por Schmitz et al. (1931), pero se utilizó con algunas modificaciones propuestas por Pinzón-Picaseño et al. (1982). El otro método fue el de suelo -bloque, que es el que utilizan en el Princess Risborough Laboratory del Reino Unido, también con pequeñas modificaciones de Pinzón-Picaseño et al. (1982).

2.3.1. Fase inicial de cultivo

La primera etapa consistió en la obtención de suficiente inóculo, con vigor homogéneo de crecimiento. Las cepas fueron

resembradas en cajas de petri (10 cajas por cepa) con malta agar (extracto de malta 30 gr, agar 25 gr, agua destilada 1l) e incubadas en una cámara de acondicionamiento con alta humedad relativa a 26 °C y obscuridad, durante 14 días, para obtener un micelio homogéneo que es utilizado en los dos métodos de ensayo que se utilizaron para conocer el grado de toxicidad de los preservadores hacia los hongos de prueba, y que se describen a continuación.

2.3.2. Método malta agar

Dentro de este método hay dos fases: a) la de cultivo inicial para la obtención del inóculo y b) la de incorporación al medio de preservadores a concentraciones gravimétricas y la consiguiente inoculación en el medio de cada uno de los hongos de prueba. La obtención del inóculo ya se describió. La fase b se desarrolló del siguiente modo:

Se utilizaron las concentraciones de medio de cultivo de Schmitz et al. (1931): agar 15 gr, extracto de malta 25 gr, agua destilada 1l. El medio de cultivo se puso en matraces con tapadera de rosca aflojadas un cuarto de vuelta, se incorporó en autoclave; a cada matraz se adicionó el preservador a concentraciones en escala logarítmica y con base a mediciones gravimétricas (Tabla 1). Los matraces con medio y preservador se homogeneizaron mecánicamente lo mejor posible y se esterilizaron en autoclave a 15 Lb/pie², durante 20 min. Una vez estéril, el medio con preservador fue vaciado a cajas de petri, aproximadamente 25 ml por caja, dentro de una campana estéril de flujo laminar. Las cajas con el medio solidificado fueron guardadas dentro de cajas grandes de plástico (camiseras) y colocadas dentro de un cuarto de incubación a 26 °C, con alta humedad relativa y en obscuridad, durante 3 días para probar su esterilidad. Posteriormente, las cajas petri fueron inoculadas con los hongos de ensayo provenientes de la fase de cultivo inicial (Tabla 2).

La inoculación se hizo con un sacabocados circular, previamente esterilizado en alcohol y flameado, y del cual se obtienen discos de micelio y agar de un cm de diámetro. Se ---

TABLA 1
 CONCENTRACIONES GRAVIMETRICAS DE LAS SUBSTANCIAS
 ENSAYADAS PARA LOS METODOS MALTA AGAR Y SUELO-BLOQUE

ACEITE	CREOSOTA	MEZCLA (1:1)
0.0	0.0	---
0.1	0.1	---
1.0	1.0	1.0

TABLA 2
 REPETICIONES EMPLEADAS PARA CADA VARIABLE EN EL
 METODO MALTA AGAR

PRESERVADOR	CONCENTRACION % GRAVIMETRICA	HONGOS		
		<i>Lentinus lepideus</i> FPRL 7 B	<i>Lenzites trabea</i> FPRL 108 E	<i>Poria monticola</i> FPRL 304 D
SOL. TESTIGO	0.0%	10	10	10
ACEITE	0.1%	10	10	10
ACEITE	1.0%	10	10	10
CREOSOTA	0.1%	10	10	10
CREOSOTA	1.0%	10	10	10
MEZCLA 1:1	1.0%	10	10	10
TOTALES		60	60	60

colocó un disco en la parte central de cada placa de agar, las placas inoculadas se incubaron bajo las mismas condiciones mencionadas para la prueba de esterilidad, pero durante 14 días, colocándolas dentro de las cajas camiseras por grupos de testigos, hongos y preservadores. Durante el período de incubación, se tomaron lecturas del crecimiento diametral en mm de la colonia cada dos días, tanto de las cajas testigo como de las que contienen los preservadores de prueba. Se hicieron tres mediciones del diámetro de la colonia, tomadas a un ángulo de 120° entre sí, y se promediaron los valores.

De las 10 repeticiones de cada hongo a cada concentración de preservador probada, se tomó el promedio de las tres mediciones de cada caja; así se tuvieron 10 valores promedio, que a su vez fueron promediados para dar un valor final de crecimiento en mm alcanzado por el hongo a cada una de las concentraciones del preservador en un tiempo determinado.

Para obtener el porcentaje relativo de crecimiento de las colonias de cada hongo, con respecto al crecimiento total del testigo, se aplicó la fórmula de % relativo:

$$\% R = \frac{100 \times Ce}{Ct}$$

En donde Ce es el crecimiento experimental y Ct el crecimiento del testigo. Para emplear esta fórmula, a todos los valores tanto experimentales como testigos, se les restó la medida del inóculo que en este caso fue de 10 mm.

La razón para utilizar el porcentaje relativo de crecimiento es el poder comparar las gráficas obtenidas con diversos hongos, uniformando todos los valores de acuerdo con un mismo patrón. Transformando todos los valores de crecimiento absoluto en mm a crecimiento en % relativo.

En el diagrama 1 se encuentra la ruta de ensayo seguida en este método para visualizarlo mejor.

2.3.3. Método suelo-bloque

Para realizar este método se procedió a la preparación de:

- 1) Cámaras de pudrición
- 2) Bloques de madera impregnados con el preservador
- 1) Preparación de cámaras de pudrición

Las cámaras de pudrición consistieron en frascos conserveros de 235 ml de capacidad, de 6 cm de diámetro y con tapadera de rosca sin empaque. A cada uno de estos frascos se le añadieron 30 ml de agua destilada para proporcionar un 130 % de la capacidad de retención de agua del suelo. Posteriormente se agregó el suelo, aproximadamente medio frasco (118 cm³), y se niveló en su superficie. Se utilizó suelo proveniente del Volcán del Xitle (de la Sierra del Ajusco, D.F.) a 3000 m de altitud, del horizonte 0-20, con las siguientes características: capacidad de retención de agua de 39.9%; pH 5.7; el volumen normalizado del suelo (118 cm³) fue secado al aire, tamizado en un tamiz # 10 (2 mm) y compactado ligeramente; cada porción de suelo tuvo un peso de 98.8 g. Estas características están de acuerdo con las especificaciones de las normas ASTM designación D1413-61 y ASTM D2017-63 (American Society for Testing and Materials, 1967 a, b) y AWPA M10 71 (American Wood Preservers' Association, 1971).

En la superficie del suelo contenido en cada frasco fueron colocados los bloques de madera impregnados. Los frascos fueron cerrados con las tapas aflojadas un cuarto de vuelta y fueron esterilizados en el autoclave a 15 Lb/pul² durante una hora, quedando así listos para ser inoculados.

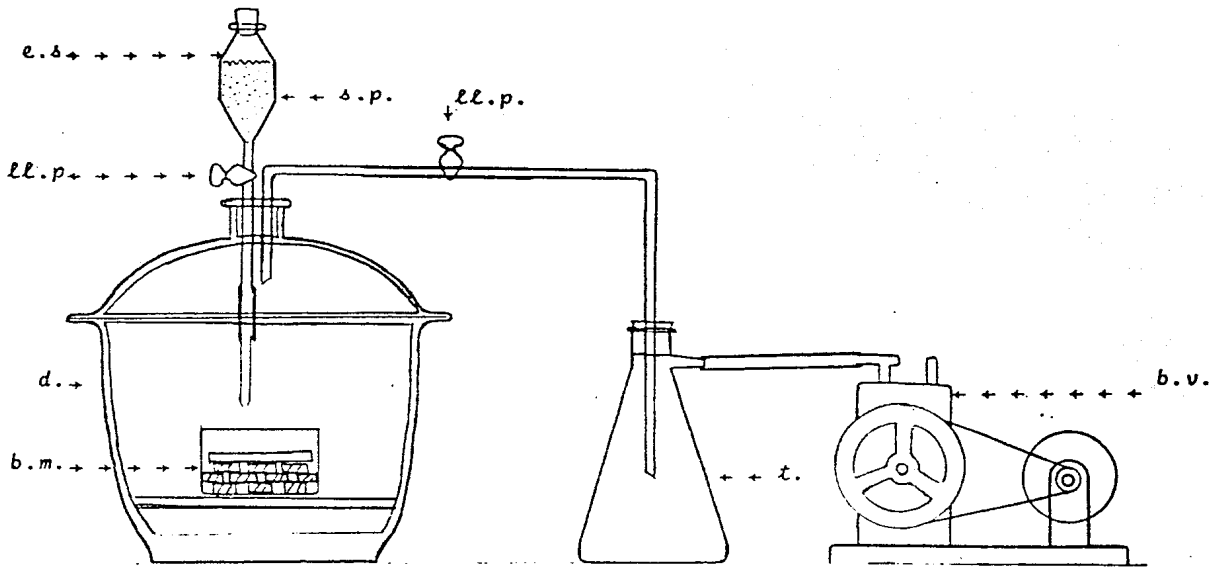
- 2) Preparación de bloques de madera con los preservadores

Los bloques de madera de albura de pino tuvieron las medidas 5x10x30 mm, con la dimensión mayor en el sentido del grano longitudinal de la madera. Dichos bloques fueron seleccionados de la siguiente manera: al azar, por color similar, libres de defectos, y tomando también en cuenta proporción y uniformidad en los anillos de crecimiento; una vez escogidos los bloques, estos fueron marcados con lápiz del 1 al 220. Posteriormente fueron colocados en charolas de aluminio para un tratamiento inicial de secado en el horno durante 20 horas a 105 °C. Al cabo de este tiempo se pesaron para obtener el

peso anhidro (P_a), y su volumen anhidro (V_a) se obtuvo midiendo cada bloque con un micrómetro por sus tres lados, largo, ancho y grosor. Posteriormente, todos los bloques fueron colocados en desecadores con gel de sílice y se mantuvieron ahí hasta el momento de la impregnación. Para la impregnación, se utilizó un aparato impregnador de laboratorio (esquema 1). Los bloques numerados fueron colocados dentro de vasos de precipitado, con pesas de vidrio, para evitar la flotación, según las diferentes concentraciones de solución (Tabla 1). Cada vaso de precipitado conteniendo los bloques fue introducido en el aparato impregnador. La solución de tratamiento correspondiente a cada vaso de precipitado con bloques fue colocada en el embudo de separación superior del aparato impregnador. Posteriormente fue provocado dentro del aparato un vacío de 10.9 mm de mercurio durante 20 min por medio de una bomba neumática. Una vez hecho esto, fue interrumpido el vacío y fue abierta la llave del embudo bañando con la solución preservadora los bloques contenidos en el vaso de precipitado; éste fue sacado del aparato después de restablecerse la presión atmosférica (abriendo el aparato) y manteniendo los bloques sumergidos en la solución preservadora durante 30 min, al cabo de los cuales fue extraído cada bloque para ser secado superficialmente en papel de estraza y pesado en la balanza analítica para obtener el peso tratado (P_t) después de la impregnación. Todo esto fue repetido para cada vaso de precipitado con los bloques tratados con las soluciones a diferentes concentraciones de cada preservador utilizado. Una vez pesados todos los bloques estos fueron dejados en charolas de aluminio, expuestos al aire durante cinco días para que se secaran.

Con los valores obtenidos de peso anhidro (P_a) y peso después de la impregnación (P_t), se obtuvo la cantidad de solución absorbida por los bloques (S_a).

$$P_t - P_a = S_a$$



Esquema 1. Aparato impregnador de laboratorio: *b.m.* bloques de madera; *d.* desecador; *ll.p.* llave de paso; *e.s.* embudo de separación; *s.p.* solución preservadora; *t.* trampa; *b.v.* bomba de vacío.

Para obtener los gramos de soluto absorbido por los bloques (GSA), se multiplicó el valor en gramos de solución absorbida por las concentraciones de la solución, lo que queda:

$$\text{Sa} \times \text{concentración de la solución} = \text{GSA}$$

*También equivale a los gramos de soluto por cada gramo de solución.

También se obtuvo la retención real de preservador en los bloques (Rb) tanto en gr/cm^3 como en Lb/pie^3 . Para calcular en gr/cm^3 se divide el valor en gramos de soluto absorbido (GSA) entre el volumen anhidro (V_a) de cada bloque.

$$\text{GSA} / V_a = \text{Rb} \quad (\text{Rb}) \text{ Retención en } \text{gr/cm}^3$$

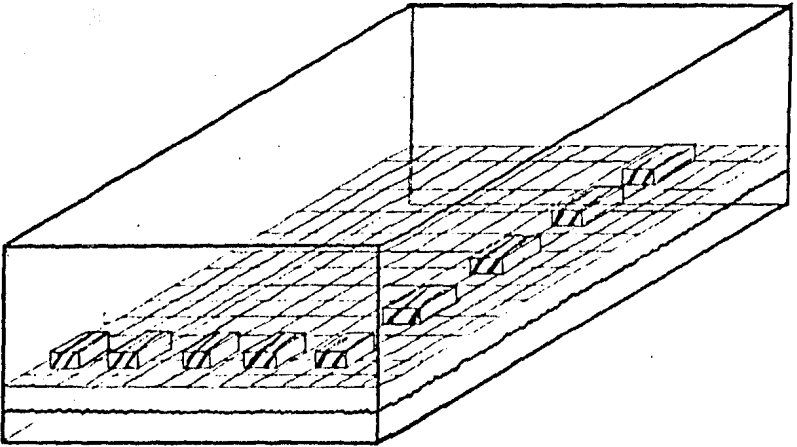
Para obtener la retención en Lb/pie^3 se incluyó un factor de conversión:

$$\frac{\text{GSA} (62.4)}{V_a} = \text{Rb} \quad (\text{Rb}) \text{ Retención en } \text{Lb/pie}^3$$

Después de haber realizado la impregnación y de que los bloques permanecieron secándose al aire, se procedió al acondicionamiento de los bloques, o sea a lograr un equilibrio de contenido de humedad para todos ellos, para ser pesados antes de ser expuestos al ataque de los hongos. Para llevar a cabo este acondicionamiento, llamado acondicionamiento inicial de humedad de los bloques, fue preparada una caja de plástico grande (camisera) con un poco de agua destilada y una malla que cubría toda la caja y que no permitía que los bloques colocados encima de ella se mojaran (esquema 2); la caja fue cerrada y colocada en el cuarto de incubación a 26°C durante 5 días, después de los cuales fue sacado y pesado cada bloque. Este peso obtenido de los bloques, después del acondicionamiento inicial se designa (P_i). Posterior al acondicionamiento inicial y una vez pesados los bloques, dos de ellos fueron colocados en cada cámara de pudrición, paralelos entre sí y semienterrados, es decir nivelando su cara superior con la superficie del suelo.

Fueron utilizadas 10 repeticiones de bloques para cada cepa de hongos y para cada concentración. También fueron

Esquema 2. Cámara húmeda para el acondicionamiento de los bloques.



utilizados 10 bloques testigo (tratados sólo con el solvente tolueno) para cada hongo.

A la concentración de 1.01, fueron impregnados también 10 bloques testigo, que no se inocularon, los que permanecieron dentro de las cámaras de pudrición durante el mismo tiempo de incubación (Tabla 3). Con las cámaras de pudrición ya preparadas con los bloques, y estériles, se procedió a inocular los bloques a partir del micelio previamente desarrollado en la fase de cultivo inicial. Con la ayuda de un sacabocados cuadrado, esterilizado en alcohol y flameado, se tomaron bloques de medio de cultivo de un cm^2 conteniendo micelio, dichos bloques se tomaron de la misma distancia radial del centro de la colonia, para homogeneizar la edad y el vigor de crecimiento de todos los inóculos utilizados.

En cada cámara de pudrición fueron colocados dos inóculos, uno para cada bloque, colocándolo en la parte lateral externa del bloque, es decir entre el bloque y la pared del frasco, procurando que la mitad del micelio quedara sobre el bloque y la otra mitad sobre el suelo. Todos los bloques fueron inoculados bajo las mismas condiciones mencionadas a excepción de 40 bloques (20 cámaras, 10 por cada concentración), que sirvieron de testigo, pues no fueron inoculadas con hongos. La incubación de todas las cámaras (testigo y de prueba) duró 8 semanas, a 26 °C, alta humedad relativa y obscuridad. Una vez transcurrido el período de incubación, cada uno de los bloques fue sacado de las cámaras de pudrición y cepillado cuidadosamente para eliminar el micelio superficial. Conjuntamente al cepillado cada bloque fue pesado; así pudo obtenerse el llamado peso húmedo al final de la incubación (Ph). Los bloques a los que se les determinó el Ph fueron colocados de nuevo en charolas de aluminio para ser secados al aire durante 5 días, con el fin de obtener una disminución en el contenido de humedad de los bloques, éstos volvieron a pasar el mismo proceso de acondicionamiento inicial, para poder llegar a un equilibrio de humedad. Tal acondicionamiento, ahora final, también se realizó durante 5 días, al fin de los cuales cada bloque se volvió a pesar para obtener

TABLA 3
REPETICIONES EMPLEADAS PARA CADA VARIABLE EN EL METODO SUELO-BLOQUE

NUMERACION DE LOS BLOQUES	CONCENTRACION DEL PRESERVADOR	REPETICIONES POR VARIABLE			TESTIGOS SIN HONGO	BLOQUES IMPREGNADOS POR CADA CARGA DE TRATAMIENTO	CAMARAS DE PUDRICION USADAS
		<i>Lenzinus</i> <i>lepideus</i> FPRL 7 B	<i>Lenzites</i> <i>trabea</i> FPRL 108 E	<i>Poria</i> <i>monticola</i> FPRL 304 D			
1-30	TESTIGO 0.01*	10	10	10	--	30	15
31-70	ACEITE 0.1%	10	10	10	10	40	20
71-110	ACEITE 1.0%	10	10	10	10	40	20
111-140	CREOSOTA 0.1%	10	10	10	10	40	20
141-180	CREOSOTA 1.0%	10	10	10	10	40	20
181-220	MEZCLA 1.0% (1:1)	10	10	10	--	30	15
TOTALES		60	60	60	40	220	110

*TRATADOS CON EL SOLVENTE (TOLUENO)

el peso final (Pf).

Ya obtenidos los diferentes pesos, se pudo conocer la pérdida de peso de cada uno de los bloques:

Peso perdido:

En gramos

$Pp (g) = P_i - P_f$ en donde P_i es el peso inicial después del acondicionamiento inicial de humedad; P_f es el peso final de los bloques.

En %

$$Pp (\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Estos valores calculados individualmente fueron promediados para las 10 repeticiones de cada variable, también fue calculado el error o desviación típica de cada grupo de casos.

En el diagrama 2 se puede visualizar fácilmente la ruta de ensayo seguida en este método.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Método malta agar

Los resultados obtenidos en la prueba de crecimiento diametral como estimación del efecto tóxico del aceite usado de motor, la creosota y la mezcla (aceite-creosota 1:1), están contenidos en las tablas 4 y 5 y en las gráficas 1 a 6.

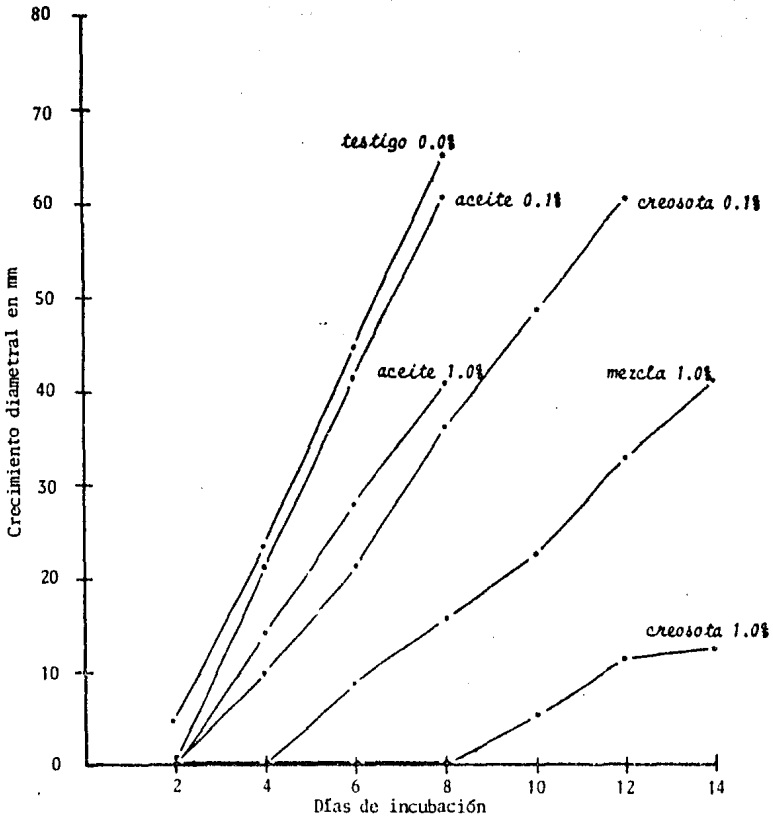
Para *Lentinus lepideus*, la tabla 4 y la gráfica 1 indican los valores de crecimiento diametral absoluto en mm, mientras que la tabla 5 y la gráfica 2 muestran los valores porcentuales de crecimiento diametral de los casos experimentales con respecto al testigo, el cual siempre se considera como un 100%.

En la tabla 4 y en la gráfica 1 se puede ver que el crecimiento absoluto (en mm) de *L. lepideus* (cepa FPRL 7 B) fue rápido en los testigos (0.0% de sustancia de ensayo). La curva de crecimiento en medio con 0.1% de aceite (concentración gravimétrica) diverge poco de la del testigo, mientras que la del crecimiento observado en medio con creosota a la misma concentración diverge moderadamente. Las curvas de crecimiento para mezcla (aceite-creosota 1:1) y 1.0% de creosota difieren todavía más con respecto al testigo, la primera en grado considerable y la segunda notablemente. En medio con 1.0% de creosota sólo hubo evidencia de crecimiento después de los 8 días de incubación, lo que indica un mayor efecto inhibitor del crecimiento por esta sustancia, a esta concentración.

La curva de crecimiento diametral en medio con 1.0% de aceite fue un tanto excepcional: hasta el octavo día de incubación, muestra que el crecimiento fue poco divergente con respecto a los valores testigos; sin embargo, las mediciones posteriores a este período no se pudieron realizar debido a que el micelio de la colonia fue extremadamente ralo en

TABLA 4
 CRECIMIENTO DIAMETRAL EN mm DE LOS HONGOS UTILIZADOS, SEGUN
 EL METODO MALTA AGAR

DIAS DE INCUBACION	TESTIGO 0.0%	ACEITE 0.1%	ACEITE 1.0%	CREOSOTA 0.1%	CREOSOTA 1.0%	MEZCLA 1.0%
<i>Antinus lepidus</i>						
CEPA FPRL 7 B						
2	4.8	0.3	TRA	TRA	TRA	TRA
4	23.53	21.3	14.41	10.02	TRA	TRA
6	44.98	41.61	28.15	21.5	TRA	8.81
8	65.40	60.51	41.2	36.48	TRA	15.85
10	-----	-----	-----	48.98	5.45	22.8
12	-----	-----	-----	61.13	11.45	32.94
14	-----	-----	-----	-----	12.43	41.6
<i>Lenzites trabea</i>						
CEPA FPRL 108 E						
2	5.53	4.71	3.55	TRA	TRA	TRA
4	17.6	15.9	12.18	5.44	TRA	4.99
6	33.8	30.03	18.8	9.3	0.8	5.31
8	48.7	41.13	22.5	12.2	3.65	9.5
10	64.33	52.7	29.7	15.99	5.7	13.3
12	-----	61.23	33.96	17.9	6.9	15.4
14	-----	-----	39.81	20.7	7.8	18.7
<i>Poria monticola</i>						
CEPA FPRL 304 D						
2	5.22	4.95	TRA	TRA	TRA	TRA
4	24.96	22.3	19.86	5.63	TRA	TRA
6	45.9	43.95	36.2	15.6	TRA	5.96
8	66.06	62.13	53.11	24.2	TRA	11.23
10	-----	-----	67.22	32.1	3.96	16.33
12	-----	-----	-----	41.33	7.05	22.5
14	-----	-----	-----	49.96	10.18	28.5



Gráfica 1. Crecimiento diametral en mm de *Lentinus lepideus* FPRL 7B, en multa agar conteniendo aceite, creosota, mezcla 1:1 y testigo. Promedios de 30 mediciones, 3 mediciones a partir de cada una de 10 diferentes colonias (repeticiones) por cada variable.

todas las repeticiones, aunado al intenso color obscuro del medio con aceite a esa concentración, que impidió hacer la observación por transparencia y obtener una medida confiable. Esto indica un fuerte efecto del aceite sobre el desarrollo del micelio. Como éste es el único caso de su tipo, observado desde el punto de vista del efecto tóxico de las substancias ensayadas, no es posible valorarlo con respecto a los demás resultados.

El crecimiento de *L. lepideus* expresado en porcentaje relativo (en los medios conteniendo las substancias ensayadas), como puede observarse en la tabla 5 y en la gráfica 2, sólo fue registrado hasta el octavo día de incubación, debido a que en este período el micelio de los testigos alcanzó su máximo crecimiento medible al cubrir toda la superficie de las cajas petri, por lo que el cálculo de los porcentajes relativos de crecimiento no pudo realizarse más allá de este punto, sin la medida real de los testigos.

La curva de porcentaje relativo de crecimiento obtenida para este hongo en 0.1% de aceite muestra que a los dos días de incubación los valores de crecimiento fueron muy bajos, y que a partir del cuarto día la curva fue más cercana a la del testigo, mostrando muy poca variación con respecto a ella. Los valores finales corresponden al nivel de toxicidad no significativa.

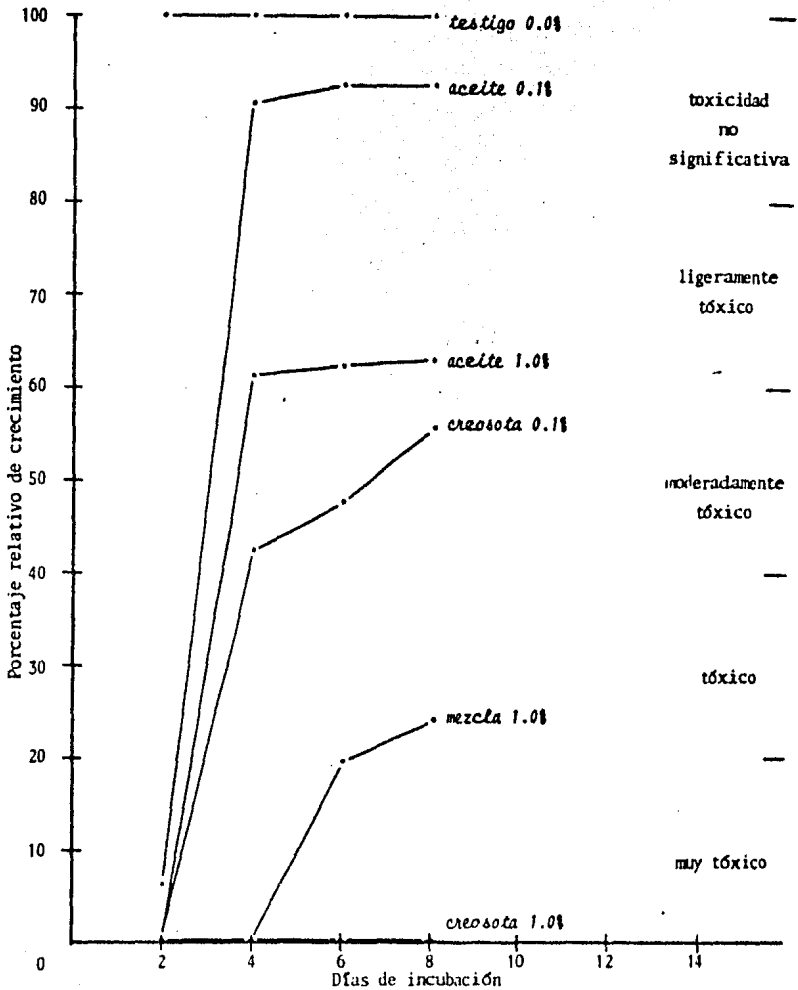
La curva de porcentaje relativo de crecimiento obtenido con 1.0% de aceite también muestra un valor inicial muy bajo y una variabilidad similares a los de la curva anterior; los valores obtenidos para los tres períodos finales de lectura ubican al aceite en esta concentración dentro de la categoría de ligeramente tóxico.

La curva correspondiente a 0.1% de creosota muestra una variabilidad mayor debido al incremento considerable en los valores con el tiempo. En los tres puntos finales registrados, los valores ubican a la creosota, a esta concentración en la categoría de moderadamente tóxica.

La curva correspondiente a la mezcla (aceite-creosota

TABLA 5
 PORCENTAJE RELATIVO DE CRECIMIENTO DIAMETRAL DE LOS HONGOS UTILIZADOS,
 (CON RESPECTO AL TESTIGO), SEGUN EL METODO MALTA AGAR

DIAS DE INCUBACION	TESTIGO 0.0%	ACEITE 0.1%	ACEITE 1.0%	CREOSOTA 0.1%	CREOSOTA 1.0%	MEZCLA 1.0%
<i>Lentinus lepideus</i> CEPA FPRL 7 B						
2	100	6.25	TRA	TRA	TRA	TRA
4	100	90.53	61.24	42.54	TRA	TRA
6	100	92.50	62.58	47.79	TRA	19.58
8	100	92.52	62.99	55.77	TRA	24.20
<i>Lenzites trabea</i> CEPA FPRL 108 E						
2	100	85.17	64.19	TRA	TRA	TRA
4	100	90.34	69.20	30.90	TRA	28.35
6	100	88.84	55.62	27.51	2.36	15.71
8	100	84.45	46.20	25.05	7.49	19.07
10	100	81.92	46.16	24.85	8.86	20.67
<i>Poria monticola</i> CEPA FPRL 304 D						
2	100	94.83	TRA	TRA	TRA	TRA
4	100	89.34	79.57	22.56	TRA	TRA
6	100	95.71	78.87	33.99	TRA	12.98
8	100	94.05	80.4	36.63	TRA	17.0



Gráfica 2. Porcentaje relativo del crecimiento diametral de *Lentinus Lepideus* FRL 7B en malta agar conteniendo aceite, creosota y mezcla, con respecto al crecimiento del testigo. Datos transformados a partir de la tabla 4 y gráfica 1. Se incluyen los niveles propuestos de categorías de toxicidad.

1:1), a la única concentración ensayada (1.0%), contiene un valor situado en el límite entre las categorías de tóxico y muy tóxico, y otro valor en la categoría de tóxico.

Finalmente, para creosota al 1.0% la curva muestra un crecimiento no medible (trazas, solamente hasta los ocho días de incubación), que la ubican en la categoría de muy tóxico.

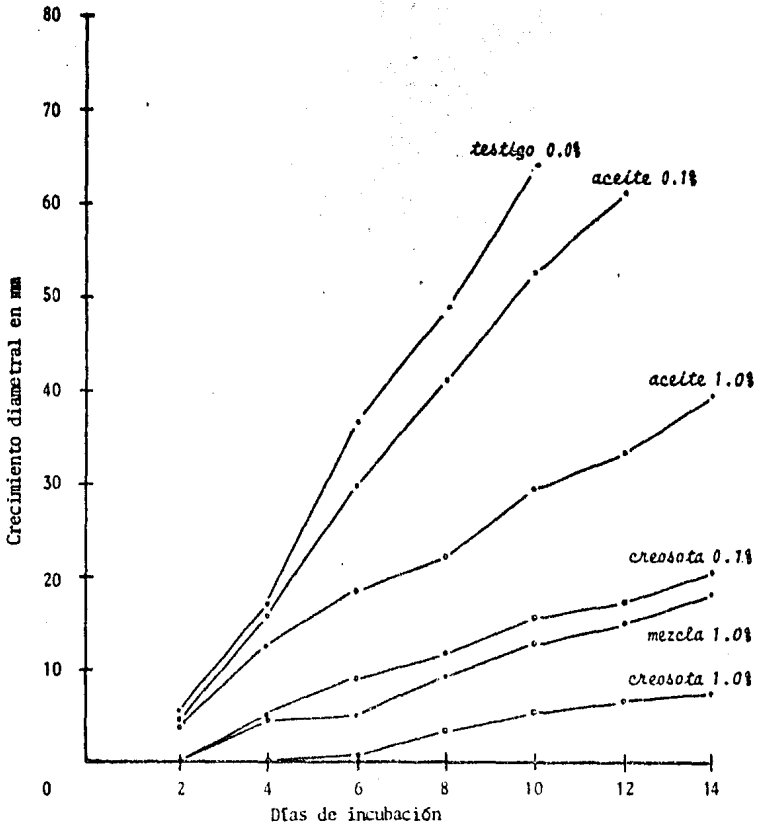
Las curvas de las gráficas 1 y 2 indican que de las dos sustancias ensayadas frente a *L. lepideus* FPRL 7 B, el aceite fue el menos tóxico, alcanzando a la mayor concentración solamente la categoría de ligeramente tóxico, mientras que la creosota fue más tóxica, aun en su concentración más baja, que el aceite en su concentración más alta, llegando a ser clasificada como muy tóxica en su concentración mayor. La mezcla (aceite-creosota 1:1) al 1.0% mostró una tendencia y valores intermedios entre las dos concentraciones de creosota.

Los resultados obtenidos en esta prueba para *Lenzites trabea* (cepa FPRL 108 E) están contenidos en las tablas 4 y 5 y en las gráficas 3 y 4.

La tabla 4 y la gráfica 3 con los datos de crecimiento absoluto (en mm) muestran que este hongo fue el más lento en su crecimiento, con respecto a los otros dos hongos ensayados, si se comparan los datos de los testigos (0.0% de sustancia de ensayo). La curva de crecimiento (en mm) para aceite al 0.1% diverge poco de la curva de los testigos, mientras que la curva para creosota en la misma concentración diverge considerablemente de los testigos.

La curva de crecimiento para aceite al 1.0% diverge moderadamente de la de los testigos; en cambio la curva para creosota a la misma concentración diverge notablemente de los testigos.

La curva obtenida para la mezcla (aceite-creosota 1:1) al 1.0% fue entre considerable y notablemente divergente de la de los testigos, acercándose más al crecimiento observado



Gráfica 3. Crecimiento diametral en mm de *Lenzites trabea* FPRL 108E, en malta agar conteniendo aceite, creosota, mezcla 1:1 y testigo. Promedios de 30 mediciones, 3 mediciones a partir de cada una de 10 diferentes colonias (repeticiones) por cada variable.

con respecto al 1.0% que al aceite a la misma concentración.

La tabla 5 y la gráfica 4 muestran el crecimiento de este hongo en porcentaje relativo. Sólo fueron registrados los valores hasta el décimo día de incubación, cuando el micelio de los testigos alcanzó su máximo crecimiento medible.

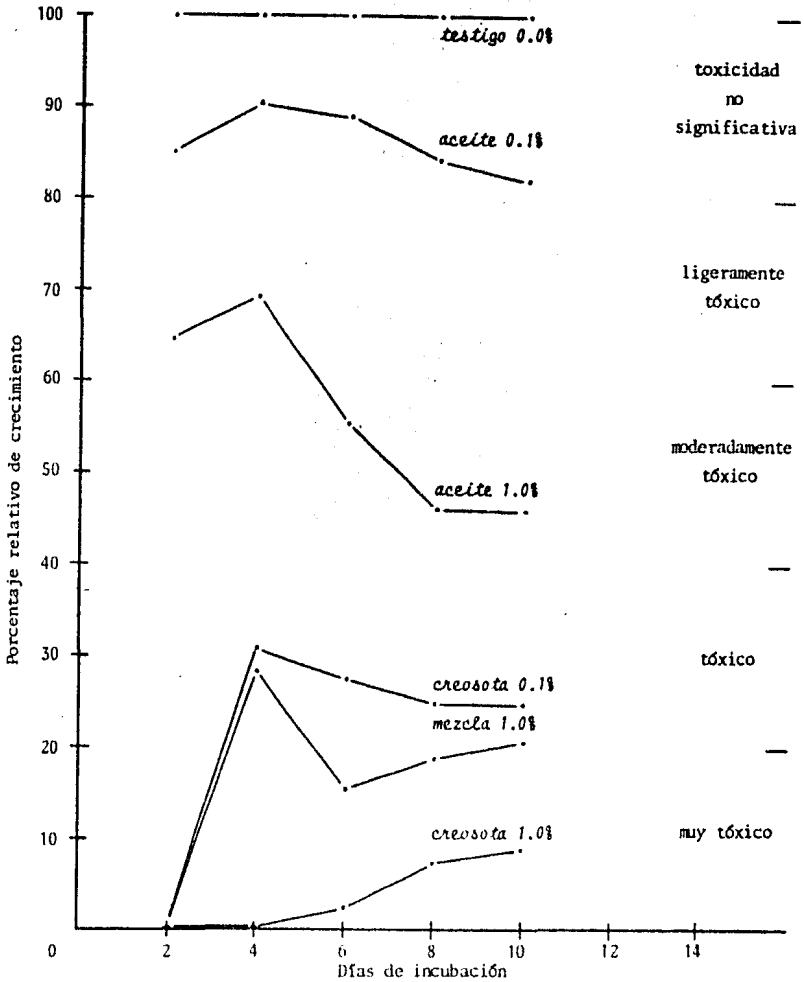
La curva de porcentaje relativo de crecimiento obtenido para este hongo en aceite al 0.1% indican un rápido crecimiento aproximado al de los testigos hasta el cuarto día de incubación, a partir del cual es evidente una divergencia en el crecimiento con respecto a la curva de los testigos que se incrementa con el tiempo; aun así, todos los valores de ésta curva están ubicados en el nivel de toxicidad no significativa.

En su fase inicial (0-4 días de incubación) la curva correspondiente al aceite al 1.0% muestra una tendencia similar a la anterior, y también en cuanto a divergencia con el testigo, que aumenta con el tiempo a partir del cuarto día, sin embargo, los valores son mucho menores y corresponden a la categoría de ligeramente tóxico hasta el cuarto día. A partir del sexto, octavo y décimo días de incubación los valores de crecimiento entran a la categoría de moderadamente tóxico.

La curva para creosota al 0.1% presenta valores mucho menores que la anterior, desde cero a los dos días de incubación, seguidos de un incremento en el crecimiento con el tiempo. Con excepción del primer punto de lectura, los demás quedan ubicados en la categoría de tóxico.

La curva de la mezcla (aceite-creosota 1:1) al 1.0% es bastante parecida a la anterior con excepción del valor obtenido a los seis días de incubación, que diverge. La variabilidad en los valores de esta gráfica es amplia, y los puntos finales quedan ubicados entre las categorías de muy tóxico y tóxico.

Los valores de la curva de creosota al 1.0%, aunque muy bajos, muestran un ligero incremento en el crecimiento



Gráfica 4. Porcentaje relativo del crecimiento diametral de *Lenzites trabea* FPRL 108 B en malta agar conteniendo aceite, creosota y mezcla, con respecto al crecimiento del testigo. Datos transformados a partir de la tabla 4 y gráfica 3. Se incluyen los niveles propuestos de categorías de toxicidad.

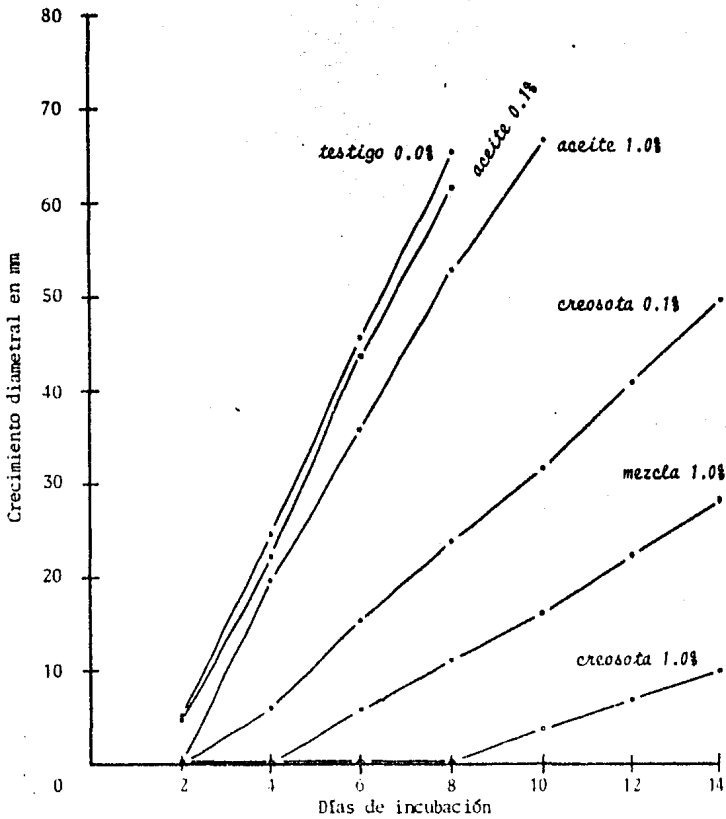
con el tiempo, y todos los valores quedan incluidos en la categoría de muy tóxico.

Todo esto indica que de las dos sustancias ensayadas el aceite fue el menos tóxico en ambas concentraciones, mientras que la creosota en sus dos concentraciones fue más tóxica que el aceite; los valores obtenidos con estas dos concentraciones son cercanos entre sí, ya que están contenidos en los dos niveles contiguos más altos de toxicidad. La mezcla (aceite-creosota 1:1) al 1.0% presentó un efecto más similar al de la creosota que al del aceite, con valores de crecimiento relativo intermedios a los de las dos concentraciones de creosota. Finalmente, es interesante señalar que el aceite a la concentración de 1.0% mostró una categoría de toxicidad intermedia en escala porcentual de crecimiento relativo, lo que evidencia cierta cualidad tóxica de esta sustancia hacia este hongo ensayado.

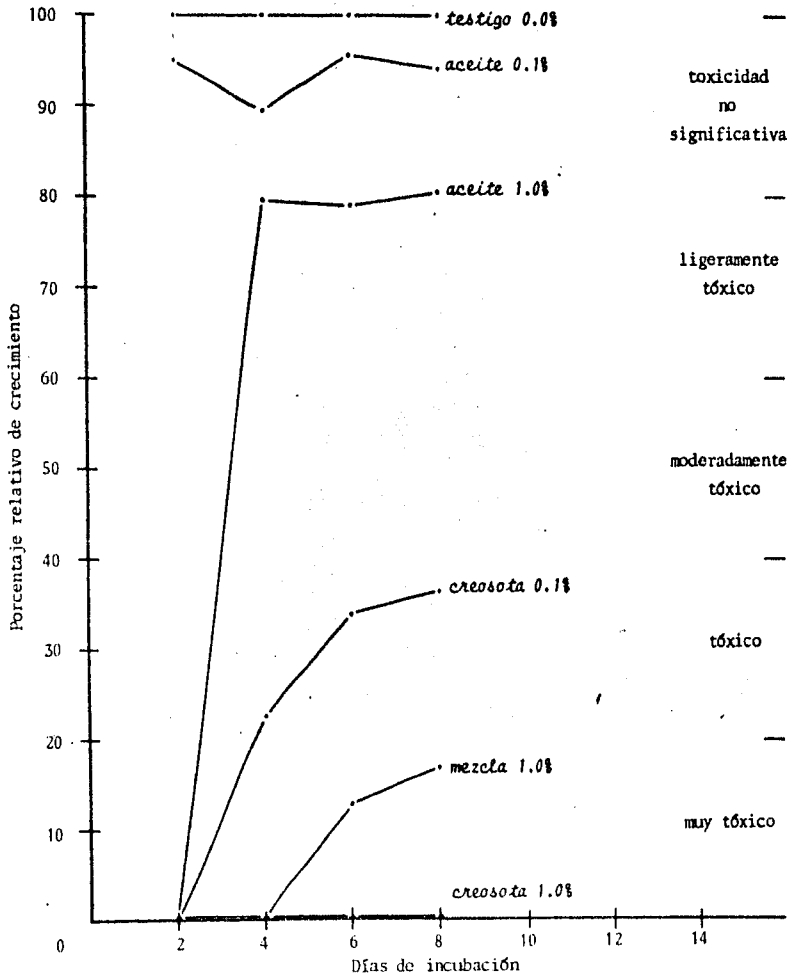
Los resultados obtenidos en esta prueba para *P. monticola* (cepa FPRL 304 D) están contenidos en las tablas 4 y 5, y en las gráficas 5 y 6.

En la tabla 4 y en la gráfica 5 se puede apreciar que este hongo presentó un crecimiento absoluto (en mm) rápido, según los valores de crecimiento diametral y la curva de crecimiento de los testigos. Las curvas de crecimiento obtenidas en aceite al 0.1% y al 1.0% divergen poco de la del testigo, aunque la segunda un poco más que la primera. La curva de crecimiento obtenida con creosota al 0.1% diverge entre moderada y considerablemente de la del testigo. La curva de crecimiento obtenida con la mezcla (aceite-creosota 1:1) al 1.0% diverge considerablemente de la del testigo. Y finalmente, la curva de crecimiento correspondiente a la creosota al 1.0% no muestra crecimiento medible hasta el octavo día de incubación, y a partir de entonces diverge notablemente de la del testigo.

La tabla 5 y la gráfica 6 muestran el crecimiento de este hongo en porcentaje relativo, registrando solamente los puntos hasta el período de incubación en que el testigo



Gráfica 5. Crecimiento diametral en mm de *Poria monticola* FPRL 5040, en malta agar conteniendo aceite, creosota, mezcla 1:1 y testigo. Promedios de 30 mediciones, 3 mediciones a partir de cada una de 10 diferentes colonias (repeticiones) por cada variable.



Gráfica 6. Porcentaje relativo del crecimiento diametral de *Poria monticola* FPRL 304 D en malta agar conteniendo aceite, creosota y mezcla, con respecto al crecimiento del testigo. Datos transformados a partir de la tabla 4 y gráfica 5. Se incluyen los niveles propuestos de categorías de toxicidad.

cubrió toda la superficie de la caja (ocho días).

La curva de porcentaje relativo de crecimiento obtenido para este hongo en aceite al 0.1% muestra una variabilidad entre sus cuatro puntos de crecimiento, todos ellos ubicados dentro del nivel de toxicidad no significativa.

La curva correspondiente al aceite al 1.0%, aunque a los dos días de incubación muestra trazas de crecimiento, de los cuatro a los ocho días muestra valores de crecimiento altos y con menor variabilidad que en la curva anterior, en la que dichos valores se hallan en el límite entre toxicidad no significativa y la categoría de ligeramente tóxico. En cambio, la curva de crecimiento obtenida con creosota al 0.1%, si bien a los dos días de incubación también presenta trazas de crecimiento, indica que con el tiempo los valores de crecimiento fueron aumentando, aunque sólo hasta la categoría de tóxico. Para la mezcla (aceite-creosota 1:1) al 1.0% la curva de crecimiento observado contiene valores más bajos, de trazas (crecimiento en el borde del inóculo), a los dos y cuatro días de incubación, hasta un máximo de 17%, correspondiente a la categoría de muy tóxico. Para la concentración mayor de creosota (1.0%), hasta los ocho días de incubación solo se registraron trazas de crecimiento, ubicando a la creosota en la categoría de muy tóxica, aun cuando a los diez y más días de incubación hubo crecimiento medible, éste no pudo ser comparado con el crecimiento de los testigos que ya habían sobrepasado el límite de crecimiento medible. También en este caso conviene señalar que la curva de la mezcla (aceite-creosota 1:1) al 1.0% es intermedia a la de las curvas de creosota en sus dos concentraciones.

Los resultados obtenidos con este método para la cepa de *P. monticola* probada, indican que el aceite a las dos concentraciones ensayadas no manifestó un efecto tóxico significativo sobre este hongo, mientras que sí lo hizo la creosota. La mezcla (aceite-creosota 1:1) al 1.0%, por contener una concentración de 0.5% de creosota, ocupó un valor intermedio de toxicidad al de la creosota sola a sus dos concentraciones (0.1% y 1.0%).

3.2. Método suelo-bloque

Los resultados obtenidos con el método suelo-bloque están contenidos en la tabla 6 y las gráficas 7 a 9.

Los resultados obtenidos con el hongo *Lentinus lepideus* (cepa FPRL 7 B), están resumidos en la tabla 6 y en la gráfica 7; se pueden ver los valores promedio de retención del preservador logrados con la impregnación, así como las pérdidas de peso sufridas por los bloques después de haber sido sometidos al ataque del hongo. Las retenciones obtenidas en los bloques impregnados con soluciones gravimétricas al 0.1% fueron de 0.0045 Lb/pie³ para aceite, y de 0.0084 Lb/pie³ para creosota, por lo que puede considerarse cercanas entre sí.

Las retenciones obtenidas con aceite, creosota y mezcla (aceite-creosota 1:1), todas a una concentración de 1.0% son muy similares entre sí, y sus valores respectivos fueron: 0.039 Lb/pie³, 0.038 Lb/pie³ y 0.042 Lb/pie³.

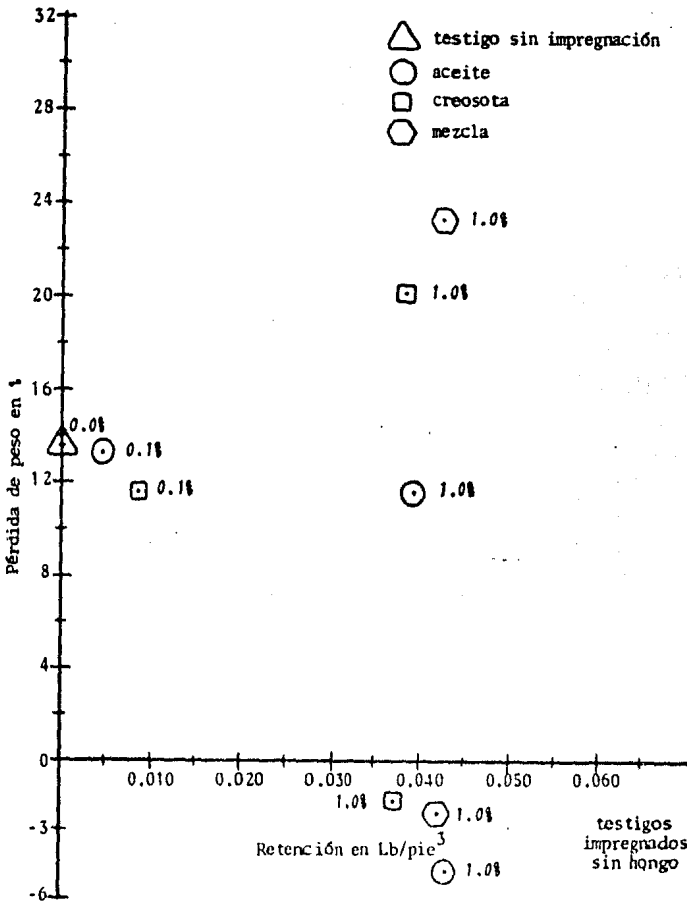
Los bloques testigo impregnados con aceite, creosota y mezcla (sólo a la concentración de 1.0% y sin haber sido expuestos al ataque del hongo) presentaron retenciones similares a las de los bloques experimentales (0.0428 Lb/pie³, 0.0372 Lb/pie³ y 0.0419 Lb/pie³ respectivamente), lo que indica que el tratamiento de impregnación fue bastante preciso y confiable. Al final del experimentos estos bloques testigo presentaron un incremento en peso, en lugar de pérdida, posiblemente debido a la variación aleatoria en el peso de estos bloques, consecuencia a su vez de variaciones en su contenido de humedad por manejo y error experimental.

Los bloques testigo impregnados exclusivamente con el solvente (tolueno) y expuestos al ataque de este hongo sufrieron una pérdida de peso de 13.56%.

Al término del período de exposición al ataque por este hongo, los bloques impregnados con aceite y creosota a la concentración de 0.1% presentaron un promedio de pérdida de peso de 13.24% y 11.56%, respectivamente. Estos valores son similares entre sí, lo que muestra poca diferencia en el

TABLA 6
 PROMEDIOS DE RETENCIONES (EN gr/cm³ Y Lb/pie³) Y DE PERDIDAS DE PESO (EN %) OBTENIDAS CON EL METODO SUELO-BLOQUE PARA LOS HONGOS UTILIZADOS

PRESERVADOR	RETENCION DE LOS BLOQUES		PERDIDA DE PESO DE LOS BLOQUES
	gr/cm ³	lb/pie ³	%
<i>Lentinus lepideus</i>			
CEPA FPRL 7 B			
TESTIGO	0.0%	-----	13.56
ACEITE	0.1%	0.0000723	0.0045161
ACEITE	1.0%	0.0006298	0.0393015
CREOSOTA	0.1%	0.0001348	0.008415
CREOSOTA	1.0%	0.0006102	0.0380794
MEZCLA	1.0%	0.0006832	0.0426341
<i>Lenzites trabea</i>			
CEPA FPRL 108 E			
TESTIGO	0.0%	-----	24.62
ACEITE	0.1%	0.0000704	0.0043982
ACEITE	1.0%	0.00063	0.0432595
CREOSOTA	0.1%	0.000599	0.003701
CREOSOTA	1.0%	0.0005922	0.0369743
MEZCLA	1.0%	0.0006854	0.0427968
<i>Poria monticola</i>			
CEPA FPRL 304 D			
TESTIGO	0.0%	-----	23.83
ACEITE	0.1%	0.0000712	0.0040185
ACEITE	1.0%	0.000632	0.03942
CREOSOTA	0.1%	0.0016224	0.0045008
CREOSOTA	1.0%	0.0005967	0.0372357
MEZCLA	1.0%	0.0006825	0.042591
TESTIGO SIN HONGO			
ACEITE	1.0%	0.0006567	0.0428119
CREOSOTA	1.0%	0.0005967	0.0372374
MEZCLA	1.0%	0.0006719	0.041935
			-4.81
			-1.67
			-2.32



Gráfica 7. Promedios de retención en bloques impregnados y de pérdida de peso causado por *Lentínus lepideus* con el método suelo-bloque, incluyendo los testigos impregnados pero sin inocular y los testigos inoculados pero sin preservador. Promedios de 10 repeticiones. Se señala en cada caso la concentración de la solución de tratamiento.

posible efecto inhibitor de ambas sustancias a esta concentración. Siendo esta diferencia seguramente debida a la diferencia de retención para las dos sustancias.

Los bloques tratados con aceite, creosota y mezcla (a la concentración de 1.0%) mostraron una diferencia mayor en las pérdidas de peso. Los promedios obtenidos en los bloques tratados con creosota y mezcla difieren ligeramente entre sí, con valores de 20.16% y 23.31%, respectivamente, mientras que los promedios de pérdida de peso obtenidos en los bloques impregnados con aceite a esta misma concentración fue considerablemente menor (11.57%).

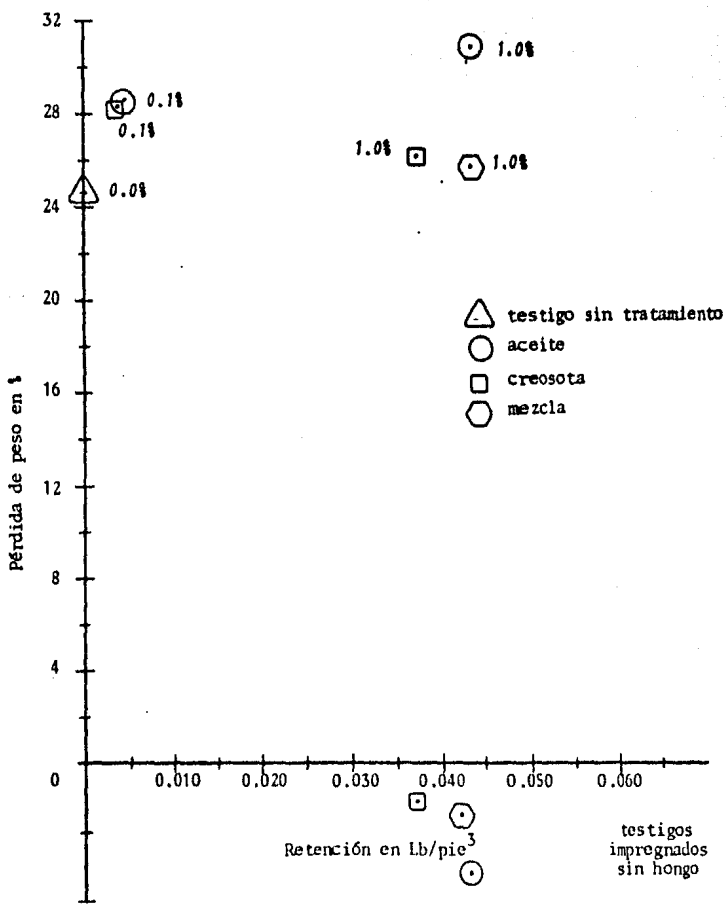
Los resultados obtenidos con *lenzites trabea* (cepa FPRL 108 E) están contenidos en la tabla 6 y en la gráfica 8; en ellas puede observarse que las retenciones obtenidas en los bloques impregnados con aceite y creosota al 0.1%, usando como solvente tolueno, resultaron ser muy cercanos entre sí: 0.0043 Lb/pie³ para los bloques tratados con aceite, y 0.0037 Lb/pie³ para los tratados con creosota.

Las retenciones obtenidas con aceite, creosota y mezcla al 0.1%, aunque difieren más que con la concentración anterior, todavía están muy cercanas entre sí, siendo ligeramente menor la obtenida con creosota (0.0369 Lb/pie³) y más cercanas entre sí las obtenidas con la mezcla (0.0427 Lb/pie³) y aceite (0.0432 Lb/pie³).

En la tabla 6 y en la gráfica 8 también están contenidos los valores de los bloques testigo sin hongo impregnados con aceite, creosota y mezcla al 1.0%, mostrando incremento en peso en lugar de pérdida de peso, obtenidos con los bloques testigo. Estos valores también están contenidos en la tabla 6 y en las gráficas 7 y 9.

Los bloques testigo impregnados exclusivamente con el solvente (tolueno) y expuestos al ataque por este hongo sufrieron una pérdida de peso de 24.62%.

Las pérdidas de peso mostradas por los bloques impregnados con aceite (28.54%) y con creosota (28.32%) a la sola



Gráfica 8. Promedios de retención en bloques impregnados y de pérdida de peso causado por *Lenzites trabea* con el método suelo-bloque, incluyendo los testigos impregnados pero sin inocular y los testigos inoculados pero sin preservador. Promedios de 10 repeticiones. Se señala en cada caso la concentración de la solución de tratamiento.

concentración de 0.1%, son muy similares entre sí. Las pérdidas de peso resultantes en los bloques tratados con soluciones al 1.0% de concentración fueron muy similares entre sí para los casos de creosota y mezcla: 26.22% y 25.8% respectivamente; éstas moderadamente menores que los dos valores anteriores.

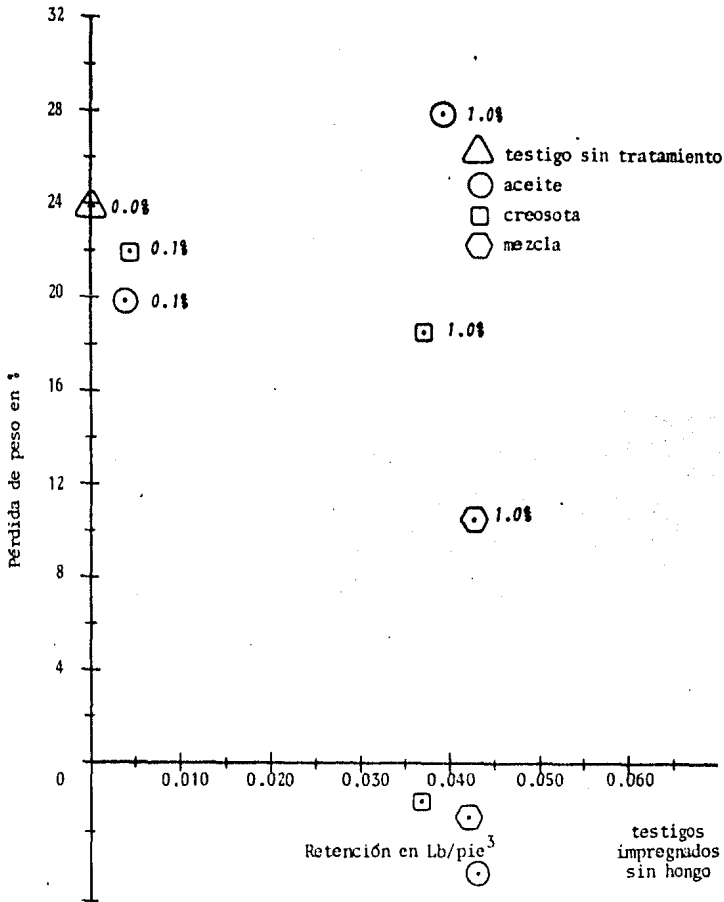
La tabla 6 y la gráfica 9 muestran los resultados obtenidos para *Poria monticola* (cepa FPRL 304 D). En ellas, puede observarse que las retenciones obtenidas en los bloques impregnados con aceite y creosota al 0.1% fueron muy similares: 0.0040 Lb/pie³ y 0.0045 Lb/pie³, respectivamente.

Las retenciones obtenidas con aceite, creosota y mezcla (aceite-creosota 1:1) al 1.0% varían un poco entre sí, siendo relativamente menor la obtenida con creosota (0.0372 Lb/pie³), intermedia la de los bloques impregnados con aceite (0.0394 Lb/pie³), y mayor en los bloques tratados con la mezcla (0.0425 Lb/pie³).

En la tabla 6 y en la gráfica 9 también están contenidos los valores obtenidos con los bloques testigo impregnados con aceite, creosota y mezcla al 1.0%, sin ser expuestos al ataque del hongo; dichos valores son los mismos que los contenidos en la tabla 6 y en la gráfica 7 y 8, ya descritas.

Los bloques testigo impregnados exclusivamente con tolueno y expuestos al ataque por este hongo sufrieron una pérdida de peso de 23.83%.

Las pérdidas de peso mostradas por los bloques impregnados con aceite y creosota al 0.1% difirieron moderadamente entre sí, 19.8% y 22.8% respectivamente. En cambio las pérdidas de peso mostradas en los bloques tratados con aceite y creosota a la concentración de 1.0% difirieron muy considerablemente entre sí: 27.88% con aceite y 18.5% con creosota. La diferencia es todavía mucho mayor al comparar la pérdida de peso de los bloques tratados con aceite con la de los tratados con la mezcla al 1.0%: 27.88% y 10.46% respectivamente, de manera que las pérdidas de peso obtenidas en los bloques tratados con creosota tienen un valor intermedio a los



Gráfica 9. Promedios de retención en bloques impregnados y de pérdida de peso causado por *Poria monticola* con el método suelo-bloque, incluyendo los testigos impregnados pero sin inocular y los testigos inoculados pero sin preservador. Promedios de 10 repeticiones. Se señala en cada caso la concentración de la solución de tratamiento.

valores obtenidos con aceite y mezcla.

3.3. Análisis general

Diferencia de resultados entre los métodos malta agar y suelo-bloque.

Con la medición del crecimiento diametral en malta agar con diferentes concentraciones de las sustancias probadas (aceite, creosota o mezcla) se puede estimar el efecto tóxico de dichas sustancias en el grado de desarrollo de los hongos ensayados.

El método suelo-bloque evalúa el efecto tóxico de los preservadores a través de la reducción en la capacidad del hongo para degradar la madera, lo que es evidenciado por decrementos en las pérdidas de peso causadas en los bloques de prueba. Según los resultados de la primera técnica, los valores de crecimiento obtenidos fueron coherentes al permitir evaluar el aceite como la sustancia menos tóxica en sus dos concentraciones, la creosota en sus dos concentraciones como más tóxica, y la mezcla (aceite-creosota 1:1) ocupó un lugar intermedio a las dos concentraciones de creosota (0.1% y 1.0%), debido a que corresponde a una concentración del ingrediente más activo, la creosota, a una concentración de 0.5%, es decir, intermedia a las dos concentraciones de creosota sola.

En cambio, los resultados obtenidos con la prueba suelo-bloque fueron muy incoherentes para los tres hongos de prueba, pues no se observó una clara disminución en las pérdidas de peso de los testigos tanto con la concentración de preservador más baja como con la más alta. En muchos casos, con las retenciones mayores hubo mayor pérdida de peso que en los testigos, y las pérdidas de peso encontrados con el tratamiento con la mezcla nunca fueron intermedias ni entre las dos concentraciones de creosota, ni entre los valores de creosota y aceite.

Revisando otros datos, que se mencionan más adelante, parece ser que la única explicación posible a la incoherencia de los resultados obtenidos con este método, en contras

te con los perfectamente coherentes obtenidos con la técnica malta agar; puede ser que la técnica suelo-bloque sea menos sensible para la detección del efecto tóxico de una sustancia dada, quizá porque está diseñada para evaluar un proceso biológico diferente, pues podría suponerse que el crecimiento en medio de cultivo es más fácilmente afectado que la capacidad para degradar madera. Con base en esto, se podría decir que aunque las concentraciones fueron adecuadas para la obtención de resultados claros con el método de malta agar, las concentraciones de las soluciones de tratamiento y las retenciones obtenidas en los bloques de ensayo fueron demasiado bajas para causar diferencias coherentes en la prueba de suelo-bloque. De modo que los diferentes puntos obtenidos con esta técnica, mostrados en las gráficas, podrían representar solamente valores en un rango de dispersión aleatoria de grupos de bloques con o sin tratamiento, por la variabilidad en la actividad del hongo, con la adición de algún efecto errático por el contenido de sustancias.

Las concentraciones y retenciones de las sustancias ensayadas en este trabajo se consideran demasiado bajas, pues Pinzón-Picaseño y Echenique-Manrique (1974) obtuvieron pérdidas de peso inferiores al 5% en bloques tratados con creosota (a retenciones mayores a 1.0 Lb/pie^3) para otras cepas de estas mismas tres especies de hongo, lo que quiere decir que sólo fueron encontrados decrementos considerables en las pérdidas de peso a retenciones mucho mayores que las aquí ensayadas.

Por otro lado, de acuerdo con los resultados obtenidos por López Guerrero (1979), las mismas cepas de estas tres especies de hongos atacando bloques de madera de pino sin tratamiento preservador (ni solvente tolueno) fueron obtenidas pérdidas de peso de 23.03% para *Lentinus lepideus*, de 33.17% para *Lenzites trabea* y de 27.71 para *Poria monticola*; todos estos valores son muy similares a las mayores pérdidas de peso encontradas en este trabajo en bloques tratados con estas retenciones bajas, lo que indica que estos valores están dentro del rango de variabilidad de la actividad

expresada por estos hongos, además de que estos niveles de retención también fueron bajos y no afectaron significativamente la capacidad de estos hongos para degradar madera.

Para evaluar adecuadamente la toxicidad relativa del aceite y de la creosota con una técnica de suelo-bloque, deberán realizarse ensayos posteriores utilizando soluciones de tratamiento de concentración y retención mucho mayores a las aquí utilizadas. Estos estudios bien valdrían la pena, porque según los resultados del método malta-agar, aunque el aceite usado de motor no fue significativamente tóxico hacia *Poria monticola*, sí mostró una ligera toxicidad hacia *Lentinus lepideus* y una moderada toxicidad hacia *Lenzites trabea*.

El interés por la evaluación del aceite usado de motor como preservador para madera, por lo menos ha surgido en otra ocasión. En el Harrison Experimental Forest en Saucier, Misisipi, E.U.A., de 1936 a 1952, en donde fueron usados postes cilíndricos de alguna especie de los llamados pinos amarillos del sur (en E.U.A.), impregnados con diferentes preservadores mediante varios métodos de tratamiento y diversas retenciones, los cuales fueron expuestos a una prueba de servicio en cercados en contacto con suelo durante 11.5a 16 años. Los postes que fueron tratados con aceite usado a 7.60 Lb/pie³ de retención en promedio, mostraron una vida media de servicio de 14 años. Los postes tratados con una mezcla de aceite 90% y creosota 10%, con un promedio de retención de 7.10 Lb/pie³, presentaron una vida promedio de servicio de 15 años. Y finalmente, los postes tratados con una mezcla de aceite usado 50% y creosota 50%, mostraron una vida de servicio superior a los 16 años en que fueron hechas las determinaciones. Estos datos, obtenidos para postes impregnados con el mismo tipo de tratamiento a presión, se pueden apreciar mejor al compararlos con la vida estimada de servicio de los postes expuestos sin tratamiento, la que fue de 3.1 y 3.7 años para dos lotes instalados independientemente (Forest Products Laboratory, 1955).

Estos últimos datos mencionados, en adición a los aportados en el presente trabajo, permiten enfatizar la importancia de continuar realizando investigación sobre las posibilidades y limitaciones del aceite usado de motor, para su empleo como preservador de madera.

4. LITERATURA CITADA

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1967. a) Standard method of testing wood preservatives by laboratory soil-block cultures. ASTM Designation: D 1413-61. In: *Book of standars. Parte 16. Structural Sandwich constructions, woods, adhesives*. American Society for Testing and Materials. Filadelfia, pp. 576-585.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1967. b) Standard method for accelerated laboratory tests of natural decay resistance of woods. ASTM Designation: D 2017-63. In: *Book of standars. Parte 16. Structural sandwich constructions, wood, adhesives*. American Society for Testing and Materials. Filadelfia, pp. 682-689.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1967. c) Standard specifications for creosote. ASTM Designation: D 390-64. In: *Book of standars. Parte 16. Structural sandwich constructions, wood. adhesives*. American Society for Testing and Materials. Filadelfia, pp. 205-206.
- AMERICAN WOOD PRESERVERS' ASSOCIATION, 1971. Revised standard method for testing wood preservatives by laboratory soil-block cultures. Designation: M 10-71. *Proc. Amer. Wood Pres. Ass.* 67:
- ANANTHANARAYANAN, S., 1979. Timber deterioration and its prevention. *Rev. Mycol.* 43 (2): 131-142.
- ARSENAULT, R., 1973. Factors influencing the effectiveness of preservative systems. In: NICHOLAS, D.D. (ED). *Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. 2 Preservatives and preservative systems*. Syracuse University Press, Siracusa, 380 p.

- BOYCE, J.S., 1961. *Forest Pathology*. McGraw-Hill. Nueva York 572 p.
- BURILLO G., R. ECHENIQUE-MANRIQUE y L. GALVEZ C., 1973. Radiochemical assay of wood treated with chromated copper arsenate preservatives. *Wood and Fiber* 5 (3): 249-256.
- CAREY, J. K., 1975. Isolation and characterization of wood inhabiting fungi. In: LOVELOCK, D. W. y R. J. GILBERT (Eds.). *Microbial aspects of the deterioration of materials*. Academic Press. Londres, pp. 23-38.
- CARTWRIGHT, K. St. G. y W. P. K. FINDLAY, 1958. *Decay of timber and its prevention*. Her Majesty's Stationary Office. Londres, 332 p.
- COCKCROFT, R., 1971. Timber preservatives and methods of treatment. *Timberlab papers* 46. 6 p.
- FINDLAY, W. P. K., 1975. Timber: properties and uses. *Crosby Lock Wood Staples*. Londres, 224 p.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1955. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. *Wood Handbook*. Agriculture Handbook 72. Washington, D. C., 528 p.
- _____, 1974. *Ibid.* Edición revisada.
- FOREST PRODUCTS RESEARCH LABORATORY, 1969. *List of cultures of wood-rotting macrofungi*. Ministry of Technology. Forest Products Research Laboratory. Princes Risborough, 17 p.
- GUZMAN, G., 1977. Identificación de los hongos. Ed. Limusa, México, 236 p.
- GUZMAN DEL PROO, S. A., 1963. *Efectos del alquitrán del coyol (Sheela liebmanii Becc.) contra algunos hongos xilófagos*. Tesis Profesional. E.N.C.B., I.P.N. México, 50 p.
- HERNANDEZ JIMENEZ, J., 1984. *Tipo de pudrición, agresividad y tolerancia a la creosota de algunos hongos xilófagos*. Tesis Profesional. E.N.E.P. Iztacala, UNAM. México, 49 p.

- HERRERA RODRIGUEZ, J. A., 1977. Preservación de maderas por métodos sencillos y de bajo costo. *Ciencia Forestal* 2 (8): 25-49.
- HUDSON, H. J., 1972. *Fungal saprophytism*. Arnold. Londres, 67 p.
- HUNT, G. M. y G. A., GARRAT, 1962. *Preservación de la madera*. Salvat. Barcelona, 486 p.
- KOLLMANN, F. P. y W. A. CÔTÉ Jr., 1968. *Principles of wood science and technology. Vol. 1 Solid wood*. Springer Verlag. Berlín, 592 p.
- LOPEZ GUERRERO, M. T., 1979. *Caracterización de algunos cultivos de hongos causantes de pudrición en la madera*. Tesis Profesional. Fac. Ciencias, UNAM. México, 76 p.
- OBREGON ARCEO, M. C. y R. ECHENIQUE-MANRIQUE, 1974. Identificación de hongos habitantes de postes de madera. *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México* 45, Ser. Botánica (1): 11-20.
- ORTIZ SANTILLAN, B. E.; J. A. DIAZ C. TAGLE; M. MORA RIVERA; M. GAVITO PARDO; N. RIVAS SEPULVEDA; S. R. HERRERA HERNANDEZ y L. M. PINZON-PICASEÑO, 1983. Evaluación toxicométrica del aceite quemado de motor hacia hongos degradadores de la materia. *Biología* 13 (4): 41-48.
- PANSHIN, A. J. y C. DE ZEEUW, 1970. *Textbook of wood technology Vol. 1 Structure, identification, uses, and properties of the comercial woods of the United States and Canada*. McGraw-Hill. Nueva York, 705 p.
- PINZON-PICASEÑO, L. M. y R. ECHENIQUE-MANRIQUE, 1974. Ensayo de toxicidad de 4 preservadores para madera sobre algunos hongos xilófagos. *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México* 45. Ser. Botánica (1): 57-74.
- y -----, 1976. Preservadores a base de cobre, cromo y arsénico, su fijación en la madera y su efecto sobre hongos. *Bol. Div. Inst. Nac. Invest. For.* 39. México 16 p.

- PINZON-PICASEÑO, L. M.; M. T. LOPEZ GUERRERO; F. A. VELIZ AVILA y J. D. MARTINEZ MARCIAL, 1982. Métodos para el estudio de algunas características de los hongos xilófagos como organismos degradadores de la madera. *Bol. Soc. Mex. Mic.* 17: 147-157.
- PURSLOW, D. F., 1974. *Methods of applying wood preservatives*. Department of the environment. Building Research Establishment. Princes Risborough Laboratory. 26 p.
- REDDING, L. W., 1971. Resistance of timbers to impregnation with creosote. *Forest Products Research Laboratory. Department of the Environment. Bulletin* 54. 43 p.
- RENDLE, B. J. y J. D. BRAZIER, 1971. The growth and structure of wood. *Forest Products Research Laboratory. Department of the Environment. Bulletin* 56. 15 p.
- SCHMITZ, H. y OTROS, 1931. A suggested toximetric method for wood preservatives. *Proc. Amer. Wood Pres. Ass.* 27:81-86.
- SCHEFFER, T. C., 1973. Microbiological degradation and the causal organisms. In: NICHOLAS, D. D. (Ed). *Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. 1 Degradation and protection of wood*. Syracuse University Press. Siracusa, 380 p.
- ULLOA, M. y R. T. HANLIN, 1978. *Atlas de Micología Básica*. Concepto, México; 158 p.
- VELIZ AVILA, F., 1982. Caracterización de 22 cepas de hongos basidiomicetos causantes de pudrición en la madera. Tesis Profesional. E.N.E.P. Iztacala, UNAM. México, 109 p.
- WILCOX, W. W., 1968. Changes in wood microstructure through progressive stages of decay. *U.S. For. Ser. Res. Paper* 70. 45 p.
- , 1973. Degradation in relation to wood structure. In: NICHOLAS, D. D. (Ed). *Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. 1 Degradation and protection of wood*. Syracuse University Press. Siracusa, 380 p.

WINSLOW, H. H., 1973. Chemical and Physical Properties of Wood. In: NICHOLAS, D. D. (Ed). *Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. 2 Preservatives and preservative systems.* Syracuse University Press. Siracusa, 380 p.