

Conservación de maderas

Dr. Osvaldo Encinas

Grupo de Investigación en Conservación de Maderas (GICOM), Universidad de Los Andes

Taller de Tratamiento de Maderas, Museo Salvador Valero, Núcleo Rafael Rangel – Ula

14 de Febrero de 2004, Trujillo, Venezuela

Parte I. La Madera

La madera es el material más común para construcción y elaboración de muebles y productos derivados en prácticamente todas las latitudes, tanto en regiones con grandes superficies de bosques como en las regiones donde existen pocos árboles. Sin embargo, tiene una gran desventaja para su utilización: su durabilidad, puesto que es sabido que la madera se deteriora con el paso del tiempo.

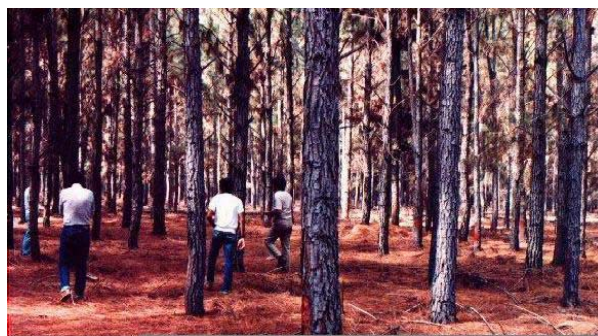


Iglesia de Madera Escandinava, 800 años

Antiguamente se preferían las maderas con alta durabilidad, las cuales se han ido agotando por

variadas razones: deforestación ilimitada, mínima o nula reposición de árboles, erradas técnicas de manejo de bosques, presión social o política en las superficies boscosas, desconocimiento de una adecuada cultura para el uso de la madera y otras.

Las maderas con elevada durabilidad natural son actualmente muy escasas de conseguir; en consecuencia, esta es la época de las maderas de especies secundarias, están ganando más y más mercado, inclusive a pesar de su poca o reducida durabilidad natural. En estas circunstancias, solamente la prolongación de la vida útil de las maderas de poca durabilidad natural, a través de procesos de conservación de la madera, aseguran un uso eficiente y económico de la madera, por ejemplo de plantaciones de rápido crecimiento.



Plantaciones de pino caribe en Venezuela

La conservación de la madera es la aplicación de métodos específicos para proteger a la madera y a los productos de madera contra el deterioro por agentes biológicos y otros agentes destructores de la madera.

Comprende básicamente el empleo de las técnicas de secado de las maderas, de preservación de las maderas y de la microbiología de las maderas. El secado de la



madera es una técnica que no requiere del empleo de sustancias químicas. La preservación de las maderas implica el empleo de sustancias o compuestos de origen químico, aunque recientemente se está dando énfasis a tratamientos que no emplean tales químicos. La microbiología de las maderas permite entender los mecanismos de deterioro que emplean los agentes destructores de la madera de origen biológico y cual es el comportamiento de las sustancias químicas empleadas como preservantes para la protección de la madera, y mejora el entendimiento de los mecanismos de control biológico de los microorganismos destructores de la madera.

En todos los casos, es posible identificar las áreas de aplicación de los tratamientos de conservación de maderas:

Aplicación **antes del** empleo o **uso** de la madera, situación que requiere el empleo de **medidas o tratamientos profilácticos** que se aplican particularmente a la madera en rolas recién derribada o tumbada o a la madera recientemente aserrada para evitar tanto la decoloración de la madera o su deterioro.

Aplicación de **medidas de conservación o tratamiento** de maderas cuando la madera se **encuentra en servicio**.

Aplicación de **tratamientos para prolongar la vida de servicio** de las maderas, cuando éstas ya están siendo **utilizadas**.

Aplicación de **medidas de eliminación** de la madera deteriorada para evitar su posterior utilización, con los peligros que significa el empleo de **madera deteriorada**.

Aunque la creencia general es que aplicar medidas de conservación de maderas, particularmente el secado y la preservación de las maderas, representa un gasto adicional, los resultados han demostrado que el empleo de técnicas de conservación de maderas no solo prolongan la vida útil de las maderas, con el consiguiente ahorro en reposición del material empleado, sino que también tiene influencia en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas.

La madera que ha recibido tratamientos de conservación para prolongar su vida útil de

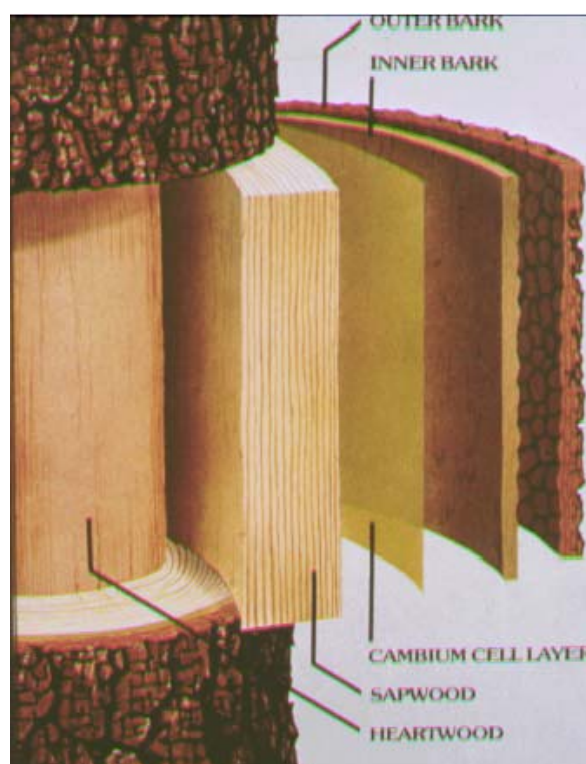
servicio, resulta así en un material de construcción atractivo, permanente y se puede indicar que puede competir técnica y económicamente con materiales alternativos como el concreto o el acero.

Madera

Un producto de la naturaleza, la cual tiene que ser protegida

La madera es la parte que soporta al árbol o al arbusto, consiste principalmente de tronco y ramas. Crece en la naturaleza, lo que la hace un recurso natural renovable.

La mayor parte de las maderas presentan una porción más pálida denominada albura y otra más oscura y coloreada en la parte interna del tronco, denominada duramen. El tronco está rodeado por la corteza, la cual protege al árbol cuando está en pie.



Esquema de la madera: corteza externa e interna, cambium, albura y duramen

Desde el punto de vista de la conservación de maderas, el duramen es la parte más resistente al ataque de los agentes destructores de la madera, principalmente a los de origen biológico. Es la parte menos permeable a los



líquidos, tal como el agua, solventes orgánicos y otros. Esto significa que solamente compuestos químicos que tienen como solvente al agua, pueden entrar en el duramen, a través del proceso llamado difusión, si es que existe suficiente humedad en la madera. Como regla general, en estas condiciones, los compuestos químicos con solventes orgánicos no pueden penetrar en el duramen.

La albura es la porción que sufre más la degradación por agentes destructores de la madera. Para una buena cantidad de especies de maderas, la albura es fácilmente tratada con sustancias químicas para mejorar su durabilidad. Sin embargo, es usual encontrar dificultades para tratar la madera adecuadamente, lo cual tiene que ser considerada cuando se usan ciertas especies para ser usadas en el campo.

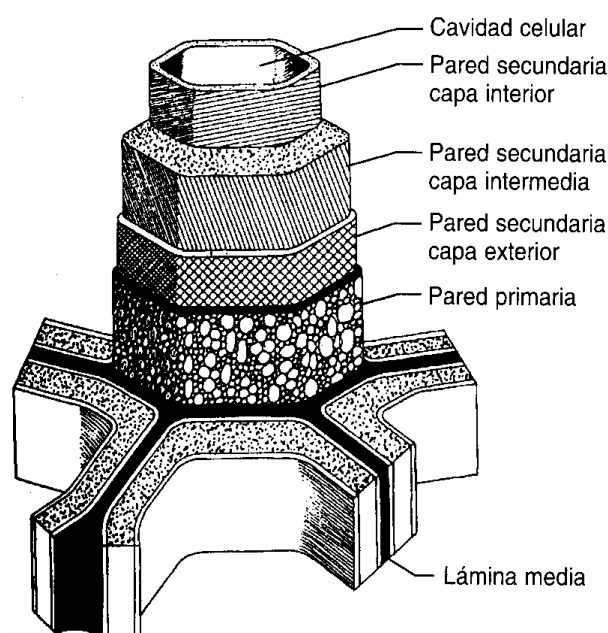


Rolas de pino caribe de pequeñas dimensiones (Rincón del Yabo, Venezuela), cepilladas (torneadas) para componentes de construcción, listas para ser preservadas

La corteza protege al árbol en pie. Después de derribado el árbol, protege a la madera de su rápida deshidratación, evitando la aparición de grietas y rajaduras en el tronco. Por su contenido de humedad, mayor que en duramen, es fácilmente atacada por microorganismos que deterioran la madera. Por otra parte la corteza suele ser atractiva para ciertos tipos de insectos, principalmente escarabajos, que depositan sus huevos en las grietas de la corteza. Finalmente la corteza no puede ser tratada con sustancias

químicas, aunque facilita el tratamiento cuando se usa el método de desplazamiento de savia.

Las células de la madera consisten en una parte sólida llamada pared celular que rodea un espacio vacío llamado lúmen o cavidad celular. La pared celular está compuesta por tres capas (S1, S2 y S3), conocidas también como pared secundaria (interior, intermedia y exterior), conformadas por microfibrillas de celulosa dispuestas con diferente inclinación, las que determinan el grado de contracción o dilatación de la fibra. Las células de la madera están unidas entre sí a través de la lámina media, compuesto principalmente por lignina.



Detalle de los componentes de una célula de madera

El espesor de la pared celular y la relación volumen de la pared celular con volumen de la célula, determinan su densidad. Existe una alta correlación entre la densidad de la madera y la mayor parte de las propiedades de la madera, tal como la dureza, resistencia, y otras propiedades mecánicas. Hay sin embargo dos propiedades que se exceptúan de esta regla: la durabilidad natural para resistir deterioro biológico y su tratabilidad, las cuales no se corresponden necesariamente con la densidad.

En términos generales, en la mayor parte de la literatura, se emplea la palabra madera blanda para referirse a las maderas provenientes de



especies coníferas, como el pino, que tienen usualmente densidades de hasta 500 Kg/m^3 , y maderas duras para aquellas que tienen su origen en especies forestales latifoliadas o de hoja ancha, que corresponden a maderas de densidades superiores, en una concepción fuertemente arraigada en los países de clima templado. En los países tropicales sin embargo, tal distinción no es la más adecuada puesto que muchas maderas blandas provienen de especies latifoliadas y hay algunas especies de pinos que proporcionan madera relativamente dura.

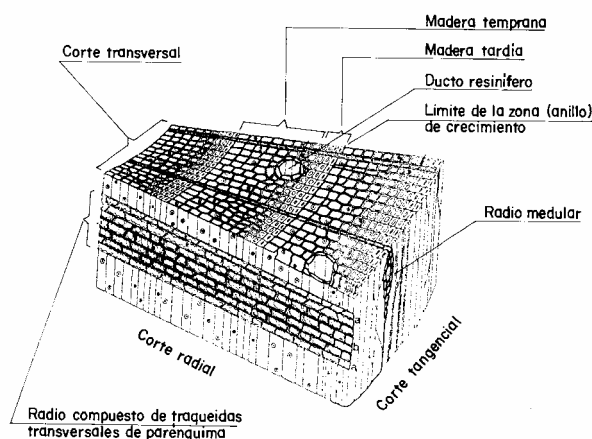


Fig. 1.6 Estructura anatómica de una madera blanda (conífera), según GIORDANO.

Estructura anatómica de una conífera (Giordano)

En consecuencia es recomendable hablar de maderas de baja densidad (livianas), de mediana densidad (medianamente pesadas) o de alta densidad (maderas pesadas), para referirse a maderas con densidades entre hasta 450 Kg/m^3 , entre 450 y 700 Kg/m^3 y superiores a 750 Kg/m^3 , una clasificación artificial, cuyos rangos de densidad son variables. Para efectos didácticos sin embargo es recomendable mantener el término madera de coníferas, para referirse a las maderas de especies Gimnospermas y madera de latifoliadas para referirse a las maderas de especies Angiospermas.

Tal diferenciación es importante, puesto que la madera de especies de coníferas consiste de células llamadas traqueidas que forman la madera temprana cuando se originan durante el período fisiológico más activo del árbol y

madera tardía que se origina durante el período fisiológico de reposo del árbol, el anillo de crecimiento. Es usual en los trópicos conseguir maderas que tienen más de dos anillos de crecimiento en un año, mientras que es corriente observar solo un anillo de crecimiento por año en las zonas templadas.

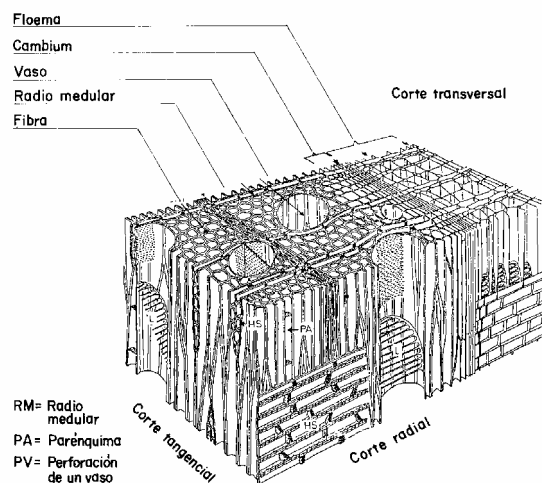


Fig. 1.7 Estructura anatómica de una madera dura (latifoliada), según MAEGDEFRAU.

Estructura anatómica de una latifoliada (Maegdefrau)

Las maderas de especies latifoliadas por su parte tienen vasos, fibras y radios, así como tejido parenquimático orientado axialmente; la alternancia entre madera temprana y tardía forma también los anillos de crecimiento que pueden diferenciarse en algunas especies por la presencia de tejido esencialmente parenquimático.

Conforme la estructura y composición química de la madera varía, algunos elementos son más fácilmente degradables que otros: En las latifoliadas, las fibras son más fácilmente degradables, lo mismo que el parénquima radial, mientras que los vasos son más difíciles de degradar.

En cambio en la madera de coníferas el parénquima radial usualmente es más fácil de degradar, siendo las traqueidas más difíciles de degradar.

En la albura de los árboles en pie o en un árbol recientemente derribado o tumbado, el lumen de las fibras está lleno de agua (mejor dicho savia,



que contiene las sustancias nutritivas que alimentan al árbol permitiendo su crecimiento), que cuando se elimina deja el espacio vacío que puede ser llenado con sustancias químicas preservantes. La madera de duramen también contiene agua, pero estas células a menudo están llenas con sustancias del duramen (extractos, taninos, resinas y otros compuestos) que le proporcionan el color característico más oscuro de la madera de duramen, o estar bloqueadas con constituyentes de la pared celular que crecen en el lumen, en un fenómeno llamado tilosis, lo cual hace difícil que pueda ser tratado con sustancias preservantes. Sin embargo, como regla general, la madera de duramen es mucho más durable que la de albura, es decir resiste mejor el ataque de los agentes destructores de la madera.

Individualmente existe un pasaje entre las fibras y los otros elementos constituyentes de la madera, conformado por las denominadas punteaduras, cuyo papel principal en la madera de albura es permitir y regular el paso de la savia cuando los árboles están en pie. Después que el árbol ha sido derribado, esta vía se llega a obstruir a medida que se va secando la madera; el efecto de esta obstrucción es variada y diferente según las especies, por lo que la penetrabilidad de las sustancias preservantes es generalmente reducida.

La orientación de las células o elementos anatómicos que componen la madera, es generalmente longitudinal en el sentido de crecimiento de los árboles, lo cual facilita la absorción de los nutrientes desde el suelo hasta la copa. Solo algunos elementos están orientados transversalmente, radialmente, por lo que se llaman radios, los cuales son responsables del transporte y almacenamiento de azúcares y almidón en el árbol vivo.

La estructura de los tejidos o anatomía de la madera, es fundamental para conocer el flujo de los líquidos y gases durante los procesos de secado y preservación. En general el paso de los líquidos en el sentido longitudinal es 100 veces mayor que en el sentido transversal.

Químicamente la madera está constituida por componentes estructurales como la celulosa, hemicelulosa y lignina y por componentes no

estructurales, sustancias en forma de gomas, resinas, taninos, azúcares no estructurales, almidón y otros, éstas últimas son las responsables de la coloración oscura de la madera de duramen. La proporción de cada componente es variable, pero se asume que la celulosa es el componente mayor.

Madera, producto de la naturaleza

La madera es biológicamente un producto de la naturaleza y en consecuencia está sujeta al ciclo continuo de descomposición y composición. Ciclo que es importante para la existencia de la vida misma, puesto que es durante la descomposición por varios organismos, principalmente insectos y microorganismos como bacterias y hongos, que convierte la madera en materiales orgánicos que se depositan en el suelo originando la acumulación de nutrientes que servirán nuevamente para el crecimiento de nuevas plantas, tal como los mismos árboles.

Sin embargo, como la madera puede ser utilizada por el hombre para otros propósitos (construcción, maquinarias, equipos, materia prima para otros productos), la descomposición llega a constituirse en un problema de utilización. Este deterioro de la madera se constituye en la principal desventaja del uso de la madera.

Parte II. Agentes destructores de la madera

Es esencial para efectos de conservación de las maderas, conocer la época o el período en que se presenta el agente destructor de la madera, particularmente el de origen biológico. En principio el reconocimiento de los síntomas de un ataque temprano, resulta en la aplicación de medidas profilácticas para evitar posterior infestación del agente destructor. Aparentemente resulta un gasto adicional, pero en realidad debe considerarse una inversión para evitar males mayores, cuando ya no es posible mantener la calidad en la madera; esto es particularmente importante en las maderas que son objeto del ataque de hongos de mancha azul o insectos que deterioran en su fase temprana a la madera.



Las maderas frescas o recientemente cortadas o aserradas, con elevado contenido de humedad, son susceptibles al ataque de insectos que depositan sus huevos en las hendiduras de la corteza, cuya larva penetra posteriormente en la madera, o son susceptibles a la infestación por esporas de hongos, particularmente de mancha azul, que encuentran en los azúcares solubles y almidones de la superficie recién cortada un excelente medio para su desarrollo.

La colonización puede ser rápida en algunas maderas, como en la madera de pino caribe que permite el desarrollo de las hifas del hongo de la mancha azul a una velocidad de hasta 2 cm por día. Otro ataque que suele observarse en las maderas recién cortadas es el ataque por bacterias de decoloración cuyo efecto es notable si el secado de la madera es demasiado lento.

Período en el cual se observa el ataque de agentes destructores de la madera de origen biológico

Tipo de madera	Organismos destructores de la madera				
	Insectos de madera fresca	Insectos de madera seca	Mancha azul	Pudrición	Termitas
Madera en rolas recién cortadas	Horas	No ataque	Horas	Semanas	Días en contacto con el suelo. Semanas en madera seca
Madera recién aserrada	Solo si hay corteza	No ataque	Horas	Semanas	Como arriba
Madera en servicio o almacenada seca	No ataque	Semanas a meses	No ataque	No ataque	Semanas a meses según condiciones locales
Madera en servicio en condiciones húmedas	No ataque	Semanas a meses	Semanas	Meses a años	Como arriba
Madera en servicio en contacto con el suelo	No ataque	Raramente atacada	No relevante	Semanas a meses	Días

La colonización por hongos destructores de la madera, hongos de pudrición, suele tomar más tiempo. Las termitas atacan muy rápidamente a la madera, particularmente si están en contacto con el suelo. Otros agentes de deterioro actúan según el período de exposición de las maderas.

Se pueden observar grietas o rajaduras en las rolas o troncos de árboles recién derribados o tumbados que tiene su origen en las tensiones de crecimiento de la rola, que se liberan al momento del corte del árbol, las cuales no pueden evitarse. En cambio, las grietas que se presentan como consecuencia del secado de la madera, particularmente aserrada, pueden minimizarse utilizando técnicas adecuadas de secado.

Durabilidad de la madera

Es la habilidad de la madera para resistir el deterioro biológico, se llama también resistencia natural. No es la misma para todas las maderas y depende de variados aspectos:

Se circunscribe solamente al duramen, puesto que la albura de la mayoría de las especies forestales es fácilmente degradada. Considerando la sección transversal de la rola, en el duramen la parte interior es menos durable que la parte más externa y la parte inferior de la rola es más durable que la parte superior.

La durabilidad natural varía entre las especies forestales, algunas se deterioran muy rápidamente mientras que otras pueden permanecer sin alteración por años. La durabilidad de las maderas usualmente debe relacionarse con el tipo de agentes de deterioro:



ciertas especies pueden soportar muy bien el ataque de hongos; algunas especies resisten bien el ataque de insectos de la madera seca; pocas especies son durables ante las termitas y solo un pequeño número de especies es durable contra los perforadores marinos.

Las condiciones climáticas tienen una gran influencia sobre la durabilidad de las maderas. Si están permanentemente bajo condiciones secas, casi todas las maderas pueden soportar bien el ataque de hongos (excepto los hongos de pudrición seca); en realidad, este es el fundamento para la protección de la madera en construcción. La mayor parte de las especies puede ser protegida contra el deterioro si permanecen sumergidas en agua dulce, procedimiento que se emplea inclusive asperjando o regando agua dulce sobre las rolas; sin embargo, debe destacarse que en condiciones tropicales el agua que recircula para regar las rolas tiene que ser tratada contra microorganismos para evitar la proliferación de éstos que consiguen en el agua recogida bastantes nutrientes, usualmente azúcares

solubles y almidones, como es el caso de la madera de pino caribe. El agua salada representa una severa condición para el deterioro de las maderas, particularmente por organismos xilófagos marinos.

Para la caracterización de la durabilidad de las maderas se han ensayado diversos sistemas de clasificación. En todos se parte de la simple comparación del tiempo relativo que duran las especies, en relación con alguna madera patrón; naturalmente todos los sistemas de clasificación hacen énfasis en las maderas que están en contacto con el suelo. Debe notarse que el concepto de durabilidad de las maderas es diverso cuando se consideran maderas en servicio en las zonas de clima templado, en relación con las maderas que prestan servicios en zonas tropicales; una madera durable en los países templados resulta usualmente poco durable en las condiciones de servicio en países tropicales; y al contrario, maderas que son poco durables en el trópico pueden presentar alta durabilidad a los agentes de deterioro de las zonas templadas.

El sistema más común para clasificar la durabilidad natural de la madera (Findlay, W. P. K. 1985)

Clase	Definición	Vida en servicio en climas templados	Vida en servicio aproximado en el trópico
1	Muy durable	> 25 años	> 15 años
2	Durable	15 – 20 años	10 – 15 años
3	Moderadamente durable	10 – 15 años	5 – 10 años
4	No durable	5 – 10 años	1 – 5 años
5	Perecedero	< 5 años	< 2 años

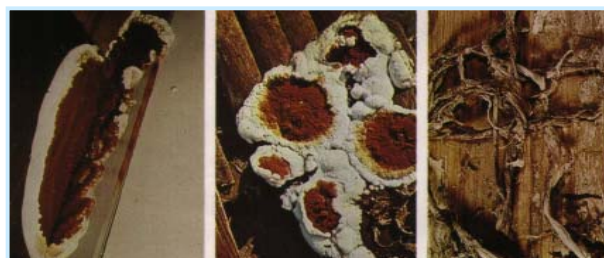
Hongos

La decoloración y el deterioro de las maderas son usualmente causados por hongos, de los cuales existen numerosos tipos que atacan a la madera, según se encuentre la misma bajo diferentes condiciones ambientales. Estos microorganismos utilizan a la madera como su fuente de alimentación.

El propósito de la conservación de maderas es convertir a la madera en material no adecuado para la alimentación de estos microorganismos.

Los hongos se originan a partir de esporas muy pequeñas, igual que pequeñas semillas, que

son producidas por cuerpos fructíferos, carpóforos, ver Figura.



Cuerpos fructíferos, carpóforos, de hongos

Las esporas, debido a que son extremadamente pequeñas y ligeras, se puede afirmar que están



constantemente presentes en todas partes; bajo condiciones favorables de humedad y temperatura germinan produciendo largos y muy finos elementos denominados hifas, las cuales pueden penetrar en la madera y deteriorar las sustancias presentes en la pared celular mediante una acción enzimática.

Las hifas, por su reducido tamaño no pueden observarse a simple vista por lo que hay que recurrir al uso de microscopios para observarlos, en consecuencia, su acción destructora no puede ser apreciada hasta etapas avanzadas de pudrición de la madera cuando ocurren cambios en el aspecto de la madera, particularmente cambio de color, por la acción degradante de las enzimas en la madera. Solo pocas especies forman masas de hifas, denominadas micelio, en la superficie de las maderas, principalmente en ambiente húmedos.

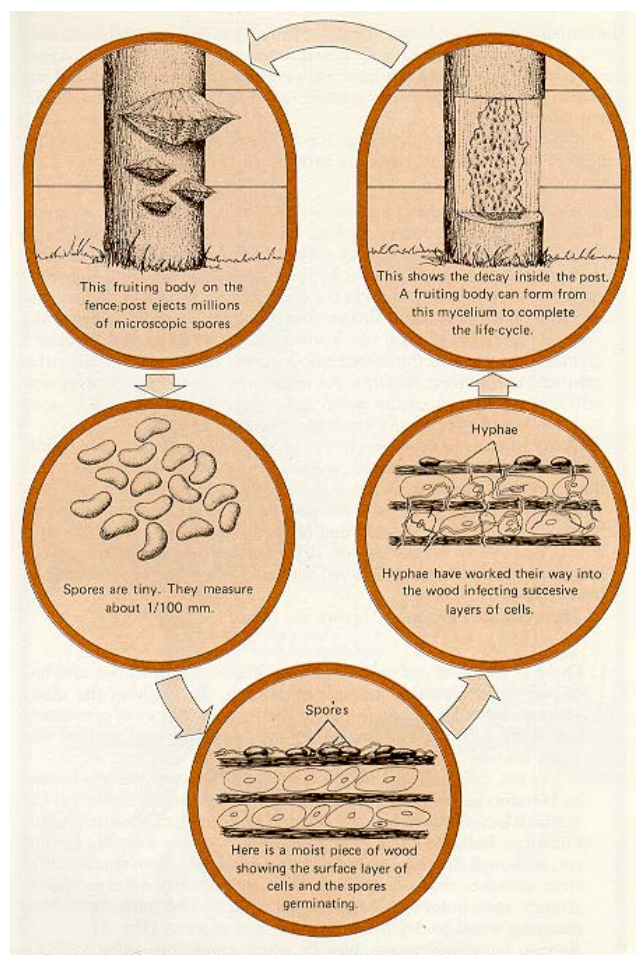


Fig. 65. The life cycle of a fungus. The lower part of the diagram shows a microscopic view.

Ciclo de vida de los hongos

La aparición de cuerpos fructíferos es variable, tanto en tamaño como en apariencia y se forman en etapas avanzadas de la colonización por los hongos para la liberación de las esporas; quitarlo de la superficie de la madera no afecta el proceso de degradación de la madera.

Condiciones que favorecen el crecimiento de los hongos

Todos los hongos requieren de mínimas condiciones para colonizar y degradar la madera. Se tiene que partir del principio de que las esporas están omnipresentes y listas para germinar si encuentran las condiciones favorables en la madera, su fuente de alimentación, las cuales son:

Humedad adecuada

Generalmente entre 40 y 80 %; así, mantener la madera por debajo de 25 % de humedad es un método eficiente para evitar el ataque de los hongos y conservar la madera. Sin embargo debe recordarse que algunos hongos tienen la capacidad de soportar largos períodos de sequedad y revivir cuando las condiciones de humedad le son favorables.



Riego por aspersión de rolas de pino caribe en Chaguaramas, Venezuela. Evita ataque de hongos

Esta exigencia permite hacer tratamientos profilácticos de la madera susceptible a los hongos, particularmente de mancha, asperjando agua sobre las rolas. Sin embargo, debe cuidarse de controlar la proliferación de bacterias que se desarrollan bajo tales condiciones.



Por otro lado, el exceso de humedad es otro medio para mantener a la madera libre del ataque de los hongos, aunque existe una excepción: la presencia de hongos de pudrición blanda cuando la madera está húmeda, pero no permanentemente sumergida en agua, situación que se presenta en los bancos y bajíos de las sabanas de los países tropicales que se inundan en el período de lluvias y se mantienen secos durante el verano.

Provisión de oxígeno

El aire que usualmente está presente durante el período de deterioro de las maderas por los hongos en todas las situaciones. No es posible el desarrollo de hongos sin presencia de aire.

Adecuada temperatura

Importante para el crecimiento de los hongos, los cuales pueden crecer en ambientes donde la temperatura varía desde bajo el punto de congelación hasta 40 – 50 °C; sin embargo tienen como temperatura límite para su crecimiento alrededor de 55 °C, temperatura a la cual coagulan las enzimas.

Hongos de Pudrición blanca, Marrón y Blanda

Los verdaderos hongos que destruyen la madera pertenecen al grupo de los basidiomicetes. Las hifas de estos hongos crecen dentro del lumen de las células y producen diferentes tipos de enzimas, según el hongo de que se trata.



Madera de cedro con ataque de insectos de madera verde y hongos de pudrición blanca en bolsas

Las enzimas pueden descomponer prácticamente todos los componentes de la madera, produciendo la llamada pudrición blanca o degradar particularmente la celulosa dejando como remanente la lignina, en cuyo caso se denomina pudrición parda.

Cuando se observa la degradación selectiva de ciertas áreas, se verifica la denominada pudrición blanca en bolsas, muy común especialmente en las maderas de latifoliadas durables.



Pudrición blanca en madera latifoliada. Note las líneas negras de compartimentalización

La pudrición blanca es común en las maderas de latifoliadas, ocasionada por hongos que prefieren la lignina, aunque en algunas etapas y dependiendo de los hongos, también destruyen la lignina, dejando en etapas avanzadas de pudrición una masa blanca fibrosa como remanente.



Etapa avanzada de pudrición marrón, dejando restos de color marrón usualmente en forma cúbica



Los hongos de pudrición marrón prefieren la celulosa como fuente de alimento, por lo que en etapas avanzadas solo se pueden observar restos de color marrón en forma cúbica; en esta etapa se han perdido todas las propiedades de resistencia de la madera.

En contraste con estas conocidas formas de pudrición, otro tipo de deterioro de la madera, causada usualmente por hongos Ascomicetes, causa pérdidas de resistencia de la madera aún a la simple presión con las uñas, dando la sensación de un material blando, razón por la que se la conoce como pudrición blanda. Estos hongos se desarrollan cuando la madera se encuentra sumergida por períodos prolongados en agua dulce, como en las sabanas y esteros de los países tropicales.

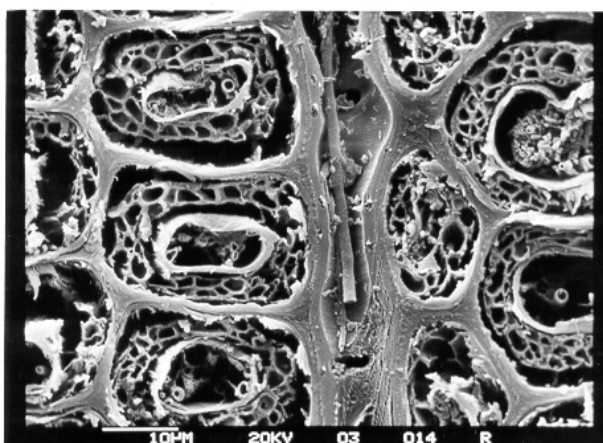


Imagen de microscopio electrónico de barrido mostrando los restos de madera de pino atacada por hongos de pudrición blanda

El entendimiento del mecanismo de degradación por estos hongos es nuevo y es a partir de 1950 que comienza a destacarse su importancia en la degradación de la madera.

Estos hongos pueden ocasionar pudrición de maderas de latifoliadas denominadas durables y es notable su capacidad para tolerar compuestos o sustancias químicas utilizadas para la preservación de maderas, siendo muy sensibles sin embargo al cobre, por lo que toda madera que vaya a estar en contacto con el suelo y sumergido por períodos prolongados, pero no totalmente sumergida, debe ser tratada con formulaciones que contengan cobre, si es que no se usa la creosota.

En una forma muy distinta a los hongos de pudrición blanca y marrón que crecen usualmente en el lumen de las células de madera, los hongos de pudrición blanda tienen la capacidad de desarrollarse dentro de la pared celular, originando cavidades, en tanto que otros erosionan la pared S_3 de la célula, originando diferentes patrones de deterioro de la célula, que es posible diferenciar solamente con el auxilio de microscopios.

Pérdida de resistencia de la madera

Otras consecuencias se presentan con la degradación enzimático-química de los componentes de la madera por los hongos, que conduce a la pérdida del material con los obvios cambios en el color, particularmente la apariencia final de la madera afectada, por ejemplo la apariencia cúbica de la madera en las etapas finales de la pudrición marrón o el aspecto de fibras sueltas que presenta la madera con pudrición blanca; sin embargo, lo más importante de la degradación de la madera por hongos es la disminución, hasta pérdida total, de las propiedades de resistencia de la madera. La reducción de estas propiedades es severa, inclusive en la madera que todavía no muestra síntomas de estar atacada por los hongos, por lo que usualmente no es detectable, aunque ya la pérdida de resistencia está en progreso.

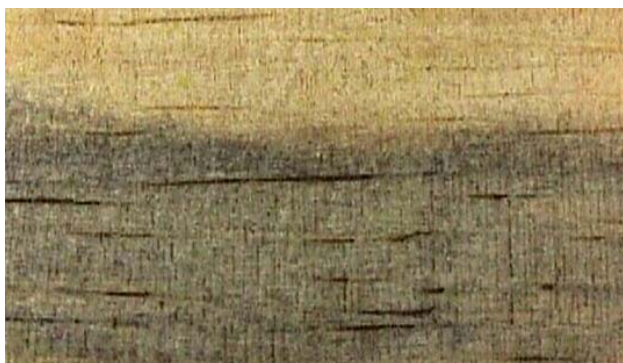
Hongos de mancha y mohos

En forma completamente distinta a los verdaderos hongos destructores de la madera, otros hongos causan daños que se suponen no afectan la pared celular, en el entendido que no poseen la suficiente capacidad enzimática para degradar la pared celular. Estos son los hongos de mancha, de variados colores, destacando la mancha azul o mancha de la albura, que causan intensas decoloraciones de la madera. Consumen los carbohidratos presentes en el tejido parenquimático que no están estructuralmente unidos a la célula.

Es el caso típico de la madera de pino caribe en las plantaciones del trópico que es rápidamente colonizada por el hongo de mancha azul *Lasiodiplodia theobromae*, que conjuntamente otros hongos originan pérdidas del valor estético



de la madera por colorearla intensamente de color azul.



Madera de pino caribe atacada por hongo de mancha azul

Aunque es generalizada la creencia de que estos hongos no afectan las propiedades de resistencia de la madera, recientes resultados de investigaciones han mostrado que la capacidad celulolítica que tiene este hongo en particular, puede degradar la pared celular de las células de maderas latifoliadas, en particular las que poseen celulosa cristalina en su estructura anatómica.

Otro grupo de hongos que no puede penetrar en la madera, ni siquiera utilizando la vías abiertas como los vasos en las latifoliadas, suelen colonizar y desarrollarse en la madera húmeda utilizando parcialmente los azúcares solubles de la superficie y las impurezas del aire, en ambientes de humedad relativa y temperatura favorables, causando un aspecto algodonoso de distintas tonalidades en la superficie de la madera, los mohos.

Los mohos no afectan mayormente las propiedades mecánicas de la madera, ni afectan su aspecto, pero son de considerable importancia por la cantidad de esporas que suelen producir que en algunos casos origina alergias o enfermedades pulmonares en los obreros forestales, causando irritación en la piel o impidiendo la respiración.

Estos dos tipos de hongos pueden desarrollarse muy rápidamente en la madera, cuando las condiciones del ambiente le son favorables, particularmente cuando la madera se encuentra húmeda y en ambientes cerrados y sin circulación de aire.



Hongos de moho en rolas de pino caribe

Daños por insectos

La mayor parte son coleópteros, escarabajos o coquitos. Representan un verdadero peligro para la madera en todas sus formas y usos, particularmente en los trópicos donde las condiciones climáticas son favorables. Actúan en variadas formas según sus hábitos y formas de vida. Existe un numeroso grupo de especies de escarabajos que deterioran la madera, que actúan en la madera según se encuentre fresca o seca.



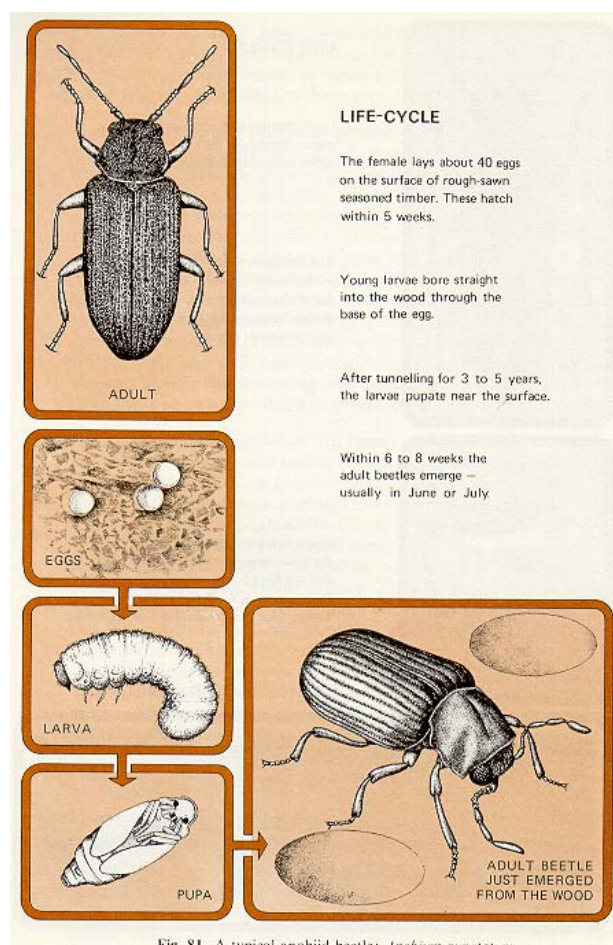
Es esencial conocer el ciclo de vida de los insectos, puesto que solamente en algunas etapas del mismo pueden convertirse en verdaderos peligros para la madera.

Cuatro son estas etapas: huevos, larvas, pupas y adultos. Las hembras depositan cantidades considerables de huevos en las grietas o fisuras de la corteza o madera o en los espacios de la madera como los poros; luego de la formación de la larva, éstas penetran en la madera degradando la madera por acción mecánica de las mandíbulas. Las partículas de madera son digeridas por la larva que expulsa variables y



variadas cantidades de residuos, pequeñas esferas o polvo, que tienen formas características que permiten la identificación del tipo de ataque.

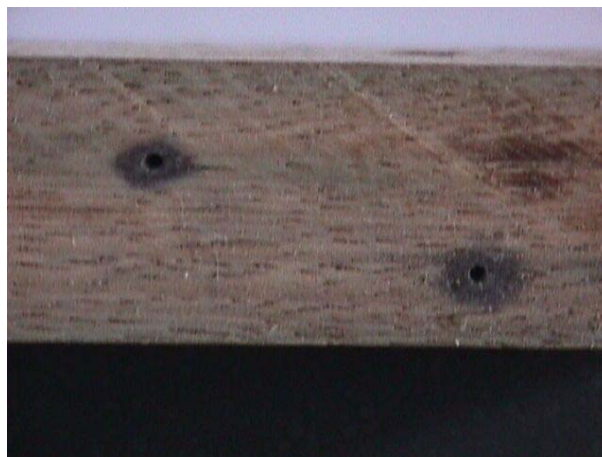
Es después de un determinado tiempo, algunos meses o años en algunas especies, que las larvas se transforman en pupas que originan luego al adulto, completando su ciclo de vida; este adulto puede contribuir al daño a la madera masticándola para abrir vías de salida de la madera, dejando los denominados agujeros de vuelo. Los adultos por ellos mismos no deterioran la madera.



Ciclo de vida de *Anobium*, insecto de madera seca, frecuentemente hallado en maderas de muebles o estructuras

En la madera fresca, o recién derribada, es usual encontrar insectos que coloniza las rolas sea en la corteza o en la madera recién expuesta.

Se denominan insectos de ambrosia, porque coexisten con determinados grupos de hongos (hongos de ambrosia) que forman colonias, a veces coloreadas de azul luego de la muerte de los hongos, dentro de las galerías abiertas por las larvas de los insectos, alimentándose del micelio de los hongos.



Madera de latifoliada atacada por insectos de ambrosia, observe el típico agujero azulado.

Estos insectos de ambrosia pueden vivir en la madera mientras exista humedad y la reinfestación continúa por seis o más meses en los trópicos.

En la madera verde, recién cortada o aserrada, algunos insectos, que inician el ataque a partir de la corteza, donde oviposicionan, son conocidos como insectos subcorticales (*Escolytidae*, *Ipidae*), mientras que otros prefieren desarrollarse en el duramen de las maderas (*Platypodidae*). Tomando en cuenta que el ciclo de vida de estos insectos es de alrededor de seis semanas, puede imaginarse el daño que ocasiona particularmente en sitios donde ha habido derribe de árboles y no se ha cuidado el aspecto sanitario de la zona.

En la madera seca se observa el ataque de insectos que prefieren la madera con contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras.

Junto con las termitas, los insectos de madera seca son los principales enemigos de la madera seca utilizada para la construcción, mueblería y productos de madera como tableros contrachapados.





Insectos de madera verde, *Ips*, mostrando la típica expulsión de residuos de las larvas

Insectos como el coquito polvoriento de los postes (*Bostrychidae* y *Lyctidae*) ataca la madera de latifoliadas que tienen algún contenido mínimo de almidones, confinando su ataque a la albura; las maderas de coníferas no son usualmente atacadas por estos insectos.

Como su nombre indica, la madera es reducida a polvo por adultos o escarabajos inmaduros (*Bostrychidae*) o la larva (*Lyctidae*), cuando dejan la madera la superficie exterior parece inalterada, pero el interior está completamente convertido en polvo.



Madera de *Lonchocarpus* sp atacada por el insecto conocido como coquito polvoriento de los postes, *Lyctus*

Los líctidos atacan tanto madera en tablas como chapas o productos manufacturados; el duramen y de latifoliadas y madera de pino no son afectados. Los más conocidos son los

insectos conocidos como *Lyctus brunneus*, considerando una verdadera plaga forestal.

Otro insecto que ataca frecuentemente la madera seca, es *Anobium*, que deja como residuos pequeñas esferitas, lo que la diferencia de *Lyctus*.

Otro tipo de insectos causan también daño en la madera; por ejemplo las avispas carpinteras o las hormigas carpinteras, particularmente cuando la madera se encuentra en servicio como pisos o entramados.

Termitas

Tal vez uno de los principales agentes destructores de la madera en los trópicos (y algunos países templados). Organizados socialmente viven en grupos de cientos a millones de individuos, formando castas, donde solamente un par de ellos conforman los individuos fértiles mientras el resto de la colonia está conformada por obreras y en número menor por soldados. Una o dos veces al año las termitas forman nuevas colonias. El principal alimento de las termitas es la madera misma, siendo de los pocos insectos que son capaces de utilizar la celulosa como fuente de alimentación, para lo que disponen en sus intestinos de microorganismos adecuados para tal fin. Su ataque es rápido y dejan solamente una fina capa superficial en la madera atacada y destruida. Muy pocas especies forestales son resistentes al ataque de las termitas.

Se distinguen dos tipos principales de termitas, las que requieren de humedad para desarrollarse o termitas subterráneas y las que pueden vivir en madera seca sin contacto con el suelo, como la madera en construcción, llamadas termitas de madera seca.



Termita subterránea





Reina y obreras, termitas subterráneas

Las termitas subterráneas forman sus nidos formando montículos en el suelo, o alrededor de los troncos o en las ramas de los árboles, desde donde se desplazan buscando su alimentación formando túneles hecho con detritus, saliva y materiales del suelo; eliminando estos túneles de acceso al nido se puede eliminar el nido, aunque muchas especies pueden desplazarse a través de túneles bajo la superficie del suelo.

Las termitas de madera seca viven dentro de la madera, por lo que no necesitan nidos.



Restos de termitas de madera seca

El ataque se inicia luego del vuelo nupcial de los adultos voladores que buscan grietas o aperturas en la madera, desde donde comienzan a destruir la madera. Su ataque es difícil de detectar porque dejan la superficie de la madera intacta, con apariencia inalterada,

aunque puede detectarse su ataque por los restos que expulsan, pequeñas esferitas blancas y negras.

Perforadores marinos

Otro grupo de organismos capaces de destruir la madera son los perforadores marinos, que destruyen la madera en contacto con agua de mar; excepcionalmente suelen encontrarse estos organismos marinos destructores de la madera en zonas de influencia de los mares, como los ríos o estuarios.

Pertencen a dos principales grupos: moluscos y crustáceos. Dentro de los moluscos se citan particularmente a los Teredinidae, gusanos de mar, en especial los Pholadidae, cuyo cuerpo semeja un largo gusano que forma túneles en la madera atacada, recubierta por una capa calcárea que protege el cuerpo del organismo marino; provista de sifones que utilizan para obtener el oxígeno y el plancton que requieren para existir. Los dos géneros principales son *Bankia* y *Teredo*.

Entre los crustáceos que frecuentemente atacan a la madera en contacto con el agua de mar, se citan a especies de *Limnoria*, *Chelura* y *Sphaeroma*, pequeños organismos de poca longitud que causan menos daños que los gusanos de mar principalmente en la superficie de la madera. Aunque en forma lenta pueden destruir instalaciones marinas hechas de madera. Este daño puede evitarse usando maderas con resistencia natural o mediante tratamientos químicos.



Martesia en madera de pontones del Parque Nacional Morrocoy, Venezuela



Agentes destructores de la madera de origen no biológico



Construcción de madera severamente afectada por un incendio

El daño en la madera ocasionado por estos agentes destructores puede ser muy rápido como en el caso de la combustión de la madera o ser mas o menos lento cuando se trata de la acción física y química de la madera, que puede originar dos tipos de deterioro: deterioro físico o desgaste y deterioro químico.

El deterioro por desgaste es el originado por el simple roce continuo de la madera por el continuo uso y la relativamente poca resistencia de la madera a la abrasión. Debe destacarse sin embargo que existen maderas que por su alta dureza son apropiadas para este tipo de uso como la madera de algarrobo, puy, zapatero, por lo que la utilización de maderas de alta densidad y dureza garantiza una durabilidad prolongada de estas instalaciones. También se puede modificar químicamente la madera para proporcionarle mayor resistencia al desgaste.



Degradación de la madera por efecto de la intemperie

El deterioro, causado por la acción del clima, la intemperie, combina el efecto de la fotólisis originada por el la luz del sol en las capas de celulosa que, por arrastre por la lluvia y el viento, exponen sucesivamente nuevas superficies de la madera a la degradación.

Finalmente la degradación química que simplemente es la destrucción de la madera por acción química sobre alguno de los componentes de la madera.

La mayor parte de estos daños de origen no biológico pueden prevenirse mediante acciones que conllevan buenas prácticas de diseño, en el caso de material de construcción y por el uso de agentes ignífugos o retardantes de fuego. Estos últimos son generalmente de acción superficial, originando barreras físico-químicas que interfieren en la combustión.

Período en el cual se observa deterioro de la madera de origen no biológico

Tipo de madera	Tipo de defecto		
	Decoloración	Grietas de tensión	Grietas de secado
Madera recién derribada	Días a semanas	Inmediatamente después del apeo	Días a meses, de acuerdo a las condiciones de secado y almacenamiento
Madera recién aserrada	Días a semanas	Muy raramente, ocasionalmente después del aserrado	Como arriba, pero solo si la madera tiene secciones grandes
Madera seca	Ninguno	Ninguno	Ninguno



Parte III. Métodos de tratamiento

Se reconocen tres tipos de métodos básicos para el tratamiento de la madera: Métodos preventivos, Métodos curativos y Tratamiento del suelo. Los primeros son los que suelen utilizarse para prevenir cualquier daño posterior a la madera, una vez que la pieza entra en servicio, mientras que los curativos se aplican cuando se quiere recuperar piezas o estructuras de madera de indudable valor y que ha sido degradado por cualquiera de los agentes destructores de la madera. Los tratamientos del suelo se refieren ante todo a la práctica de minimizar el peligro que pueden presentar algunos sitios, a la puesta en servicio de componentes de madera, particularmente postes de alumbrado o teléfono, o estantes y estantillos para cercas.

Dentro de los Métodos preventivos se suele diferenciar los métodos convencionales que comprenden: 1) Pretratamientos, 2) Procesos sin presión o caseros y 3) Métodos con presión o industriales. También se reconocen los métodos no convencionales que comprenden 4) Métodos que alteran la estructura química de la pared celular y 5) Procesos biológicos.

En cuanto a los métodos curativos, se diferencian: 6) Inspección y tratamientos curativos en edificios y 7) Inspección y tratamiento curativo de postes.

1) Pretratamientos

Los más recomendados de aplicar en todas las circunstancias y cuando se sospecha que existe el peligro de deterioro de las maderas por hongos o insectos principalmente. Los casos más frecuentes son pretratamientos de la madera en rolas y pretratamientos de la madera aserrada.

Entre estos pretratamientos se suelen utilizar: a) Descortezado rápido, b) inmersión en agua, c) aspersión con agua y d) aspersión con funguicida y/o insecticida.

El descortezado se aplica para evitar el ataque de insectos subcorticales. Es una simple acción mecánica utilizando palas o cuchillos especiales, mediante los cuales se quita toda la corteza de la pieza de árbol.

La inmersión en agua se utiliza cuando se dispone de un flujo corriente de agua, por ejemplo ríos. Las rolas se sumergen en el agua corriente y así se evita su deterioro.

Cuando no se tiene un curso de agua corriente, se suele emplear riego por aspersión con agua corriente, mediante la cual se distribuye agua dulce mediante bombas y dispositivos especiales en forma constante, muchas veces recirculando el agua. El objetivo es mantener permanentemente humedecida la madera, para evitar el desarrollo de hongos e insectos..

Cuando no se tiene la posibilidad de disponer de agua corriente, y las piezas de madera van a quedar en algún patio o sitio de almacenamiento por períodos no muy largos, es recomendable el empleo de aspersión con sustancias antifúngicas y/o insecticidas. Se trata de una simple aspersión que se aplica periódicamente si las piezas van a estar almacenadas por períodos de tiempo prolongados. En este caso es conveniente disponer de alguna máscara de protección para no inhalar las sustancias químicas preservantes.

Cuando las piezas a tratar son principalmente maderas aserradas, debe considerarse que las superficies aserradas constituyen una superficie apetecida por los hongos principalmente, de modo que es conveniente tener mayor cuidado, recomendándose el tratamiento por inmersión para asegurar un completo recubrimiento de la superficie de las tablas.

Las sustancias químicas que se emplean para estos tratamientos son básicamente sales solubles en agua, de las cuales las más conocidas para los hongos son el bórax y el ácido bórico, cuyo costo los hace accesibles y manejables ya que tienen muy pocas limitaciones ambientales. Otros compuestos antifúngicos son químicos de nueva generación que tienen también propiedades insecticidas, y otros que suelen usarse normalmente en agricultura para el control de plagas, tal como el captafol, folpet, TCMTB. Recientes trabajos de investigación señalan que el empleo de compuestos a base de oxina de cobre, son eficientes para el control del hongo de la mancha azul y a mayores concentraciones para otros tipos de hongos.



2) Procesos sin presión o caseros

Que comprenden los métodos de tratamiento que no emplean presión para forzar el preservante dentro de la madera. Algunos de estos métodos son: pincelado, aspersión, inmersión rápida o momentánea, baño caliente frío y sustitución de savia. Todos los procesos que comprenden fenómenos de difusión están incluidos en este grupo.

Pincelado. Requieren la mínima inversión y pueden ser realizados con preservantes hidrosolubles y también los oleosolubles de baja viscosidad. El proceso permite su aplicación en el mismo sitio. El gran inconveniente es que la protección es muy superficial y en consecuencia la protección de la madera no sirve para garantizar largos períodos de protección. Cuando se usan sales oleosolubles la protección es de apenas algunos milímetros. Se recomienda su empleo en situaciones de riesgo con poca incidencia de organismos xilófagos.

Inmersión Rápida. Se introduce la pieza a preservar en la solución preservante durante un tiempo muy corto, de algunos segundos a minutos y es algo más efectivo que el simple pincelado. Cuando la madera tiene un contenido de humedad de alrededor del punto de saturación de las fibras (30 %), la inmersión por unos tres minutos suele proteger la madera bastante bien. Los procesos de inmersión prolongada tienen el mismo principio, pero los tiempos de inmersión son más prolongados, obteniéndose en consecuencia mejor protección.

Proceso de difusión simple. Que se define como el movimiento espontáneo de una sustancia a través de una determinada materia, de una zona de potencial químico elevado, hacia una zona de potencial químico muy bajo, que en la mayoría de los casos es la simple diferencia de concentración. En este sentido, una pieza de madera saturada de agua introducida en algún recipiente con la solución preservante, recibirá una migración de la sal, normalmente más concentrada que el agua, hacia el interior de la madera. Se deduce entonces que el proceso requiere que la madera tenga una alta humedad. Los compuestos más

usados son borax y ácido bórico, por su bajo costo.

Proceso de doble difusión. Utilizado para garantizar que la sal preservante quede fija en la madera, para lo que se recurre a un primer período de difusión con una sal, por ejemplo cúprica, seguida por un período de difusión con un fijador, usualmente dicromato de potasio. Este proceso puede garantizar relativamente largos períodos de vida útil, hasta 10 años en algunos casos.

Parte IV. Acción de los fungicidas e insecticidas

Para controlar el ataque de los hongos e insectos que destruyen o deterioran la madera, es conveniente conocer cual es el mecanismo que se usa para que las sustancias químicas actúen sobre estos agentes destructores de la madera. El propósito es mostrar cuales son estos mecanismos de acción, de tal forma que se pueda emitir juicio acerca de cuales deberían ser las sustancias químicas aceptables, no solo desde el punto de vista de efectividad de las sustancias o compuestos químicos, sino también si se cumple con las exigencias ambientalistas que están normando su utilización.

Formas de acción de los fungicidas

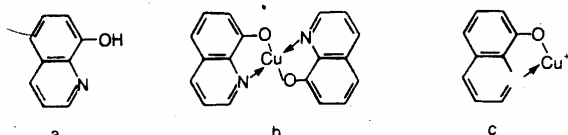
Los fungicidas pueden actuar a través de dos mecanismos básicos: inhibidores de respiración e inhibidores de las reacciones biosintéticas en las células fúngicas. Adicionalmente se pueden considerar otros mecanismos inhibitorios con una acción no específica en los hongos.

Inhibidores de respiración

Muchos fungicidas usados en la preservación de la madera, interfieren con la respiración, inhibiendo la formación de la coenzima acetil (**CoA**) o interrumpiendo el fosforilación de la cadena respiratoria. Los compuestos de cobre por ejemplo, afectan a la membrana de la mitocondria, alterando el acceso y el flujo de tóxicos seleccionados, que actúan como inhibidores respiratorios. La respiración se entiende como el proceso químico de liberación de energía consecuencia del metabolismo de los compuestos orgánicos (respiración interna),



es la respiración celular, mientras que la respiración externa se refiere al intercambio de gases entre el organismo y su medio externo. El proceso común a todos los organismos, comprende en resumen un intercambio gaseoso entre el organismo y su medio, del cual toman el O_2 y desprenden CO_2 , que en el proceso aeróbico libera también energía que se almacena en forma de ATP.



(a) 8 hidroxiquinolina, (b) complejo de 1:2 hidroxiquinolina 8 y cobre, (c) complejo de 1:1 de hidroxiquinolina y cobre

Entre las formulaciones de cobre usadas en la preservación de la madera, se incluyen el naftenato de cobre (sales de cobre solubles en ácidos naftenicos), el óxido de cobre y el hidroxiquinolinolato 8 de cobre (Cu 8).

Es probable que las propiedades fungicidas de estos compuestos, sean dependientes de la afinidad del ión cúprico Cu^{2+} por los grupos químicos diferentes y presentes en la célula. Un modo de acción similar a esto se ha descrito para los dialquilditiocarbamatos, que incluye el tiram de los pesticidas agrícolas, ziram y ferbam que tienen las propiedades fungicidas, basadas en la habilidad del cobre y se transporta en las células de los hongos.

Los dialquilditiocarbamatos se han usado como ingredientes anti mancha y tratamientos antimoho. Los preservativos que contienen arsénico también son importantes como inhibidores respiratorios; los arsenatos y arsenitos son igualmente tóxicos, impregnando en alguna medida los tejidos vivientes. Otros inhibidores respiratorios usados en la preservación de madera, incluyen el tri-fenólico, que sustituye al componente estaño. Los compuestos tri-butil estaño interfieren con la fosforilación de la cadena respiratoria.

Los componentes fenólicos y las carboxamidas, ejercen su actividad inhibitoria en la fosforilación de la cadena respiratoria, interrumpiendo el

transporte del electrón u operando a partir de la fosforilación oxidativa. Otros compuestos fenólicos como los diclorofenoles (usados como pentaclorofenol biocida de superficie. Finalmente, el modo de acción de los isotiazolones ha mostrado inhibición rápida de crecimiento y respiración.

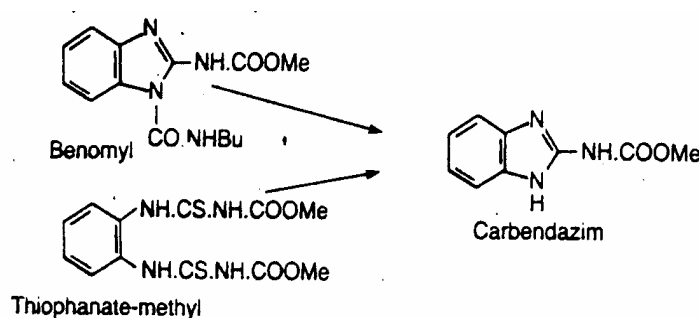
Inhibidores de biosíntesis en las células fúngicas

Los hongos, Deuteromicetes, Ascomicetes y Basidiomicetes, tienen quitina en la pared celular que es un polímero estructural compuesto de N-acetilglucosamina (NACA). Las polioxinas, particularmente la polioxina D, ejercen un efecto inhibitorio en la síntesis de la quitina, actuando como inhibidores competitivos. La pudrición de la madera podría prevenirse por el uso de polioxinas, pero no son efectivos contra hongos de mancha y moho en la madera.

Otras sustancias actúan como inhibidoras de la división celular de los hongos. Pese a las muchas diferencias de aspecto y función, todas las células están envueltas en una membrana llamada membrana plasmática, que encierra una sustancia rica en agua llamada citoplasma. En el interior de las células tienen lugar numerosas reacciones químicas que les permiten crecer, producir energía y eliminar residuos. El conjunto de estas reacciones se llama metabolismo (término que proviene de una palabra griega que significa cambio). Todas las células contienen información hereditaria codificada en moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN); esta información dirige la actividad de la célula y asegura la reproducción y el paso de los caracteres a la descendencia.

Los derivados del benzimidazole, son un grupo importante de fungicidas usados en la agricultura e incluyen el benomil, tiofanato-metilo y el carbendazim. El carbendazim se usa en las formulaciones preservativas de la madera y al igual que los otros miembros de este grupo, actúa inhibiendo la síntesis de microtúbulos que son esenciales en el proceso de división celular.





Estructura química del benomil, metil trifanato y el carbendazim

Efectos inhibitorios no específicos

Muchos pesticidas, incluyendo algunos que se usan en los preservantes de madera, parecen exhibir modos no específicos de acción a nivel celular. Algunos reaccionan en forma indiscriminada y pueden inhibir varios procesos enzimáticos al mismo tiempo. El fluoruro de sodio (NaF), por ejemplo, liga al metal que contiene las enzimas. Muchos compuestos reaccionan con los grupos tiol en las proteínas y por consiguiente inhiben un rango de reacciones de las enzimas asociadas con la biosíntesis, catabolismo y funciones de la membrana.

Los compuestos basados en el mercurio, como el cloruro mercuríco (HgCl_2), el óxido mercuríco (HgO) y el organomercurio, componentes que se han usado principalmente en el pasado como los fungicidas en la agricultura, se caracterizan porque ligan al tiol agrupándose y pueden inhibir el proceso de glicólisis.

Se atribuyen efectos indistintos a los aceites del petróleo y los aceites de alquitrán, en membranas celulares que conllevan a la ruptura y pérdida de volúmenes celulares y probablemente esos efectos estén causados por la solubilización de los lípidos en la membrana. Sin embargo, la complejidad de ingredientes tóxicos presentes en el aceite de creosota, sugiere que la ruptura de membranas celulares sea el único de varios mecanismos que se observan, porque este preservativo de la madera, particularmente, es tan eficaz tanto contra los hongos como con los insectos.

Los compuestos de amonio cuaternario afectan la semi-membrana permeable y es la causa del goteo de electores celulares. Estos compuestos

también inhiben la actividad respiratoria, que puede ser el resultado de la interferencia de la membrana de la mitocondria y sus funciones. Además de sus propiedades fungicidas y su conveniencia como un preservante de la madera, los compuestos de amonio cuaternarios se usan extensivamente como bactericidas y surfactantes.

El cloruro dialquildimetilamonio (DDAC), junto con el sulfato de cobre, actúan como excelentes componentes inhibitorios. Las aminas terciarias inhiben la producción de enzimas hidrolíticas celulares extras.

Otro grupo de compuestos utilizados para inhibir varios procesos celulares, están basados en los N-triclorometiltio, incluyen el captafol, captan, folpet y el diclofluamida. El Captan, cuya fórmula química es el N-triclorometiltio-4-ciclohexano-1,2-dicarboxamida, se ha usado durante muchos años como un fungicida de ancho espectro, también contra las enfermedades en la fruta y como tratamiento de la tierra para controlar la humedad en los árboles pequeños. También ha demostrado ser una bactericida eficaz, y un preservativo genial.

El Captan, y la fatalimida que es el folpet analógico, se ha usado en el control anti mancha y anti moho para prevenir el deterioro. Por su parte la diclofluamida es un compuesto aplicado como preservante para proteger la madera cuando esta en servicio. Los extensos estudios en el modo de acción del captan, indican que inhibe la actividad de la enzima reaccionando con los grupos tiol presente en las proteínas o coenzimas.



Los alquilenos bisditiocarbamatos, pertenecen también al grupo de acción no específico en su modo de acción contra los hongos. Algunos incluyen el manganeso contenidos en el mancozeb y maneb, el sodio contenidos en el nabam y el zinc contenidos en el zineb. Igualmente, el clorotalonil es un fungicida que actúa sobre los grupos tiol, vitales en la célula.

Finalmente, el modo de acción de los compuestos con boro se ha estudiado por muchos años y el ácido bórico y los boratos se conocen por ser tóxicos a las células. La presencia de este compuesto en los hongos e insectos evidencia la formación de complejos estables con las moléculas biológicas importantes. Los mecanismos de acción de compuestos que contienen boro, se basa en la habilidad de los boratos para formar complejos con la hidrólisis cis-adyacente, alfa-hidroxi y ácidos carboxílicos

Formas de acción de los insecticidas

Los insecticidas actúan básicamente en las siguientes formas: sobre el sistema nervioso de los insectos, sobre la formación de quitina, sobre el crecimiento de los hongos e inhibiendo la respiración de los insectos.

Sobre el sistema nervioso de los insectos

Se conocen los siguientes grupos principales de pesticidas para la madera, formulados para la acción preservativa contra el ataque de los insectos, que tienen efecto específico en el sistema nervioso: interfiriendo con la transmisión axonal, como en el caso de los piretroides; inhibiendo la actividad de la colinesterasa, como la acción del acetil, órgano fósforo compuesto y carbamatos y causando descarga excesiva de la acetilcolina, las ciclodienas y los gamma HCH.

Los piretroides, como componentes de insecticidas, son solventes en compuestos orgánicos, son utilizados en contacto con el suelo, específicamente contra el ataque de las termitas. El piretrin natural o el piretrum, derivados de las flores de crisantemo, se usa en el tratamiento de la madera; sin embargo, los ingredientes activos más comunes son el piretroide permetrin sintético y el cipermetrin. Los piretroides siguen siendo químicos ampliamente usados. En la actualidad se trabaja con

combinaciones de compuestos piretroides: el cipermetrin y deltametrin para el tratamiento de madera contra perforadores marinos.

Los insecticidas sintéticos, como su nombre lo indica, son sintetizados en el laboratorio y se clasifican en tres grupos principales: las organoclorinas, los organofosforados y los carbamatos.

Los organofosforados son ésteres, amidas o derivados tioles de ácidos fosfóricos, fosfónicos, fosfotioicos o fosfonotioicos. Son clasificados en arilfosfatos y alquifosfatos. Los Arilfosfatos requieren ser activados por enzimas microsomales hepáticas. Los alquifosfatos no requieren activación.

Los organofosforados presentan una estructura química inestable y se hidrolizan con rapidez, razón por la cual, a diferencia de los organoclorados, no entrañan el riesgo de acumularse en el medio ambiente. Su toxicidad es muy variable, oscilando la dosis potencialmente letal por vía oral entre 10 mg. para el Paratión y 60 gr. para el Malatión. Los organofosforados se componen de clorpirifos, diazinon, isofenfos, etil pirimifos y carbamatos entre los cuales se cita dimetilan, que se ha usado durante algunos años como insecticidas bajo el nombre de propoxuros, o el Pyridex de uso agrícola.

Los Carbamatos son ésteres de ácidos carbámicos, relacionados con grupos alcoholes cuaternarios o amonios ternarios.

Las organoclorinas son muy económicas y tienen propiedad insecticida excelente contra muchos insectos. Estos insecticidas son fotoestables y resistentes a la degradación. Sin embargo, su resistencia a la degradación medioambiental y su inestabilidad después de entrar en los sistemas biológicos, han conllevado a la contaminación general del ecosistema mundial. También, debido a su bajo costo, poca efectividad, y su uso extendido, ha producido niveles altos de resistencia en muchos insectos. Muchos de estos químicos ejercen efecto a largo plazo en los animales y se ha mostrado que pueden perturbar la reproducción en los pájaros y mamíferos.



El Lindano (gamma-BHC) reemplazó al DDT, que encontró un uso ilimitado en los años de la post-guerra. Tiene muchos de los rasgos deseables requeridos sobre todo para controlar el ataque de insectos en sitios donde se almacena comida; un amplio espectro de actividad del insecticida en escarabajos y una toxicidad comparativamente baja al mamífero.

Acción de los insecticidas en la formación de quitina y crecimiento de los hongos

Observaciones al microscopio óptico de larvas tratadas con diflubenzuron, muestran alteraciones en la deposición laminar de la cutícula. El grado de alteración puede ser diferente en las distintas regiones de la cutícula. Con tratamiento con diflubenzuron, las alteraciones disminuyen de forma gradual, y finalmente desaparecen, lo que indica que el efecto del diflubenzuron es reversible.

Lo último en control de plagas son los reguladores del crecimiento de los insectos. Se sintetizaron a finales de los años 60, antes de la síntesis de los piretroides, y son la última clase de insecticidas que se han incorporado en el mercado del control de plagas profesional. Se han comercializado dos tipos diferentes de estos reguladores, los dos interrumpen el crecimiento de los insectos, pero por dos vías totalmente diferentes.

Inhibición de la respiración en los insectos

Los insectos respiran por medio de un sistema de tráqueas, que terminan en porciones cerradas y más pequeñas (traquéolas) que penetran los tejidos. La respiración traqueal es propia de insectos y otros artrópodos terrestres. Los preservativos que contienen arsénico son importantes como inhibidores respiratorios, y son particularmente eficaces contra los insectos.

Modificación química de la madera

Se pretende alterar la estructura química de los componentes principales de la madera, para que las enzimas sean incapaces de degradar la holocelulosa y la lignina ya modificadas. Esta actividad además de reducir la biodegradación de la madera, tiene la ventaja de aumentar la estabilidad dimensional de la misma, cuando se encuentra en contacto con la humedad. Los reactivos y solventes utilizados para modificar la

estructura de la madera, permiten la penetración del químico y una reacción subsecuente con los grupos hidroxilos genera enlaces estables con los polímeros presentes en las células de la madera, sin ningún derivado. Las reacciones son generalmente rápidas, involucrando una amina terciaria como catalizador, llevándose a cabo bajo condiciones neutras o ligeramente alcalinas, en temperaturas de 120 °C o inferiores a este valor, para limitar de ese modo la degradación de la madera.

Los primeros ensayos en este campo fueron hechos desde los años 30 aunque es en la década de los noventa que se ha convertido en recientemente un campo de la investigación serio. Se han utilizado muchos productos químicos para modificar la madera. Los tipos principales de la reacción son: formación de éteres, adición de carbonilos o de acetales, formación de ésteres o de enlaces del uretano y oligoesterificación (una combinación de dos o más reacciones).

Por ejemplo, la acetilación es la esterificación de los grupos hidroxilos de la celulosa con ácido acético. La acetilación tiende a reducir la capacidad de la fibra de la madera para absorber agua. La acetilación consiste en introducir un radical acetilo ($\text{CH}_3\text{CO}-$) en una molécula orgánica que tenga grupos OH o NH_2 - los reactivos más usados para este propósito son el anhídrido acético y el cloruro de acetilo.

Referencias

- Bramhall, G. 1966. Marine borers and wooden piling in British Columbia waters. Department of Forestry. Publication No. 1138. Forintek Canada Corp. Vancouver BC, 68 p.
- Bravery A. F., R.W. Berry, J. K. Carey and D.E. Cooper. 1987. Recognizing wood rot and insect damage in buildings. Building Research Establishment Report. Department of the Environment, Princes Risborough Laboratory, Princes Risborough, Aylesbury, Bucks, UK. 120 p.
- Bricknell, J.M. 1984. A statistical analysis of dry rot attacks in buildings. Proc. A Conv. Brit Wood Preservation Assoc. 1984. 64-75.
- Building Research Establishment. 1976. Overseas Building Notes. Termites and tropical building. Overseas Division, Building



- Research Establishment, Department of the Environment, England. No. 170. 16 p.
- Canadian Wood Council. 1995. Wood Reference Handbook. Canadian Wood Council, Ottawa, Ontario. 561 p.
- Cartwright, K. St. G. and W.P.K. Findlay. 1950. Decay of timber and its prevention. Chemical Publishing Co. New York. USA. 294 p.
- Cassens, D. L.; W.C. Feist; B.R. Johnson; R.C.DeGroot. 1995. Selection and use of preservative-treated wood. Forest Products Society. Madison, Wisconsin. USA. 104 p.
- Clark, J.E. and R.S. Smith. 1987. Source of decay in sawn hem-fir lumber. Report to the Canadian Forest Service. Forintek Canada Corp. Vancouver BC. 29 p.
- Dietz, M. and W.W. Wilcox. 1997. The role of pre-infection of green Douglas-fir lumber in aboveground decay in structures in California. Forest Products Journal. 47(5):56-60.
- J. and V. Rypacek. 1991. Axial growth rates of wood-destroying fungi in relation to wood sample dimension. Mat. und Org. 26 (4) 259-268.
- Dost, W., E.E. Botsai. 1990. Wood: Detailing for performance, GRDA Publications, Mill Valley, CA 190 p.
- Duncan, C.G., F.F. Lombard. 1965. Fungi associated with principal decays in wood products in the United States. U.S. Forest Service Research paper. WP0-4. Dept. of Agriculture, Washington. D.C. 30 p.
- Eades, H.W. 1932. British Columbia Softwoods: Their Decays and Natural Defects. Forest Service Bulletin. 80. Department of the Interior. 126 p. Understanding Biodeterioration of Wood in Structures 21
- Eades, H.W. 1945. Cause and prevention decay in wooden buildings, with Products Laboratory, Madison, particular reference to the coastal Wisconsin. USA. Agriculture, Forest Service, Forest Region of British Columbia. 81 p.
- Department of Mines. National Forest Products Association. Resources Canada, Lands, Parks. 1988. Design of wood frame Forest Branch, Dominion Forest structures for permanence. National Service. 12 p. Forest Products Association.
- Eaton, R. A. and M.D.C. Hale. 1993. Wood: decay pests and protection. Chapman & Hall, London. 546 p.
- Eriksson, K.E.L., R.A. Blanchette and P. Ander. 1990. Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components. Springer-Verlag, New York, USA. 407p.
- Freas A. 1982. Evaluation, maintenance and upgrading of wood structures: A guide and commentary. American Society of Civil Engineers, New York, NY, USA. 428 p.
- Levy, M.P. (undated, 1979?) A guide to the inspection of existing homes for wood inhabiting fungi and insects. US Department of Housing and Urban Development. 104 p.
- Lstiburek, J., and J. Carmody, 1991. Moisture control handbook: new, low rise, residential construction. Springfield, Va.: U.S. Department of Commerce. National Technical Information Service. 1991. 247 p.
- McDonald, K.A.; R.H. Falk; R.S. Williams and J.E. Winandy. 1996. Wood decks: materials, construction, and finishing. U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C. 17 p.
- Thornton, J.D., and G.C. Johnson. 1986. Linear extension rates of *Serpula lacrymans* within a simulated wall cavity, Internat. Biodet. 22(4): 289- 293.
- Trechsel, H. R., ed. 1994. Moisture control in buildings, ASTM Manual Series: MNL 18. 485p.
- Viitanen, H and Ritschkoff, A-C. 1991. Brown rot decay in wooden constructions: Effect of temperature, humidity and moisture. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products. Report No. 222. 55 p.
- Wilcox. W.W., E.E. Botsai and H. Kubler. 1991. Wood as a building material: A guide for designers and builders. John Wiley & Sons. 215p.
- Wood Protection Council. 1993. Wood Protection Guidelines, Protecting wood from decay fungi and termites. Understanding Biodeterioration of Wood in Structures. Wood Protection Council, National, Institute of Building Sciences. 53 p.
- Zabel, R.A. and J.J. Morrell. 1992. Wood Microbiology: Decay and its Prevention. Academic Press. San Diego, California, USA. 476 p.

