

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO DE LA MADERA

R. Rodríguez-Anda¹; F. J. Fuentes-Talavera¹

¹Profesores Investigadores. Departamento de Madera Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Apdo. Postal 52-93.45020 Zapopan, Jal. E. Mail rrodrigu@dmcyp.cucei.udg.mx; ffuentes@dmcyp.cucei.udg.mx

RESUMEN

Dentro de aspectos abióticos, tanto la luz como el agua desempeñan un papel muy importante en el deterioro dando un aspecto de "viejo" a la madera. La acción del intemperismo en la madera llega a transformar las capas superficiales en zonas ásperas con cambios de coloración por la acción de la luz y agua entre otros factores, aunque estos tipos de cambios afectan solamente la superficie de la madera expuesta (de 0.05 a 2.5 mm). La densidad, la proporción de madera temprana y tardía se manifiestan como factores que intervienen en la velocidad de degradación que puede darse en la madera. Los ángulos de 0 y 45° de exposición presentan el mayor índice de erosión. Así mismo, se describe el efecto del intemperismo sobre la estructura anatómica de la madera.

PALABRAS CLAVE: intemperismo, degradación, fotodegradación, lixiviación, ángulos de exposición.

FACTORS INTERVENING IN THE PROCESS OF DETERIORATION IN WOOD

SUMMARY

Exposure to abiotic aspects such as sunlight and water plays an important role in deterioration of wood, giving it an "old" appearance. The action of the weathering transforms the outer layers into rough zones, with changes in color. This kind of change affects only the exposed wood surface (from 0,05 to 2,5 mm). Density and the proportion of early and late wood are factors that determine the rate of degradation. The exposure angles of 0° and 45° result in the highest erosion index. Also described is the effect of weathering and the anatomical structure of wood.

KEY WORDS: weathering, degradation, photodegradation, leaching, angles of exposure

INTRODUCCIÓN

Cuando observamos la madera en exteriores, y ésta ha sido expuesta por algún tiempo, es muy común encontrar cambios en la misma: Su color original no es el mismo (Martin *et al.*, 1992, Kalnins *et al.*, 1993), la superficie ha perdido su lisura, y en la mayoría de los casos, pequeños fragmentos de madera (astillas) sobresalen del plano horizontal dando a la superficie una textura un tanto áspera; Así mismo, en innumerables ocasiones presenta alabeos y agrietamientos. La suma de estos cambios da a la madera una apariencia de estar "vieja". Esto obedece a la intervención e interacción de varios factores, que pueden ser bióticos (ataques de insectos y microorganismos), abióticos (intemperismo, descomposición química y descomposición térmica) o ambos (Zabel y Morell, 1992). Otros factores, que aunados a los bióticos y abióticos desempeñan un papel importante, son la estructura

anatómica así como las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la madera (Niemz, 1993; Frühwald, 1993).

El presente trabajo consiste en una revisión bibliográfica que tiene como objetivos describir principalmente los factores abióticos que generan el envejecimiento de la madera y divulgar el conocimiento de los fenómenos que pueden ocurrir en maderas que suelen ser usadas en exteriores, y que con el paso del tiempo pierden su calidad de superficie por efecto del intemperismo.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO DE LA MADERA

Los agentes responsables de los cambios en la superficie de la madera, ocasionados por el medio ambiente

son, la radiación solar (luz ultravioleta, visible e infrarroja), humedad (rocío, lluvia, nieve, contenido de humedad) y temperatura. Por otra parte, la propia naturaleza de la madera, como la densidad, la composición física, química y anatómica influyen sobre estos cambios. El conjunto de estos elementos como su interacción, son puntos clave que intervienen en el proceso de envejecimiento de la madera, por lo que se analizarán los principales de forma individual.

Luz ultravioleta

La degradación fotoquímica ocurre sobre la superficie de la madera expuesta a la acción de la luz del sol, particularmente luz ultravioleta (UV) (Mitsui *et al.*, 2001). El color cambia inicialmente a amarillo o marrón y conforme los componentes de la madera se degradan, cambian eventualmente a un color gris plateado. Esto obedece primeramente a la descomposición de la lignina en las capas superficiales; Sin embargo, el color puede ser más oscuro si los extractos emigran hacia la superficie. Estos cambios ocurren solamente a profundidades de 0.05-2.5 milímetros (Feist y Hon, 1984).

En la Figura 1 se muestran los cambios en color de diferentes maderas expuestas a la intemperie. En los primeros días de exposición, la diferencia en color se incrementa considerablemente debido a la influencia de los rayos UV, y prácticamente tiende a estabilizarse a partir de los 180 días de intemperismo. Después de la degradación de la lignina, la superficie queda prácticamente a merced de microorganismos que degradan la madera (Highley, 1999; Schmidt, 1993)

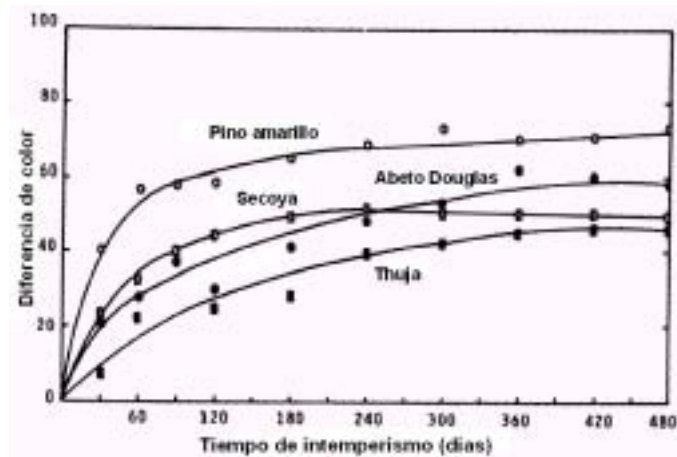


Figura 1. Cambios de color de maderas expuestas (Feist y Hon, 1984).

Los cambios de color en la madera se llevan a cabo por procesos fotoquímicos, donde la energía absorbida

causa disociación de enlaces en las moléculas de los componentes de la madera. El proceso homolítico produce radicales libres como primer producto fotoquímico. Este acontecimiento, puede conducir a una despolimerización y a la formación de grupos cromóforos tales como carbonilos, carboxilos, quinonas, peróxidos, hidroperóxidos y enlaces dobles conjugados, por lo que el proceso de degradación UV es iniciado por la formación de radicales libres, y probablemente, comienzan con la oxidación de oxidrilos fenólicos. El proceso de degradación resulta en un decremento de metoxilos, contenido de lignina, y un incremento en la acidez y concentración de carboxilos en los contenidos de la madera.

En la Figura 2 se muestra una espectroscopía infrarroja (IR) realizada por Feist y Hon, 1984, observándose, que durante la irradiación UV en la madera, la absorción aumentó debido a la presencia de los grupos carbonilos (a observarse en el espectro, entre las bandas 1,720 cm^{-1} a 1,735 cm^{-1}), mientras que la absorción para la lignina decreció (a observarse en el espectro, entre las bandas 1,265 cm^{-1} a 1,510 cm^{-1}), atribuyéndose el incremento de los grupos carbonilos, como resultado de la oxidación de la celulosa y de la lignina.

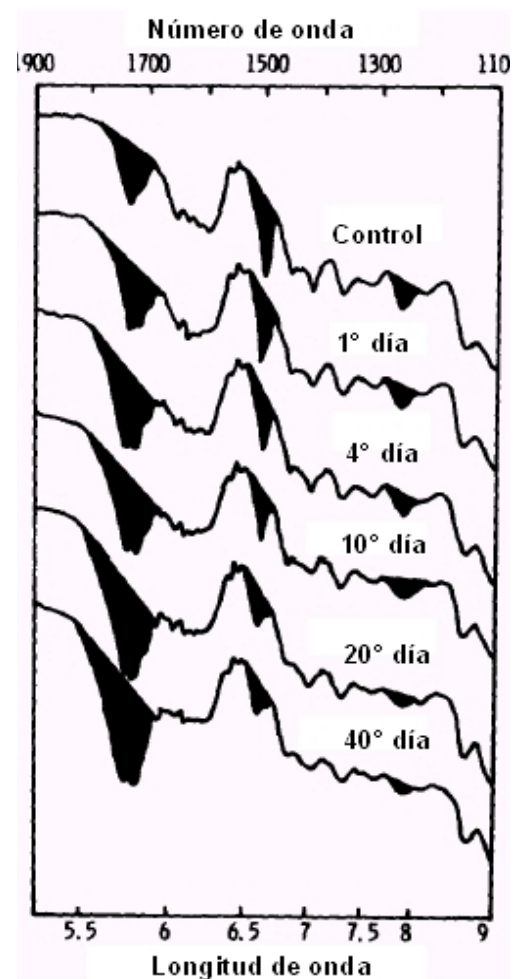


Figura 2. Cambios en los espectros infrarrojos para madera irradiada (UV) (Feist y Hon, 1984).

Por su parte, Anderson *et al.* (1991) proponen un esquema fotoquímico de intemperismo de la madera, el cual se muestra en la Figura 3, donde, después de la absorción de luz, la metilen quinona excitada electrónicamente, reacciona abstrayendo los átomos de hidrógeno de la celulosa o lignina, generando otros radicales que pueden ser recogidos por otros grupos fenólicos en la lignina.

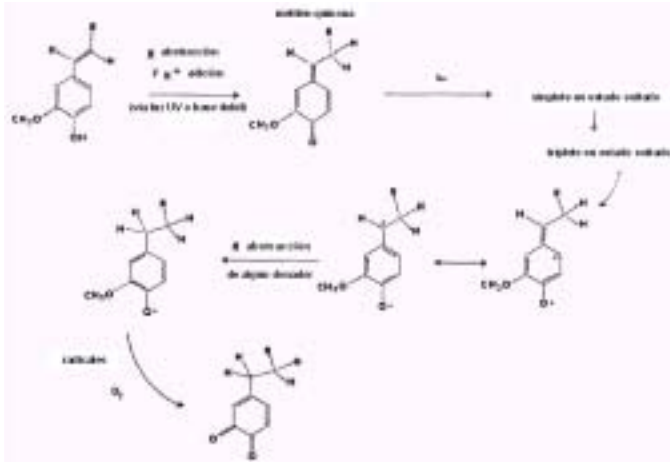


Figura 3. Esquema fotoquímico del intemperismo de la madera propuesto por Anderson *et al.* (1991).

Agua

La acción del agua (a temperatura ambiente) como agente único de degradación de la madera, es prácticamente nula. Si bien, a determinadas temperaturas (por lo general altas) influye sobre los extractos (eliminación), en procesos de intemperismo natural difícilmente se lograría. Sin embargo, es la combinación con otros agentes lo que le da significado a este factor. La combinación de luz y agua son muy importantes en el proceso de intemperismo, ya sea natural o artificial (Anderson *et al.*, 1991).

La acción del agua es esencial para la remoción tanto de partículas que permanecen sobre la superficie de la madera, como de posibles astillas que se puedan generar durante el intemperismo (Martin *et al.*, 1991). Con esto se provoca que las capas internas sin degradar queden expuestas, dando origen a procesos cíclicos de degradación. En la Figura 4, Feist y Hon, 1984 demuestran en madera expuesta completamente a la intemperie, que tuvo pérdidas de absorción (a observarse en el espectro, entre las bandas 1,265 cm⁻¹ a 1,510 cm⁻¹), donde la lignina degradada fue lixiviada después de 30 días de exposición. La absorción de los grupos carbonilos fue también reducida (a observarse en el espectro, entre las bandas 1,720 cm⁻¹ a 1,735 cm⁻¹). Esta observación muestra que los constituyentes químicos oxidados presentes en la superficie

de la madera y particularmente los componentes de la lignina fueron removidos por la acción del agua.

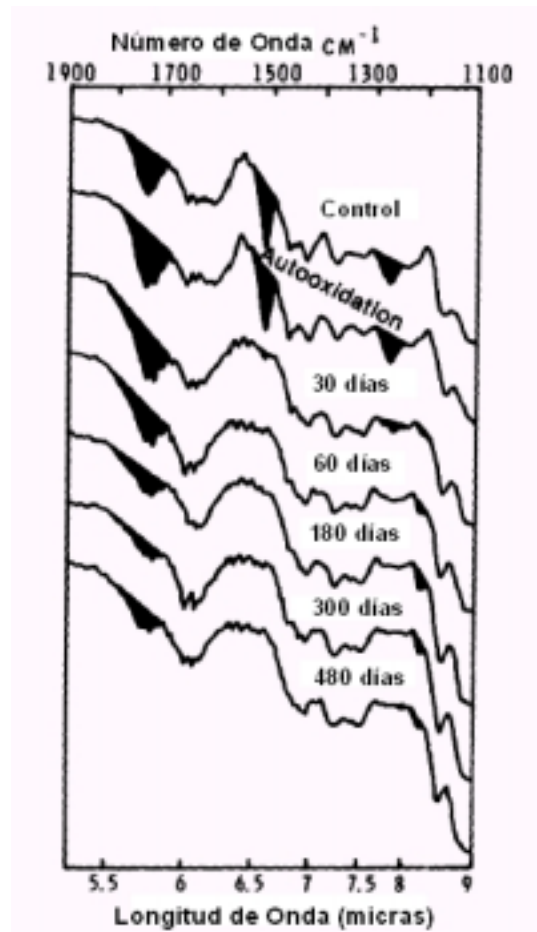


Figura 4. Cambios de los espectros infrarrojos provocado por lixiviación (Feist y Hon, 1984).

Si aunado a lo anterior, sumamos el ángulo de exposición de la madera, las pérdidas por erosión pueden variar. Williams *et al.* (2001) intemperiza diferentes especies de madera a 3 ángulos de inclinación, 90°, 45° y 0° durante 8 años, mostrándose los resultados en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Erosión de diferentes especies variando el ángulo de exposición (Williams *et al.*, 2001)

Especies	Madera temprana (im/año)		
	90°	45°	0°
Abeto	42	97	81
Pinus taeda	34	78	89
Pino del sur	62	123	102
Thuja	131	177	135
Encino rojo del norte	35	67	114
Álamo amarillo	48	117	209

Conforme a los resultados de la Cuadro 1 se puede apreciar que las diferencias en la erosión de la superficie entre los ángulos de exposición 45° y 90° es considerable, presentándose en menor proporción entre 45° y 0°, por lo que el papel de la lluvia es muy importante. Si bien, las precipitaciones pluviales no son precisamente a 90°, incide más directamente sobre las superficies de 45 y 0°, siendo el impacto de la gota de agua durante la lluvia mayor sobre estas superficies.

DENSIDAD

La densidad, que es definida propiamente por el espesor y los componentes de la pared celular, es uno los factores que determinan el grado de erosión que puede presentar la madera al ser expuesta. Niemz (1993), Feist y Hon (1984), Williams *et al.* (2000) entre otros, hacen hincapié en el papel que juega este factor. En la Cuadro 2 se presentan los valores de erosión a tiempos variados en maderas de diferentes densidades al ser expuestas en cámaras de intemperismo acelerado.

Como se aprecia en la tabla anterior, conforme aumenta la densidad, la magnitud de la erosión disminuye, lo que se refleja en una mejora a la resistencia del intemperismo. Por otra parte, Sell y Feist (1986), citados por Niemz,1993 muestran en la Figura 5 la relación

existente entre la densidad y la erosión que ocurre en la madera por efecto del intemperismo.

Sin embargo, la medición de la densidad, incluye madera temprana y tardía, por lo que el grado de erosión se manifiesta y varía en una misma pieza de madera, por ejemplo, en la Cuadro 3 se evidencia, que el mayor grado de erosión lo presenta la madera temprana con respecto a la tardía.

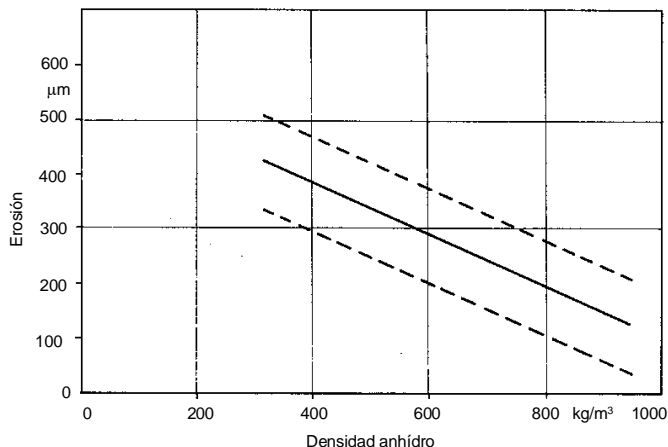


Figura 5. Relación de la cantidad erosionada con respecto a la densidad anhidro de la madera. Sell y Feist (1986), citados por Niemz (1993).

CUADRO 2. Erosión de la madera después del intemperismo acelerado (Feist y Hon,1984).

Especie	Densidad (g/cm³)	Erosión después de la exposición a la luz (mm)			
		600 (h)	1200 (h)	1800 (h)	2400 (h)
Encino blanco	0.641	65	105	135	180
Encino rojo	0.566	75	135	150	200
Abedul amarillo	0.555	100	200	245	300
Álamo amarillo	0.449	115	170	260	305
Tilo americano	0.370	130	195	320	385

CUADRO 3. Cantidades erosionadas de madera tardía y temprana durante 6 años en diferentes especies variando el ángulo de exposición (Williams *et al.*, 2001).

Especies	Madera temprana (mm/año)			Madera tardía (mm/año)		
	90°	45°	0°	90°	45°	0°
Abeto	42	97	81	20	42	48
Pinus taeda	34	78	89	20	44	39
Pino del sur	62	123	102	20	48	44
Thuja	131	177	135	26	96	77
Encino rojo del norte	35	67	114	30	80	105
Álamo amarillo	48	117	209	--	--	--

De la relación de madera temprana y tardía, es de esperarse que en especies de rápido crecimiento el grado de erosión pueda ser mayor, tanto en cantidad como en velocidad, puesto que la proporción de madera temprana con respecto a la tardía es mucho mayor.

Estructura de la madera

En la actualidad, es relativamente poca la investigación que se ha hecho con relación a la estructura anatómica de la madera con respecto a los índices de intemperismo. Feist y Hon, 1984 detallan el proceso de agrietamiento en varias especies de madera durante el intemperismo, mencionando que la lixiviación y el efecto plastificante del agua facilita el agrandamiento de las microgrietas. Sus estudios revelan la destrucción de la lámina media y de varias capas de la pared celular. Las fibras individuales y microfibrillas, son señaladas como los elementos más estables después de la degradación. Dentro de las capas de la pared celular, varias de ellas tuvieron fallas por la pérdida cohesiva estructural entre las microfibrillas y la pérdida de cohesión entre las capas. Este proceso destructivo por la acción atmosférica fue limitado a la capa superficial (2-3 mm).

En el mismo trabajo, se mencionan los cambios en la estructura anatómica que sufrió la madera de pino amarillo al ser sometida a intemperismo artificial durante 500 horas, donde, en la sección transversal, las células fueron separadas en la zona de la lámina media, y en casos extremos la pared secundaria fue colapsada. En la zona radial, las punteaduras semi-areoladas fueron dañadas después de 500 horas de exposición, y el deterioro de las areoladas se presentó en menor grado, de tal manera, que éstas se pueden reconocer con facilidad. Adicionalmente, se formaron agrietamientos en las paredes radiales. Después de 1,000 horas de exposición, se observaron daños severos en las punteaduras areoladas, produciéndose rajaduras a lo largo de sus membranas, y destruyéndose por completo las concavidades. En la sección tangencial, se mencionan micro rupturas diagonales, pasando a través de las punteaduras areoladas de las paredes celulares de las traqueidas, ocurriendo prácticamente en ángulos correspondientes a la pared celular S_2 .

Kuèera y Sell (1987) (exponen a 45° de inclinación, orientación sur) por varios años madera de Haya y realizan estudios anatómicos. Dentro de sus observaciones mencionan la fragilidad en la zona de los radios medulares de la cara tangencial, lo que generó áreas de ruptura durante el intemperismo, atribuyéndolo principalmente al ancho del radio medular y al movimiento natural de la madera (hinchamiento y contracción). La cara transversal presentó agrietamientos, pero no con la misma intensidad. Algunas probetas mostraron agrietamientos de 8 a 10 mm y en casos excepcionales hasta varios centímetros de largo.

A nivel microscópico, se produjeron rupturas de las capas internas de la pared celular, generalmente en la lámina media, presentándose de igual forma tanto en vasos como en las fibras de la madera.

A pesar de lo antes mencionado, en las investigaciones citadas no se hace inferencia de la posible correlación entre grado de intemperización y disposición de los vasos (anular, semianular y difusa), del tipo de radios medulares (uniseriados, biseriados y poliseriados), ancho de anillos anuales entre otros, por lo que sería de suma importancia, el posible establecimiento de las relaciones que se pudieran dar entre estos factores con respecto al grado de intemperismo.

CONCLUSIONES

La madera expuesta a la intemperie experimenta fotodegradación por la luz UV, lixiviaciones, hidrólisis y rajaduras. Los cambios de coloración afectan solamente la superficie de la madera expuesta (de 0.05 a 2.5 mm) debido a la descomposición química de la lignina y de extraíbles.

El ángulo de exposición juega un papel importante en la degradación de la madera, obteniéndose los mayores índices entre 45 y 0° de inclinación. A 90°, la degradación disminuye considerablemente. Sin embargo, sería de interés en futuras investigaciones, establecer posibles correlaciones de la cantidad erosionada con respecto al ángulo, propiamente entre 45 y 90°.

A mayor densidad, menor cantidad de material erosionado, esto mismo es aplicable a la proporción de madera tardía y temprana dentro de la pieza de madera. La superficie tangencial, propiamente la zona de los radios medulares, es la más susceptible al intemperismo, originando rupturas que van desde la lámina media a las capas secundarias de la pared celular. No obstante esta información, se recomienda hacer estudios posteriores donde se correlacione elementos tales como la porosidad, radios, etc., con respecto al grado de erosión.

De todo lo anterior, se concluye, que para el empleo de la madera en exteriores, se utilice maderas de densidad lo más alta posible, pero a la vez con buena estabilidad dimensional. De ser posible proteger a la madera de la acción directa de los rayos del sol y de la lluvia (mediante protección arquitectónica) y sobre todo, aplicar mantenimiento periódico de las piezas expuestas.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, ERIN L.; PAWLAK ZENON, O. N. L.; FEIST, WILLIAM C. 1991. "Infrared Studies of Wood Weathering. Part I: Softwoods" Forest Products Society. Forest Products. Journal Volume 45, Number 4.

- FEIST, W. C.; HON DAVID, N. 1984. "Chemistry of Weathering and Protection". In Rowell, Roger M., ed. The Chemistry of solid wood. Advances in chemistry series 207, Washington, DC: American Chemical Society; Chapter 11.
- FRÜWALD, A. 1993. Apuntes de la Cátedra "Holzphysik, Elastizitäts- und Festigkeitslehre" de la carrera de Holzwirtschaft de la Universidad de Hamburgo, R.F.A. pp. 244.
- HIGHLEY, T. L. 1999. "Biodeterioration of Wood" Forest Products Laboratory. Wood handbook-Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. pp. 463.
- KALNINS, M. A.; FEIST, W. C. 1993. "Increase in wettability of wood with weathering". Forest Products Society. Forest Products. Journal. 43(2): 55-57.
- KUËERA L. J.; SELL J. 1987. "Die Vewitterung von Buchenholz im Holzstrahlenbereich". Holz als Roh- und Werkstoff. 45: 89-93.
- MARTIN A.; SELL, J.; FEIST, W. C. 1991. "Wood weathering in fluorescent ultraviolet and xenon arc chambers" Forest Products Research Society, Forest Products. Journal. 41(2): 40-44.
- MARTIN, A.; FEIST, W. C.; WILLIAMS, R. S. 1992. "Effect of weathering of new wood on the subsequent performance of semitransparent stains". Forest Products Research Society. Forest Products. Journal. 42(3): 10-14.
- MITSUMI, K.; TAKADA, H.; SUGIYAMA, M.; HASEGAWA, R. 2001. "Changes in the Properties of Light-Irradiated Wood with Heat Treatment. Part 1. Effect of Treatment Conditions on the Change in Color". Holzforschung Volume 55(6).
- NIEMZ, P. 1993 "Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe" DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., Leidfelden - Echterdingen. pp. 243.
- SCHMIDT, O. 1993. Apuntes de la Cátedra "Holzschäden durch Pilzen" de la carrera de Holzwirtschaft de la Universidad de Hamburgo, R.F.A. pp. 125.
- WILLIAMS R, S.; JORDAIN C.; DAISEY, G. I.; SPRINGATE, R. W. 2000. "Wood properties affecting finisch service life". Journal of Coatings Technology 72(902): 35/42.
- WILLIAMS, R. S.; KNAEBE M., T.; EVANS J., W.; FEIST, W. C. 2001. "Erosion rates of wood during natural weathering. Part III. Effect of exposure angle on erosion rate". Wood and Fiber Science. 33(1): 50-57.
- ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. 1992 "Wood Microbiology Decay and Its Prevention", Academic Press, Inc. Harcourt Braces Jovenovich, Publishers. San Diego California. pp. 476.