

DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES DE *Quercus* DEL ESTADO DE PUEBLA**J. Amador Honorato Salazar**

Investigador Titular, INIFAP, Campo Experimental San Martinito
km 56.6 Carretera Federal México-Puebla, Tlahuapan, Pue.
Apdo. Postal No. 124, San Martín Texmelucan, 74000 Puebla
e-mail: amadorh@computex.com.mx

Luis Vázquez Silva

Investigador Titular, INIFAP, Campo Experimental San Martinito
km 56.6 Carretera Federal México-Puebla, Tlahuapan, Pue.
Apdo. Postal No. 124, San Martín Texmelucan, 74000 Puebla

Francisco J. Zamudios Sánchez

Profesor-Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, División de
Ciencias Forestales. Apdo. Postal No. 37, Chapingo, 56230 Edo. de México.

RESUMEN

Pruebas en área cementerio fueron llevadas a cabo en la madera de duramen y albura de cinco especies *Quercus* del estado de Puebla, para evaluar su durabilidad y determinar la vida útil. Las especies estudiadas fueron *Quercus affinis*, *Q. crassifolia*, *Q. glabrescens*, *Q. laurina* y *Q. mexicana*. Los criterios para evaluar el ataque en las probetas se basaron en la norma ASTM D 1758. La evaluación se realizó cada seis meses por un período de 66 meses. Los valores promedio indicaron que la durabilidad natural de la madera de duramen fue de 20% a 60% más que la de albura, por lo que el análisis principal fue enfocado al desempeño de la madera de albura. Los valores promedio se utilizaron para

desarrollar un modelo matemático y determinar la vida útil de servicio de cada especie. Del modelo se derivaron diferentes indicadores que permitieron analizar el desempeño a la resistencia de deterioro en la madera de albura. La falla de las probetas de esta madera fue solamente causada por el ataque de hongos xilófagos. La madera de albura más resistente fue la de la especie *Quercus glabrescens*; después en orden decreciente: *Q. affinis*, *Q. mexicana*, *Q. crassifolia* y *Q. laurina*, esta última se clasificó como moderadamente durable y el resto como durables. Como se trata con una mezcla de especies, se considero que es posible utilizar madera de albura en forma natural hasta por 21 meses. En este tiempo, la madera alcanza un nivel de deterioro moderado y aun

permite aplicarle algún tratamiento de preservación para prolongar su período de uso.

Palabras clave: Encino, madera, durabilidad natural, área cementerio, Puebla.

ABSTRACT.

Graveyard tests were made on both heartwood and sapwood stakes of five oak species from Puebla State, Mexico, to assess their durability and determine service life. The studied species were *Quercus affinis*, *Q. crassifolia*, *Q. glabrescens*, *Q. laurina* and *Q. mexicana*. The criteria for assessing the attack on the stakes was based on the ASTM D 1758 standard. Evaluation of the stakes was carried out every six months for a period of 66 months. Average values indicated that natural durability of the heartwood was from 20% a 60% greater to that of the sapwood, so the main analysis of data was focused on sapwood performance and its average values were used to develop a mathematical model, as well as to determine life service of each specie. Several indicators were derived from the model and allowed to analyse the performance of decay resistance on sapwood. The failure of sapwood stakes was only due to fungi. The most resistant sapwood of the species was *Quercus glabrescens*, next in order of decreasing resistance were *Q. affinis*, *Q. mexicana*, *Q. crassifolia* and *Q. laurina*. However, only *Q. laurina* was classified as moderately durable and the remaining as durable. When dealing with a mixture of species, it was considered that it is

possible to use natural sapwood timber in ground contact up to 21 months. At this time, the timber reaches a moderate decay grade and still allows to apply a preservative treatment in order to increase its service life.

Keywords: Oak, natural durability, graveyard tests, Puebla

INTRODUCCION

La durabilidad natural de la madera se define como la capacidad que ésta presenta para resistir la acción del intemperismo y el ataque de organismos biológicos que la deterioran, tales como bacterias, algas, hongos, insectos y perforadores marinos. La resistencia de la madera al ataque de estos organismos depende de la composición química de la pared celular, de la presencia de otros compuestos químicos en las cavidades celulares, su permeabilidad, su contenido de humedad y su temperatura (Findlay, 1985). Adicionalmente, existen otros factores, considerados como externos, tales como las especies locales de hongos xilófagos y las condiciones climáticas (Scheffer y Cowling, 1966).

La variación de la durabilidad puede ocurrir dentro de una especie y entre especies. En un árbol se ha observado que presenta una gran diferencia entre la madera de albura y duramen, entre la parte baja y superior del tronco, así como entre la parte cercana y alejada a la médula en la zona del duramen. La diferencia entre especies se debe a la proporción de albura y duramen, así como a la cantidad y tipo de extractivos.

Para estudiar, evaluar y clasificar la durabilidad natural de la madera de las especies forestales susceptibles de aprovechamiento, es necesario llevar a cabo pruebas específicas que proporcionen datos adecuados sobre el deterioro de la madera. Las pruebas de campo son las más recomendables porque representan condiciones reales de uso a la intemperie y en contacto con el suelo. Estas pruebas consisten en colocar estacas o postes enterradas en el suelo, en una pequeña superficie de terreno, conocida como área cementerio, evaluando así cada una de las estacas a intervalos de tiempo regulares para verificar su condición de biodeterioro y posteriormente determinar el tiempo de falla ocasionado por los agentes biológicos de ataque.

Debido a que las pruebas de campo requieren de mucho tiempo, algunas pruebas de laboratorio se han desarrollado para determinar la resistencia a la pudrición causada por hongos xilófagos, para lo cual se seleccionan pequeñas muestras de diferentes partes del tronco, exponiéndose a cultivos puros de diferentes especies de hongos xilófagos, bajo condiciones constantes de temperatura y humedad por un tiempo determinado. La pérdida en peso anhidro que resulta del ataque de estos organismos es expresada como un porcentaje del peso anhidro inicial de las muestras, dando así una medida útil del grado de resistencia o de la susceptibilidad de la madera a ser deteriorada.

A la fecha, en México no existen estudios de campo reportados para encinos u

otras especies maderables, por lo cual es difícil saber su durabilidad natural en condiciones de uso. Los estudios de investigación han sido realizados en laboratorio y enfocados a evaluar la resistencia de la madera al ataque de hongos (De la Paz Pérez y Aguilar, 1978; Gómez *et al.*, 1969, Herrera *et al.*, 1980).

Tradicionalmente, los encinos se han clasificado como especies de alta durabilidad, principalmente al grupo de los encinos blancos. Esta clasificación se ha establecido por las experiencias generales de uso. Estudios realizados en laboratorio han confirmado que los encinos blancos son más resistentes al ataque de hongos xilófagos que los rojos (Scheffer y Duncan, 1949; Scheffer y Cowling, 1966; Vázquez y Honorato, 1997).

Aun cuando los estudios de campo involucran mayor tiempo para obtener resultados que aquellos realizados en laboratorio y de la dificultad para llevar a cabo las observaciones continuas, es necesario que se realicen este tipo de estudios para conocer la durabilidad natural de la madera. La escasa información sobre la durabilidad de los encinos mexicanos ha permitido que se establezcan estudios de campo con el fin de obtener información más real de las condiciones de uso y para mejorar sus condiciones de aprovechamiento. Mientras más conocimiento se tenga sobre el comportamiento de deterioro de las especies de encinos, así como la diferencia entre y dentro de las especies, mejores serán las bases para seleccionar

a los encinos y determinar su factibilidad de uso en condiciones de alta humedad y temperatura.

OBJETIVOS

1. Evaluar y determinar la durabilidad natural de cinco especies de encino por medio de pruebas en áreas cementerio.
2. Determinar el tiempo mínimo de deterioro que la madera resiste sin sufrir una degradación natural considerable.

MATERIALES Y METODOS

El procedimiento que se describe se basa en la norma ASTM D 1758 (American Society for Testing and Materials [ASTM], 1992), utilizando probetas al natural.

Las especies estudiadas se seleccionaron en función de su distribución y abundancia, las cuales fueron: *Quercus glabrescens*, *Q. crassifolia*, *Q. affinis*, *Q. mexicana* y *Q. laurina*. De estas especies, la primera pertenece al grupo de encinos blancos y el resto al grupo de encinos rojos.

Para el estudio de durabilidad natural se seleccionó una área plana con buen drenaje de 300 m² en las instalaciones del Campo Experimental San Martinito, localizado a 19° 20' latitud norte, 98° 34' longitud oeste y 2100 msnm. Las condiciones climatológicas promedio de la zona son: temperatura anual de 13.9 °C, temperatura máxima anual de 21.6 °C, temperatura mínima anual de 5.9 °C, humedad relativa anual de 61%, máxima de 71% y

mínima de 48%. De acuerdo con Pérez (1982), la zona se clasifica como «riesgo medio» para el ataque de hongos con un índice climático de 76.48. Las características de suelo del área seleccionada son: textura migajón arenosa, capacidad de campo de 11.3, porosidad de 43% y pH de 6.0.

El área se dividió en hileras y columnas con espaciamientos de 30 cm entre hileras y 60 cm entre columnas. A fin de garantizar la distribución aleatoria de las cinco especies dentro del área cementerio, las probetas se mezclaron y se eligieron al azar por medio de una tabla de números aleatorios. Después se instalaron a una profundidad de 25 cm en las intersecciones de hileras y columnas. El control de malezas en el área de estudio se realizó manualmente cada tres meses.

Se seleccionaron dos árboles por especie, obteniéndose de cada uno una troza de 2.60 metros de longitud por árbol a una altura de 1.5 m sobre el tocón. Las trozas se seccionaron en pequeños trozos de 0.65 m de longitud de las que obtuvieron barras de 2.5 cm (radial [R]) x 2.5 cm (tangencial [T]) x 65 cm (longitudinal [L]), tanto de la albura como del duramen. Las barras se secaron en condiciones ambientales de interior hasta que alcanzaron un contenido de humedad en equilibrio y después se dimensionaron a 2.0 cm (R) x 2.0 cm (T) x 65 cm (L). Veinte barras libres de defectos fueron seleccionadas de la madera de albura y veinte de la madera de duramen; fueron etiquetadas en un

extremo con láminas de aluminio, llevando así un control del número de probeta, el tipo de madera y la especie.

La toma de datos se efectuó a intervalos de seis meses, tiempo que establece la norma utilizada. Además se observó que este tiempo fue suficiente para que hubiera implantación de los principales agentes biológicos (hongos o insectos) causantes del deterioro de la madera. El tiempo total de exposición fue de 66 meses.

La evaluación de avance en el grado de deterioro de las probetas se realizó visualmente para el ataque de hongos e insectos. Para tal efecto, la probeta se extrajo cuidadosamente del suelo, evaluándose la parte que permaneció enterrada en el suelo, aplicando también una flexión ligera con ambas manos. Al terminar la evaluación, ésta se colocó nuevamente en su lugar a la misma profundidad, tratando de perturbar lo menos posible la interacción entre la probeta, el suelo, el hongo o el insecto.

Cuadro 1. Clasificación del grado de deterioro o ataque causado por hongos y/o insectos en la madera.

Grado de deterioro	Condición de deterioro o ataque
10	Sana
9	Incipiente
7	Moderado
4	Severo
0	Falla

Dependiendo del grado de deterioro, a cada probeta se le asignó un número en cada medición y de acuerdo a la descripción dada en la norma ASTM D 1758 (ASTM, 1992). Los números asignados se señalan en el Cuadro 1.

Durante el período de evaluación considerado, el ataque por hongos fue más notorio en la madera de albura para todas las especies, por lo que sólo estos datos se analizaron con detalle. Así, con el número de probetas que presentaron falla, se calculó el porcentaje de

falla acumulada y los valores promedio del grado de deterioro de cada especie se ajustaron mediante el modelo matemático:

$$g(t) = at^2 + bt + c \quad (1)$$

donde $g(t)$ es el valor promedio del grado de deterioro en el tiempo t considerado en meses, a , b y c son los parámetros del modelo.

El ajuste se hizo restringiendo los parámetros c y a ; con $c = 10$ (ya que al

inicio no había ningún deterioro) y $a \neq 0$, de manera que las diferentes raíces del modelo fueran números reales y no valores complejos.

A partir del modelo (1) se calcularon las siguientes variables para cada una de las especies:

1. t^* , representa el tiempo en el que ocurre la falla de la probeta según el modelo (1); es decir, $t = t^*$ y $g(t^*) = 0$.
2. abc , área bajo la curva $g(t)$ desde $t = 0$ hasta $t = t^*$.
3. t_7 , tiempo en el que las especies alcanzan un grado del deterioro igual a 7; es decir $t = t_7$ tal que $g(t) = 7$. Este valor se consideró como el mínimo aceptable para que una madera en estado de deterioro moderado, le sea posible darle un tratamiento de preservación. Para fines de análisis se utilizó el tiempo menor observado en las especies para que alcancen el valor de 7.

4. abc_{t_7} , área bajo la curva $g(t)$ desde $t = 0$ hasta $t = t_7$.

5. app , área de pérdida porcentual con respecto al área bajo la curva ideal (ai), dada por la ecuación $g(t) = c = 10$ (valor óptimo) en el intervalo de tiempo $(0, t_7)$; es decir, con respecto a $ai = 10xt_7$. Así,

$$app = \frac{ai - abc_{t_7}}{ai} \times 100 \tag{2}$$

6. tp , representa el tiempo $t = tp$ que tardaría cada especie en presentar un área de pérdida porcentual con respecto al área bajo la curva ideal hasta el tiempo tp ; es decir, con respecto a $ai(tp) = 10(tp)$ y equivalente al área de pérdida porcentual más pequeña (app_{min}) que se observó en las especies. Entonces, tp es la solución de la siguiente ecuación:

$$app_{min} = \frac{(10 \times tp) - abc(tp)}{(10 \times tp)} \times 100 \tag{3}$$

donde:

$$abc(tp) = \int_0^{tp} g(t) dt = \frac{a(tp)^3}{3} + \frac{b(tp)^2}{2} + c(tp) \tag{4}$$

Substituyendo la ecuación (4) en la (3) y resolviendo, queda que tp debe de satisfacer la siguiente ecuación cuadrática:

$$\frac{a}{30}(tp)^2 + \frac{b}{20}(tp) + \frac{app}{100} = 0 \tag{5}$$

7. Velocidad de cambio en el tiempo t (vct), $vct = 2a$, dado que

$$g'(t) = \frac{d}{dt} g(t) = 2at + b \quad (6)$$

de modo que $2a$ es el coeficiente asociado al tiempo t en la curva que mide la velocidad de cambio $g(t)$ en ese tiempo.

8. Velocidad de cambio constante (vck), $vck = b$

9. Velocidad de cambio en el tiempo $t7$, es decir $vct7 = g'(t7)$.

10. Velocidad de cambio porcentual en el tiempo $t7$ ($vct7p$), la cual se representa en relación a la mayor velocidad de cambio decreciente observada ($mvcd$) para las especies.

$$vct7p = \frac{vct7}{mvcd} \times 100 \quad (7)$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Durante el tiempo de estudio, no hubo ataque de insectos en las probetas instaladas en el área cementerio. El deterioro fue causado sólo por hongos.

Los valores promedio de deterioro causado por hongos a través del tiempo para la madera de albura y duramen se muestran en las Figuras 1 y 2.

Como se observa en las Figuras 1 y 2, el deterioro causado por el ataque de hongos es más pronunciado en la madera de albura que en la de duramen. En albura empieza a ser notorio a los 18 meses, mientras que en el duramen se presenta hasta los 42 meses, lo que significa que la madera de duramen es aproximadamente 40% más resistente que la de albura.

El comportamiento de deterioro observado se debe principalmente a que la madera de duramen de las especies presenta mayor cantidad de extractivos que la albura (Honorato y Hernández, 1998) y esta última tiene una gran cantidad de carbohidratos simples que son fácilmente solubles en agua y que pueden ser utilizados como alimento de los hongos (Eriksson *et al.*, 1990), lo cual hace que sea más susceptible al ataque de organismos. Asimismo, entre los extractivos se encuentran los taninos en una mayor proporción en el duramen que en la albura y de acuerdo con Hart y Hillis (1972), se consideran como inhibidores del crecimiento de algunos hongos.

Tomando en cuenta los valores promedio de deterioro, *Quercus crassifolia* presenta mayor velocidad en su deterioro, mientras que *Q. glabrescens* es

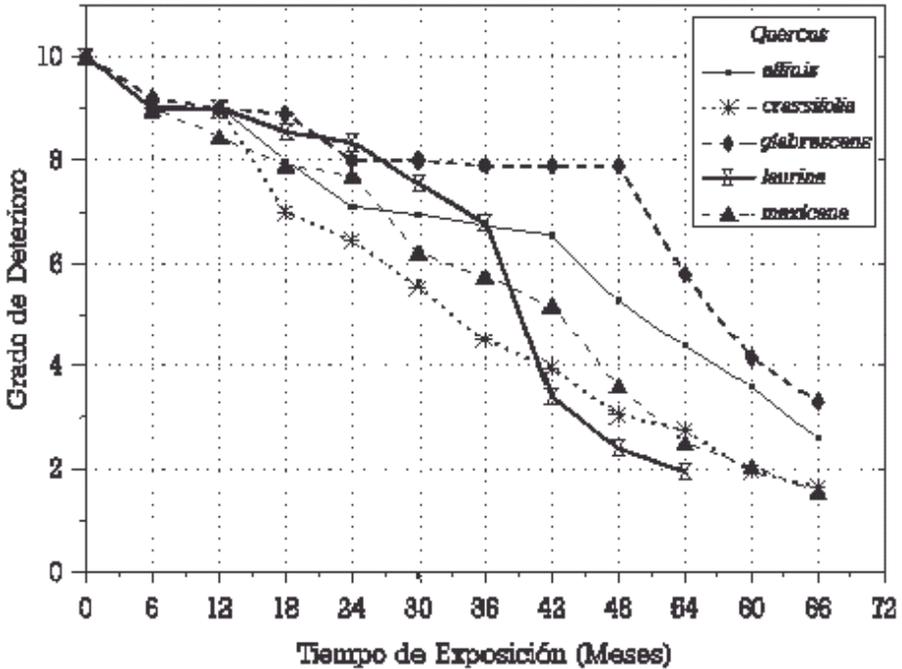


Figura 1. Grado de deterioro promedio en madera de albura causado por hongos.

más lento (Figura 4 y Cuadro 2). Esto también se observa en la falla acumulada de las probetas deterioradas (Figura 3).

Los valores promedio y las estimaciones del modelo (1) proporcionan más elementos de análisis. Los resultados se muestran en la Figura 4 y el Cuadro 2.

El área total bajo la curva (abc) puede considerarse como un indicador de la capacidad de resistencia al deterioro de las especies; así mientras más amplia sea su área, mayor será su capacidad para resistir el deterioro. En la Figura 4 y Cuadro 1, se observa que a pesar de

de que *Q. affinis* presenta un mayor tiempo t^* , su área es menor que *Q. glabrescens*. Otro factor es el período que tardan la especies en alcanzar un grado de deterioro moderado, el cual es equivalente a 7. La especie que más rápido alcanzó este grado fue *Q. crassifolia* con un tiempo de 21.8 meses. Esta rapidez de deterioro se relaciona con la velocidad de cambio constante (vck), que puede considerarse como la susceptibilidad de resistencia inherente a ser degradada. Así, las especies maderables con una menor resistencia al ataque de agentes

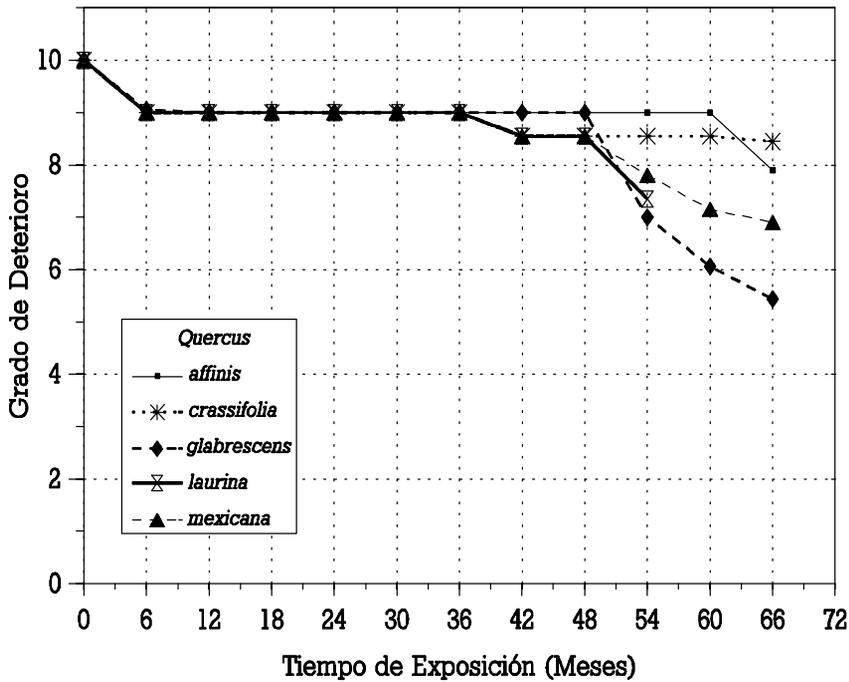


Figura 2. Grado de deterioro promedio en madera de duramen causado por hongos.

biológicos se degradarán más rápido que aquellas que ofrecen una mayor resistencia. En este caso, puede observarse en el Cuadro 1, que las especies con una mayor velocidad de cambio decreciente requieren de menos tiempo para alcanzar un nivel de deterioro moderado. Adicionalmente, la velocidad de cambio instantánea (v_{ct}) también influirá en la rapidez de degradación, ya que el nivel de deterioro que se presenta en ese momento se incrementará para los períodos posteriores de degradación, debido a que se combina

con la resistencia inherente de la madera. Esta combinación puede interpretarse como el grado de resistencia que puede presentar la madera en un tiempo considerado. En el Cuadro 1, se observa que v_{ct} es menor para *Q. affinis* y mayor para *Q. laurina* y *Q. glabrescens*. Sin embargo, para el período de 21 meses, esta velocidad es diferente, siendo menor para *Q. glabrescens* que para *Q. crassifolia*, indicando que el grado de resistencia para *Q. glabrescens* en ese momento, es de 46% a 101% mayor que para las otras especies.

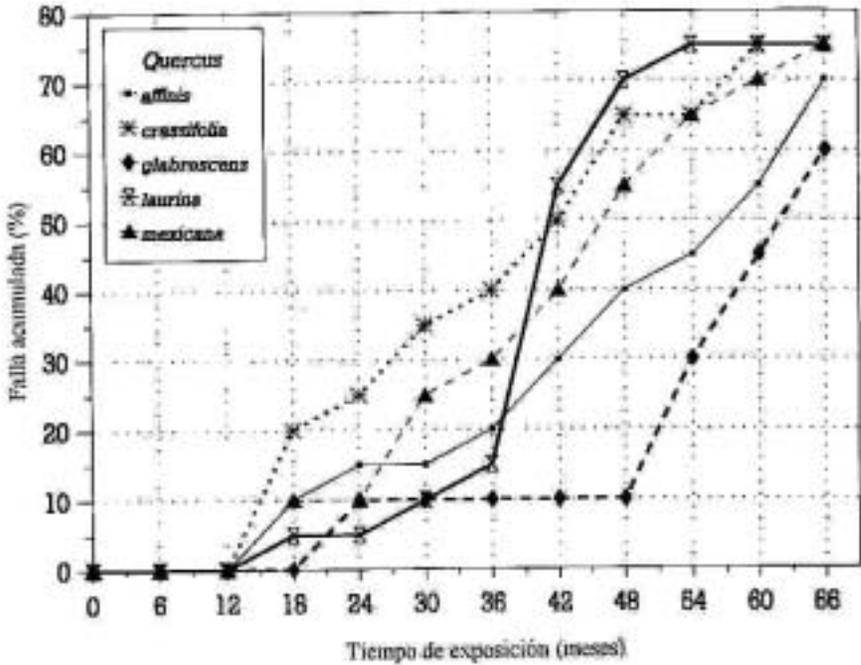


Figura 3. Falla acumulada de probetas deterioradas.

Dado a que en los usos de la madera de encino no se sabe cual es la especie que se utiliza, se debe considerar el tiempo menor que se requiere para que cierta especie alcance un nivel de deterioro que aun permita darle un tratamiento de preservación. Esto es importante porque en ocasiones no es posible aplicar tratamientos de protección o preservación cuando se inicia el uso de la madera. De acuerdo con los resultados obtenidos el tiempo mínimo aceptable para alcanzar un estado de deterioro moderado es de 21 meses (Cuadro 1).

En condiciones óptimas de temperatura (20 °C) y humedad relativa (55%), la

madera puede mantener su estado natural sin que sufra deterioro alguno por mucho tiempo; es decir que su capacidad de resistencia permanece inalterada. Entonces a determinado tiempo tendrá un valor óptimo de 10 y en ese período se tendrá una resistencia ideal de la madera, que puede representarse como una área bajo la curva ideal (*ai*). Es evidente que la madera es utilizada en condiciones que propician su degradación, por lo cual a un tiempo específico (21 meses en este caso), su capacidad de resistencia al deterioro disminuye y el área considerada bajo la curva (*abct7*) será menor que la ideal.

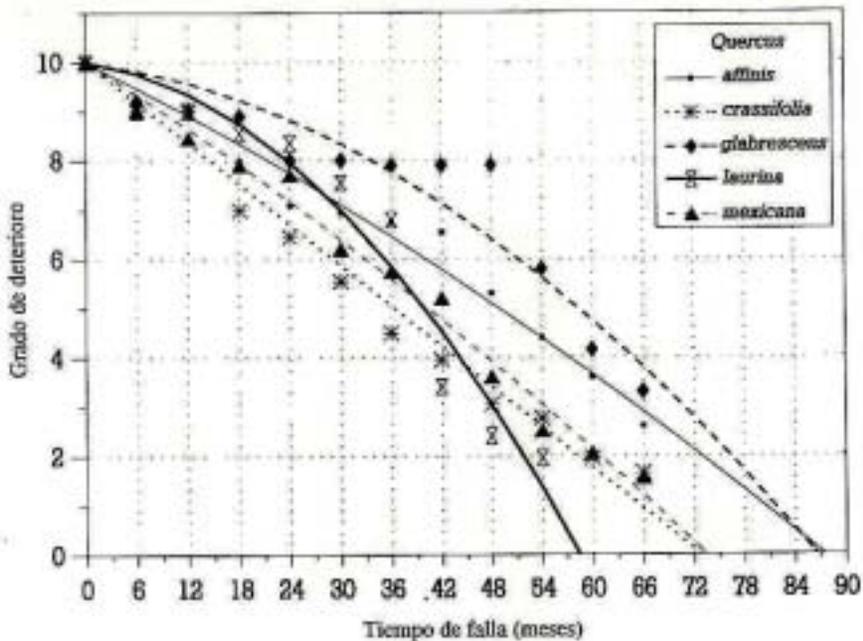


Figura 4. Valores promedio de deterioro ajustados con el modelo (1) y tiempo de falla. Los símbolos representan valores experimentales y las líneas valores ajustados.

La disminución de la capacidad de resistencia de la madera en cierto tiempo puede obtenerse como el área de pérdida porcentual (*app*). Es de esperarse que las especies que presenten una mayor rapidez de deterioro tendrán una pérdida más grande en el tiempo considerado. Este es el caso de *Q. crassifolia* y *Q. mexicana*, cuyas pérdidas de área son mayores que para las otras especies (Cuadro 1). También se observa que la pérdida de área es más pequeña en *Q. glabrescens* que en *Q. affinis*.

Tomando como base la pérdida de área

porcentual mínima; *app* = 4.03%, correspondiente a *Q. glabrescens*, es posible comparar el tiempo (*tp*) que requerirían las otras especies para alcanzar una pérdida de área porcentual equivalente a la de *Q. glabrescens*. Nuevamente, las especies que tienen una mayor rapidez de deterioro requieren menos tiempo para perder su capacidad de resistencia (Cuadro 1). Así, de acuerdo al área de pérdida porcentual, las especies se pueden ordenar de manera ascendente, siendo éstas: *Q. crassifolia*, *Q. mexicana*, *Q. affinis*, *Q. laurina* y *Q. glabrescens*.

Cuadro 2. Parámetros e indicadores del modelo.

Especie	Parámetros			Indicadores Calculados									
	A	B	C	t^*	Abc	abct7	Tp	t7	App	Vct	Vck	vct7	vct7p
<i>Quercus</i>	-0.000317	-0.086680	10	87.42	472.38	189.91	9.09	31.08	9.57	-0.000634	-0.086680	-0.100000	146.71
<i>affinis</i>	0.000000	-0.137350	10	72.81	364.03	179.71	5.86	21.84	14.42	0.000000	-0.137350	-0.137350	201.51
<i>crassifolia</i>	-0.001065	-0.023430	10	86.52	547.59	201.55	21.00	43.20	4.03	-0.002130	-0.023430	-0.068160	100.00
<i>glabrescens</i>	-0.002503	-0.024790	10	58.45	375.54	196.81	15.76	30.02	6.28	-0.005006	-0.024790	-0.129920	190.61
<i>laurina</i>	-0.000372	-0.108850	10	73.44	391.74	184.85	7.28	25.36	11.98	-0.000744	-0.108850	-0.124480	182.63

La rapidez o lentitud para que se deteriore una madera, depende de su estructura celular, ultraestructura de su pared celular y composición química. Este deterioro ocurre por el contacto físico directo entre las enzimas producidas por los hongos y los compuestos químicos complejos que constituyen la pared celular, los cuales son transformados a compuestos químicos más simples y utilizados como fuente de energía. Sin embargo, debido a que la celulosa, hemicelulosa y la lignina son insolubles en agua y están en íntima relación formando las microfibrilas de la pared celular, el contacto físico necesario puede ser alcanzado solamente por medio de la difusión de las enzimas en la matriz compleja de las microfibrilas. Sin embargo, los hongos se desplazan entre las células por medio de sus hifas y a través de las punteaduras, perforaciones o aberturas (Eriksson, *et al.*, 1990), penetrando y destruyendo la pared celular, ya sea formando cavidades en la pared secundaria o bien causando una degradación del lumen hacia la lamina media (Nilsson *et al.*, 1989).

Los encinos blancos y rojos presentan algunas diferencias anatómicas que influyen en el comportamiento de deterioro. De acuerdo con De la Paz Pérez y Aguilar (1978), las especies de encinos blancos presentan gran cantidad de tálides en sus elementos de vaso, mientras que en los encinos rojos no se presentan o son escasas. En el caso de las especies estudiadas, *Q. glabrescens* presenta tálides en un 77% de sus elementos de vaso, seguido de *Q.*

mexicana con 24%, *Q. affinis*, *Q. crassifolia* y *Q. laurina* con 2% (Honorato, 1998). Esto hace *Q. glabrescens* sea más impermeable y ofrezca cierta resistencia a la difusión de enzimas y la penetración de las hifas de los hongos. Por lo tanto, los hongos tienen que superar este obstáculo adicional para descomponer los compuestos químicos de la pared celular, requiriendo más tiempo para causar el deterioro en la pared celular. Al inicio del ataque, el deterioro es lento debido a la impermeabilidad de los elementos de vaso, a medida que los hongos superan el obstáculo, el deterioro aumenta pero en una proporción menor a aquella que existiría si no se presentara una barrera. En contraste, en el resto de las especies la cantidad de tálides en los elementos de vaso es alta por lo que el ataque de hongos es más fácil y la rapidez de deterioro es mayor. Resultados similares se presentan para estas especies en los estudios de laboratorio realizados por Vázquez y Honorato (1997) para el ataque de *Poria monticola* y *Polyporus sanguineus*.

La resistencia de deterioro observado en *Q. affinis* puede atribuirse a la cantidad de taninos presentes en la madera, ya que estos compuestos reducen la degradación debido a su interacción molecular crítica con las enzimas (Hart y Hillis, 1972). Los resultados de Honorato y Hernández (1998) indican que la cantidad de estos compuestos es mayor en esta especie que en *Q. glabrescens* y en las otras especies, habiendo relación proporcional entre la cantidad de taninos y el tiempo de deterioro observado.

Aún cuando existe una similitud en el tiempo de deterioro de *Q. affinis* y *Q. glabrescens*, hay algunas características que hacen que *Q. glabrescens* sea considerada como una especie con mayor resistencia. La combinación de la presencia de tálides y la cantidad de taninos en la madera hace que su resistencia inherente y capacidad sean mayores que para *Q. affinis*. A determinado tiempo, las características anteriores y la velocidad de cambio son mejores en *Q. glabrescens* que en *Q. affinis*.

También existe un tiempo de deterioro parecido para *Q. crassifolia* y *Q. mexicana*, pero las características de resistencia al deterioro son mejores para *Q. mexicana*, lo cual puede deberse a que tiene mayor cantidad de taninos y lignina (Honorato y Hernández, 1998). En muchos casos, la descomposición biológica de la madera esta principalmente en función del contenido de lignina debido a su unión química e interrelación con los otros compuestos de la pared celular (Kirk y Cowling, 1984). Aunque no se llevó a cabo la identificación de los agentes bióticos, las características del deterioro que se presentaron en las probetas indican que el ataque fue causado por hongos xilófagos que ocasionan la pudrición café y éstos degradan principalmente a los polisacáridos que forman la pared celular. Sin embargo, la lignina ofrece cierta resistencia que impide que las enzimas fragmenten a los polisacáridos, por lo que los hongos necesitan de mayor tiempo de contacto para superar la barrera y degradar la pared celular.

Diversas clasificaciones de durabilidad natural han sido propuestas para calificar la resistencia de la madera al ataque de organismos biológicos en contacto con el suelo (Findlay, 1985; Jantan y Kwong, 1985). Sin embargo, las condiciones climáticas son diferentes a las que prevalecieron en el presentes estudio. A pesar de estas diferencias es posible calificar la durabilidad de los encinos. Así, con base a la clasificación propuesta por Vázquez y Honorato (1997), *Q. glabrescens*, *Q. affinis*, *Q. mexicana* y *Q. crassifolia* pueden considerarse como durables y *Q. laurina* como moderadamente durable.

CONCLUSIONES

El deterioro de la madera en área cementerio fue causado principalmente por hongos, siendo más severo en la madera de albura que en la de duramen.

El modelo matemático desarrollado permitió determinar el tiempo de deterioro total para cada una de las especies, siendo mayor para *Quercus affinis*, seguido de *Q. glabrescens*, *Q. mexicana*, *Q. crassifolia* y *Q. laurina*.

Las variables derivadas del modelo permitieron establecer las características de resistencia al deterioro. Así, aunque el tiempo de deterioro es similar para algunas especies, sus características son diferentes.

La capacidad de resistencia al deterioro que ofrecen las especies en orden decreciente es: *Q. glabrescens*, *Q. affinis*, *Q. mexicana*, *Q. crassifolia* y *Q.*

laurina. Las primeras cuatro especies se consideran como durables y la última como moderadamente durable.

Los resultados obtenidos indican que las especies se pueden utilizar naturalmente en contacto con el suelo por un período determinado, a partir del cual se puede dar algún tratamiento de preservación para alargar su vida útil. El tiempo es de 21 meses para *Quercus crassifolia*, 25 meses para *Q. mexicana*, 30 meses para *Q. laurina*, 31 meses para *Q. affinis* y 43 meses para *glabrescens*. Sin embargo, dado que en la práctica es común usar mezcla de especies, el tiempo de 21 meses sería el tiempo máximo de uso en forma natural.

LITERATURA CITADA

- American Society for Testing and Materials. Standard Method of Evaluating Wood Preservatives by Field Test with Stakes. ASTM D 1758. American Society for Testing and Materials, Volume 04.09. Wood, pp. 280-286.
- De La Paz Pérez, O. C. y M. L. Aguilar E. 1978. Diferencias morfológicas y anatómicas de la madera de encinos blancos y encinos rojos. Bol. Téc. No. 59, Inst. Nal. Invest. For. México. 19 p.
- De La Paz Pérez, O. C. 1985. Características anatómicas de siete especies del género *Quercus*. Bol. Téc. No. 123, Inst. Nal. Invest. For. México. 72 p.
- De La Paz Pérez, O. C. y Q. R. Salinas. 1977. Prueba rápida de laboratorio indicadora de resistencia a la pudrición de dos especies de encinos. *Ciencia Forestal* 2(6): 3-19.
- Eriksson, K. E., Blanchette, R. A. and P. Ander. 1990. *Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 407 p.
- Findlay, W. K. 1985. The nature and durability of wood. In: Findlay, W. K. (Ed.). *Preservation timber in the tropics*. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. The Netherlands. pp. 1-13.
- Gómez, N. M. S., Echenique, M. R. y R. Salinas. 1969. Indices de laboratorio sobre resistencia de la madera a la pudrición en once especies forestales mexicanas. Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. No. 31, México, 40 p.
- Hart, J. H. and W. E. Hillis. 1972. Inhibition of wood-rotting fungi by ellagitannins in the heartwood of *Quercus alba*. *Phytopathology* 62 (6): 620-626.
- Herrera, R. J. A., Gómez, N. M. S. y E. Barretero. 1980. Durabilidad natural de la madera de catorce especies forestales mexicanas. Bol. Téc. Inst. Nal. Invest. For. No. 67. México, 21 p.

- Honorato, S. J. A. 1998. Características anatómicas microscópicas de cinco encinos del Estado de Puebla. Reporte Técnico. INIFAP, CIR-CENTRO. Campo Experimental San Martinito, Puebla, México, 23 p.
- Honorato, S. J. A. y J. Hernández P. 1998. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Madera y Bosques* 4(2): 79-83.
- Jantan, M. D. and T. M. Kwong. 1985. Natural durability of some Malaysian timbers by stake tests. *The Malaysian Forester* 48 (2): 154-159.
- Kirk, T. K. and E. B. Cowling. 1984. Biological decomposition of solid wood. In: Rowell, R. M. (Ed.). *The chemistry of solid wood*. American Chemical Society, Washington, D. C. pp. 455-487.
- Nilsson, T., Daniel, G., Kirk, T. K. and J. R. Obst. 1989. Chemistry and microscopy of wooden decay by some higher *Ascomycetes*. *Holzforschung* 43 (1): 11-18.
- Pérez M., V. 1982. Riesgo a la pudrición de la madera en diferentes climas de México. La madera y su uso en la construcción. LACITEMA-INIREB. Boletín Técnico No 1, Xalapa, Ver., México. 11 p.
- Scheffer, T. C. and C. G. Duncan. 1949. Decay resistance of seven native oaks. *Journal of Agricultural Research* 59 (5/6): 129-152.
- Scheffer, T. C. and E. B. Cowling. 1966. Natural resistance of wood to microbial deterioration. *Annual Review of Phytopathology* 4: 147-170.
- Vázquez, S. L. y J. A. Honorato. 1997. Resistencia natural de la madera de cinco especies de encinos del estado de Puebla. Reporte Científico. INIFAP, CIR-CENTRO. Campo Experimental San Martinito, Puebla, Mexico, 11 p.