

DURABILIDAD NATURAL EN ÁREA CEMENTERIO DE SIETE ESPECIES DE ENCINO DEL ESTADO DE GUANAJUATO

Luis Vázquez Silva¹, José Amador Honorato Salazar¹ y Francisco J. Zamudio Sánchez²

RESUMEN

Se evaluó la durabilidad natural y se determinó el tiempo de vida útil de la madera de albura de siete especies de encino del estado de Guanajuato mediante pruebas en un área cementerio, usando probetas de 19 mm (T) x 19 mm (R) x 500 mm (L). Las especies estudiadas fueron cinco del grupo de los encinos rojos: *Quercus castanea*, *Q. coccolobifolia*, *Q. crassifolia*, *Q. durifolia* y *Q. laurina*, y dos de encinos blancos: *Q. obtusata* y *Q. rugosa*. Las probetas se evaluaron cada seis meses mediante los criterios establecidos en la norma ASTM D 1758. La falla de las probetas fue causada solamente por el ataque de hongos xilófagos. Se desarrolló un modelo de comportamiento del deterioro por medio de una ecuación matemática con los valores semestrales promedio y se derivaron varios indicadores. El tiempo de vida útil de las especies, en meses, determinado con el modelo, fue de 57.8 para *Q. castanea*, 59.2 para *Q. coccolobifolia*, 72.2 para *Q. crassifolia*, 56.4 para *Q. durifolia*, 58.8 para *Q. laurina*, 66.7 para *Q. obtusata* y 62.6 para *Q. rugosa*. Se propone un sistema de clasificación mediante el cual la durabilidad natural de *Q. castanea*, *Q. coccolobifolia*, *Q. durifolia* y *Q. laurina* se califica como moderadamente resistente y la de *Q. crassifolia*, *Q. rugosa* y *Q. obtusata* como durable. Se considera un tiempo de 26 meses como el periodo máximo de uso de la madera en estado natural en contacto con el suelo, ya que en ese tiempo las probetas alcanzaron un nivel de degradación moderada, etapa en la que se estima que aun es posible tratar la madera, incrementando así su vida útil.

Palabras clave: Durabilidad natural, encinos, encinos blancos, encinos rojos, Guanajuato, pruebas en área cementerio.

Fecha de recepción: 04 de septiembre de 1998

Fecha de aceptación: 03 de febrero de 2004

¹ Campo Experimental San Martinito, C.I.R. Centro - INIFAP. Km. 56.5 Carretera Federal México-Puebla, Tlahuapan, Pue. Apdo. Postal No. 124, San Martín Texmelucan, 74000 Puebla. Correo-e: cesmar@compu-redes.net.mx

² Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales.

ABSTRACT

Natural durability was assessed and service life was determined in the sapwood of seven oak species using a graveyard test. Stakes of 19 mm (T) x 19 mm (R) x 500 mm (L) were used for this purpose. Five red oak species from Guanajuato State, Mexico, were studied: *Quercus castanea*, *Q. coccolobifolia*, *Q. crassifolia*, *Q. durifolia* and *Q. laurina*, as well as two white oak species: *Q. obtusata* and *Q. rugosa*. The assessment of the stakes was carried out at intervals of six months and the criteria for assessing the attack was based on the ASTM D 1758 standard. The failure of the stakes was only due to the attack by fungi. The average six monthly decay performance values were modelled by a mathematical equation from which several indicators were derived. The service life in months for each species determined by the model was 57.8 for *Q. castanea*, 59.2 for *Q. coccolobifolia*, 72.2 for *Q. crassifolia*, 56.4 for *Q. durifolia* 58.8 for *Q. laurina*, 66.7 for *Q. obtusata* and 62.6 for *Q. rugosa*. A proposed durability classification allowed to classify *Q. castanea*, *Q. coccolobifolia*, *Q. durifolia* and *Q. laurina* as moderately durable and *Q. crassifolia*, *Q. rugosa*, and *Q. obtusata* as durable. Twenty six months was considered the maximum period of time to use natural timber in ground contact, since the stakes reached a moderate decay grade. It was regarded that at this stage it is still possible to preserve the timber, thus increasing its service life.

Keywords: Natural durability, oak, white oak, red oak, Guanajuato State, graveyard tests.

INTRODUCCIÓN

Persiste en México un conocimiento limitado sobre la resistencia o durabilidad natural de la madera de los encinos al ataque de hongos e insectos, a pesar de que en el país vegetan más de 150 especies (Martínez, 1981; Nixon, 1993), lo cual contribuye en parte a que su aprovechamiento y utilización sean restringidos. La diversidad botánica de los encinos define diferencias en las características y propiedades de la madera, lo que se refleja en su comportamiento al deterioro, que además varía entre las partes del árbol. La mayor durabilidad del duramen se atribuye a la presencia de sustancias tóxicas en cantidades considerables que previenen o minimizan el ataque de los organismos que causan el deterioro, en tanto que la madera de albura es más susceptible a la degradación debido a que no tiene suficiente cantidad de extractivos, o los que tiene, son de baja toxicidad para inhibir el crecimiento de los organismos. Otras sustancias, como las reservas alimenticias en las células del parénquima, aumentan la susceptibilidad al deterioro (Scheffer y Duncan, 1949; Scheffer y Cowling, 1966). Bajo las mismas condiciones

de uso, el grado de deterioro puede ser un 40% más rápido en la madera de albura que en la de duramen (Honorato *et al.*, 1999).

Es importante entender el comportamiento de durabilidad natural de la madera, ya que en condiciones de servicio está expuesta a los factores ambientales, físicos, mecánicos y químicos, así como a la acción de agentes biológicos que llegan a deteriorarla considerablemente. Los hongos e insectos xilófagos son los principales agentes responsables de grandes pérdidas económicas por la degradación y destrucción que causan en la madera, sobre todo en la destinada a la construcción o a usos en los que está en contacto directo con el suelo. Generalmente, en el uso de la madera en México no hay una separación de la madera de duramen y la de albura, ni tampoco se seleccionan las maderas con alta durabilidad natural; esto induce a utilizar indistintamente madera mezclada, en forma natural o tratada con preservadores, sin considerar si las condiciones del medio ambiente propician o no el ataque de organismos. En otras ocasiones, el uso de la madera y sus características de durabilidad se basan en la experiencia individual y en la reputación de su resistencia del ataque de organismos.

Los estudios de resistencia natural en encinos han sido llevados a cabo principalmente en condiciones de laboratorio (Gómez *et al.*, 1969; Salinas *et al.*, 1971; Herrera *et al.*, 1976, 1980; De la Paz y Salinas, 1977; Torelli y Cufar, 1994; Vázquez y Honorato, 1999), pero las experiencias no son suficientes para establecer la durabilidad natural de las especies, por lo que se debe investigar en campo, ya que la madera que está en contacto con el suelo se deteriora más rápidamente que aquella que no lo está. Esto probablemente obedezca al mayor contenido de humedad que la madera adquiere en dicha condición y a la abundancia de organismos presentes que causan su degradación (Behr, 1973).

Scheffer (1973) señala que de las especies estadounidenses nativas de encinos, solamente las del grupo de los encinos blancos resisten a la degradación causada por los organismos, por lo que se utilizan para la construcción de botes debido que este comportamiento se combina con su resistencia mecánica. Por su parte Honorato *et al.* (1999) indicaron que los encinos blancos del país tienen mayor durabilidad que los encinos rojos en condiciones de campo, comportamiento que coincide con los estudios llevados a cabo en laboratorio para las mismas especies por Vázquez y Honorato (1999). Asimismo, señalan que la madera puede emplearse en estado natural por un tiempo máximo de 21 meses, periodo en cual alcanza un grado de deterioro moderado y que aún es posible darle un tratamiento de preservación para aumentar su vida útil.

Dada la escasa información existente sobre la durabilidad natural de los encinos, se planteó un estudio en área cementerio que contribuyera a establecer bases para

seleccionar usos de la madera bajo condiciones favorables de su deterioro, al evaluar y determinar la durabilidad natural de *Quercus castanea* Neé, *Q. crassifolia* Humb & Bonpl., *Q. coccolobifolia* Trel., *Q. durifolia* Von Seem, *Q. laurina* Humb & Bonpl., *Q. obtusata* Humb & Bonpl. y *Q. rugosa* Neé, así como determinar el tiempo mínimo de degradación de la madera en estado natural, a partir del cual sea posible aplicar un tratamiento de preservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron siete especies de encino, cinco rojos (*Quercus castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. coccolobifolia*, *Q. durifolia* y *Q. laurina*) y dos blancos (*Q. obtusata* y *Q. rugosa*) de la parte sur y norte del estado de Guanajuato, en los predios de "El Agostadero", ejido de Puruagua, municipio de Jerécuaro y "El Potrero", ejido de Cieneguitas-San Bartolo, municipio de Guanajuato. Se seleccionaron dos árboles por especie y de cada uno se cortó una troza de 2.60 m de longitud a una altura de 1.5 m a partir del tocón. Cada troza se dividió en secciones de 0.60 m obteniendo de cada una de ellas barras de 2.5 cm (R) x 2.5 cm (T) de la madera de albura, las cuales se secaron en condiciones ambientales de interiores y después se dimensionaron a 19 mm (R) x 19 mm (T) x 500 mm (L).

La razón para elegir solamente la madera de albura fue su mayor susceptibilidad al ataque de organismos biológicos y su menor resistencia, que la de duramen. De esta manera se evalúa la resistencia mínima de las especies y dependiendo del tiempo que duren bajo condiciones de deterioro, se dispondrá de bases para decidir si se usa madera preservada o no. Se escogieron y etiquetaron con láminas de aluminio veinte barras libres de defectos de cada especie. Posteriormente, las probetas se mezclaron y se escogieron al azar por medio de una tabla de números aleatorios, se instalaron a una profundidad de 25 cm en las intersecciones de las hileras y columnas del área cementerio.

El área cementerio fue de 300 m², dividida en hileras y columnas, con espaciamentos de 30 cm entre hileras y 60 cm entre columnas. Su ubicación, condiciones climatológicas y características de suelo las describen Honorato *et al.* (1999). La toma de datos y la evaluación para el ataque de hongos y de insectos de las probetas se realizó a intervalos de seis meses por un período de 54 meses. La asignación del grado de deterioro se realizó de acuerdo con la clasificación que se describe en la norma ASTM D 1758 (ASTM, 1992). Para tal efecto, cada probeta se extrajo cuidadosamente del suelo y, al momento de determinar de modo visual el grado de deterioro de la parte que permaneció en contacto directo con el suelo, se flexionó ligeramente con ambas manos. Luego se colocó nuevamente en su lugar y a la misma profundidad, tratando de perturbar lo menos posible la interacción entre la probeta, el suelo, el hongo o bien el

insecto. La clasificación numérica relacionada con el grado de deterioro se señala en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación del grado de deterioro o ataque causado por hongos y/o insectos en la madera (ASTM, 1992).

Grado de deterioro	Deterioro o ataque	
	Condición	Evaluación
10	Sana	No hay ningún deterioro
9	Incipiente	Implantación del hongo o insecto
7	Moderado	Reblandecimiento del tejido leñoso o galerías superficiales
4	Severo	Presencia de pudrición, galerías profundas
0	Falla	Desintegración de la madera, galerías profundas y grandes huecos.

Los valores promedio del grado de deterioro de cada especie se ajustaron mediante el modelo matemático desarrollado por Honorato *et al.* (1999) al utilizar los diferentes indicadores descritos y derivados del modelo:

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

Donde:

$g(t)$ = valor promedio del grado de deterioro en el tiempo t (meses)

a, b y c = los parámetros del modelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El daño y degradación de la madera en condiciones de campo fueron causados por hongos xilófagos. Los valores promedio de deterioro a través del tiempo

para las diferentes especies se muestran en la Figura 1 donde se observa que la velocidad de deterioro es más lenta en *Quercus crassifolia* que en *Q. durifolia* y *Q. coccolobifolia*. Los valores promedio de deterioro, ajustados con el modelo, y sus indicadores calculados correspondientes permiten analizar con mayor detalle las diferencias entre las especies estudiadas (Cuadro 2, Figura 2):

El indicador (abc) de área bajo la curva puede considerarse como la capacidad total de deterioro de las especies bajo las condiciones ambientales y de suelo del lugar de estudio. Es de esperarse que esta capacidad cambiará de acuerdo con las condiciones de exposición. En zonas de clima tropical la capacidad total será menor, debido a que la humedad es más alta y durante mayor tiempo en el año y a que la diversidad de agentes biológicos es más grande, que en zonas de clima templado o árido. En el Cuadro 2 y la Figura 2, se observa que a medida que el área bajo la curva aumenta, el tiempo de falla (t) es mayor. En este caso, *Q. crassifolia* presenta el mayor tiempo de falla y el área más grande, mientras que *Q. durifolia* tiene los valores más bajos para ambos indicadores. Esto sugiere que la capacidad de resistencia de *Q. crassifolia* es mayor que la de *Q. durifolia*, así como del resto de las especies. Con base en estos indicadores, el orden ascendente de resistencia para las especies es: *Q. durifolia*, *Q. castanea*, *Q. laurina*, *Q. coccolobifolia*, *Q. rugosa*, *Q. obtusata* y *Q. crassifolia*. Los valores de tiempo de falla (t') obtenidos para *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, son similares a los resultados de Honorato *et al.* (1999), aunque el tiempo de exposición fue menor en el presente estudio.

Otro indicador es la velocidad de cambio constante (vck), el cual se relaciona con la rapidez de deterioro y la susceptibilidad de resistencia inherente de degradación de la madera. Así, las especies que presentan una mayor velocidad de cambio decreciente se degradan más rápido y alcanzan un valor de deterioro moderado en menos tiempo. Tal es el caso de *Q. coccolobifolia*, que requirió de 26.3 meses para alcanzar este nivel de deterioro. Este resultado difiere del obtenido por Honorato *et al.* (1999), quienes señalan un tiempo de 21.8 meses; sin embargo, es importante considerarlo porque representa el tiempo mínimo en el que la madera alcanza un nivel de deterioro que aún permite darle un tratamiento de preservación, con lo que se alarga su vida útil de servicio. Lo anterior puede llevarse a cabo cuando por razones económicas no es posible invertir en madera preservada.

La velocidad instantánea de cambio ($vcit$) también influye en la rapidez de deterioro debido a que el nivel de degradación que se alcanza en un tiempo determinado se incrementa en periodos subsecuentes debido a que se combina con la resistencia inherente, por lo que se considerara como el grado de resistencia que puede tener la madera en un momento determinado. En el Cuadro 2, se

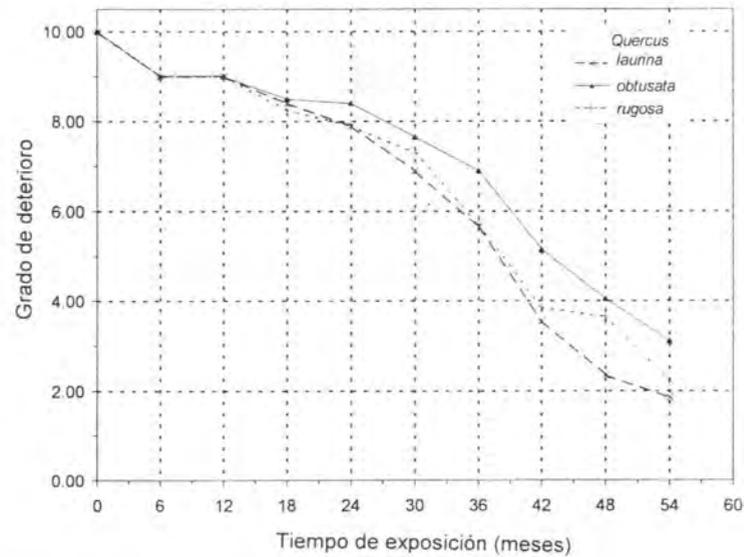
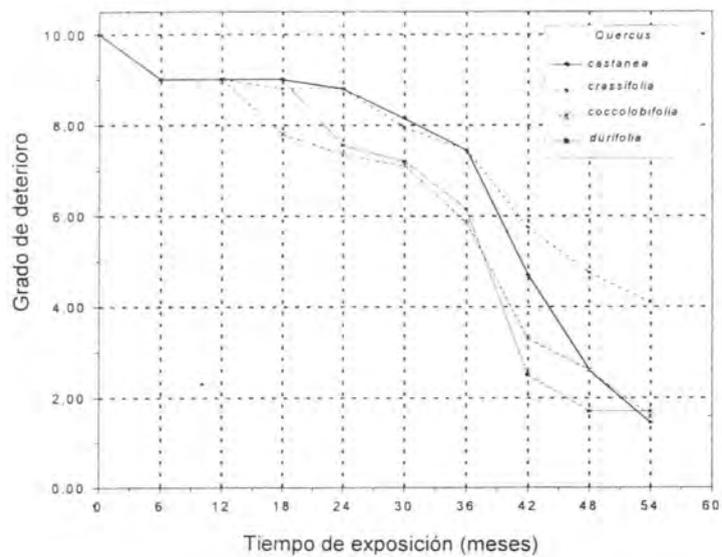
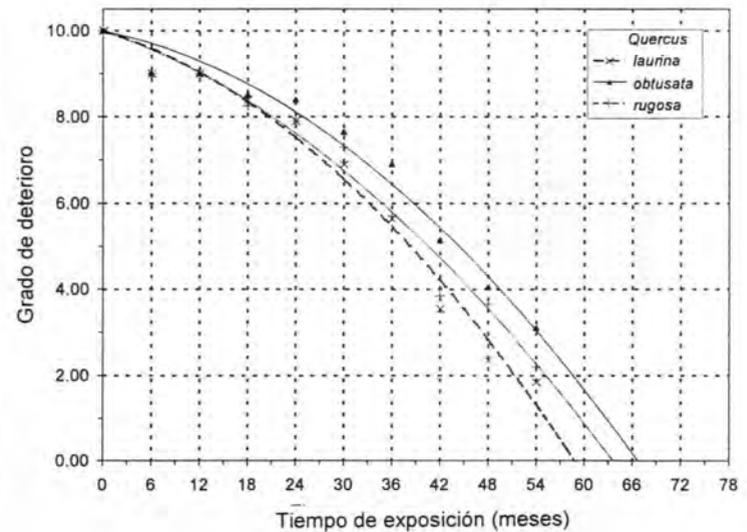
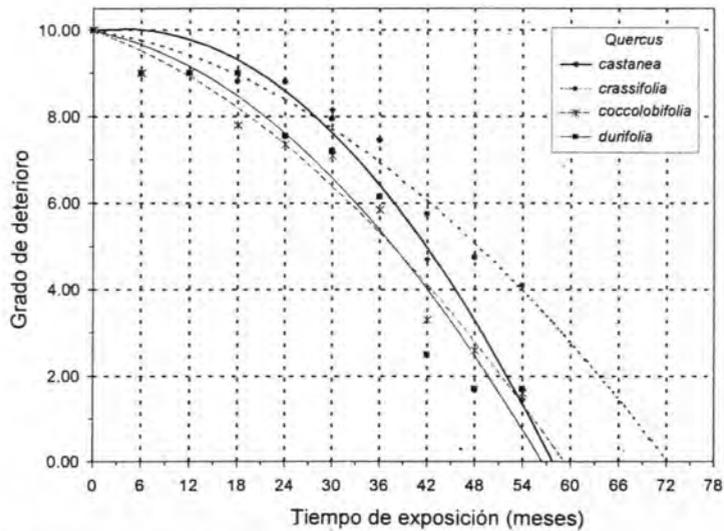


Figura 1. Grado de deterioro promedio en la madera de albura causada por hongos en área cementerio

Cuadro 2. Parámetros e indicadores calculados del modelo.

Especie	Parámetros				Indicadores Calculados									
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>f'</i>	<i>abc</i>	<i>Abct7</i>	<i>tp</i>	<i>t7</i>	<i>app</i>	<i>vcit</i>	<i>vck</i>	<i>vct7</i>	<i>vct7p</i>	
<i>Quercus castanea</i>	-0.003379	0.022073	10	57.77	397.38	247.66	26.00	33.24	4.74	-0.00676	0.022073	-0.15363	141.52	
<i>crassifolia</i>	-0.001487	-0.031240	10	72.17	454.02	240.73	18.96	35.62	7.41	-0.00297	-0.031240	-0.10856	100.00	
<i>coccolobifolia</i>	-0.001673	-0.069796	10	59.22	353.99	226.61	11.49	26.35	12.84	-0.00335	-0.069796	-0.15679	144.43	
<i>durifolia</i>	-0.002392	-0.042189	10	56.44	353.85	231.73	14.52	27.68	10.87	-0.00478	-0.042189	-0.16657	153.44	
<i>laurina</i>	-0.001923	-0.056920	10	58.82	359.29	229.50	12.91	27.38	11.73	-0.00385	-0.056920	-0.15692	144.54	
<i>obtusata</i>	-0.001668	-0.038792	10	66.67	415.72	237.12	16.58	32.35	8.80	-0.00334	-0.038792	-0.12553	115.63	
<i>rugosa</i>	-0.001559	-0.062175	10	62.59	376.69	229.85	12.61	28.25	11.60	-0.00312	-0.062175	-0.14324	131.95	



Símbolos = valores experimentales; líneas = valores ajustados.

Figura 2. Valores promedio de deterioro ajustados y tiempo de falla.

advierde que la menor velocidad inicial se presenta en *Q. castanea* y la mayor en *Q. crassifolia*, mientras que las otras especies tienen valores intermedios similares entre sí, situación que cambia con el tiempo. Cuando se toma en cuenta un período de 26 meses, estos valores son diferentes a los iniciales; en este caso, la velocidad es mayor para *Q. durifolia* y menor para *Q. crassifolia*. El resto de las especies presentan valores intermedios. Si se toma como referencia el valor mínimo de velocidad de cambio instantánea, es posible determinar que a los 26 meses el grado de resistencia de *Q. crassifolia* es de un 15% a un 53% mayor que el de las otras especies.

En condiciones de humedad y temperatura que no favorecen el ataque y desarrollo de organismos biológicos, la madera puede permanecer en su estado natural sin ser degradada por mucho tiempo y en términos de nivel de degradación tendrá un valor óptimo de 10, mostrando así una resistencia ideal que puede representarse como el área bajo la curva ideal (*ai*). Sin embargo, la madera en uso comúnmente está expuesta a condiciones que propician en mayor o en menor grado su deterioro. Así, en un tiempo específico de 26 meses, la resistencia al deterioro disminuye y el área bajo la curva (*abct7*) es menor que la ideal. Esta disminución se presenta como el área de pérdida porcentual (*app*). El valor mínimo de esta área; *app* = 4.7%, permite determinar el tiempo (*tp*) que necesitarían las otras especies para alcanzar un valor similar. Las especies que tengan un deterioro más rápido requerirán menos tiempo para alcanzar el valor de referencia y una pérdida mayor en área; es decir, las especies pierden su capacidad de resistencia más fácilmente y en un período más corto. Este comportamiento se observa en el Cuadro 2, por lo que es posible ordenar las especies en orden ascendente, de la siguiente manera: *Q. coccolobifolia*, *Q. rugosa*, *Q. laurina*, *Q. durifolia*, *Q. obtusata*, *Q. crassifolia* y *Q. castanea*.

Los diferentes indicadores señalan que el deterioro cambia para estas especies con el tiempo. En las primeras etapas de degradación, algunas especies son más resistentes que otras, como es el caso de *Q. castanea*, pero a medida que el nivel de degradación aumenta, su resistencia disminuye llegando a ser menos resistentes. Otras especies, como *Q. crassifolia*, *Q. obtusata* y *Q. rugosa*, presentan una degradación más uniforme. La diferencia empieza a ser evidente a los 24 meses de exposición y es más marcada a los 54 meses. De acuerdo con el análisis de varianza realizado al 5%, ocurre una diferencia significativa a los 24 meses entre *Q. castanea* y *Q. coccolobifolia*, mientras que a los 54 meses ésta se manifiesta entre *Q. castanea* y *Q. crassifolia*.

En general, todas las especies leñosas tienen una capacidad de resistencia o susceptibilidad inherente al deterioro, que están determinadas en gran medida por el arreglo estructural de sus diferentes elementos celulares y por su

composición química. Las especies que tienen mayor resistencia inherente tienden a resistir más el ataque de organismos biológicos y tardarán más en ser degradadas. Los encinos no son la excepción, por lo cual presentan diferencia en su nivel de deterioro observada a través del tiempo.

Los encinos se caracterizan por tener elementos de vaso con paredes celulares delgadas y grandes lúmenes. Estas estructuras proporcionan un acceso longitudinal fácil al ataque de organismos biológicos. Poseen rayos multiseriados compuestos de células parenquimatosas, que junto con las fibras, son los elementos más afectados por la degradación que causan los organismos. Sin embargo, aún dentro de los encinos existen diferencias entre los elementos celulares, que también influyen en su deterioro. Las especies de encinos blancos tienen mayor cantidad de tilides en sus elementos de vaso que los encinos rojos, y en ocasiones no se presentan en este último grupo (De la Paz y Aguilar, 1978). Asimismo, Honorato (datos no publicados), menciona que el diámetro de los elementos de vaso y el grosor de pared de las fibras son menores en los encinos blancos que en los rojos; esto da lugar a que la susceptibilidad al deterioro en sus tejidos y paredes celulares sea diferente, y que a su vez están correlacionadas con sus diferencias en composición química, principalmente en su contenido de lignina (Wilcox, 1973).

El ataque y la degradación de la madera causada por hongos xilófagos ocurre por el contacto entre las enzimas que segregan y el substrato leñoso que lo descomponen para utilizarlo como alimento. Sin embargo, dado que la madera es un sistema cerrado pero poroso, los hongos penetran la madera por medio de sus hifas por las vías que ofrecen menor resistencia, que son los elementos de mayores dimensiones con cavidades más extensas. Así, se ha observado que los hongos colonizan extensivamente los elementos de los vasos o rayos durante su ataque (Wilcox, 1973). Posteriormente, las hifas penetran entre las células a través de las punteaduras y destruyen las paredes celulares por medio de perforaciones, ya sea paralelas a las microfibrillas de la pared secundaria, o bien en dirección del lumen hacia la lamina media (Wilcox, 1973; Nilsson *et al.*, 1989; Eriksson *et al.*, 1990).

Las características estructurales de los encinos blancos hacen que resistan más la colonización de los hongos xilófagos y que su degradación sea menor, ya que al inicio del ataque, las tilides presentan una barrera para que las hifas penetren y difundan sus enzimas. A medida que este obstáculo se ve superado, el grado de deterioro se incrementa en una proporción similar, comportamiento que se observa en *Q. obtusata* y *Q. rugosa*, los cuales poseen abundantes tilides (De la Paz, 1976, 1985) y cuya resistencia es mayor que la de las demás especies, excepto *Q. crassifolia*.

Las manifestaciones de deterioro de las probetas indican que la madera fue atacada por hongos que causan la pudrición café, los cuales degradan principalmente los polisacáridos de la pared celular. Kirk y Cowling (1984), señalan que la descomposición de la madera por estos agentes está en función del contenido de lignina y su interrelación y unión química con los otros componentes que forman la pared celular. Este polímero muestra cierta resistencia al paso de las enzimas que fragmentan los polisacáridos; como resultado, los hongos necesitan más tiempo para superar la barrera de lignina y degradar la pared celular, retardando así el daño total. Otros compuestos químicos que influyen en el grado de deterioro son los extractivos, principalmente los taninos, que debido a su interacción molecular con las enzimas, disminuyen o inhiben el daño causado a la madera por hongos xilófagos (Hart y Hillis, 1972).

La mayor resistencia observada en *Q. crassifolia* podría atribuirse a la combinación del contenido de lignina y taninos. Esta especie tiene 21.4% de lignina y 1.52% de taninos (Honorato y Hernández, 1998). Y en contraste, *Q. durifolia*, tiene 22.5% y 0.78%, respectivamente (Bautista, 1999). Quizá el contenido de taninos sea de mayor relevancia y su menor proporción en esta última especie se manifiesta en una resistencia inferior.

Por otro lado, el tiempo de deterioro total ayuda a clasificar la durabilidad de las especies. Sin embargo, hay algunas diferencias entre las distintas tablas de clasificación actuales en cuanto al periodo de vida útil de una especie, para ser considerada en determinada clase de durabilidad natural. Findlay (1985), estimó que para las condiciones del Reino Unido, una especie es muy durable si su vida útil en el campo es de más de 25 años; mientras que Jantan y Kwong (1985) señalaron que para las condiciones de Malasia lo es si su vida útil es de más de 10 años. Ambos valores para catalogar la durabilidad natural de la madera están basados en probetas de duramen en contacto directo con el suelo, sin embargo se observa una diferencia sensible entre los parámetros utilizados en ambas tablas.

Los resultados obtenidos por Honorato *et al.* (1999), indican que existe un porcentaje similar entre la durabilidad natural de la madera de duramen y la de albura de los encinos y, en virtud de que no existen datos o estudios semejantes sobre la clasificación de la durabilidad natural de los encinos, se propone la escala que se presenta en el Cuadro 3.

De acuerdo con esta escala, *Q. castanea*, *Q. coccolobifolia*, *Q. durifolia* y *Q. laurina* se clasifican como moderadamente durables; mientras que *Q. crassifolia*, *Q. rugosa* y *Q. obtusata* como durables. Debe considerarse que esta clasificación es una guía, puesto que la durabilidad varía y presenta amplias diferencias entre

Cuadro 3. Clasificación de la durabilidad natural de encinos.

Clase de Durabilidad	Tiempo de vida de las probetas en contacto con el suelo
I. Muy durable	Más de 10 años
II. Durable	De 5 a 10 años
III. Moderadamente durable	De 2 a 4.9 años
IV. No durable	Menos de 2 años

especies y dentro de una misma especie, dependiendo también de las condiciones climáticas y del suelo. El uso de la madera en forma natural estará en función del tiempo de exposición y de su contacto con el suelo.

CONCLUSIONES

El tiempo de deterioro total causado por hongos xilófagos en área cementerio, determinado para cada especie por medio de un modelo matemático, permitió establecer la capacidad de resistencia total de degradación de las especies en el siguiente orden ascendente: *Q. durifolia*, *Q. castanea*, *Q. laurina*, *Q. coccolobifolia*, *Q. rugosa*, *Q. obtusata* y *Q. crassifolia*. De acuerdo con la tabla de clasificación de durabilidad natural propuesta para las especies de encinos, *Q. castanea*, *Q. coccolobifolia*, *Q. durifolia* y *Q. laurina* se consideran como moderadamente durables, mientras que *Q. crassifolia*, *Q. rugosa* y *Q. obtusata* como durables.

Las características estructurales anatómicas y la composición química de la madera de las diferentes especies influyen en su comportamiento de deterioro con el tiempo. El caso más notorio fue *Q. castanea* que presentó la mayor resistencia en las primeras etapas de degradación, pero disminuyó más que la de las otras especies en la etapa final.

El tiempo máximo de uso de la madera en forma natural en contacto con el suelo fue de 26 meses para *Q. coccolobifolia*, 27.3 meses para *Q. laurina*, 27.6 para *Q. durifolia*, 28 para *Q. rugosa*, 32 para *Q. obtusata*, 33 para *Q. castanea* y 35 meses para *Q. crassifolia*.

Dado que en la práctica no siempre es posible conocer la especie con la que se trabaja, se debe de considerar el uso de la madera en forma natural por un tiempo

máximo de 26 meses, período en el que alcanza una degradación moderada y aún sería posible aplicarle algún tratamiento de preservación.

Los resultados obtenidos son aplicables a condiciones climáticas similares al área de estudio; Sin embargo, pueden variar a partir de las características ambientales prevalecientes.

REFERENCIAS

- ASTM. 1992. 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.
- Bautista H., R. 1999. Análisis químico de la madera de cuatro especies del género *Quercus*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, Chapingo, Méx. 109 p.
- Behr, E. A. 1973. Decay test methods. In: Nicholas, D. D. (Ed.), Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. I. Degradation and protection of wood. Syracuse University Press. Syracuse, New York. pp. 217-246.
- De la Paz P. O., C. 1976. Características anatómicas de cinco encinos de México. Bol. Téc. No. 46. Inst. Nac. Invest. For. México. 43 p.
- De la Paz P. O., C. 1985. Características anatómicas de siete especies del género *Quercus*. Bol. Téc. No. 123. Inst. Nac. Invest. For. México. 72 p.
- De la Paz P. O., C. y M. de L. Aguilar. E. 1978. Diferencias morfológicas externas y anatómicas de la madera de los encinos blancos y rojos. Bol. Téc. No. 59. Inst. Nac. Invest. For. México. 19 p.
- De la Paz P. O., C. y R. Salinas Q. 1977. Prueba rápida de laboratorio indicadora de resistencia a la pudrición en dos especies de encinos. Ciencia Forestal 2 (6): 3-19.
- Gómez N., M. S., Echenique, M. y R. Salinas. 1969. Índices 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.
- Eriksson, K.-E. L., R. A. Blanchette, and P. Ander. 1990. Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. Springer-Verlag Berlin Heidelberg Germany, 407 p.
- Findlay, W. P. K. 1985. The nature and durability of wood. In: Findlay, W. P. K. (Ed.). Preservation of timber in the tropics. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, Dordrecht. The Netherlands. pp. 1-13.
- 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., M. S. Gómez N. y A. Herrera B. 1976. Durabilidad natural de la

- madera de especies forestales mexicanas. I. Índices de durabilidad natural de quince especies forestales. Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. No. 52. México. 18 p.
- Herrera R., J. A., M. S. Gómez N. y E. Barretero G. 1980. Durabilidad natural de la madera de catorce especies forestales mexicanas. Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. No. 67. México, 21 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.
- Honorato S., J. A., L. Vázquez S. y F. J. Zamudio S. 2001. Durabilidad natural de la madera de cinco especies de *Quercus* del Estado de Puebla. Polibotánica 12:85-102.
- 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.
- Martínez, M. 1981. Los encinos de México. Anales del Instituto de Biología, UNAM, Comisión Forestal del Estado de Michoacán, Serie Técnica Manejo, No. 8. 2a. Edición, Michoacán, México. 358 p.
- Nilsson, T., G. Daniel, T. K. Kirk and J. R. Obst. 1989. Chemistry and microscopy of wooden decay by some higher Ascomycetes. Holzforschung 43 (1): 11-18
- Nixon, K. C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. In: Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A. and J. Fa (Eds.). Biological diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford. Oxford University Press. pp. 447-458.
- Salinas Q., R., R. Echenique, M. y L. Gálvez C. 1971. Observaciones acerca de la inducción de resistencia al ataque de hongos productores de pudriciones en madera tratadas con niveles variables de radiaciones gamma. Rev. Lat.-Amer. Microbiol. 13 : 45-58.
- 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.
- Scheffer, T. C. 1973. Microbiological degradation and the causal organisms. In: Nicholas, D. D. (Ed.). Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. I. Degradation and protection of wood. Syracuse University Press. Syracuse, New York. pp. 31-106.
- Torelli, N. and K. Cufar. 1994. Comparative decay resistance of 43 Mexican tropical hardwoods. Holz als Roh-und Werkstoff 52 : 394-396.
- Vázquez S., L. y J. A. Honorato S. 1999. Resistencia natural de la madera de cinco especies de encinos del estado de Puebla. Rev. Cien. For. en Méx. 25 (87): 45-57.

Wilcox, W. W. 1973. Degradation in relation to wood structure. *In*: Nicholas, D. D. (Ed.). Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. I. Degradation and protection of wood. Syracuse University Press. Syracuse, New York. pp. 107-148.