

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES DE ENCINO DEL ESTADO DE GUANAJUATO

J. Amador Honorato Salazar y Martha E. Fuentes López¹

RESUMEN

La utilización eficiente de los encinos mexicanos depende, en parte, de un mejor conocimiento de las propiedades y características de su madera. En este estudio se evaluaron y caracterizaron las propiedades físicas y mecánicas de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato: *Quercus obtusata*, *Q. rugosa*, *Q. castanea*, *Q. durifolia* y *Q. laurina*; las primeras dos son encinos blancos y las demás son encinos rojos. La mayoría de los ensayos se llevaron a cabo de acuerdo con los procedimientos de la norma ASTM D143-83, y particularmente los de impacto, con aquellos de la norma NFB51-009. Los resultados obtenidos indican que la densidad básica promedio fue mayor en los encinos blancos que en los encinos rojos, mientras que la relación entre la contracción tangencial y la radial fue más baja en los primeros que en los segundos. Los valores promedio de resistencia, determinados en la condición saturada y al 12% de contenido de humedad, para flexión estática, compresión axial, impacto y compresión perpendicular al hilo, no mostraron una clara diferencia entre ambos tipos de encino. Con base en estos valores, las características de resistencia de la madera de las cinco especies estudiadas varían de categoría media a categoría alta en la condición saturada, y de alta a muy alta al 12% de contenido de humedad. Se recomiendan varios usos para las cinco especies de encino, desde mangos para herramientas hasta productos reconstituidos.

Palabras clave: Contracción, densidad básica, encinos blancos, encinos rojos, propiedades físicas, propiedades mecánicas.

Fecha de recepción: 04 de septiembre de 1998.

Fecha de aceptación: 22 de marzo de 2004.

¹INIFAP, C.I.R, Centro, Campo Experimental San Martinito. Correo-e: amadorh@computex.com.mx

ABSTRACT

Efficient utilization of the Mexican oaks depends upon a better knowledge of specific properties and general characteristics of its wood. This study assesses and describes the physical and mechanical properties of five Mexican oak species from the State of Guanajuato: two white oaks (*Quercus obtusata* and *Q. rugosa*) and three red oaks (*Q. castanea*, *Q. durifolia* and *Q. laurina*). Most of the tests were performed according to standard ASTM D143-83 procedures. Impact bending tests were conducted following the procedures in standard NFB51-009. Results indicate that the average basic density was higher in white oaks than in red oak species, while the average radial-tangential ratios were lower for white oaks than for red oak species. The average strength values determined in the saturated condition and at 12% of moisture content for static bending, compression parallel to grain, impact bending, compression perpendicular to grain, did not show a clear difference between white and red oaks. According to these values, the wood strength properties for the five species vary from medium to high category in the saturated condition, and from high to very high at 12% of moisture content. Several uses ranging from tool handles to reconstituted products from the five oak species are recommended.

Key words: Shrinkage, basic density, white oak, physical properties, mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

La madera se ha usado a través de los siglos para un amplio rango de propósitos en los cuales la resistencia es un factor de importancia crítica. Como resultado de las pruebas de ensayo y error realizadas durante mucho tiempo, se han asociado ciertas maderas con cualidades y usos especiales, atribuyéndoles estándares tradicionales de resistencia y durabilidad. Sin embargo, es preciso llevar a cabo pruebas adecuadas para saber qué tan resistente es la madera para darle el uso correcto.

Asimismo, debido al aumento de la población y la demanda de productos maderables, se ha ejercido una sobreexplotación de ciertas especies maderables, lo que ha reducido sus existencias considerablemente. Esto ha originado la búsqueda de especies opcionales substitutas que tengan un potencial de producción alto y características tecnológicas similares o superiores. Desafortunadamente, se desconocen las propiedades tecnológicas de muchas especies forestales, entre las que se incluyen los encinos.

Aun cuando los encinos en nuestro país están representados por más de 150 especies (Martínez, 1981; Nixon, 1993), ocupando el segundo lugar de abundancia y distribución, sólo se ha aprovechado en promedio un 10% del volumen autorizado

en los últimos cinco años (SAGAR, 1998). La mayor parte de este aprovechamiento se ha destinado a la elaboración de leña, carbón y celulósicos, principalmente.

El poco aprovechamiento de los encinos se debe principalmente a los problemas que se presentan durante su procesamiento e industrialización, ya que se requiere de técnicas y cuidados diferentes a los que se utilizan en las coníferas. Otro factor, sin duda, es la falta de estudios tecnológicos en las especies potencialmente comerciales que existen en el país.

La mayor parte de los estudios físico-mecánicos en encinos han sido enfocados a la determinación de propiedades físicas, principalmente densidades básicas, contracciones lineales y volumétricas. La determinación de propiedades mecánicas ha sido más limitada y solamente se ha trabajado con 12 especies (Honorato, 1997). Los valores de dichas propiedades han servido como referencia para compararlas con otras especies maderables y con base en los resultados, se han propuesto algunos usos apropiados (Rendle, 1969; Negrete, 1970; Echenique y Becerra, 1972; Arcia, 1979; Torelli, 1982).

Existen diferencias en las propiedades físicas y mecánicas entre los encinos rojos y blancos. Los encinos rojos presentan valores promedio de contracciones lineales, contracciones volumétricas, relación anisotrópica y punto de saturación de la fibra mayores que los encinos blancos (Honorato, 1997).

Los valores promedio de contracciones volumétricas, relación anisotrópica y punto de saturación de la fibra también son mayores en encinos rojos que en encinos blancos de los Estados Unidos de Norte América (Forest Products Laboratory, 1955), aunque los valores para los encinos mexicanos son mayores. En cambio, los valores promedio de resistencia mecánica bajo diferentes condiciones de carga, no tienen un comportamiento definido. En ciertas condiciones, los encinos rojos son más resistentes que los encinos blancos (Honorato, 1997). Este comportamiento es similar para ambos tipos de encino, igualmente en los Estados Unidos (Forest Products Laboratory, 1955) que a su vez presentan valores de resistencia menores que los encinos mexicanos.

Otros estudios realizados en el país también han mostrado que existe una correlación entre la estructura anatómica y algunas propiedades físicas y mecánicas (Guerrero *et al.*, 1995), lo que sugiere que la densidad básica, resistencia a flexión estática y a compresión paralela, son afectadas por el porcentaje de parénquima axial, mientras que la contracción tangencial lo es por el área porcentual de pared de fibras y de los rayos uniseriados.

La resistencia mecánica de la madera a flexión, tensión y compresión está relacionada con el ángulo de los anillos de crecimiento y el de aplicación de carga. Aun para madera seca, los ángulos pequeños entre la orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de la carga aplicada reducen la resistencia

críticamente (Kollman y Côté, 1968). En el caso del encino, la reducción crítica de resistencia se presenta a un ángulo de 10° con respecto a los anillos de crecimiento y en la resistencia a flexión, que puede ser hasta de un 50% de su valor inicial (Fuentes *et al.*, 1988).

La temperatura también tiene un efecto importante en la resistencia de la madera de encino. Young (1957) señaló que la reducción de resistencia a la tensión y compresión es en forma lineal entre 26.6 y 82.2°C. Cuando se toma en cuenta el efecto del contenido de humedad en la madera, estas propiedades también disminuyen linealmente cuando se aumenta el contenido de humedad, desde 6% hasta el punto de saturación de la fibra, aunque la disminución es mayor cuando la dirección de la aplicación de la carga es radial, que en la dirección tangencial (Schniewind, 1962). La reducción es mucho mayor y en forma curvilínea bajo el efecto combinado de temperaturas y contenidos de humedad altos.

Davis y Thompson (1964) también indican que la rigidez de los encinos rojos disminuye linealmente con la temperatura por arriba de 125°C y está altamente correlacionada con los cambios en el contenido de carbohidratos, ocasionados por la degradación térmica de estos compuestos químicos.

El comportamiento del encino a compresión bajo el sistema de barra de presión Hopkinson, es diferente cuando se satura con diferentes líquidos que causan expansión (Renaud *et al.*, 1996a); así el módulo de elasticidad, el esfuerzo al límite proporcional y a la carga máxima son mayores cuando se utiliza glicerol, pero menores cuando se usa NaOH al 8%, en comparación con agua respectivamente. Además, la madera es menos rígida cuando se deforma a velocidades bajas de deformación que a velocidades altas. En este caso, se supone que el agua se comporta como un sólido y contribuye a reforzar el material leñoso, ya que el agua no puede migrar fuera de los microporos de la pared celular (Renaud *et al.*, 1996b).

Sin embargo, la falta de datos sobre características y propiedades de muchas especies de encinos mexicanos ha hecho que la utilización de estas especies no sea eficiente y adecuada; por lo tanto, para que los encinos sean usados en una variedad de productos y tengan una aceptación en el mercado nacional, es necesario que se conozca más sobre la estabilidad dimensional y propiedades físico-mecánicas de especies que no se han estudiado. Así, como parte de la búsqueda de maderas mexicanas con un potencial de producción alto, el presente trabajo se llevó a cabo con cinco especies de encino del Estado de Guanajuato, lo que, paralelamente, contribuye a la caracterización tecnológica de los encinos de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un recorrido de campo en el Ejido las Cieneguitas, del Estado de

Guanajuato, donde se colectaron las muestras botánicas y se marcaron los árboles que se derribarían. La determinación taxonómica de las especies se hizo en el Herbario Nacional Forestal (INIF) "Luciano Vela Gálvez" del CENID-COMEF, INIFAP. Las especies identificadas fueron las siguientes: *Quercus obtusata* Humb. et Bonpl., *Q. laurina* Humb. et Bonpl., *Q. durifolia* Seem, *Q. castanea* Née y *Q. rugosa* Née, de las cuales las dos primeras pertenecen al grupo de encinos blancos (*Leucobalanus*) y las tres restantes, al grupo de encinos rojos (*Erytrobalanus*).

Se seleccionaron árboles sanos de fuste recto y con alturas entre 18 y 27 m, con un DAP entre 30 y 56 cm. Se colectaron dos árboles de *Quercus obtusata*, *Q. durifolia* y *Q. rugosa*, tres de *Q. laurina* y uno de *Q. castanea*; se obtuvo una troza de 2.7 m de longitud de cada árbol, cortada a una altura de 1.5 m por arriba del tocón. La madera se aserró de acuerdo con el procedimiento descrito por Quiñones (1974), lo que produjo barras de 5.7 x 5.7 cm de sección transversal por 122 cm de longitud (Fig. 1).

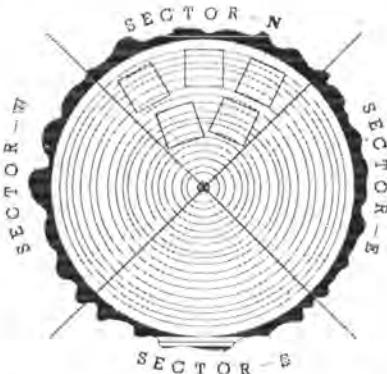


Figura 1. Obtención de probetas por sectores.

Cada barra se numeró en forma progresiva indicando el número de árbol, el número de troza, el sector correspondiente (N, S, E, W) y el tipo de ensayo. El 50% de las barras de cada árbol se destinó para ensayos en condición saturada, a un contenido de humedad de la madera por arriba del punto de saturación de la fibra. El resto del porcentaje se utilizó en los ensayos en condición seca, a un contenido de humedad aproximado de 12%. El número de probetas por ensayo por árbol varió de 5 a 62.

La elaboración y dimensión final de las muestras para los diferentes tipos de ensayo se realizó de acuerdo a la metodología establecida por la norma americana ASTM D143-83 (ASTM, 1992). Esta norma también se aplicó para determinar las propiedades físicas y mecánicas, con excepción del ensayo

de impacto en el cual se empleó la norma francesa NFB51-009 (L'Association Francaise de Normalization, 1942).

Las propiedades físicas fueron las siguientes: contenido de humedad, densidad básica, densidad anhidra, densidad al 12% y densidad verde; contracciones volumétricas y contracciones lineales tangenciales y radiales. Las propiedades mecánicas se obtuvieron mediante las siguientes pruebas o ensayos mecánicos: flexión estática, compresión axial, compresión perpendicular a la fibra, impacto, dureza lateral, dureza transversal, cortante paralelo a la fibra, tensión perpendicular y rajado.

Los datos derivados de las diferentes pruebas permitieron calcular los valores promedio de las propiedades físicas y mecánicas de las especies. Los valores promedio y el coeficiente de variación se calcularon a partir del procedimiento de una muestra no estratificada con las siguientes fórmulas (Pearson, 1952; Pearson y Williams, 1958):

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n n_i x_i}{N} \quad (1)$$

$$CV \ (%) = \left(\frac{100 \sigma_b}{\mu} \right) \sqrt{1 + \frac{\sigma_i^2}{\sigma_b^2}} \quad (2)$$

donde:

- X_p = Media ponderada de la especie
- n_i = Número de especímenes tomados del i-ésimo árbol
- x_i = Media de la propiedad considerada del i-ésimo árbol
- N = Número total de especímenes.
- CV = Coeficiente de variación
- σ_i^2 = Varianza entre árboles
- σ_b^2 = Varianza dentro de árboles
- μ = Media de la especie

Debido a que el acondicionamiento de las muestras secas fue un poco diferente al 12% de contenido de humedad, los valores de resistencia fueron ajustados al 12% mediante la siguiente expresión (Dinwoodie, 1981):

$$\log R_{12} = \log R_s + \frac{PSF-CH_{12}}{PSF-CH_r} \log \left(\frac{R_r}{R_s} \right) \quad (3)$$

donde:

- R_{12} = Resistencia considerada al 12% de contenido de humedad
- R_s = Resistencia considerada en condición saturada
- R_r = Resistencia considerada en condición seca al contenido de humedad real
- PSF = Punto de saturación de la fibra
- CH_{12} = Contenido de humedad del 12%
- CH_r = Contenido de humedad real

Stamm (1971) y Skaar (1972) han señalado que existe una relación entre la densidad básica y la contracción volumétrica de la madera. Esta relación puede servir para estimar el punto de saturación de la fibra mediante lo siguiente:

$$PSF (\%) = \frac{\beta_v}{DB} \quad (4)$$

donde:

- β_v = Contracción volumétrica
- DB = Densidad básica

Algunas veces, la ecuación (4) no es adecuada para obtener el punto de saturación de la fibra (Kelsey, 1956; Chafe, 1986), debido a que a bajos contenidos de humedad no existe una relación lineal entre la contracción y el contenido de humedad, o bien, a que algunas especies presentan un alto contenido de extractivos. El error puede reducirse con el modelo de Kelsey (1956):

$$PSF (\%) = 12 + \frac{\beta_{v,12}}{DB} \quad (5)$$

donde:

- $\beta_{v,12}$ = Contracción volumétrica de la condición saturada al 12% de contenido de humedad
- DB = Densidad básica.

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza y la comparación mínima significativa de los valores promedio para las propiedades físicas y mecánicas en condición saturada y seca, por especie. Los valores promedio de las diferentes propiedades se ubicaron de acuerdo a la clasificación sugerida por Torelli, (1982), y Echenique y Plumptre (1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados promedio de las propiedades físicas de las diferentes especies estudiadas se muestran en los cuadros 1 al 3; las propiedades mecánicas, en los cuadros 4 al 8. En la comparación de promedios, los valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación están entre paréntesis.

Propiedades físicas

El conocimiento de la densidad básica de la madera es de gran importancia, puesto que se relaciona con otras propiedades físicas y mecánicas. Generalmente los encinos blancos presentan valores de densidad básica más altos que los encinos rojos (Honorato, 1997). Los resultados destacan también que los encinos blancos (*Q. obtusata* y *Q. rugosa*) tienen mayor densidad básica que los encinos rojos (*Q. laurina*, *Q. durifolia* y *Q. castanea*).

Cuadro 1. Densidades promedio de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Especie	N	Densidades promedio (g/cm ³)							
		Verde		Al 12%		Anhídra		Básica	
<i>Q. obtusata</i>	12	1.23 (8.3)	a	0.91 (10.4)	b	0.87 (10.1)	a	0.72 (9.9)	a
<i>Q. rugosa</i>	24	1.23 (4.1)	a	0.96 (13.6)	a	0.88 (11.4)	a	0.72 (8.7)	a
<i>Q. laurina</i>	27	1.15 (3.6)	b	0.77 (5.3)	c	0.73 (6.5)	b	0.60 (5.7)	b
<i>Q. durifolia</i>	27	1.18 (2.0)	b	0.81 (4.6)	c	0.76 (4.1)	b	0.62 (4.4)	b
<i>Q. castanea</i>	12	1.18 (1.5)	b	0.82 (3.1)	c	0.76 (3.5)	b	0.62 (4.1)	b

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación están entre paréntesis.

El valor de densidad básica promedio de las dos especies de encinos blancos fue de 0.72 g/cm^3 , lo cual concuerda con el rango de valores de 0.69 a 0.76 g/cm^3 señalados en la literatura para los encinos blancos. En cambio, los valores para los encinos rojos fueron de 0.60 a 0.62 g/cm^3 , ubicándose dentro del rango de 0.51 a 0.89 g/cm^3 para los encinos rojos del país (Cuadro 1). Los resultados obtenidos para *Q. rugosa*, *Q. laurina* y *Q. castanea* son similares a los mencionados por Negrete (1970), Fuentes (1990) y García y González (1990), respectivamente. De acuerdo con la clasificación propuesta por Torelli, (1982) y Echenique y Plumptre (1990), la madera de los encinos blancos se clasifica como "muy pesada", mientras que la de los encinos rojos como "pesada".

La comparación de medias mostró que existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las densidades básicas de los encinos blancos y los encinos rojos estudiados. Esta diferencia podría atribuirse a la presencia de tilídes en los elementos de vaso, gomas, cristales y extractivos en las cavidades celulares de los encinos blancos (De la Paz, 1974, 1982, 1985a; Tejeda, 1994). La manifestación de estas inclusiones y materiales extraños incrementa la densidad básica de la madera (Kollmann y Côté, 1968), por lo que los encinos blancos tienen una mayor densidad básica que los rojos.

La magnitud de contracción transversal de la madera de encino y sus diferencias entre las direcciones radial y tangencial son importantes en el secado debido a la susceptibilidad a desarrollar defectos, tales como grietas y rajaduras. La contracción transversal de la madera es una manifestación externa de los cambios que ocurren en las paredes celulares; por lo tanto, se espera que la contracción transversal sea más o menos proporcional a la densidad básica puesto que ambas están en función del grosor de la pared celular. Los resultados promedio de contracción total en la dirección radial (β_{rT}) de las especies estudiadas aparentemente siguen este tipo de comportamiento, aunque *Q. castanea* presentó la contracción total radial más alta (Cuadro 2).

Las contracciones totales tangenciales (β_{tT}) y volumétricas (β_{vT}) no parecen tener una relación directa con respecto a la densidad básica. *Q. castanea* registró los valores más altos en contracciones lineales, mientras que las otras cuatro especies mostraron valores similares en contracción tangencial. *Q. obtusata* presentó el valor más bajo en contracción volumétrica (Cuadro 2). La diferencia de contracción lineal y volumétrica entre las especies estudiadas puede deberse al grosor de la pared celular de los elementos característicos que constituyen la madera. Los resultados obtenidos por De la Paz (1974, 1982, 1985a, 1985b) y Tejeda (1994), indican que el grosor de la pared celular de las fibras de *Q. castanea* es mayor al de las otras cuatro especies, en una proporción que varía de 1:1.46 a 1:1.7. Esto hace que la magnitud de las contracciones en dicha especie sea más pronunciada, sobre todo en aquellos elementos celulares que rodean los rayos (McIntosh, 1957).

Cuadro 2. Contracciones lineales y volumétricas de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Especie	Contracciones promedio (%)								
	Radial (β_{lr})			Tangencial (β_{lt})			Volumétrica (β_{lv})		
	N	Al 12%	Total	N	Al 12%	Total	N	Al 12%	Total
<i>Q. obtusata</i>	25	2.54 ^c (27.1) _d	5.30 ^a (38.2)	25	8.21 ^c (21.0)	14.10 ^b (10.4)	12	9.34 ^c (22.9)	16.21 ^b (8.9)
<i>Q. rugosa</i>	27	2.79 ^b (23.1) _c	5.12 ^a (32.1)	28	10.03 ^b (22.6)	13.80 ^b (14.5)	24	12.8 ^a (20.8)	17.72 ^a (10)
<i>Q. laurina</i>	36	3.07 ^b (44.4)	5.21 ^a (40.7)	33	9.68 ^b (26.4)	13.28 ^c (15.8)	27	11.01 ^b (11.8)	17.46 ^a (7.9)
<i>Q. durifolia</i>	29	2.12 ^d (19.4)	4.70 ^a (45.1)	25	8.62 ^b (49.8) _c	14.42 ^b (9.5)	27	12.10 ^a (16.8) _b	17.89 ^a (7.4)
<i>Q. castanea</i>	15	3.95 ^a (11.8)	5.52 ^a (12.3)	17	13.9 ^a (12.6)	16.14 ^a (8.2)	12	13.30 ^a (7.68)	17.94 ^a (4.0)

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis.

Los valores de las contracciones lineales y volumétricas indican que la madera de los cinco encinos en estudio tiene cambios dimensionales entre altos y muy altos. Con excepción de la contracción radial total, la comparación de medias muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) entre especies para las contracciones lineales y volumétricas. En términos de uso, los valores más altos de contracción sugieren una menor estabilidad dimensional.

La relación anisotrópica ($RAN = \beta_{lt}/\beta_{lr}$) obtenida fue de 2.55 a 3.07 (Cuadro 3), misma que depende principalmente de la presencia de rayos uniseriados y poliseriados. De acuerdo con McIntosh (1957), los rayos poliseriados contribuyen en 33% y los uniseriados en 40% a la relación anisotrópica por arriba de la unidad. Kollman y Côté (1968) señalaron que existe una tendencia de la relación anisotrópica de aumentar a medida que la densidad disminuye. La explicación de este comportamiento se basa en el hecho de que la influencia de las características en los cambios dimensionales de las células de rayo en la dirección radial se incrementa más eficientemente conforme la densidad de la madera disminuye.

Cuadro 3. Relación anisotrópica y punto de saturación de la fibra de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato

Especie	β_{tr}/β_r	Punto de saturación de la fibra (PSF) (%)			
		Con ecuación (4)		Con ecuación (5)	
<i>Q. obtusata</i>	2.66	22.70 (12.6)	c	27.09 (11.2)	c
<i>Q. rugosa</i>	2.69	24.78 (8.0)	b	32.53 (12.9)	a b
<i>Q. laurina</i>	2.55	29.14 (7.8)	a	32.00 (8.6)	b
<i>Q. durifolia</i>	3.07	28.76 (9.7)	a	32.49 (19.3)	a b
<i>Q. castanea</i>	2.92	28.81 (6.6)	a	35.20 (7.4)	a

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis.

Adicionalmente, la diferencia entre los cambios dimensionales en la dirección radial y tangencial depende del contenido de humedad (McIntosh, 1957; Kollman y Côté, 1968). Sin embargo, lo anterior es válido si únicamente se toma en cuenta el punto de saturación de la fibra, puesto que a partir de este punto se originan los cambios. A medida que el punto de saturación de la fibra es mayor, la magnitud de estos cambios, también será mayor.

La densidad básica y el punto de saturación de la fibra determinan el comportamiento en los cambios dimensionales de la madera, como se observa en los resultados obtenidos para las especies estudiadas. Luego entonces, dado que el punto de saturación de la fibra se determinó con la ecuación (4), hay una gran dependencia de las contracciones totales y la densidad básica, la cual se refleja en los valores bajos observados en *Q. obtusata* y *Q. rugosa* (Cuadro 3).

Tomando en consideración los valores de todas las probetas de las cinco especies de encino, se definió una relación entre la contracción volumétrica y la

densidad básica (Figura 2), que es semejante a la indicada en otros análisis publicados hasta la fecha (Chafe, 1986). De forma similar, la regresión lineal de los datos describe una línea que intercepta al eje "y" a más del 12%. Cuando la regresión lineal es a partir de cero, se genera una pendiente de 27.2%, con el auxilio de la ecuación 4, que es el promedio del punto de saturación de la fibra de las cinco especies. Los valores del punto de saturación de la fibra, que resultaron de la ecuación (5), son mayores que los que se obtienen con la relación de Stamm (1971). Así, el punto de saturación de la fibra (PSF) para *Q. obtusata* continúa siendo el más bajo.

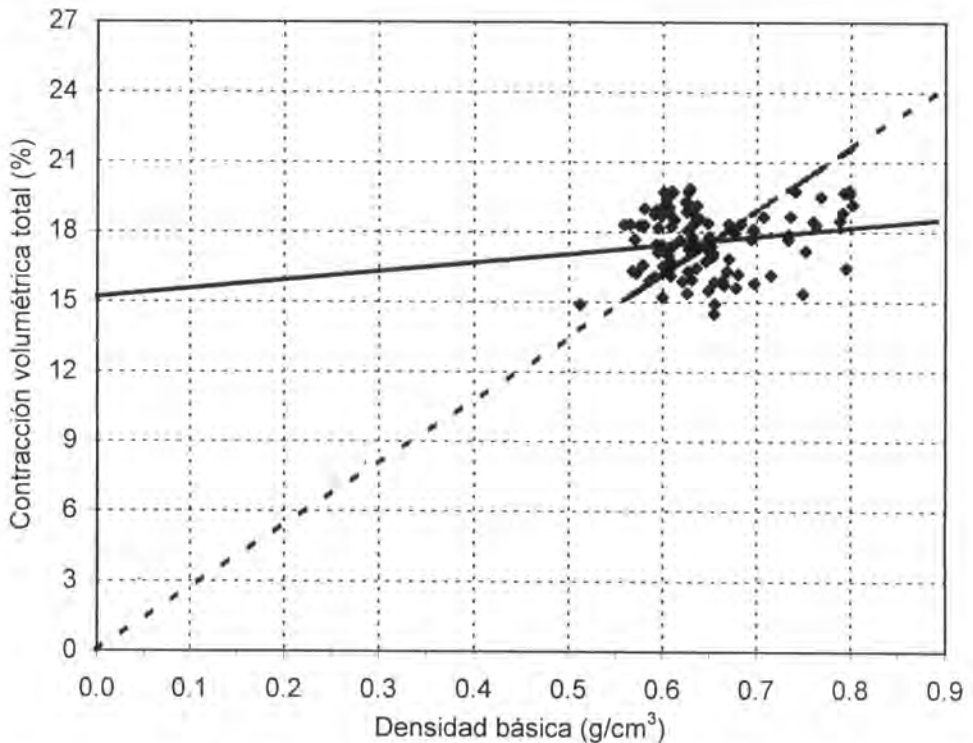


Figura 2. Relación de la contracción volumétrica total y la densidad básica de cinco especies de encinos.

La variación de los valores derivados de las ecuaciones (4) y (5) puede deberse al error de la curvatura por los bajos contenidos de humedad en la relación contracción-contenido de humedad. Es posible que la diferencia de los valores en el PSF de las especies esté influenciado por la cantidad de extractivos, sobre

todo si están dentro de la pared celular (Chafe, 1986). Sin embargo, en la actualidad no existen datos sobre la cantidad de extractivos de las diferentes especies de encinos estudiadas, que permitan establecer relación alguna.

Los valores de densidad básica y contracción radial de *Q. laurina*, coinciden con los señalados por Fuentes (1990); sin embargo, los de contracción tangencial y volumétrica son mayores a los mencionados por el mismo autor. Asimismo, los de densidad básica, contracciones lineales y volumétricas para *Q. rugosa*, son mayores que los indicados por Ordóñez *et al.* (1988), lo cual puede atribuirse a las diferentes condiciones de crecimiento del arbolado donde se recolectaron las muestras.

Propiedades mecánicas

El uso de la madera implica que en algunas situaciones ésta deba sujetarse a cargas externas en diferentes direcciones, produciéndose así diversos y variados tipos de esfuerzos, ya sea en forma aislada o combinada. Por lo tanto, es importante conocer las propiedades de resistencia mecánica de la madera, particularmente cuando se usa como elemento estructural en propósitos de construcción diferentes.

Las cargas a flexión producen un patrón complejo de deformaciones tridimensionales a tensión, compresión y cortante. En esta condición de carga, los diferentes tipos de células que la componen sufren extensiones en la parte inferior y contracciones en la parte superior en donde se aplica la carga. Como consecuencia, se generan esfuerzos en los planos horizontales y verticales del elemento sujeto a flexión (Bodig y Jayne, 1982).

Las propiedades de resistencia a flexión estática obtenidas para las especies de encino muestran que *Q. castanea* presentó los valores promedio más altos en la condición saturada en comparación con el resto de las especies; mientras que en la condición al 12%, *Q. laurina* y *Q. castanea* también exhibieron valores altos (Cuadro 4).

Los resultados en condición saturada indican que la madera de las especies de interés tiene un módulo de elasticidad muy alto y un módulo de ruptura de medio a alto. Con 12% de contenido de humedad, la clasificación es alta para el esfuerzo al límite de proporcionalidad, excesivamente alta para el módulo de elasticidad y media para el módulo de ruptura (Cuadro 4).

La resistencia a compresión axial tiene una función importante cuando se requiere utilizar a la madera como material de construcción en forma de postes o columnas. Los resultados revelan diferencias significativas entre las especies bajo condición saturada y con 12% de contenido de humedad (Cuadro 5).

El esfuerzo máximo unitario en condición saturada se clasifica como medio para

Cuadro 4. Flexión estática en condición saturada y al 12% de contenido de humedad en la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Flexión estática en condición saturada						
Especie	N	ELP	MOE	MOR	WLP	WCM
<i>Q. obtusata</i>	15	458.65 (11.3)	b 262654.77 (19.8)	b 680.99 (10.4)	b 0.0460 (23.3)	b 0.1817 (34.5)
<i>Q. rugosa</i>	20	375.56 (16.9)	c 209803.52 (27.4)	c 624.48 (17.4)	b 0.0388 (26.0)	b 0.2044 (35.4)
<i>Q. laurina</i>	23	421.34 (26.1)	b 262668.61 (20.6)	b 673.35 (19.3)	b 0.0389 (38.5)	b 0.2059 (72.9)
<i>Q. durifolia</i>	27	398.37 (17.9)	c 235079.84 (23.1)	b 607.97 (11.1)	c 0.0389 (29.3)	b 0.1951 (28.0)
<i>Q. castanea</i>	6	544.95 (4.5)	a 308839.68 (22.1)	a 766.54 (5.5)	a 0.0546 (12.0)	a 0.2259 (29.9)
Flexión estática al 12% de contenido de humedad						
Especie	N	ELP	MOE	MOR	WLP	WCM
<i>Q. obtusata</i>	10	749.69 (11.3)	b 4341844.11 (28.6)	a 1108.28 (19.7)	a 0.0071 (27.5)	c 0.0454 (69.2)
<i>Q. rugosa</i>	15	710.53 (8.5)	b 3643444.11 (14.2)	b 1194.16 (15.2)	a 0.0072 (12.7)	c 0.0448 (44.3)
<i>Q. laurina</i>	23	861.79 (27.5)	a 4144610.90 (32.4)	a 1222.67 (15.5)	a 0.096 (33.0)	b 0.0471 (26.0)
<i>Q. durifolia</i>	18	661.49 (16.6)	b 2979624.31 (15.4)	b 1021.51 (13.3)	b 0.0078 (26.0)	c 0.0370 (29.7)
<i>Q. castanea</i>	7	884.47 (8.8)	a 3770372.99 (11.4)	a 1225.66 (13.4)	a 0.0108 (12.9)	a 0.0393 (39.1)

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis. ELP = Esfuerzo al límite proporcional, (kg/cm^2), MOR = Módulo de Ruptura (kg/cm), MOE = Módulo de elasticidad (kg/cm^2), WLP = Trabajo al límite proporcional ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$), WCM = Trabajo a la carga máxima ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$).

la mayor parte de las especies, excepto para *Q. laurina* que es alto. En la condición 12% de contenido de humedad, este tipo de esfuerzo se clasifica como muy alto, con excepción de *Q. durifolia* que, igualmente, es alto (Cuadro 5).

Los elementos de madera de planeadores, máquinas, artículos deportivos, escaleras, mangos para herramientas y estructuras fallan más frecuentemente bajo la influencia de esfuerzos de impacto que por sobre carga estática. Por eso es importante conocer la capacidad de la madera para resistir el choque o el impacto.

La resistencia al impacto en condición saturada de las especies estudiadas, medida por medio del trabajo total de ruptura (W), resultó ser media para *Q. laurina* y *Q. durifolia*, alta para *Q. rugosa* y muy alta para las otras dos especies, lo que permite ubicarlas como maderas con buena capacidad de amortiguamiento (Cuadro 6). Asimismo, su coeficiente de resiliencia (k) al 12% de contenido de humedad clasifica a las cinco especies como maderas resistentes, que equivalen a una capacidad media de amortiguamiento. Los valores promedio entre especies muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para ambas condiciones de humedad.

La resistencia de la madera en compresión perpendicular a la fibra es importante en muchas estructuras de madera y en los durmientes para líneas férreas e indica la capacidad que tiene la madera de ser densificada por la acción de fuerzas externas (Kollman y Côté, 1968). Los valores de esfuerzo al límite proporcional obtenidos indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las especies para ambas condiciones de humedad. No obstante, para la condición saturada sólo *Q. rugosa* fue diferente de las otras cuatro especies (Cuadro 7). Los valores obtenidos en condición al 12% ubican a la madera de las especies estudiadas como altamente resistentes.

La dureza es esencial para la trabajabilidad de la madera y para pisos, bloques de soporte, mazos de madera, entre otros. La dureza en los extremos y lateral de las especies estudiadas es más alta en los encinos blancos que en los encinos rojos para ambos contenidos de humedad. Los valores que se obtuvieron con 12% de contenido de humedad permiten ubicarlas como maderas de dureza alta en los extremos y lateral (Cuadro 7). Asimismo, los resultados concuerdan con los reportados por Becerra (1977) y Goche (1993) para la madera de encinos rojos, y por Fuentes (1990) para encinos blancos y rojos. Sin embargo, Machuca (1995) reporta valores inferiores para la dureza en los extremos en condición saturada y al 12% de contenido de humedad.

La resistencia al esfuerzo cortante puede ser el factor limitante para el diseño de elementos estructurales y laminados, dado que la resistencia en la madera a este tipo de esfuerzo es relativamente bajo. Los resultados reunidos en el Cuadro 7, no indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las especies en condición

Cuadro 5. Compresión axial en condición saturada y 12% de contenido de humedad en la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Compresión axial en condición saturada						
Especie	N	ELP	MOE	EMC	WLP	WCM
<i>Q. obtusata</i>	19	294.67 (17.6) a	348171.36 (80.5) a	331.03 (12.2) a	0.2007 (73.8) a	0.6511 (58.7) b
<i>Q. rugosa</i>	28	238.88 (23.8) b	212814.66 (40.7) a	289.20 (16.6) b	0.1469 (38.4) a	1.0960 (54.4) a
<i>Q. laurina</i>	30	306.60 (25.5) a	240966.01 (57.2) a	349.83 (25.2) a	0.2228 (43.3) a	0.8642 (54.7) b
<i>Q. durifolia</i>	26	229.99 (19.1) b	229115.85 (118.9) a	276.43 (15.3) b	0.1904 (109.5) a	0.8584 (52.0) b
<i>Q. castanea</i>	11	256.60 (19.1) b	240330.86 (76.8) a	313.36 (15.7) b	0.1769 (39.8) a	0.9594 (40.48) a

Compresión axial al 12 % de contenido de humedad						
Especie	N	ELP	MOE	EMC	WLP	WCM
<i>Q. obtusata</i>	16	499.39 (20.0) a	327990.02 (33.3) b	590.11 (15.3) b	0.3951 (26.3) a	2.648 (28.9) b
<i>Q. rugosa</i>	23	422.64 (15.0) b	259218.88 (28.7) b	558.38 (13.0) c	0.3634 (27.3) a	2.876 (39.5) a
<i>Q. laurina</i>	29	526.12 (17.7) a	301939.15 (33.5) b	619.68 (14.2) a	0.6074 (30.6) a	1.821 (29.7) c
<i>Q. durifolia</i>	25	438.55 (15.0) b	331069.28 (48.6) b	539.20 (11.9) c	0.3354 (36.9) a	2.183 (55.3) c
<i>Q. castanea</i>	11	539.33 (10.4) a	424854.30 (41.8) a	627.96 (8.7) a	0.3799 (26.7) a	1.858 (39.4) c

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis. ELP = Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm^2), MOE = Módulo de elasticidad (kg/cm^2), EMC = Esfuerzo máximo de compresión, WLP = Trabajo al límite proporcional ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$) WCM = Trabajo a la carga máxima ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$).

Cuadro 6. Resistencia al impacto en condición saturada y 12% de contenido de humedad en la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Impacto en condición saturada											
Especie	N	W	F	RI	MOR	K					
<i>Q. obtusata</i>	31	5.64 (29.2)	a	6.48 (16.8)	a	209.23 (16.8)	a	744.56 (15.2)	b	0.277 (5.4)	d
<i>Q. rugosa</i>	59	4.41 (52.8)	b	5.32 (17.9)	b	171.82 (17.9)	b	656.14 (18.5)	c	0.287 (3.3)	c
<i>Q. laurina</i>	71	2.70 (43.5)	d	5.72 (24.4)	b	184.88 (24.4)	b	731.94 (23.8)	b	0.293 (3.1)	b
<i>Q. durifolia</i>	87	3.45 (35.9)	c	5.82 (25.5)	b	188.10 (25.5)	b	707.35 (27.4)	b	0.284 (3.2)	c
<i>Q. castanea</i>	24	4.81 (26.1)	b	5.78 (11.8)	b	186.84 (11.8)	b	811.26 (11.9)	a	0.308 (1.4)	a
Impacto al 12 % de contenido de humedad											
Especie	N	W	F	RI	MOR	K					
<i>Q. obtusata</i>	51	3.97 (33.1)	b	6.93 (31.3)	a	223.87 (31.3)	a	1057.06 (36.4)	a	0.322 (4.9)	a
<i>Q. rugosa</i>	64	5.08 (44.8)	a	6.50 (17.3)	b	209.88 (17.3)	b	988.42 (17.8)	b	0.323 (3.8)	a
<i>Q. laurina</i>	82	3.32 (22.7)	c	6.53 (14.0)	b	211.00 (14.0)	b	928.29 (31.7)	b	0.308 (10.1)	b
<i>Q. durifolia</i>	84	3.40 (47.2)	c	5.89 (22.7)	c	190.16 (22.7)	c	796.50 (19.7)	c	0.304 (4.7)	b
<i>Q. castanea</i>	32	3.12 (53.9)	c	6.18 (26.0)	b	199.58 (26.0)	b	908.61 (25.2)	b	0.317 (3.8)	a

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis. W = Trabajo total de ruptura (kg.m), F = Fuerza (kg), RI = Reacción instantánea (kg), MOR = Módulo de elasticidad (kg/cm^2), K = Coeficiente de resiliencia.

Cuadro 7. Resistencia a compresión perpendicular, dureza y cortante de la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Condición saturada											
Especie	Compresión perpendicular			Dureza (kg)			Cortante				
	N	ELP		N	Extremos	Lateral	N	EM			
<i>Q. obtusata</i>	16	80.77 (10.7)	a	14	798.73 (11.0)	a	791.83 (14.6)	a	21	109.39 (15.3)	a
<i>Q. rugosa</i>	23	67.30 (13.4)	b	21	752.01 (12.5)	a	732.67 (19.3)	a	24	113.90 (20.2)	a
<i>Q. laurina</i>	30	81.97 (9.2)	a	21	678.66 (9.1)	b	622.25 (13.6)	b	36	112.76 (21.9)	a
<i>Q. durifolia</i>	21	84.98 (8.1)	a	27	673.82 (7.1)	b	658.41 (8.7)	b	28	121.21 (11.1)	a
<i>Q. castanea</i>	7	85.36 (8.0)	a	6	692.33 (6.7)	b	631.55 (8.2)	b	15	116.55 (13.2)	a

Al 12% de contenido de humedad											
Especie	Compresión perpendicular			Dureza (kg)			Cortante				
	N	ELP		N	Extremos	Lateral	N	EM			
<i>Q. obtusata</i>	19	190.42 (19.3)	a	19	1443.24 (18.3)	a	1319.69 (25.6)	a	26	208.37 (20.0)	a
<i>Q. rugosa</i>	21	172.31 (30.0)	a b	21	1361.27 (23.7)	a b	1233.79 (25.9)	a	28	192.46 (27.1)	a
<i>Q. laurina</i>	31	135.90 (10.5)	c	31	1109.11 (8.0)	c	898.27 (9.1)	b	42	182.82 (16.1)	a
<i>Q. durifolia</i>	28	139.83 (8.8)	c	28	1099.08 (6.8)	c	904.04 (6.8)	b	30	184.18 (16.5)	a
<i>Q. castanea</i>	11	148.36 (10.9)	b c	10	1203.41 (6.5)	b c	1001.57 (5.1)	b	16	199.40 (15.3)	a

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis. ELP = Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm^2), EM = Esfuerzo máximo (kg/cm^2).

saturada y al 12%. Estos últimos valores permiten clasificar la resistencia de las especies bajo este tipo de esfuerzo como muy alto.

La resistencia al rajado puede ser una propiedad deseable cuando se usa la madera en cajas de empaque que deben ser clavadas o atornilladas, así como también en algunos otros usos en los que se desea hacer uniones de piezas de madera con conectores metálicos. El Cuadro 8 destaca que el esfuerzo máximo de rajado es mayor en algunas especies que en otras, tanto en condición saturada como en la condición al 12%. El valor más alto se presentó en *Q. obtusata* para la condición saturada y en *Q. castanea* para la condición al 12%.

La tensión perpendicular al hilo de la madera generalmente es muy baja y en condiciones de uso se tiende a evitar los esfuerzos de tensión porque producen rajaduras en la madera. De acuerdo con la clasificación propuesta por Novelo (1964), los valores de resistencia a tensión perpendicular obtenidos al 12 % para las especies de encino son medios para *Q. obtusata*, *Q. durifolia* y *Q. rugosa*, y altos para *Q. laurina* y *Q. castanea*. Los valores más altos fueron los de *Q. obtusata*, *Q. laurina* y *Q. durifolia* en condición saturada, mientras que al 12% sólo fue el de *Q. castanea* (Cuadro 8).

Los valores de las diferentes propiedades mecánicas de *Q. rugosa*, en condición saturada y al 12%, son mayores que las reportadas por Ordóñez *et al.* (1988). Para *Q. laurina*, la mayor parte de los valores son menores a los mencionados por Fuentes (1990), aunque en compresión axial al 12% los valores de esfuerzo al límite proporcional, esfuerzo máximo y módulo de elasticidad son mayores, así como también los de dureza en los extremos y lateral para ambas condiciones de humedad, y el esfuerzo máximo de tensión al 12%. Los resultados en condición seca de esfuerzo al límite de proporcionalidad a flexión y compresión axial para *Q. castanea* son menores a los de Fuentes *et al.* (1988), pero los del módulo de elasticidad son mayores en el presente estudio (Cuadro 8).

La diferencia en las propiedades físicas y mecánicas en el presente estudio y con respecto a otros estudios, puede deberse a muchos factores ajenos a la madera, entre los que pueden mencionarse el sitio y las condiciones de crecimiento de las especies. Esto trae como consecuencia que las propiedades físicas y mecánicas varíen entre árboles y dentro de los árboles. El contenido de humedad y dimensiones de las probetas también tiene una influencia en los resultados que se obtuvieron. Adicionalmente, si no existe una separación de la madera de duramen y la madera de albura durante la preparación de las probetas, entonces existe otra fuente de variación que posiblemente influyó en los resultados.

En el presente estudio no se hizo una separación entre la madera de albura y la de duramen, lo que dio lugar a un alto porcentaje de muestras con mezcla de ambos. De acuerdo con Hamilton (1961), las propiedades físicas y mecánicas

Cuadro 8. Resistencia a rajado y tensión perpendicular de la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Condición saturada						
Especie	Rajado			Tensión perpendicular		
	N	EM		N	EM	
<i>Q. obtusata</i>	23	93.12 (25.6)	a	20	65.97 (43.0)	a
<i>Q. rugosa</i>	33	72.44 (40.3)	b	37	46.46 (42.5)	b
<i>Q. laurina</i>	40	83.93 (31.7)	a b	36	65.82 (42.6)	a
<i>Q. durifolia</i>	27	84.54 (31.1)	a b	34	68.26 (34.2)	a
<i>Q. castanea</i>	12	79.55 (29.8)	a b	10	49.93 (29.2)	b

Al 12% de Contenido de Humedad						
Especie	Rajado			Tensión perpendicular		
	N	EM		N	EM	
<i>Q. obtusata</i>	29	99.09 (30.7)	b	32	66.36 (30.5)	b
<i>Q. rugosa</i>	35	94.82 (40.8)	b	23	57.85 (37.2)	b
<i>Q. laurina</i>	50	101.49 (27.8)	b	43	69.51 (33.5)	b
<i>Q. durifolia</i>	38	111.52 (29.7)	b	31	62.10 (33.8)	b
<i>Q. castanea</i>	17	130.95 (24.5)	a	18	85.91 (28.2)	a

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis. EM = Esfuerzo máximo (kg/cm^2)

también varían dependiendo de la posición de donde proceden las probetas, tanto en la altura como en el diámetro; así sus resultados indican que la densidad básica más alta puede encontrarse en el centro y la más baja en la periferia del diámetro; así, la dureza lateral sigue un comportamiento similar a la densidad. Lo anterior podría explicar la diferencia entre los valores obtenidos y aquellos sugeridos por diferentes investigadores, así como los altos coeficientes de variación, dado que las probetas se sacaron del centro y de la periferia.

Las diferencias significativas entre especies ($p \leq 0.05$) para la mayoría de las propiedades mecánicas es importante en términos de uso, principalmente en la selección de demandas específicas de diseño estructural o en productos que requieren alta resistencia mecánica. Sin embargo, podrían establecerse valores de uso mínimo que permitirían evitar problemas en el uso de la madera. Es decir, utilizar los valores de las propiedades físicas y mecánicas más bajos cuando se desconozca la especie. Para lograr lo antes mencionado será necesario realizar evaluaciones similares a la actual en las especies de encinos que no se han estudiado.

De acuerdo con los resultados obtenidos y con las especificaciones señaladas por Echenique y Plumtre (1990) se establece que los usos más recomendables de la madera de las cinco especies de encino del Estado de Guanajuato son: mangos para herramientas resistentes al impacto, muebles económicos y de alta calidad, durmientes, pisos con tráfico de peatones, elementos estructurales de techos, muros y pisos. También es posible utilizarlos en la fabricación de productos laminados, reconstituídos y tarimas (Lewis y Heenbik, 1971; Shedlauskas *et al.*, 1996).

CONCLUSIONES

Los cambios dimensionales lineales totales varían de 13.28 a 16.14% en la dirección tangencial y de 4.70 a 5.52% en la dirección radial; mientras que los cambios volumétricos totales están dentro de un rango de 16.21 y 17.94%. La relación anisotrópica de las especies estudiadas se estableció entre 2.55 y 3.07, lo que permite clasificar a los cambios dimensionales de la madera entre altos y muy altos.

La densidad básica es más baja en las especies de encinos rojos que en las de encinos blancos. En los encinos rojos osciló entre 0.60 y 0.62 g/cm³, mientras que en los blancos fue de 0.72 g/cm³.

Los valores del punto de saturación de la fibra dependen del criterio elegido; se puede tomar la contracción volumétrica total o la contracción al 12% de contenido de humedad para relacionarla con la densidad básica. Cuando se utiliza la contracción intermedia se obtienen valores mayores.

Las propiedades mecánicas de la madera de las especies estudiadas varían en función de las condiciones de aplicación de carga. Sin embargo, la resistencia en condición saturada está entre media y alta, mientras que al 12% de contenido de humedad entre alta y muy alta.

REFERENCIAS

- Arcia G., D. 1979. Anatomía y características físicas de la madera de tres encinos del Estado de México. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 75 p.
- ASTM. 1992. Standards, methods of testing small clear specimens of timber. ASTM D 143. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.09 Wood. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA. pp. 37-78.
- Becerra, J. 1977. Usos probables de la madera de dos encinos del Estado de Durango. *Ciencia Forestal* 2 (5):63-70.
- Bodig, J. and B. A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA. 712 p.
- Chafe, S. C. 1986. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species. Part 1. The shrinkage/specific gravity ratio. *Wood Science and Technology* 20:293-307.
- Davis, W. H. and W. S. Thompson. 1964. Influence of thermal treatments of short duration on the toughness and chemical composition of wood. *Forest Prod. J.* 14 (8):350-356.
- De la Paz Pérez O., C. 1974. Anatomía de la madera de cinco especies de encinos de Durango. *Boletín Técnico. INIF.* No. 43. México. 35 p.
- De la Paz Pérez O., C. 1982. Estructura anatómica de cinco especies del género *Quercus*. *Boletín Técnico. INIF.* No. 88. México. 63 p.
- De la Paz Pérez O., C. 1985a. Características anatómicas de siete especies del género *Quercus*. *Boletín Técnico. INIF.* No. 123. México. 72 p.
- De la Paz Pérez O., C. 1985b. Variación de la estructura anatómica de los encinos y su efecto en el aprovechamiento de los mismos en el II Seminario Nacional sobre Utilización de encinos. Publicación especial No. 49. SARH-INIFAP. México. pp. 291-312.
- Dinwoodie, J., M. 1981. Timber, its nature and behaviour. Van Nostrand Reinhold Company, London, UK 190 p.
- Echenique M., R. y J. Becerra. 1972. Algunas características físico-mecánicas de la madera de tres especies de la Cordillera Neovolcánica. *Nota Técnica* 6. INIF. México. 7 p.
- Echenique M., R. and R. A. Plumtre. 1990. A guide to the use of Mexican and Belizean timbers. Oxford Forestry Institute. Department of Plant Sciences. University of Oxford. Oxford, U.K. 196 p.
- Fuentes L., M. E. 1990. Propiedades físico-mecánicas de cinco especies de encino

- (*Quercus*) del estado de Puebla. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 52 p.
- Fuentes T., F. J., R. E. Montes y R. Rodríguez. 1988. Estudio sobre el comportamiento de encino a ensayos de flexión, compresión y tensión, variando el ángulo de aplicación de la fuerza. *Amatl* 2 (2):1-8.
- Forest Products Laboratory. 1955. Wood Handbook. Agriculture Handbook No. 72. Washington, DC, USA. 528 p.
- García G., J. y E. González. 1990. Contribución al conocimiento de dos especies de encino (*Quercus glaucooides* Mart. et al., y *Quercus castanea* Neé) del sureste de Puebla. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 p.
- Goche T., J. R. 1993. Estudio tecnológico de la madera de *Quercus sideroxylla* del Estado de Durango. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 63 p.
- Guerrero O. L., R. A. Guzzi, G. M. Bárcenas y E. F. Ortega. 1995. Relación de la estructura de la madera de *Quercus sartorii* Liebm. con cuatro propiedades físico-mecánicas. III Seminario Nacional sobre Utilización de Encinos. Reporte Científico Número Especial 15. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N. L. México. pp. 475-495.
- Hamilton, J. R. 1961. Variation of wood properties in Southern red oak. *Forest Prod. J.* 11 (6):267-271.
- Honorato S., J. A. 1997. Propiedades físicas y mecánicas de los encinos mexicanos. INIFAP, Campo Experimental San Martinito. Documento Interno. 7 p.
- Kelsey, K. E. 1956. The shrinkage intersection point - its significance and the method of its determination. *Forest Prod. J.* 6 (11):411-417.
- Kollman, F. and W. A. Côté. 1968. Principles of wood science and technology. Vol. I: Solid wood. New York, USA. 592 p.
- L'Association Francaise de Normalization. 1942. Norme Francaise, bois essai de choc ou flexión dynamique. NFB51-009. Paris, France.
- Lewis, W. C. and B. G. Heenbik. 1971. Reconstituted products from oak. *In: Proceedings of the uses of oaks.* USDA. Madison WI, USA. pp 106-110.
- Machuca, V. R. 1995. Estudio tecnológico de la madera de *Quercus insignis* de Huatusco, Veracruz, México. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 144 p.
- 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.
- McIntosh, D. C. 1957. Transverse shrinkage of red oak and beech. *Forest Prod. J.* 7 (3):114-120.
- Negrete L., J. 1970. Algunas características físicas y anatómicas de la madera de cuatro especies de encinos (*Quercus*) del Estado de Michoacán. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 65 p.

- Nixon, K. C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. In: Ramamoorthy, T. P. R., Bye, A. Lot, J. Fa (Eds.). Biological diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford University Press. New York, USA. pp. 447-458.
- Novelo G., G. 1964. Posibles aplicaciones de la madera de cuatro especies tropicales con base en sus propiedades físicas y mecánicas. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 42 p.
- Ordóñez, V., G. Barcenas y A. Quiroz. 1988. Características físico-mecánicas de diez especies de San Pablo Malcuiltianguis, Oaxaca. Boletín Técnico. La madera y su uso 21. Instituto de Ecología, LACITEMA-UAM. México. 30 p.
- Pearson, R. G. 1952. The sampling of timber for standard mechanics tests. Aust. J. Appl. Sci. 3:25-52.
- Pearson, R. G. and E. J. Williams. 1958. A review of method for the sampling of timber. Forest Prod. J. 8 (10):263-268.
- Quiñones J., O. 1974. Características físicas y mecánicas de la madera de cinco especies mexicanas. Boletín Técnico No. 42. INIF. México. 19 p.
- Renaud, M., M. Rueff and A. C. Rocaboy. 1996a. Mechanical behaviour of saturated wood under compression. Part 1. Behaviour of wood at high rates of strain. Wood Science and Technology 30:153-164.
- Renaud, M., M. Rueff and A. C. Rocaboy. 1996b. Mechanical behaviour of saturated wood under compression. Part 2. Behaviour of wood at low rates of strain, some effects of compression on wood structure. Wood Science and Technology 30:237-243.
- Rendle, B. J. 1969. World Timbers 1. Europe and Africa. Ernest Ben Ltd. London, UK 191 p.
- Schniewind, A. P. 1962. Tensile strength perpendicular to grain as a function of moisture content in California black oak. Forest Prod. J. 12 (5):249-252.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1998. Anuario estadístico de la producción forestal. Subsecretaría de Planeación. México. 129 p.
- Shedlauskas, J. P., H. B. Manbeck, J. J. Janowiak, R. Hernandez, R. C. Moody, Labosky, Jr. P. and P. R. Blankenhorn. 1996. Efficient use of red oak for glued-laminated beams. Transaction of the ASAE 39 (1):203-209.
- Skaar, C. 1972. Water in wood. Syracuse University Press. Syracuse, New York, USA. 218 p.
- Stamm, A. J. 1971. Review of nine methods for determining the fiber saturation points of wood and wood products. Wood Science and Technology 4 (2):114-128.
- Tejeda, V. F. 1994. Descripción anatómica de la madera de ocho especies de encinos del Municipio de Morelia, Michoacán, México. Tesis Profesional, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 127 p.
- Torelli, N. 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. Programa de Cooperación Científica y Técnica México-Yugoslavia. SARH. SFF. UEK. México. 73 p.
- Young, R. L. 1957. Mechanical properties of red oak related to drying. Forest Prod. J. 7 (11):315-324.