



RESISTENCIA AL IMPACTO DE LA MADERA DE DIEZ ENCINOS (*Quercus*) MEXICANOS

IMPACT RESISTANCE VALUES FOR TEN MEXICAN OAK WOODS (*Quercus*)

R. Dávalos-Sotelo¹, C. de la Paz Pérez-Olvera²; G. M. Bárcenas Pazos¹

¹Instituto de Ecología, A. C. Carretera Antigua a Coatepec No. 351, El Haya. C.P. 91070 Xalapa, Ver. c.e.: Correos-e: raymundo.davalos@inecol.edu.mx, guadalupe.barcenas@inecol.edu.mx

²Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Biología. Av. San Rafael Atlixco 186. Col. Vicentina, Iztapalapa. AP 55-535. CP 09340. México D.F. Correo-e: cppo@xanum.uam.mx

RESUMEN

Se presentan los valores de resistencia al impacto o tenacidad de la madera de diez especies de encinos mexicanos de los estados de Jalisco, México, Puebla y Veracruz ensayados en condición verde con una máquina tipo FPL. No se detectaron diferencias significativas en los valores entre los individuos de la misma especie que crecen en diferentes estados, por lo que puede establecerse un valor común. Existe un efecto directamente proporcional de la densidad básica sobre la tenacidad, el cual se acentúa al incluir los valores del espesor de la pared celular como una variable independiente adicional en los análisis de regresión múltiple. Finalmente, en este trabajo se incluyen los valores de las características anatómicas, físicas y mecánicas de la madera de *Quercus crassipes*.

Recibido: 28 de octubre, 2009
Aceptado: 12 de abril, 2010
doi: 10.5154/r.rchscfa.2009.10.039
http://www.chapingo.mx/revistas

PALABRAS CLAVE: Densidad básica, México, *Quercus crassipes*, tenacidad

ABSTRACT

Impact resistance or toughness values are presented for ten oak wood species from four Mexican states (Jalisco, Mexico, Puebla and Veracruz) tested in green condition with a FPL machine. No significant differences were detected in the toughness values among individuals of the same species growing in different regions of the country; therefore, a common value can be established for those species. There is a directly proportional effect of specific gravity on toughness, which is enhanced by including the thickness values of the cell wall as an additional independent variable in multiple regression analysis. Finally, values of the anatomical, physical and mechanical characteristics of *Quercus crassipes* wood are presented.

KEY WORDS: Specific gravity, Mexico, *Quercus crassipes*, toughness

INTRODUCCIÓN

La resistencia al impacto o tenacidad de la madera, se define como su capacidad para absorber la energía de un golpe. La resistencia de la madera al impacto es una propiedad mecánica de significativa importancia, que sirve para determinar la capacidad de una madera para ser usada cuando sea necesario absorber y disipar la energía al impacto, por ejemplo, en mangos de herramientas y artículos deportivos. Las pruebas de resistencia al impacto o tenacidad por medio de pequeños especímenes libres de defectos, ofrecen una base para evaluar y comparar la capacidad de la madera para absorber energía sin romperse. Estas pruebas también sirven como un medio rápido y confiable de evaluar el efecto de agentes tales como el deterioro de ataque de hongos o la exposición a temperaturas elevadas o tratamientos químicos, debido a que la resistencia al golpe o impacto es la primera

INTRODUCTION

The impact resistance or toughness of wood is defined as its ability to absorb the energy of a blow. The impact resistance of wood is a mechanical property of significant importance, which serves to determine the ability of a wood to be used when necessary to absorb and dissipate impact energy, as is the case, for example, in tool handles and sporting goods. Impact resistance or toughness tests using small, clear specimens provide a basis to evaluate and compare the ability of a timber to absorb energy without breaking. These tests also serve as a quick and reliable way to assess the effect of deterioration-causing agents such as fungal attack or exposure to high temperatures or chemical treatments, because shock or impact resistance is the first property in general affected, more so than the mechanical properties that are evaluated under static load conditions (Drow *et al.*, 1958).

propiedad en general que se ve afectada, en mayor medida que las propiedades mecánicas que son evaluadas bajo condiciones de carga estática (Drow *et al.*, 1958).

La tenacidad de la madera depende en gran medida de la cantidad de sustancia madera presente en sus paredes celulares. La madera de los encinos *Quercus* sp., en especial, se destaca por su muy alta resistencia al impacto, pues tiene fibras de paredes gruesas (De la Paz-Pérez y Dávalos-Sotelo, 2008). La tenacidad, como las otras propiedades mecánicas de la madera, está afectada por las características propias del material. La variabilidad depende del tipo de madera que se ensaya, su contenido de humedad (CH), la orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de la fibra, entre otros (Bárceñas *et al.*, 2003).

Además de los pinos (*Pinus* sp.), las especies de madera de encinos mexicanos son los recursos forestales maderables más abundantes y están distribuidos ampliamente en las zonas montañosas de la República mexicana (De la Paz-Pérez y Dávalos-Sotelo, 2008). Por ello, el objetivo de este trabajo es determinar e informar la resistencia al impacto de la madera de diez especies de *Quercus*, nueve de la sección *Lobatae* (encinos rojos) y una de la sección *Quercus* (encinos blancos), recolectadas en diferentes estados de la República mexicana (Jalisco, México, Puebla y Veracruz). Adicionalmente, como información complementaria, se incluye la ficha técnica de la especie *Quercus crassipes* Humb. & Bonpl., que no ha sido publicada antes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se seleccionó material proveniente de 17 individuos de diez especies maderables, pertenecientes todas al grupo de los encinos *Quercus* sp.: *Q. affinis* Scheid., *Q. candicans* Née, *Q. castanea* Née, *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl., *Q. crassipes* Humb. & Bonpl., *Q. eugeniaefolia* Liebm., *Q. laurina* Humb. & Bonpl., *Q. mexicana* Humb. & Bonpl., *Q. uxoris* McVaugh de la sección *Lobatae* (encinos rojos) y *Q. glabrescens* Benth. sección *Quercus* (encinos blancos). El número de árboles por especie fue variable, dependiendo de su abundancia relativa en los sitios de recolección. Las especies estudiadas, el sitio de recolección y el número de probetas ensayado se presentan en el Cuadro 1. El material seleccionado estaba libre de defectos: sin desviación en la fibra, presencia de nudos o grietas, ataque de hongos manchadores, pudrición o insectos.

Las muestras de madera se registraron en la Xiloteca UAMIZ de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, y los ejemplares de respaldo se depositaron en el Herbario Metropolitano UAMIZ "Dr. Ramón Riba y Nava".

Ensayos de Tenacidad

Wood toughness depends largely on the amount of wood substance present in their cell walls. The wood of the *Quercus* sp. oaks, in particular, stands out for its very high impact resistance, owing to its thick-walled fibers (De la Paz-Pérez and Dávalos-Sotelo, 2008). Toughness, like other mechanical properties of wood, is affected by the characteristics of the material. Variability depends on the type of wood being tested, its moisture content (MC), the orientation of the growth rings and grain direction, among other factors (Barceñas *et al.*, 2003).

Along with pines (*Pinus* sp.), Mexican oak wood species are the most abundant and widely distributed forest-timber resources in the mountainous areas of the Republic of Mexico (De la Paz-Pérez and Dávalos-Sotelo, 2008). Therefore, the aim of this study is to determine and report the impact resistance values for the wood of ten *Quercus* species, nine of the section *Lobatae* (red oaks) and one of the section *Quercus* (white oaks), collected in different states of the Republic of Mexico (Jalisco, Mexico, Puebla and Veracruz). In addition, as supplementary information, the technical datasheet for the species *Quercus crassipes* Humb. & Bonpl., which has not been published before, is presented.

MATERIALS AND METHODS

Plant material

Material was selected from 17 individuals of ten timber species, all belonging to the *Quercus* sp. oak group: *Q. affinis* Scheid., *Q. candicans* Née, *Q. castanea* Née, *Q.*

CUADRO 1. Especies, sitios de recolección y número de probetas ensayadas para determinar la tenacidad de la madera en condición verde de los encinos *Quercus* sp. mexicanos

TABLE 1. Species, collection sites and number of specimens tested to determine the toughness of wood in green condition for Mexican *Quercus* sp. oaks

Clave de identificación Xiloteca UAMIZ	Especie	Sitio de recolección	Número de probetas ensayadas
ENCINOS ROJOS			
M-66, M-94	<i>Q. affinis</i>	Chignahuapan, Pue.	12
M-62	<i>Q. candicans</i>	Cd. Guzmán, Jal.	19
M-64	<i>Q. castanea</i>	Cd. Guzmán, Jal.	19
M-74	<i>Q. castanea</i>	Tianguismanalco, Pue.	38
M-70	<i>Q. crassifolia</i>	Mazamitla, Jal.	19
M-69	<i>Q. crassifolia</i>	Chignahuapan, Pue.	18
M-110	<i>Q. crassipes</i>	Tejupilco, Méx.	22
M-99	<i>Q. eugeniaefolia</i>	Huayacocotla, Ver.	21
M-63	<i>Q. laurina</i>	Cd. Guzmán, Jal.	20
M-68	<i>Q. laurina</i>	Chignahuapan, Pue.	6
M-92	<i>Q. laurina</i>	Huayacocotla, Ver.	21
M-101	<i>Q. mexicana</i>	Huayacocotla, Ver.	32
M-97	<i>Q. uxoris</i>	Huayacocotla, Ver.	49
ENCINOS BLANCOS			
M-67, M-93	<i>Q. glabrescens</i>	Chignahuapan, Pue.	42
M-98	<i>Q. glabrescens</i>	Huayacocotla, Ver.	9

Fueron ensayadas 347 probetas libres de defectos de sección cuadrada nominal de 20 mm x 20 mm x 280 mm en condición verde. El material fue ensayado aplicando la carga de impacto al centro del claro de 254 mm, siguiendo el método de prueba de tenacidad por impacto establecido en la norma ASTM D143-94 (ASTM, 2000). Todas las pruebas se hicieron en el Laboratorio de Pruebas LINCE-LP del Instituto de Ecología, A.C., ubicado en Xalapa, Veracruz.

La máquina de ensayo de resistencia al impacto utilizada es la desarrollada por el Laboratorio de Productos Forestales de Madison, Wi. (EE.UU) (Figs. 1 y 2), la que ha sido ampliamente utilizada para medir la resistencia al impacto de la madera. Si bien esta máquina cuenta con el principio de utilizar la energía de la caída de un péndulo, la carga es aplicada por medio de una cadena que opera sobre un tambor rotatorio que tiene el mismo centro de rotación que el péndulo. En la prueba, el espécimen está apoyado horizontalmente, y la carga se aplica a la mitad del claro de carga sobre la cara tangencial más cercana a la médula.

La tenacidad se calcula utilizando la ecuación (1) (ASTM D143-94):

$$T = M(\cos\varphi - \cos\theta) \quad (1)$$

donde:

T = tenacidad, $\mu\text{J}/\text{mm}^3$

M = momento del péndulo alrededor del eje de rotación, $\mu\text{J}/\text{mm}^3$

φ = ángulo final del péndulo, en grados

θ = ángulo inicial del péndulo, en grados

El valor numérico de M depende del peso de la barra, del peso del péndulo y del cilindro sin incluir la cadena, de

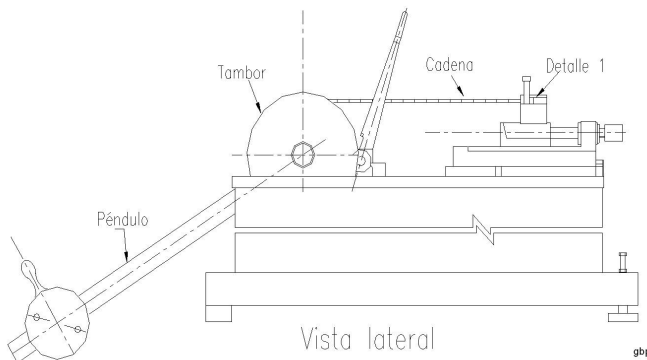


FIGURA 2. Vista lateral de máquina de ensayos de tenacidad por impacto (Modelo FPL)

FIGURE 2. Side view of testing machine for impact toughness (FPL model)



FIGURA 1. Máquina para ensayos de Tenacidad por impacto (Modelo FPL)

FIGURE 1. Testing machine for impact toughness (FPL model)

crassifolia Humb. & Bonpl., *Q. crassipes* Humb. & Bonpl., *Q. eugeniaefolia* Liebm., *Q. laurina* Humb. & Bonpl., *Q. mexicana* Humb. & Bonpl., *Q. uxoris* McVaugh of the section *Lobatae* (red oaks) and *Q. glabrescens* Benth. of the section *Quercus* (white oaks). The number of trees per species was variable, being dependent on its relative abundance in the collection sites. The species studied, the collection site and the number of specimens tested are presented in Table 1. The selected material was free of defects: that is, without deviation in the fiber, knots or cracks, staining caused by fungal attack, rot or insects.

Wood samples were recorded at the Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa Xylotheque, and backup copies were deposited in the university's Dr. Ramón Riba y Nava Herbarium.

Toughness Testing

In total, 347 defect-free specimens of 20 mm x 20 mm x 280 mm nominal square section were tested in green condition. The material was tested by applying the impact load to the center of the 254-mm space, following the test method for impact toughness established in the standard ASTM D143-94 (ASTM, 2000). All tests were carried out in the LINCE-LP test laboratory of the Instituto de Ecología, A.C., located in Xalapa, Veracruz. 1

The testing machine used in this study for gauging impact resistance was developed by the Forest Products Laboratory in Madison, Wi. (USA) (Figs. 1 and 2). It has been widely used to measure the impact resistance of wood. As this machine operates on the principle of using

la distribución del peso con referencia el eje de rotación, de la ubicación de la barra del péndulo y del peso de la clavija para fijar la barra. El ángulo inicial utilizado fue de 60° y el ángulo final es el que se registra al momento de fallar el espécimen de prueba.

Los datos de caracterización de la madera de cada especie recolectada (excepto *Quercus crassipes*) ya han sido publicados por De la Paz-Pérez y Dávalos-Sotelo (2008). En el presente trabajo se describe por primera vez la ficha técnica correspondiente *Quercus crassipes* (Anexo 1).

Los valores de tenacidad registrados se analizaron mediante el análisis de varianza de dos factores para comparar la resistencia al impacto de la madera en relación con las diferentes regiones y a las especies (comparación de medias de Tukey).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se observan los datos obtenidos para la tenacidad de la madera de los 17 individuos pertenecientes a diez especies de encino. En la misma se puede observar que hay una amplia variabilidad en los resultados de las pruebas. El coeficiente de variación (CV = cociente de la desviación estándar y la media, expresada en porcentaje) de los valores de resistencia al impacto es bastante alto, alrededor de 35 %. Este valor es más alto que el registrado por Drow *et al.* (1958), quienes encontraron valores de aproximadamente 30 % para especies norteamericanas, incluyendo encino rojo (*Quercus rubra*). Bárcenas (1995) presentó los valores de tenacidad para 20 maderas angiospermas mexicanas ensayadas en condición seca (CH = 12 %) y verde y calculó un CV promedio de 27 %. En un trabajo más reciente, Bárcenas *et al.* (2003) calcularon un valor CV promedio de 23 % para esta propiedad.

Mediante el análisis de varianza de dos factores para contrastar la resistencia al impacto de la madera en relación con las diferentes regiones y a las especies (Cuadros 3 y 4), se realizó un estudio comparativo entre los resultados obtenidos. Para efectuar estos análisis, que requieren muestras de tamaños iguales, fue necesario promediar los valores de tres o más especímenes para generar muestras del mismo tamaño, al ser los tamaños de muestra diferentes entre sí. En todos los casos, las muestras generadas tuvieron 6 datos.

El análisis efectuado para detectar posibles diferencias entre los valores determinados para especies que crecen en diferentes regiones indica que *Q. laurina*, *Q. castanea* y *Q. crassifolia*, mostraron diferencias significativas entre especies pero no entre regiones (Cuadro 3). Estas especies fueron recolectadas en dos estados de regiones diferentes: Jalisco en el occidente del país y Puebla en el oriente, implicando que las condiciones de crecimiento fueron

the energy of a pendulum fall, the load is applied by means of a chain that runs on a rotating drum that has the same center of rotation as the pendulum. In the test, the specimen is supported horizontally, and the load is applied to half of the load space on the tangential face closes to the core.

Toughness is calculated using the equation (1) (ASTM D143-94):

$$T = M(\cos\varphi - \cos\theta) \quad (1)$$

where:

T = toughness, $\mu\text{J}/\text{mm}^3$

M = moment of the pendulum around the axis of rotation, $\mu\text{J}/\text{mm}^3$

φ = final pendulum angle, in degrees

θ = initial pendulum angle, in degrees

The numerical value of M depends on the weight of the bar, the weight of the pendulum and cylinder not including the chain, the weight distribution with respect to the axis of rotation, the location of the pendulum rod, and the weight of the pin to set the rod. The initial angle used was 60° and the final angle is the one recorded at the point the test specimen fails.

The characterization data for the wood of each species collected (except *Quercus crassipes*) have already been published by De la Paz-Pérez and Dávalos-Sotelo (2008). The technical datasheet for *Quercus crassipes* is presented for the first time in this paper (Appendix 1).

The toughness values recorded were analyzed using analysis of variance of two factors to compare the impact resistance of the wood in relation to the different regions and species (Tukey's range test).

RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows the data obtained for the wood toughness of 17 individuals belonging to ten species of oak. One can see that there is a wide variability in the test results. The coefficient of variation (CV = ratio of standard deviation and the mean, expressed as a percentage) of the impact resistance values is quite high, around 35 %. This value is higher than that recorded by Drow *et al.* (1958), who found values of about 30 % for North American species, including red oak (*Quercus rubra*). Bárcenas (1995) presented toughness values for 20 Mexican angiosperm woods tested in dry condition (MC = 12%) and green and calculated an average CV of 27%. In a more recent study,

CUADRO 2. Valores de tenacidad en condición verde de la madera de diez encinos distribuidos en diferentes estados de México. Referencias: d.e., desviación estándar; CV (%), cociente de desviación estándar y la media, expresada en porcentaje

TABLE 2. Toughness values in green condition for ten oak woods distributed in different states of Mexico. References: d.e., standard deviation; CV (%), ratio of standard deviation and the mean, expressed as a percentage

Especie	Estado		D_b (PA/VV)	Tenacidad ($\mu\text{J}/\text{mm}^3$)
ENCINOS ROJOS				
<i>Q. affinis</i>	Puebla	media	0.569	210.8
		d.e.	0.055	126.1
		cv (%)	10	60
<i>Q. candicans</i>	Jalisco	media	0.623	186.6
		d.e.	0.015	72.1
		cv (%)	2	39
<i>Q. castanea</i>	Jalisco	media	0.656	211.0
		d.e.	0.028	83.1
		cv (%)	4	40
<i>Q. castanea</i>	Puebla	media	0.691	333.4
		d.e.	0.047	43.9
		cv (%)	7	13
<i>Q. crassifolia</i>	Jalisco	media	0.658	391.8
		d.e.	0.016	79.0
		cv (%)	2	20
<i>Q. crassifolia</i>	Puebla	media	0.610	271.6
		d.e.	0.040	131.4
		cv (%)	7	48
<i>Q. crassipes</i>	México	media	0.631	216.4
		d.e.	0.017	54.6
		cv (%)	3	25
<i>Q. eugeniaefolia</i>	Veracruz	media	0.597	316.9
		d.e.	0.037	95.0
		cv (%)	6	30
<i>Q. laurina</i>	Jalisco	media	0.642	271.5
		d.e.	0.021	67.2
		cv (%)	3	25
<i>Q. laurina</i>	Puebla	media	0.617	173.8
		d.e.	0.009	85.7
		cv (%)	2	49
<i>Q. laurina</i>	Veracruz	media	0.638	319.9
		d.e.	0.014	195.1
		cv (%)	2	61
<i>Q. mexicana</i>	Veracruz	media	0.614	409.9
		d.e.	0.021	115.8
		cv (%)	3	28
<i>Q. uxoris</i>	Veracruz	media	0.579	324.9
		d.e.	0.022	137.6
		cv (%)	4	42
...				
ENCINOS BLANCOS				
<i>Q. glabrescens</i>	Puebla	media	0.614	326.6
		d.e.	0.081	188.1
		cv (%)	13	58
<i>Q. glabrescens</i>	Veracruz	media	0.668	324.8
		d.e.	0.051	69.5
		cv (%)	8	21

**CUADRO 3. Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo. Especies *Q. laurina*, *Q. castanea* y *Q. crassifolia*.
TABLE 3. Analysis of variance of two factors with several samples per group. Species *Q. laurina*, *Q. castanea* and *Q. crassifolia*.**

RESUMEN	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. castanea</i>	<i>Q. crassifolia</i>	Total		
<i>Jalisco</i>						
Cuenta	6	6	6	18		
Suma	1610.0	1258.5	2362.5	5230.9		
Promedio	268.3	209.7	393.7	290.6		
Varianza	1443.3	4169.7	1713.1	8392.0		
<i>Puebla</i>						
Cuenta	6	6	6	18		
Suma	1042.8	1999.6	1629.6	4672.0		
Promedio	173.8	333.3	271.6	259.6		
Varianza	8813.9	95.0	3354.2	8170.4		
<i>Total</i>						
Cuenta	12	12	12			
Suma	2652.8	3258.0	3992.0			
Promedio	221.1	271.5	332.7			
Varianza	7098.9	6099.5	6372.6			
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Estado	8676.9	1	8676.9	2.658	0.11351	4.171
Especies	74957.5	2	37478.8	11.479	0.00020	3.316
Interacción	108658.4	2	54329.2	16.641	0.00001	3.316
Dentro del grupo	97945.6	30	3264.9			
Total	290238.4	35				

muy diferentes en cuanto al clima (semi-cálido en Jalisco: temp. promedio 20 °C: templado húmedo en Puebla, temp. promedio 16 °C) y condiciones de suelo (Cambisol y Regosol en Jalisco; Andosol en Puebla). A pesar de crecer en regiones diferentes, los valores registrados en las pruebas no tienen diferencias estadísticamente significativas, según la comparación de medias de Tukey efectuadas. Por tanto, se puede concluir que las muestras provienen de la misma población subyacente y se pueden asignar valores únicos para las especies, aplicables en ambos estados. Para las especies *Q. laurina* y *Q. glabrescens*, recolectadas principalmente en la región del

Bárceñas *et al.* (2003) calculated an average CV value of 23% for this property.

By analysis of variance of two factors to contrast the impact resistance of the wood in relation to the different regions and species (Tables 3 and 4), a comparative study was performed of the results obtained. For these analyses, which require equal-size samples, it was necessary to average the values of three or more specimens to generate samples of the same size, when being different sample sizes to each other. In every case, the samples generated had 6 data.

Golfo de México, el clima no es tan variable (clima templado húmedo a semi-frío). Los resultados de comparación de medias de Tukey se presentan en el Cuadro 4; éstos indican que la madera de estas especies que crece en el estado de Puebla tiene características semejantes a la que crece en el estado de Veracruz, y por lo mismo se pueden usar valores comunes para cada especie, válidos para

The analysis performed to detect possible differences between the values determined for species growing in different regions indicates that *Q. laurina*, *Q. castanea* and *Q. crassifolia* showed significant differences between species but not between regions (Table 3). These species were collected in two states in different regions of the country:

CUADRO 4. Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo. Especies *Q. laurina* y *Q. glabrescens*.

TABLE 4. Analysis of variance of two factors with several samples per group. Species *Q. laurina* and *Q. glabrescens*.

RESUMEN	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. glabrescens</i>					Total
<i>Puebla</i>							
Cuenta	6	6					12
Suma	1042.8	1959.7					3002.5
Promedio	173.8	326.6					250.2
Varianza	8813.9	19834.3					19390.2
<i>Veracruz</i>							
Cuenta	6	6					12
Suma	1827.4	1887.6					3715.0
Promedio	304.6	314.6					309.6
Varianza	21591.9	3034.9					11221.4
<i>Total</i>							
Cuenta	12	12					
Suma	2870.3	3847.3					
Promedio	239.2	320.6					
Varianza	18484.2	10434.5					
ANÁLISIS DE VARIANZA							
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Estado	21149.3	1	21149.3	1.588	0.222	4.351	
Especies	39771.6	1	39771.6	2.986	0.099	4.351	
Interacción	30581.0	1	30581.0	2.296	0.145	4.351	
Dentro del grupo	266375.1	20	13318.8				
Total	357876.9	23					

ambos estados. Tampoco existen diferencias significativas entre estas dos especies.

Para las especies *Q. affinis*, *Q. candicans*, *Q. crassipes*, *Q. eugeniaefolia*, *Q. mexicana* y *Q. uxoris* solamente se cuenta con datos de un solo estado de la República, por lo que este tipo de análisis entre regiones no se puede hacer. En el Cuadro 5 se presentan los valores de tenacidad de las maderas estudiadas. Puede observarse que la mayoría de los encinos rojos tienen valores menores de resistencia al impacto que el encino blanco ensayado, pero no en todos los casos. Cuando menos tres encinos rojos tienen resistencia igual o mayor a que *Q. glabrescens*. Probablemente esto se explica por que no hay diferencia significativa en los valores de densidad entre los encinos rojos y el blanco que se estudió aquí.

Como la mayoría de las propiedades mecánicas, la resistencia al impacto es función directa de la densidad básica de la madera (D_b , determinada como peso anhidro/volumen verde = PA/VV). Drow *et al.*, (1958) indicaron que, más que para otras propiedades mecánicas, existe un importante efecto de la densidad básica sobre la resistencia al impacto. Bárcenas *et al.* (2003) confirmaron esta aseveración para el caso de 16 maderas mexicanas con valores del coeficiente de determinación R^2 de 0.33 y 0.52 para la correlación entre densidad básica, D_b , y Tenacidad (TEN) para condiciones seca y verde, respectivamente. El valor del coeficiente de determinación, R^2 , calculado en este trabajo es bastante bajo, $R^2 = 0.046$, lo cual puede deberse principalmente al escaso intervalo de variación que hay entre los valores de densidad básica de las especies estudiadas, de 0.569 a 0.691 (D_b). Sin embargo, puede percibirse una tendencia positiva. En los valores individuales de resistencia al impacto puede haber variación incluso dentro de una especie, debido a la sensibilidad de esta propiedad a diferencias aún pequeñas de densidad básica (Drow *et al.*, 1958). En este estudio se detectaron importantes variaciones intra-específicas en la tenacidad, pero mucho menores para la densidad básica, lo que indica que hay otros factores no identificados que intervienen en esta variación.

Cuando fue calculado el efecto de la densidad básica sobre la resistencia al impacto, se realizó un análisis de regresión múltiple incorporando los valores de espesor de la pared celular como otra variable independiente (Fig. 3). El valor de R^2 aumentó un orden de magnitud, de 0.046 a 0.38. La ecuación de predicción en este caso resultó ser: $TEN = 1032.13 \times D_b - 25.16 \times \text{Espesor Pared} - 164.77$. En la Figura 4 se presenta una gráfica con los valores reales de tenacidad y los predichos por esta ecuación. Esto indica que el efecto combinado de las variables densidad básica y espesor de la pared celular es mayor que el efecto de la densidad básica por sí sola.

CONCLUSIONES

Los encinos rojos tienen generalmente menor resistencia al impacto que el encino blanco ensayado (seis de nueve), pero en algunos casos la resistencia al impacto

CUADRO 5. Valores de tenacidad de las maderas estudiadas
TABLE 5. Toughness values for the woods studied.

TENACIDAD	
Encinos Rojos	$\mu\text{J}/\text{mm}^3$
<i>Q. affinis</i>	210
<i>Q. candicans</i>	1 90
<i>Q. castanea</i>	290
<i>Q. crassipes</i>	215
<i>Q. crassifolia</i>	330
<i>Q. eugeniaeifolia</i>	315
<i>Q. laurina</i>	280
<i>Q. mexicana</i>	410
<i>Q. uxoris</i>	325
Encino Blanco	
<i>Q. glabrescens</i>	325

Jalisco in western Mexico and Puebla in the east, implying that growing conditions were very different in terms of climate (semi-hot in Jalisco: average temp. 20 °C: temperate humid in Puebla, average temp. 16 °C) and soil conditions (Cambisol and Regosol in Jalisco; Andosol in Puebla). Despite growing in different regions, the values recorded in the tests do not have statistically significant differences, according to the Tukey test performed. Therefore, it can be concluded that the samples come from the same underlying population and can be assigned unique values for the species, applicable in both states. For the species *Q. laurina* and *Q. glabrescens*, collected mainly in the Gulf of Mexico area, the weather is not as variable (temperate humid to semi-cold). The results of Tukey's range test are presented in Table 4; these indicate that the wood of these species growing in the State of Puebla has characteristics similar to those of species growing in the State of Veracruz, and therefore common values can be used for each species, valid for both states. Significant differences between these species do not exist either.

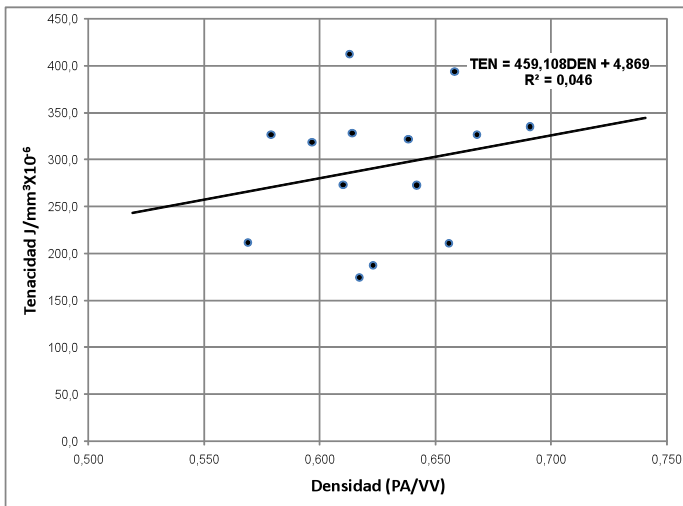


FIGURA 3. Relación entre densidad y tenacidad de la madera de diez encinos mexicanos ensayados en condición verde
FIGURE 3. Relationship between specific gravity and wood toughness for ten Mexican oaks tested in green condition

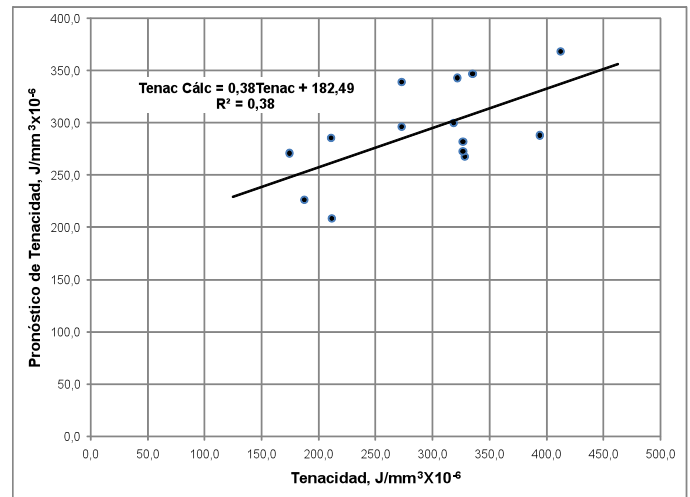


FIGURA 4. Valores predichos de tenacidad de encinos mexicanos en condición verde comparados con los valores reales
FIGURE 4. Predicted toughness values for Mexican oaks in green condition compared with their actual values

es similar entre encinos rojos y blancos, lo mismo que su densidad promedio.

Los valores de resistencia al impacto o tenacidad de madera de las diez especies de madera de encinos mexicanos ensayados en condición verde con una máquina tipo FPL no muestran diferencias significativas de una misma especie que crece en diferentes estados (*Q. castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. glabrescens* y *Q. laurina*). Por lo tanto, puede establecerse un valor común para estas especies que sea aplicable en las regiones de donde proviene la madera ensayada.

Existe una influencia notable de la densidad básica sobre la tenacidad, de manera directamente proporcional, la cual se acentúa al incluir en los análisis de regresión los valores del espesor de la pared celular como una variable independiente adicional.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con los fondos fiscales asignados a los autores que son integrantes de la Unidad de Recursos Forestales del Instituto de Ecología y del Departamento de Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Se agradece la participación y el apoyo proporcionado por la M. I. Reyna Paula Zárate Morales, quien colaboró en parte de los experimentos, con la captura de datos y parte de los análisis estadísticos. Agradecemos también a los revisores anónimos por sus valiosas sugerencias que nos permitieron mejorar sensiblemente la claridad y precisión de la presentación de los resultados.

LITERATURA CITADA

ASTM. 2000. Standard methods for testing small clear specimens of timber. ASTM D143-94. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA. 31p.

For the species *Q. affinis*, *Q. candicans*, *Q. crassipes*, *Q. eugeniaefolia*, *Q. mexicana* and *Q. uxoris*, data is available for only one state of the Republic, so this type of analysis between regions cannot be done. Table 5 shows the toughness values for the timber studied. One can see that the majority of the red oaks have lower impact resistance values than the white oak tested, but not in every case. At least three red oaks have resistance equal to or greater than that of *Q. glabrescens*. This probably explains why there is no significant difference in density values between the red and white oaks studied here.

Like most mechanical properties, impact resistance is a direct function of the specific gravity of the wood (D_b , determined as anhydrous weight/green volume = AW/GV). Drow *et al.*, (1958) indicated that, more than for other mechanical properties, specific gravity has a significant effect on impact resistance. Barcenas *et al.* (2003) confirmed this assertion for the case of 16 Mexican woods with values of the coefficient of determination R^2 of 0.33 and 0.52 for the correlation between specific gravity, D_b , and Toughness (TEN) for dry and green conditions, respectively. The coefficient of determination, R^2 , calculated in this work is quite low, $R^2 = 0.046$, which may be mainly due to the low range of variation between the specific gravity values of the species studied, from 0,569 to 0.691 (D_b). However, a positive tendency can be seen. In the individual values of impact resistance, there can be variation even within a species, because of the sensitivity of this property to even small differences in specific gravity (Drow *et al.*, 1958). This study found significant intra-specific variation in toughness, but much lower for specific density, indicating that other unidentified factors are involved in this variation.

Once the effect of specific gravity on impact resistance was calculated, a multiple regression analysis incorporating the values of cell wall thickness as another independent

- BÁRCENAS P., G. M. 1995. Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona, Chis., México. *Madera y Bosques* 1(1):9-38.
- BÁRCENAS P., G. M.; R. P. Zárate M.; V. R. Ordóñez C.; Guerrero B A.; Honorato S., J. A. 2003. Correlación de los resultados de impacto o tenacidad de 16 maderas mexicanas utilizando dos métodos de prueba. *Madera y Bosques* 9(1):55-70.
- DE LA PAZ PÉREZ-OLVERA, C.; Dávalos-Sotelo, R. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80.
- Drow, J. T.; Markward L. J.; Youngquist W. G. 1958. Results of impact tests to compare the pendulum impact and toughness test methods. Report No. 2109, Forest Products Laboratory, Forest Service, U. S. Department of Agriculture, Madison, WI. 17pp.

ANEXO 1.

Ficha tecnológica

Quercus crassipes Humb. & Bonpl.

Familia: Fagaceae

Subgénero: *Erythrobalanus* (Encino rojo)

Distribución geográfica: Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Colima, Michoacán, Estado de México, Distrito Federal, Morelos, Tlaxcala y Puebla

Distribución altitudinal: 1900-3500 msnm

Nombres comunes: Encino, encino colorado, encino chilillo, encino oreja de ratón, encino laurel

Registros UAMI: Xiloteca M-110 Herbario 45203

Determinó: Biól. Lourdes Aguilar E.

Características botánicas

Árbol monoico, caducifolio de hasta 20 m de altura, de diámetro a la altura del pecho (DAP) de 1 m o más, la corteza en placas pequeñas, de color castaño oscuro, dispuestas irregularmente, separadas por surcos profundos. Las hojas son simples, alternas, de forma elíptica u oblongoelípticas, de ápice redondo o muy obtuso, provisto de una punta o mucrón, base redonda, borde entero y revoluto, el limbo grueso y coriáceo, de color verde grisáceo o verde azulado y liso en el haz y tomentoso en el envés. La nervadura cubierta de vello, que le da un aspecto aterciopelado; miden de 5 a 7 cm de largo (la mayoría de 4 a 9 cm) y de 0.7 a 2 cm de ancho (la mayoría de 1 a 2 cm). Las flores masculinas en amentos rojos hasta de 10 mm de largo, las femeninas en espigas, con el estilo largo. El fruto es una bellota bianual, de color castaño rojizo claro, de forma ovoide, de 10 a 16 mm de largo y de 10 a 12 mm

variable was performed (Fig. 3). The R^2 value increased by an order of magnitude, from 0.046 to 0.38. The prediction equation in this case was: $TEN = 1032.13 \times D_b - 25.16 \times \text{Wall Thickness} - 164.77$. Figure 4 shows a graph with the actual toughness values and those predicted by this equation. This indicates that the combined effect of specific gravity and cell wall thickness values is greater than the effect of specific gravity alone.

CONCLUSIONS

The red oaks have generally lower impact resistance values than the white oak studied (six of nine), but in some cases, impact resistance is similar between red and white oaks, as is also the case with their average density.

Impact resistance or toughness values for ten Mexican oak woods tested in green condition with a FPL machine show no significant differences within the same species growing in different states (*Q. castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. glabrescens* and *Q. laurina*). Therefore, a common value can be established for these species that is applicable in the regions from which the wood tested comes from.

Specific gravity has a significant and directly proportionate influence on toughness, which is enhanced by including in the regression analysis the values of cell wall thickness as an additional independent variable.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was carried out with public funding allocated to the authors who are members of both the Forest Resources Unit of the Instituto de Ecología and the Biology Department of the Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. We are grateful for the participation and support provided by Reyna Paula Zárate Morales, M.Sc., who worked on some of the experiments, data collection and part of the statistical analysis. We also thank the anonymous reviewers for their valuable suggestions which enabled us to significantly improve the clarity and precision of the results presentation.

End of English Version

APPENDIX 1.

Technical datasheet

Quercus crassipes Humb. & Bonpl.

CUADRO A1. Características anatómicas mensurables de *Quercus crassipes*

Family: Fagaceae

TABLE A1. Measurable anatomical characteristics of *Quercus crassipes*

Subgenus: *Erythrobalanus* (Red Oak)

Núm.. por mm ²	VASOS			FIBRAS		
	Poros		Elementos	Fibrotraqueidas		
	Diámetro tangencial (µm)		Longitud (µm)	Longitud (µm)	Diámetro del lumen (µm)	Espesor de la pared (µm)
	Madera temprana	madera tardía				
pocos	Mediano	pequeño	mediana	mediana	fino	Gruesas
Mín 3	134	41	350	1082	3	6
Máx 9	268	165	803	2081	10	13
Med 6	194	111	574	1546	7	9
RADIOS						
Uniseriados			Multiseriados			
Núm. por mm numerosos	Altura (µm) muy bajos	Núm. de células	No. en 5 mm muy pocos	Altura (cm) muy bajos	Anchura (µm) muy anchos	No. de Series de células por radio
Mín 4	143	4	2	0.3	134	11
Máx 11	700	22	3	1.6	571	30
Med 7	350	11	3	0.7	441	20

Geographical Distribution: Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Colima, Michoacán, State of Mexico, Federal District, Morelos, Tlaxcala and Puebla

Altitudinal distribution: 1900-3500 m

Common names: Encino, encino colorado, encino chilillo, encino oreja de ratón (mouse ear oak), encino laurel (laurel oak)

UAMI records: Xylotheque M-110 Herbarium 45203
Identified by: Biologist Lourdes Aguilar E.
Botanical characteristics

Monoecious, deciduous tree of up to 20 m in height, diameter at breast height (DBH) of 1 m or more, bark on small, dark brown, irregularly-arranged plates separated by deep furrows. The leaves are simple, alternate, elliptical or oblong-elliptical shaped, the apex rounded or very obtuse, equipped with a tip or mucro, rounded base, entire and revolute margins, the blade thick and leathery, gray-green or bluish-green and smooth on the upper surface and tomentose on the underside. The venation is covered with fuzz, which gives it a velvety appearance; they measure from 4 to 9 cm long (most from 5 to 7 cm) and 0.7 to 2 cm wide (most from 1 to 2 cm). The male flowers are in red catkins up to 10 mm long, the female ones in spikes, with the long style. The fruit is a biennial acorn, light reddish brown, ovoid-shaped, from 10 to 16 mm long and from 10 to 12 mm in diameter, including almost half in the cupule, alone or in pairs at the end of a peduncle 15 mm long and

de diámetro, incluida casi un medio en la cúpula, solitario o en pares en la extremidad de un pedúnculo de 15 mm de largo y muy grueso, con una semilla. La cúpula es gruesa, hemisférica, generalmente enrollada en el borde.

very thick, with a seed. The cupule is thick, hemispherical, and usually rolled up at the edge.

Características de la madera

Wood characteristics

Macroscópicas

Macroscopic

La madera presenta poca diferencia de color entre albura y duramen; la albura es de color rosado y el duramen castaño rojizo; los radios multiseriados son de color castaño rojizo oscuro contrastando con los demás elementos celulares. No tiene olor ni sabor característicos; el brillo es alto; el vetado es pronunciado; la textura es gruesa y el hilo es recto. Los anillos de crecimiento están marcados por los vasos de la madera temprana.

The wood shows little difference in color between sapwood and heartwood; the sapwood is pink and the heartwood reddish brown. The multiseriate rays are dark reddish brown, contrasting with the other cellular elements. It has no characteristic odor or taste, the brightness is high, the grain is pronounced, the texture is thick and the thread is straight. Growth rings are marked by the earlywood vessels.

Microscópicas

Microscopic

La madera presenta porosidad anular. Los poros son solitarios. En la madera temprana forman de una a dos bandas de ancho y en la tardía se arreglan en hileras radiales, son poco numerosos, de contorno oval, de diámetro tangencial mediano en la madera temprana y pequeño en la tardía. Los elementos de vaso son medianos, con platina de perforación simple, paredes terminales oblicuas y punteaduras intervasculares areoladas alternas de forma oval. Las punteaduras vaso-radio son simples, con bordes reducidos y arreglo vertical. Algunos vasos presentan tílides. Alrededor de los vasos se encuentran traqueidas vasicéntricas. El parénquima axial es difuso agregado, alternando con bandas de fibras.

The wood presents annular porosity. The pores

Los radios son uniseriados y multiseriados, homogéneos, formados por células procumbentes. Los radios uniseriados son numerosos y muy bajos, la mayoría de 11 células. Los radios multiseriados son poco numerosos, muy bajos y muy anchos, la mayoría de 20 series, generalmente agregados. Las fibras son de tipo libriforme y fibrotraqueida, de longitud mediana, diámetro fino y pared gruesa, alternando con el parénquima axial. El parénquima axial y radial y las fibras, no presentan contenidos celulares.

CUADRO A2. Características físicas de *Quercus crassipes*

TABLE A2. Physical characteristics of *Quercus crassipes*

Densidad básica PA/VV
0.611

Físicas Es una madera pesada.

Mecánicas

Es una madera dura, rígida, moderadamente resistente a resistente a la compresión paralela, muy resistente a la compresión perpendicular y resistente al cortante paralelo.

are solitary. In the earlywood they form one to two width bands and in the latewood they are arranged in radial rows, are few in number, of oval outline, and of medium tangential diameter in the earlywood and small in the latewood. The vessel elements are medium, with simple perforation plates, oblique end walls, and alternate oval-shaped areolic intervessel pits. The bordered pits are simple, with small margins and vertical arrangement. Some vessels have tyloses. Around the vessels are vasicentric tracheids. The axial parenchyma is diffuse-in-aggregates, alternating with bands of fibers. Rays are uniseriate and multiseriate, homogenous, consisting of procumbent cells. Uniseriate rays are numerous and very low, most of 11 cells. Multiseriate rays are few in number, very low and very wide, most of 20 series, usually aggregated. The fibers are of the libriform and fibrotraqueida type, of medium length, fine diameter and thick wall, alternating with the axial parenchyma. The axial and radial parenchyma and the fibers have no cellular contents.

Physics It is a heavy wood.

Mechanics

The wood is hard, stiff, moderately resistant to parallel compression, very resistant to perpendicular compression and resistant to parallel shear.

CUADRO A3. Características mecánicas de la madera de *Quercus crassipes* en condición verde.

TABLE A3. Mechanical properties of *Quercus crassipes* wood in green condition.

Dureza Janka		Flexión estática			Paralela a la fibra		Perpendicular a la fibra		paralelo a la fibra
Lateral	Extremos	MOR	E _{LP}	MOE	E _{MÁX}	MOE	E _{LP}	E _{1mm}	E _{MÁX}
N	N	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
6038	5964	66.5	35.5	10330	33.0	13760	11.5	5.93	10.8