



# Características tecnológicas de la madera de dos especies de *Quercus* de Durango, México

## Technological characteristics of the wood of two *Quercus* species from Durango, México

Carmen de la Paz Pérez Olvera<sup>1</sup>, Raymundo Dávalos-Sotelo<sup>2</sup>, Roberto Limón Godina<sup>3</sup> y Paz Alejandra Quintanar Isaías<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Departamento de Biología. México D. F.

<sup>2</sup> Instituto de Ecología, A. C. Red de Ambiente y Sustentabilidad. Xalapa, Veracruz, México.

<sup>3</sup> Facultad de Contaduría y Administración. Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, Dgo.

\* Autor de correspondencia cppo@xanum.uam.mx

### RESUMEN

Se determinaron las características anatómicas, físicas, mecánicas y de velocidad de secado al aire libre de la madera de cinco árboles de *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl. (encino rojo) y dos de *Quercus rugosa* Née (encino blanco), recolectados en tres municipios del estado de Durango. Para el estudio anatómico macroscópico se usaron muestras de 12 cm x 7 cm x 1 cm y para el anatómico microscópico se hicieron laminillas fijas de cortes y de material disociado. Con pruebas histoquímicas se determinaron taninos. Los elementos mensurables se clasificaron con base en la media. Se incluye la posición taxonómica, características morfológicas, distribución geográfica y altitudinal y nombres comunes. Las características tecnológicas se determinaron en condición verde (saturada) y en condición seca (12% de contenido de humedad), usando probetas de diferentes dimensiones. La madera de los siete individuos, presentó características semejantes para unos casos y diferentes para otros entre subgéneros y diferencias entre individuos del mismo subgénero. Las características físicas de ambas especies se clasifican como altas a muy altas; las propiedades-mecánicas tanto en condición verde como en seca, se clasifican como duras, rígidas y resistentes para la mayoría de los casos, con la notable excepción de la resistencia en compresión paralela para las dos especies y en cortante paralelo para *Q. rugosa* que es moderadamente resistente. Los resultados se compararon con lo disponible en la literatura para ambas especies, coincidiendo en muchas características con las estudiadas en el presente trabajo. Con base en los resultados se sugieren usos.

**PALABRAS CLAVE:** características anatómicas, propiedades físicas, propiedades mecánicas, *Quercus rugosa*, *Quercus sideroxyla*, secado al aire libre.

### ABSTRACT

The anatomical characteristics, physical properties, mechanical properties and air-drying speed were determined for the wood of five trees of *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl. (red oak) and two of *Quercus rugosa* Nee (white Oak), collected in three municipalities of the State of Durango. For the macroscopic anatomical study specimens of 12 cm x 7 cm x 1 cm were used and for the microscopic anatomical study, thin slices were cut and used along with fragmented material. Histochemical tests were carried out to determine tannins. The measurable elements were classified based on the average. They included the taxonomic position, morphological characteristics, geographic and altitudinal distribution and common names. The technological characteristics were determined in green and dry conditions, using specimens of various dimensions. The wood of the seven individuals, presented similar characteristics in some cases and different in others between subgenera and differences between individuals of the same subgenus were recorded. The physical characteristics of both species are classified as high to very high; the mechanical properties in both green and dry conditions are classified as hard, stiff and strong in the majority of the cases, with the notable exception of the strength in compression parallel of the two species and shear parallel of *Q. rugosa* which is moderately strong. The results were compared with data available in the literature for both species, coinciding in many characteristics with the studied in the present work. Based on the results suggested applications are given.

**KEYWORDS:** anatomical characteristics, physical properties, mechanical properties, *Quercus rugosa*, *Quercus sideroxyla*, air-drying.

## INTRODUCCIÓN

México es el país con mayor diversidad de especies del género *Quercus* (encinos); en los bosques de clima templado frío del país, representan el recurso maderable más abundante de las angiospermas (Rzedowski, 1978; Miranda y Hernández-X. 1963). En el estado de Durango crecen 36 especies de encinos, entre las que se encuentran *Quercus sideroxyla* y *Quercus rugosa*, especies con amplia distribución en el país (Zavala, 1995). Su distribución en el estado de Durango comprende lo largo y ancho de la Sierra Madre Occidental (Inegi, 2013). La superficie forestal del estado abarca 91289 km<sup>2</sup> de los cuáles 54844 km<sup>2</sup> corresponden a bosques y selvas y 36445 km<sup>2</sup> a vegetación de zonas áridas, hidrófila y halófila y áreas perturbadas (Inegi, 2013).

El estado de Durango se encuentra al noroeste de la parte central de la República Mexicana, quedando comprendido entre los paralelos 22°17' y 26°50' de latitud Norte y entre los meridianos 102°30' y 107°09' de longitud Oeste. El estado de Durango está ubicado en las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Occidental, de las Sierras y Llanuras del Norte y Mesa del Centro. Tiene una superficie de 123,317 km<sup>2</sup> que representa 6.3% de la superficie nacional y una altitud promedio de 1775 m snm (Inafed, s/f); 46% de su superficie está en la zona templada, 31.2% en la zona semiárida, 18.8% en la zona árida y solamente 4% en la zona del trópico seco. La Sierra Madre Occidental abarca 46.56% de su territorio, con una anchura de hasta 160 km y cumbres de más de 3000 m de altura (Inegi, 2013). El estado de Durango tiene climas del grupo seco, templado y cálido con un intervalo de temperatura media anual de 8 °C a 26 °C y niveles de precipitación total anual que varían de 100 mm a 2000 mm, en las diferentes regiones del estado. La precipitación pluvial promedio mensual fue de 574 mm para el período de 1971 a 2000 (Inegi, 2013). Para 2012, la precipitación anual había disminuido a 406 mm y para 2013 aumentó ligeramente a 517 mm, aún por debajo del promedio anual en la última etapa del siglo XX; el intervalo de precipitación total anual para esos dos años fue 300 mm a 1500 mm por efecto de la prolon-

gada sequía que ha afectado a esta región del norte de México (Inegi, 2014a).

Los estudios tecnológicos de la madera proporcionan información acerca de las propiedades de las diversas especies. Estas características influyen en los procesos de transformación, en el comportamiento en el secado, el aserrío, el maquinado y en el producto final o uso más adecuado al que se deba destinar este valioso recurso forestal, que debe estar en relación con sus propiedades (De la Paz-Pérez, 1985, De la Paz-Pérez *et al.*, 2000, De la Paz-Pérez y Dávalos, 2008).

## OBJETIVO

Describir la anatomía, las propiedades físicas y mecánicas en condición verde y al 12% de humedad y la velocidad de secado al aire libre, de la madera de cinco árboles de *Quercus sideroxyla* (encino rojo) y dos de *Quercus rugosa* (encino blanco), recolectados en tres municipios del estado de Durango.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los siete árboles, cuya madera se estudió, fueron recolectados en el estado de Durango, en los municipios de: Santiago Papasquiaro, San Dimas y Durango para *Q. sideroxyla* y en el municipio de Durango para *Q. rugosa*, entre los 2600 m y 2740 m snm (Fig. 1). Se dan las características climáticas para cada sitio de recolección basadas en el Servicio Meteorológico Nacional (2014). Para ambas especies se proporcionan: su posición taxonómica, su distribución geográfica y altitudinal, sus nombres comunes y sus características morfológicas, con base en Trelease (1924), McVaugh (1974), Martínez (1981), González (1986), Nixon (1993), Zavala (1995) y Valencia (2004). Los especímenes de respaldo se registraron en el Herbario y en la Xiloteca de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (Tabla 1).

## Anatomía

De cada árbol se obtuvieron cuatro trozas de 2.50 m medida de base a copa. A la altura de 2.50 m se cortaron dos rodajas de 5 cm de grosor; de una de ellas se obtuvie-



ron tablillas transversales y de la otra se obtuvieron cubos de 1 cm x 1 cm, tanto de albura como de duramen (Fig. 2a). Los cubos se ablandaron a ebullición en agua destilada, alrededor de 30 horas para el encino rojo y 50 horas para el encino blanco, para obtener cortes transversales, tangenciales y radiales de 15 µm a 20 µm de grosor. Los cortes se tiñeron con Safranina-Verde Rápido de acuerdo con López *et al.* (2005) y se montaron con entellán. De los mismos cubos se obtuvieron astillas a las que se les agregó una solución a partes iguales de ácido acético glacial, ácido nítrico, ácido láctico y glicerina, para obtener material disociado; este se tiñó con pardo de Bismark y se montó con gelatina glicerizada (Johansen, 1940). De la troza inferior se obtuvieron tablillas longitudinales de 12 cm x 7 cm x 1 cm que junto con las transversales, se emplearon para describir las características macroscópicas de acuerdo con Tortorelli (1956); para el color se usaron las tablas de Munsell Color (1990).

A los elementos mensurables se les hizo un análisis estadístico univariado y se clasificaron con base en la media, de acuerdo con Chattaway (1932), IAWA Committee (1937; 1939). Para la descripción microscópica se consideró a IAWA Committee (1964; 1989). Para la detección de los

taninos se usó la técnica de vainillina-HCl y, para grasas, rojo de aceite “O” (Sandoval, 2005; Tapia *et al.*, 2014).

### Propiedades tecnológicas

Los ensayos se efectuaron de acuerdo con la norma ASTM-D-143 (2000). Se utilizó el método primario de ensayo de probetas pequeñas libres de defectos. Se seleccionaron tres trozas por árbol, las más cercanas a la base, y dos probetas por tipo de prueba y por troza para cada condición de humedad (Fig. 2b). El método de selección para cada pro-

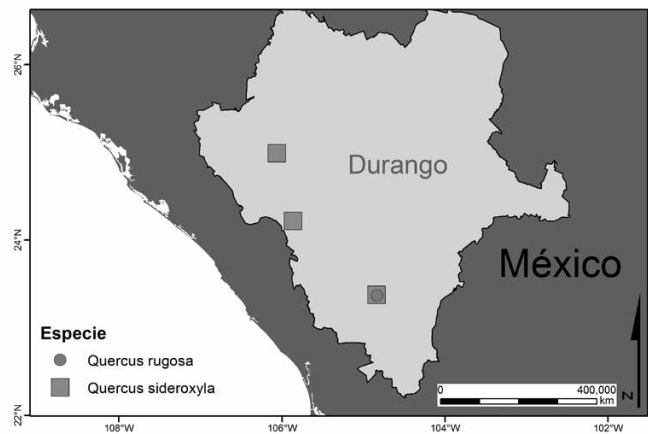


FIGURA 1. Sitios de recolección.

TABLA 1. Datos de recolección y registros.

Municipio	Localidad	Longitud W	Latitud N	Altitud msnm	Árbol	Altura total (m)	DAP (cm)	Herbario	Xiloteca
<i>Quercus sideroxyla</i>									
Santiago	Cañada San Miguel	106° 09' 15.6"	25° 06' 07.2"	2606	20	18	47.5	72117	M-240
Papasquiario	El Negro y Nexos	106° 09' 17.9"	25° 06' 05.0"	2604	22	18	59.0	72119	M-242
San Dimas	Puentecillas	105° 55' 51.9"	24° 19' 59.1"	2715	1	21	46.7	72120	M-222
		105° 55' 53.1"	24° 19' 59.8"	2719	2	19	55.6	72121	M-223
Durango	Cuevecillas y Culebras	104° 52' 10.5"	23° 30' 48.5"	2729	10	17	46.2	72122	M-230
<i>Quercus rugosa</i>									
Durango	Cuevecillas y	104° 51' 45.6"	23° 30' 24.7"	2733	11	19	51.9	75647	M-231
	Culebras	104° 51' 40.4"	23° 30' 22.2"	2729	12	16	60.2	75648	M-232

beta fue idéntico para todos los árboles. Las pruebas mecánicas se realizaron en una máquina universal de ensayos *INSTRON 300DX-F2-G1* con capacidad de 300 kN, los de impacto en una máquina tipo péndulo Charpy (Fig. 3). Los ensayos se llevaron a cabo en el Instituto de Ecología, A. C. en el LINCE-Laboratorio de Pruebas del Centro Regional Durango y los de impacto en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica, del Instituto Tecnológico de Durango.

### Propiedades físicas

Se ensayaron: densidad básica, contracciones radiales, tangenciales y volumétricas; a partir de estas últimas se calculó el coeficiente de anisotropía. La densidad se clasificó de acuerdo con Torelli (1982), las contracciones, de acuerdo con Echenique-Manrique *et al.* (1975).

### Propiedades mecánicas

Se ensayaron: flexión estática, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, dureza Janka, cortante paralelo a la fibra e impacto. Los valores de carga se registraron en Newtons (N) y los esfuerzos se calcularon en MPa. Las propiedades mecánicas en condición verde se clasificaron de acuerdo con Dávalos y Bárcenas (1998). Las propiedades mecánicas en condición seca se clasificaron de acuerdo con Dávalos y Bárcenas (1999). No se clasificaron las características de impacto por no contar con una clasificación adecuada para el experimento efectuado.

### Cálculo de propiedades físicas

#### Densidad básica

Las probetas midieron 50 mm x 50 mm x 25 mm, se obtuvieron de cada uno de los ensayos mecánicos tanto en condición verde como al 12% de contenido de humedad. La densidad se calculó con la siguiente ecuación:

$$D_b = \frac{P_a}{V_v} \quad (1)$$

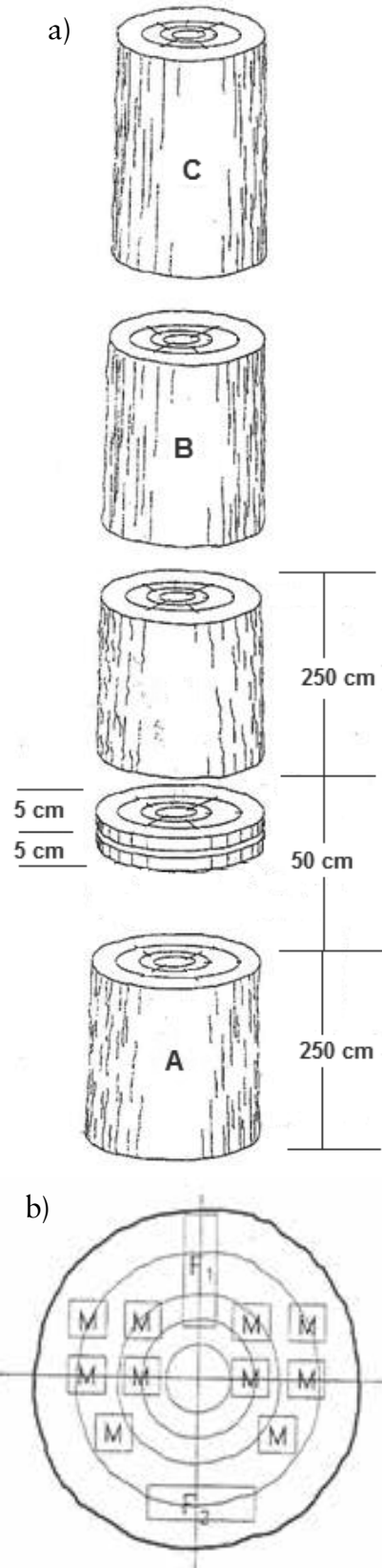


FIGURA 2. Obtención del material de estudio.

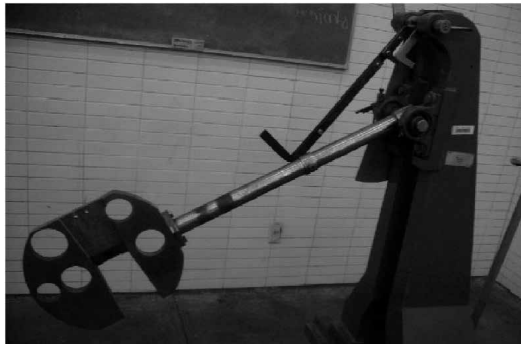


FIGURA 3. Máquina tipo péndulo para prueba de impacto.

Donde:

- $D_b$  = densidad básica en  $\text{g/cm}^3$   
 $P_a$  = peso anhidro de la madera en g  
 $V_v$  = volumen verde de la probeta en  $\text{cm}^3$

#### Contracción tangencial y contracción radial

Las probetas midieron 25 mm x 25 mm x 100 mm. Se elaboraron en dirección tangencial y radial. Primero se midieron en condición verde utilizando un vernier digital y se pesaron en una báscula; posteriormente se secaron al aire libre hasta alcanzar un peso constante (contenido de humedad en equilibrio) y se registró su dimensión y peso. Finalmente se obtuvieron las dimensiones y peso en condición anhidra, después de haber colocado las probetas en una estufa de secado a  $100^\circ \pm 3^\circ$  por 24 horas. Los valores se calcularon con la siguiente ecuación:

$$CT \text{ o } CR = \frac{D_v - D_0}{D_v} (100) \quad (2)$$

Donde:

- $CT$  = contracción tangencial en por ciento  
 $CR$  = contracción radial en por ciento  
 $D_v$  = dimensión en condición verde en mm  
 $D_0$  = dimensión en condición anhidra en mm

#### Contracción volumétrica

Las probetas midieron 25 mm x 25 mm x 100 mm. Primero se midieron en condición verde. Después se secaron al aire libre hasta alcanzar 12% de contenido de hume-

dad; posteriormente se secaron en una estufa de secado a  $100^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  por 24 horas o hasta alcanzar el peso anhidro y se midieron las dimensiones en esa condición. La contracción se calculó con la siguiente ecuación:

$$CV = \frac{V_v - V_a}{V_v} (100) \quad (3)$$

Donde:

- $C_v$  = contracción volumétrica en por ciento  
 $V_v$  = volumen verde en  $\text{mm}^3$   
 $V_a$  = volumen anhidro en  $\text{mm}^3$

#### Coefficiente de anisotropía

Esta propiedad representa una medida de la estabilidad dimensional de la madera. Se calcula a partir de los valores medidos de las contracciones tangencial y radial con la siguiente ecuación:

$$CA = \frac{CV}{CR} \quad (4)$$

Donde:

- $CA$  = coeficiente de anisotropía  
 $CT$  = contracción tangencial en por ciento  
 $CR$  = contracción radial en por ciento

#### Cálculo de propiedades mecánicas

##### Flexión estática

Las probetas midieron 50 mm x 50 mm x 760 mm. La probeta se apoyaba longitudinalmente en sus extremos y la carga se aplicaba sobre la cara tangencial. Se elaboró la gráfica carga-deformación para obtener los valores de módulo de ruptura ( $MOR$ ) y módulo de elasticidad en flexión ( $MOE$ ), indicador de la rigidez. Se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$MOR = \frac{1.5P_{\text{máx}}L}{bh^2} \quad (5)$$

Donde

- $MOR$  = módulo de ruptura en MPa  
 $P_{\text{máx}}$  = carga máxima en N

- $L$  = longitud del claro de carga en mm  
 $b$  = ancho de la probeta en mm  
 $b$  = peralte de la probeta en mm

$$MOE = \frac{P_{LP} L^3}{4\Delta_{LP} b h^3} \quad (6)$$

- $MOE$  = módulo de elasticidad en flexión en MPa  
 $P_{LP}$  = carga en el límite proporcional en N  
 $\Delta_{LP}$  = deformación en el límite proporcional en mm

### Compresión paralela a la fibra

Las probetas midieron 50 mm x 50 mm x 200 mm. La carga se aplicó en la sección transversal. Antes de efectuar el ensayo, los extremos de la probeta se secaron aplicando una fuente calorífica directa (focos infrarrojos) en cada extremo, para evitar falla por escobillamiento en los extremos de la probeta y propiciar la falla en el centro de la misma. Los valores que se calculan son el esfuerzo máximo ( $E_{m\acute{a}x}$ ) y el módulo de elasticidad ( $MOE$ ) con las siguientes ecuaciones:

$$E_{m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{bh} \quad (7)$$

Donde:

- $E_{m\acute{a}x}$  = esfuerzo máximo en compresión paralela en MPa  
 $P_{m\acute{a}x}$  = carga máxima en N  
 $b$  = ancho de la probeta en mm  
 $h$  = grueso de la probeta en mm

$$MOE_{CP} = \frac{P_{LP} L}{bh\Delta_{LP}} \quad (8)$$

Donde:

- $MOE_{CP}$  = módulo de elasticidad en compresión paralela en MPa  
 $P_{LP}$  = carga en el límite proporcional en N  
 $L$  = longitud de medición de deformaciones = 150 mm  
 $\Delta_{LP}$  = deformación en el límite proporcional en mm

### Compresión perpendicular a la fibra

Las probetas midieron 50 mm x 50 mm x 150 mm. La carga se aplicó mediante un bloque de acero de 50 mm x

50 mm que se colocó en la zona central de la probeta, sobre una cara radial. Se generó la gráfica carga-deformación, de la cual se obtuvieron los valores de carga a 2.5 mm de deformación y en el límite de proporcionalidad. Con estos valores se calcularon los esfuerzos de compresión perpendicular correspondientes (a 2.5 mm de deformación y en el límite de proporcionalidad). A partir de la misma gráfica, se obtuvo el módulo de elasticidad ( $MOE$ ). Estos resultados se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$F_{\perp} = \frac{P_{2.5}}{50b} \quad (9)$$

Donde:

- $F_{\perp}$  = esfuerzo en compresión perpendicular en MPa  
 $b$  = ancho de la probeta en mm  
 $50$  = ancho del bloque aplicador de carga en mm  
 $P_{2.5}$  = carga a 2.5 mm de deformación

$$E_{LP} = \frac{P_{LP}}{50b} \quad (10)$$

Donde:

- $E_{LP}$  = esfuerzo en el límite proporcional en compresión perpendicular en MPa  
 $P_{LP}$  = carga en el límite proporcional en N  
 $b$  = ancho en mm

$$MOE_{perp} = \frac{P_{LP} b}{b * 50\Delta_{LP}} \quad (11)$$

Donde:

- $MOE_{perp}$  = módulo de elasticidad en compresión perpendicular en MPa  
 $P_{LP}$  = carga en el límite proporcional en N  
 $\Delta_{LP}$  = deformación en el límite proporcional en mm  
 $b$  = grueso de la probeta en mm

### Dureza Janka

Las probetas fueron las mismas que se usaron previamente para la compresión perpendicular. Se aplicó una fuerza, mediante de una semiesfera de metal de 11.3 mm



de diámetro, sobre cada una de las seis caras de la probeta: dos tangenciales, dos radiales y dos transversales. Se registró la fuerza necesaria para que penetrara la semiesfera completa y se obtuvieron los promedios. Al promedio de las cuatro lecturas sobre las dos caras tangenciales y las dos radiales se le llama dureza lateral y al promedio de las dos transversales se le denomina dureza en extremos.

#### *Cortante paralelo a la fibra*

Las probetas midieron 50 mm x 50 mm x 63 mm. La carga se aplicó sobre la pestaña inferior de la cara transversal para desprender una parte de la probeta por el plano de cortante. El esfuerzo se calculó con la siguiente ecuación:

$$F_v = \frac{P_v}{bh} \quad (12)$$

Donde:

$F_v$  = esfuerzo máximo en cortante paralelo a la fibra en (MPa)

$P_v$  = carga máxima en N

$b$  = ancho en mm

$h$  = grueso en mm

#### *Impacto*

Las probetas midieron 20 mm x 20 mm x 300 mm. La prueba tipo péndulo Charpy consiste en aplicar una carga de impacto a la probeta, sobre un claro de carga (distancia entre apoyos) de 254 mm, dejando caer un péndulo desde una determinada altura y aplicando la carga dinámica al centro del espécimen. El péndulo se eleva a un ángulo de 160° que corresponde a su posición más alta, asegurando el brazo del péndulo con el sujetador de la máquina. La aguja de medición del ángulo final se coloca en la posición cero antes de permitir la caída del péndulo; cuando éste ha hecho todo el recorrido posible después de golpear y romper la probeta, se aplica el freno para detener su movimiento y se procede a tomar la lectura del ángulo final y de la energía absorbida por el impacto en un disco graduado.

#### *Ajustes por contenido de humedad*

El ajuste de las propiedades mecánicas para pequeñas probetas libres de defectos se hizo de acuerdo con la norma ASTM D-2915 (1993), excepto para el caso de compresión perpendicular y Dureza Janka, para las cuales los factores de ajuste no han sido publicados y se generaron para este estudio a partir de los resultados de estos experimentos; los valores de los factores de ajuste están incluidos en la tabla 2.

Los resultados de resistencia mecánica en condición seca se ajustaron con la siguiente ecuación:

$$MOR_{12} = MOR \frac{(\alpha - \beta M_2)}{(\alpha - \beta M_1)} \quad (13)$$

Donde:

$MOR_{12}$  = propiedad ajustada a un contenido de humedad de 12%

$MOR$  = propiedad con el contenido de humedad al momento del ensayo

$M_1$  = contenido de humedad que se ajusta (12%)

$M_2$  = contenido de humedad al momento del ensayo

$\alpha, \beta$  = coeficientes para las diferentes propiedades de resistencia (Tabla 2).

TABLA 2. Coeficientes de ajuste por contenido de humedad de las propiedades mecánicas para probetas pequeñas, libres de defectos.

Propiedad	Alfa	Beta
Flexión estática	1.75	0.033
Compresión paralela a la fibra	2.75	0.0833
Módulo de elasticidad	1.44	0.02
Cortante paralelo a la fibra	1.33	0.167
Compresión perpendicular a la fibra	1.80	0.035
Dureza Janka	1.60	0.027

#### *Secado al aire libre de la madera bajo cubierta*

Esta parte del estudio se efectuó para monitorear el progreso del proceso de secado. Se armaron pilas de secado bajo cubierta para proteger a la madera de la lluvia y de los rayos directos del sol, pero se ubicaron cerca de un claro en

el techo que permitió la circulación del aire. Se hizo una pila con todas las tablas elaboradas (las que no fueron destinadas a ensayos en condición verde) a partir de las trozas recolectadas y se seleccionaron dos testigos por árbol colectado, que se monitorearon rutinariamente por un período de 47 días, hasta que se alcanzó un peso constante de los testigos (septiembre a noviembre de 2008). Los testigos midieron 2.8 cm x 12.2 cm x 121.5 cm. Se midió el peso inicial y el peso actual o corriente dos veces por semana. Al final del experimento se determinó el peso anhidro de un espécimen de cada testigo y se calculó el contenido de humedad final. Con los datos de peso registrados periódicamente se estimaron los valores de contenido de humedad de cada momento del registro. Las variables ambientales (humedad relativa y temperatura) se registraron de manera continua con un termo-hidrógrafo digital. Con estos datos se determinó el contenido de humedad en equilibrio de la época en que se hizo el experimento.

#### Clima de los sitios de recolección

Los datos fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (2014). En cada caso corresponden a los valores

promedio de las tres estaciones meteorológicas más cercanas al sitio de recolección.

#### *Santiago Papasquiario (Tabla A)*

Clima templado subhúmedo con lluvia en verano. Temperatura (promedios anuales) máxima 19.8 °C; media 12.1 °C; mínima 4.3 °C. Precipitación media anual: 1237 mm (Fig. 4a).

#### *San Dimas (Tabla B)*

Clima templado subhúmedo. Temperatura (promedios anuales) máxima 20.7 °C; media 11.1 °C; mínima 1.5 °C. Precipitación media anual: 1067 mm (Fig. 4b).

#### *Durango (Tabla C)*

Clima templado en la porción occidental o de la sierra. Temperatura (promedios anuales) máxima: 20.0 °C; media 11.4 °C; mínima: 2.9 °C. Precipitación media anual: 901 mm (Fig. 4c).

En las figuras 4d y 4e se presentan los mapas de temperatura media anual y precipitación anual de la región donde se ubican los sitios de recolección; estos mapas fue-

TABLA A. Santiago Papasquiario, estaciones analizadas.

Estación	Nombre	Municipio	Latitud N	Longitud O	Altitud (m snm)
10071	San Miguel de Lobos	Tepehuanes	25° 09' 45"	105° 58' 05"	2300
10087	Vascogil	Canelas	25° 08' 45"	106° 21' 45"	2377
10018	El Cantil	Santiago Papasquiario	24° 57' 08"	106° 16' 00"	2235
		Sitio de recolección	25° 06' 00"	106° 09' 18"	2605

TABLA B. San Dimas, estaciones analizadas.

Estación	Nombre	Municipio	Latitud N	Longitud O	Altitud (m snm)
10160	Agua Blanca	San Dimas	24° 26' 38"	105° 47' 06"	2500
10042	Las Truchas	San Dimas	24° 10' 28"	105° 58' 00"	1794
10043	Las Vegas	San Dimas	24° 10' 49"	105° 28' 12"	1391
		Sitio de recolección	24° 19' 59"	105° 55' 52"	2717





TABLA C. Durango, estaciones analizadas.

Estación	Nombre	Municipio	Latitud N	Longitud O	Altitud (m snm)
10040	Las Bayas	Durango	23° 30' 16"	104° 49' 28"	2600
10124	La Flor	Durango	23° 31' 54"	104° 43' 22"	2300
10073	Santa Bárbara	Durango	23° 47' 00"	104° 54' 00"	2316
Sito de recolección			23° 30' 18"	104° 51' 44"	2730

ron generados con los datos de Atlas Climático de México elaborado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (<http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/kml/>; Parámetros Bioclimáticos 1902-2011) y se elaboraron con el software de acceso libre gnuplot (<http://www.gnuplot.info/>).

### Suelos

El estado de Durango presenta una gran heterogeneidad de los factores formadores del suelo, como son: litología superficial, clima, cobertura vegetal, relieve complejo, y actividades humanas. Por lo tanto, también existe una gran variación en los suelos del estado, esta variación se presenta tanto en forma horizontal como en forma vertical en los diferentes horizontes. En el estado de Durango se presentan la mayoría de las unidades y subunidades establecidas en el Sistema de Clasificación del Suelo utilizado por Inegi. Los suelos dominantes son el Litosol, Regosol y Feozem, seguidos por Xerosol, Cambisol, Rendzina, Yermosol, Castañozem, Vertisol y otras unidades en menor proporción (Gobierno del Estado de Durango, 2011).

El suelo dominante en los sitios de muestreo es como sigue (Inegi, 2014b):

Santiago Papasquiaro: Suelo Regosol.  
 San Dimas: Cambisol  
 Durango: Regosol eútrico

## RESULTADOS

### Características de las especies

1. *Quercus sideroxylla* Humb. & Bonpl.  
 División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledónea)

Subclase: Hamamelidaceae

Orden: Fagales

Familia: Fagaceae

Subgénero *Erythrobalanus* (Trelease, 1924); *Cyclobalanopsis* (Nixon, 1993)

Distribución geográfica en México (Fig. 5a.)

Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Aguascalientes, Guanajuato e Hidalgo

Distribución en el estado de Durango (Fig. 5b.)

Guanaceví, Tepehuanes, Topia, Canelas, Santiago Papasquiaro, Otáez, San Dimas, Canatlán, Durango, Pueblo Nuevo, Suchil y Mexquital.

Distribución altitudinal: 2400 m a 2750 m snm

Nombres comunes: encino, encino colorado, encino duraznillo

### Características morfológicas (Lámina 1; 20-10a)

Árbol monoico, caducifolio, de 5 m a 9 m de altura, tronco de 40 cm a 60 cm de diámetro (DAP). Corteza en placas castaño oscuro, separadas por surcos profundos. Hojas coriáceas y rígidas, oblanceoladas a ovobadas o elíptico-oblongas, de 3.5 cm a 7.5 cm de largo y de 1.5 cm a 3.5 cm de ancho, borde grueso y revoluto, con 1 a 5 dientes triangulares hacia el ápice, cada uno con una espina aristada, haz verde amarillento, glabro, excepto en la base de la nervadura central, envés tomentoso blanco amarillento, base cordada-auriculada o redondeada. Pecíolo tomentoso, de 3 mm a 9 mm de largo. Fruto o bellota ovoide, bianual, de 10 mm a 13 mm de largo y 10 mm de ancho,

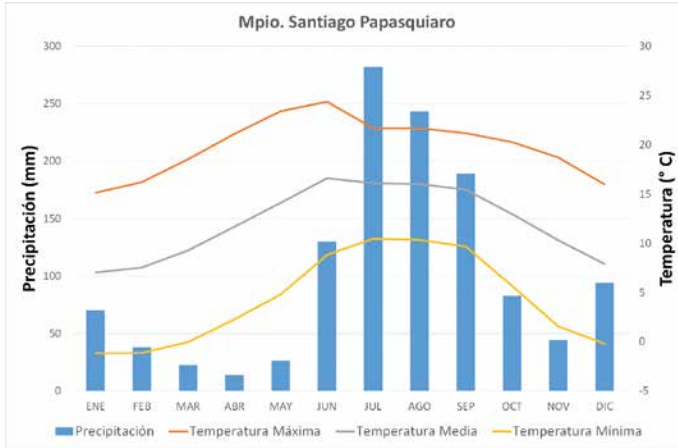


FIGURA 4a. Distribución de la precipitación y la temperatura en la zona de Santiago Papasquiaro, Dgo.

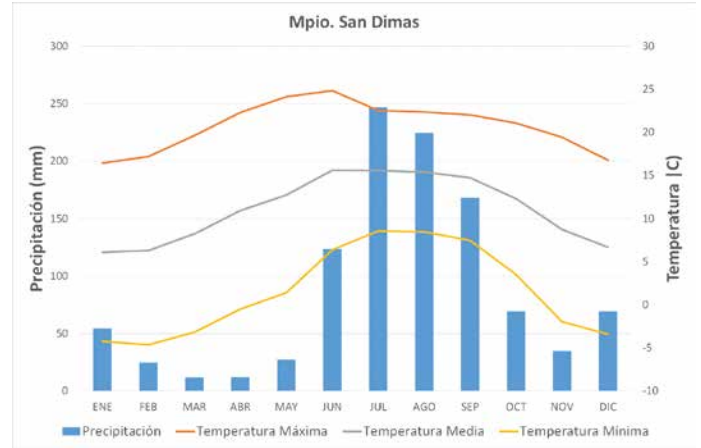


FIGURA 4b. Distribución de la precipitación y la temperatura en la zona de San Dimas, Dgo.

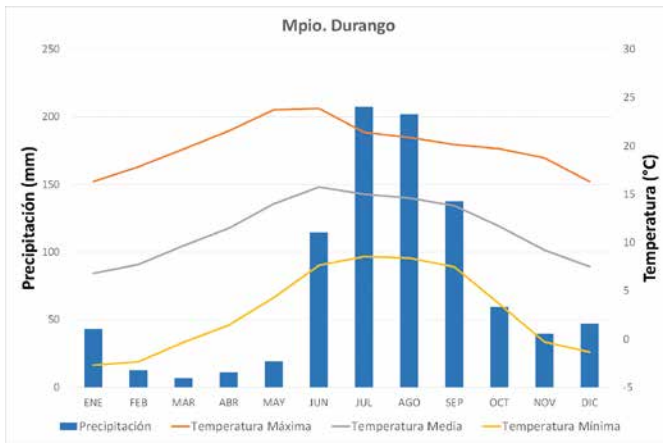


FIGURA 4c. Distribución de la precipitación y la temperatura en la zona de Durango, Dgo.

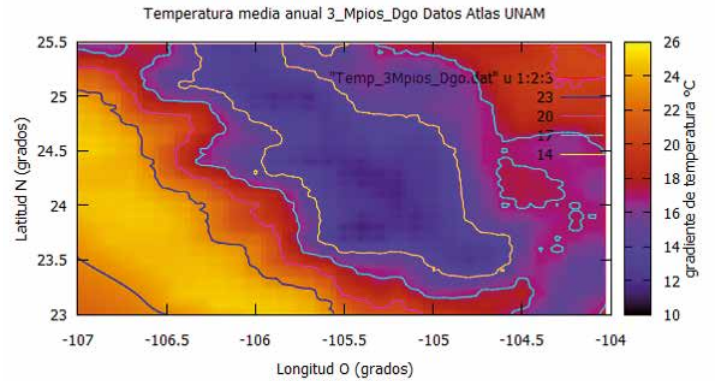


FIGURA 4d. Temperatura media anual en la zona de recolección de los árboles.

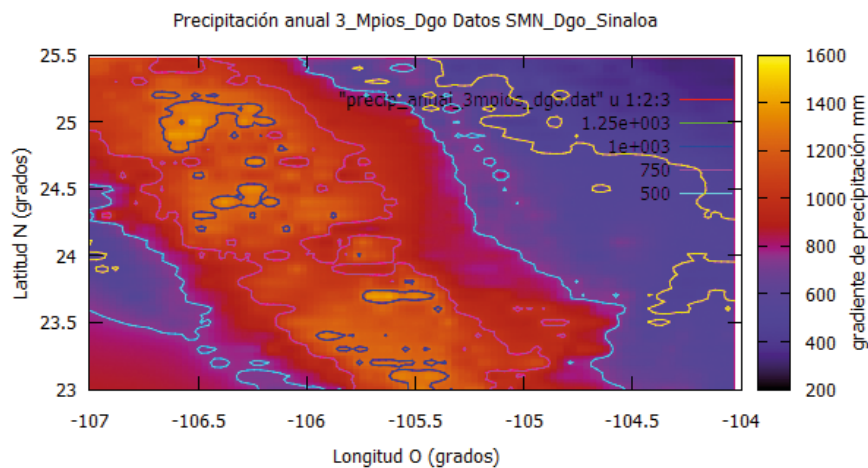


FIGURA 4e. Precipitación media anual en la zona de recolección de los árboles.

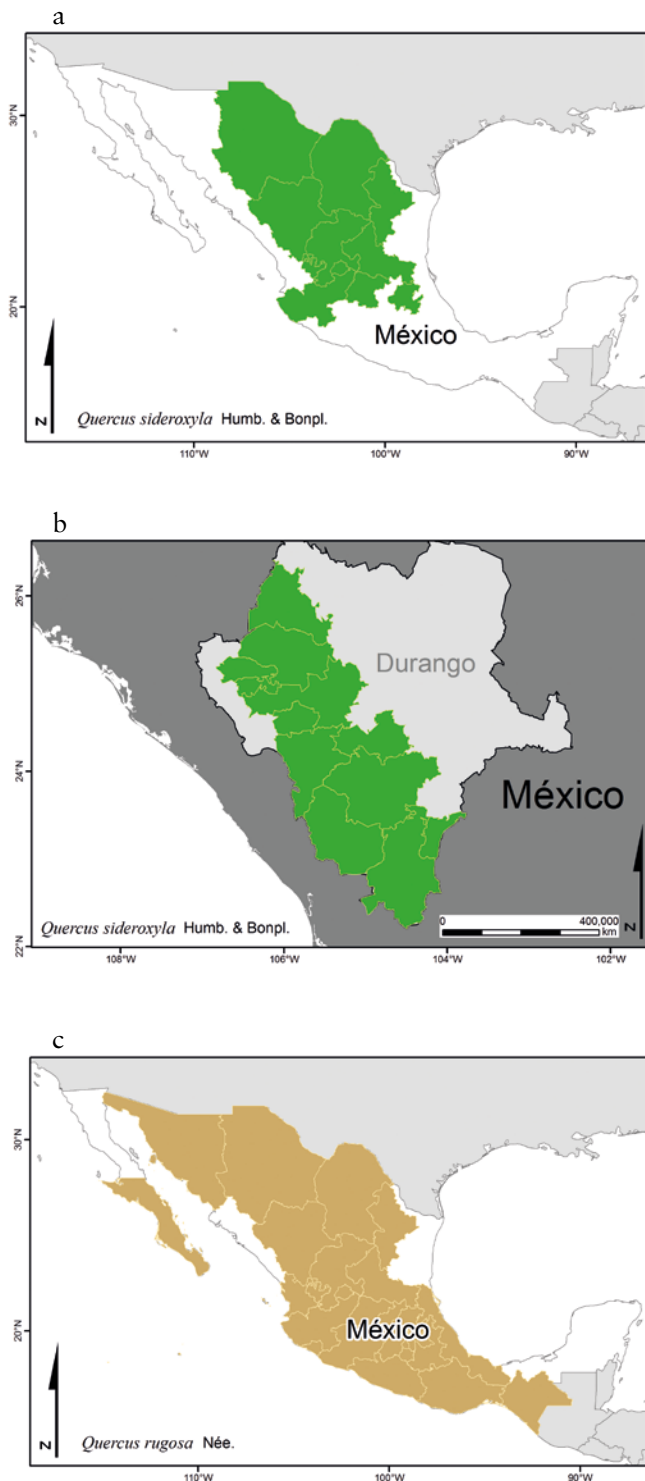


FIGURA 5. Distribución geográfica de las dos especies. *Quercus sideroxylla*. a. México. b. Durango. *Quercus rugosa*. c. México. b. Durango.

solitario o en pares, incluido un tercio en la cúpula, sésil o con un pedúnculo de 1 mm a 2 mm de longitud.

### Características anatómicas de la madera

#### *Características macroscópicas*

Santiago Papasquiario, San Dimas, Durango (Lámina 2 y Tabla 3). La madera de los cinco árboles presenta diferencia de color entre albura y duramen, la albura es rosa y el duramen varía en los cinco individuos.

Plano transversal. En el árbol 20 de Santiago Papasquiario, el parénquima es blanco rosado, los radios son rosa pálido y las fibras castaño rojizo. En el árbol 22 de Santiago Papasquiario, el parénquima y los radios son rosas y las fibras castaño rojizo oscuro. En los árboles 1 y 2 de San Dimas, el parénquima es castaño muy pálido, los radios son rosa claro y las fibras, en el árbol 1, castaño grisáceo y en el árbol 2, castaño oscuro. En el árbol 10 de Durango, el parénquima y los radios son blanco rosado y las fibras son castaño claro.

Plano tangencial. El árbol 20 de Santiago Papasquiario tiene los radios color gris rojizo oscuro. El árbol 22 del mismo municipio, el 2 de San Dimas y el 10 de Durango, los radios son castaño oscuro. El árbol 1 de San Dimas, los radios son castaño claro.

Plano radial. El árbol 20 de Santiago Papasquiario y el árbol 10 de Durango, los radios tienen un tono castaño rojizo. El árbol 22 de Santiago tiene los radios de un tono rosado. El árbol 1 de San Dimas son castaños y el árbol 2 de San Dimas, no marca la figura características de los encinos en este corte.

La madera de los cinco individuos, no presenta olor ni sabor característicos, el brillo es mediano en los planos transversales y tangenciales y alto en los planos radiales, el veteado es pronunciado, la textura gruesa y el hilo es recto. Los anillos de crecimiento están marcados por los poros de la madera temprana y una hilera de parénquima.

#### *Características microscópicas*

Santiago Papasquiario, San Dimas, Durango (Lámina 3 y Tabla 4). El árbol 20 de Santiago, los árboles 1 y 2 de San



LÁMINA 1. Características morfológicas. 20-10a *Quercus sideroxylla*. 20-22. Santiago Papasquiari. 1-2. San Dimas. 10-10a. Durango. 10a. Acercamiento. 11-12a *Quercus rugosa*. 11-12a. Durango. 12a. Acercamiento.



**Transversales**



Árbol 20 M-240



Árbol 22 M-242



Árbol 1 M-222



Árbol 2 M-223



Árbol 10 M-230

**Tangenciales**



Árbol 20 M-240



Árbol 22 M-242



Árbol 1 M-222



Árbol 2 M-223



Árbol 10 M-230

**Radiales**



Árbol 20 M-240



Árbol 22 M-242



Árbol 1 M-222



Árbol 2 M-223



Árbol 10 M-230

LÁMINA 2. Tablillas de *Quercus sideroxylla*. a. transversales. b. tangenciales. c. radiales. 20-22. Santiago Papasquiario. 1-2. San Dimas. 10. Durango.

TABLA 3. Características anatómicas macroscópicas de *Quercus sideroxyla*

Municipio/Árbol	Color	Olor y Sabor	Brillo	Veteado	Textura	Hilo	Anillos
Santiago	A. rosa						
Papasquiario	D. castaño rojizo claro	Sin	mediano	pronunciado	gruesa	recto	marcados
Árbol 20	R. castaño rojizo oscuro						
Santiago	A. rosa						
Papasquiario	D. castaño rojizo claro	Sin	mediano	pronunciado	gruesa	recto	marcados
Árbol 22	R. castaño rojizo oscuro						
San Dimas	A. rosa						
Árbol 1	D. castaño rojizo claro	Sin	mediano	pronunciado	gruesa	recto	marcados
	R. castaño rojizo oscuro						
San Dimas	A. rosa						
Árbol 2	D. castaño rojizo claro	Sin	mediano	pronunciado	gruesa	recto	marcados
	R. castaño rojizo oscuro						
Durango	A. rosa						
Árbol 10	D. castaño rojizo claro	Sin	mediano	pronunciado	gruesa	recto	marcados
	R. castaño rojizo oscuro						

A=albura, D=duramen, R=radios multiseriados

Dimas y el 10 de Durango, marcan porosidad anular; el árbol 22 de Santiago la presenta poco marcada, los poros son solitarios, poco numerosos, de diámetro tangencial mediano y longitud corta en la madera temprana y diámetro pequeño y longitud mediana en la tardía, todos presentan tílides, más abundantes en el árbol 20 de Santiago y 10 de Durango. En los cinco ejemplares se observan traqueidas vasicéntricas.

Todos los árboles, presentan parénquima difuso agregado, los radios son uniseriados y multiseriados, homogéneos, formados por células procumbentes. Los uniseriados son numerosos y bajos, los multiseriados son poco numerosos, muy altos y muy anchos y extremadamente anchos en el árbol 22 de Santiago. En ambos radios y en los cinco individuos estudiados hay presencia de taninos, abundantes en los árboles 1 y 2 de San Dimas. El árbol 22 de Santiago, presenta cristales prismáticos en algunas células de los radios.

Las fibras son de tipo libriforme y fibrotraqueidas, las libriformes más abundantes. En el árbol 20 de Santiago y en los árboles 1 y 2 de San Dimas son de longitud

mediana; en el árbol 22 de Santiago y 10 de Durango son largas, en todos son de diámetro fino, en el árbol 20 de Santiago, 1 y 2 de San Dimas y 10 de Durango, son de pared gruesa y en el árbol 22 de Santiago, son de pared muy gruesa.

Los anillos de crecimiento están marcados por los poros de la madera temprana y de dos a cuatro hileras de parénquima y de dos a cuatro hileras de fibras, en la madera tardía.

#### *Propiedades físicas*

En la tabla 5 se presentan los resultados de densidad, contracciones radial, tangencial y volumétrica, así como el coeficiente de anisotropía que *Q. sideroxyla*.

#### *Propiedades mecánicas*

Las propiedades mecánicas obtenidas para *Q. sideroxyla* en condiciones verde y seca se presentan en las tablas 6 y 7 respectivamente.



TABLA 4. Características anatómicas mensurables de *Quercus sideroxylla*.

Localidad	Vasos						Radios						Fibras		
	Poros				Elementos		Uniseriados		Multiseriados				longitud*	diámetro*	grosor de pared*
	mm <sup>2</sup>		diámetro tangencial*		longitud*		mm <sup>-1</sup>	células	no x 5mm	altura cm	anchura* series				
3	MT	Mt	MT	Mt	MT	Mt									
	Pocos	pocos	mediano	pequeño	corta	mediana	numerosos	bajos	pocos	Muy altos	muy anchos		mediana	fino	gruesa
Santiago	2	4	150	40	170	400	7	8	1	0.4	280	10	1100	8	6
Papasquiario	5	7	270	130	370	600	12	31	2	3.0	440	34	1880	14	10
Árbol 20	3	5	200	90	301	482	9	15	2	2.5	360	24	1500	12	8
	pocos	pocos	mediano	mediano	corta	mediana	numerosos	bajos	pocos	Muy altos	ext. anchos		largas	fino	muy gruesa
Santiago	3	5	110	70	120	350	8	15	1	0.4	310	16	1500	6	6
Papasquiario	5	7	220	155	320	500	15	36	2	2.5	900	47	2260	11	10
Árbol-22	4	5	160	110	224	500	10	20	2	2.0	600	35	1900	8	10
	pocos	pocos	mediano	mediano	corta	mediana	numerosos	bajos	pocos	Muy altos	muy anchos		mediana	fino	gruesa
San Dimas	2	3	130	50	70	150	8	5	2	0.7	180	11	1240	8	6
Árbol 1	5	6	250	140	350	570	13	27	4	3.5	420	25	2200	14	8
	3	4	181	100	262	411	10	16	3	2.0	300	18	1600	12	8
	pocos	pocos	mediano	mediano	corta	mediana	numerosos	bajos	pocos	Muy altos	muy anchos		mediana	fino	gruesa
San Dimas	2	3	90	60	130	300	7	9	2	0.4	240	16	1040	6	4
Árbol 2	5	6	250	160	480	650	12	32	4	4.0	430	25	1840	12	8
	3	4	190	121	237	390	9	20	3	3.5	320	19	1300	10	6
	pocos	pocos	mediano	pequeño	corta	mediana	numerosos	bajos	pocos	Muy altos	muy anchos		largas	fino	gruesa
Durango	2	3	120	30	150	390	7	13	2	0.3	220	15	1600	10	6
Árbol 10	4	5	240	160	370	600	13	34	3	4.0	420	25	2660	16	10
	3	4	200	100	270	483	10	16	3	3.5	300	18	1800	12	8

MT= madera temprana, Mt= madera tardía, ext= extremadamente \*= micrómetros

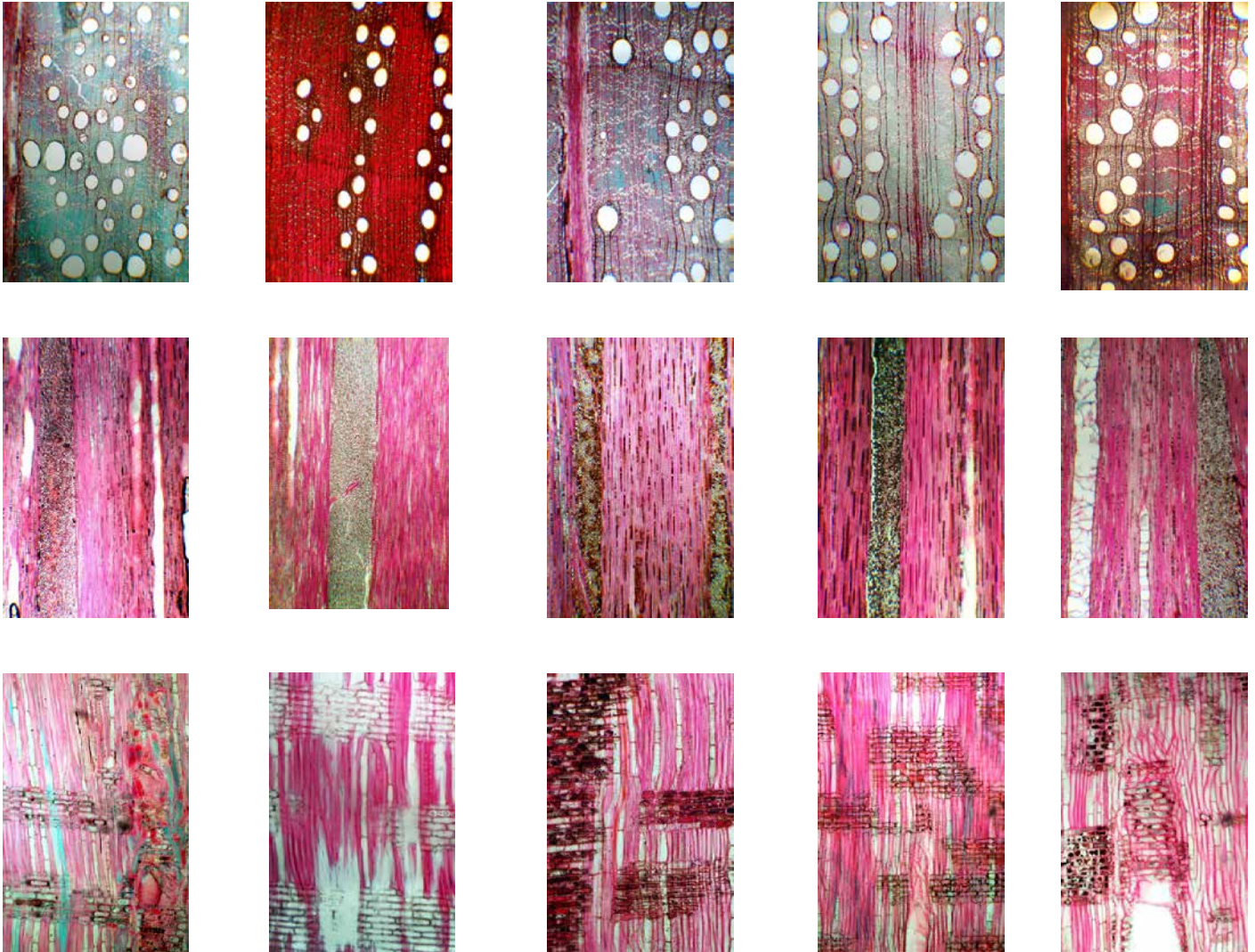


LÁMINA 3. *Quercus sideroxyla*. a. Cortes transversales (10x). b. Cortes tangenciales (10x). c. Cortes radiales (20x). 20-22. Santiago Papasquiari. 1-2. San Dimas. 10. Durango.

Para la propiedad de impacto, en ambas condiciones, no se cuenta una tabla de clasificación adecuada para la prueba usada (Charpy).

#### *Resultados del secado al aire libre (Tabla 8)*

La prueba de tiempo de secado al aire libre se prolongó por 47 días, hasta que los testigos llegaron a un peso constante. El encino rojo se seca a una tasa del doble que el encino blanco. El *Q. sideroxyla* alcanzó un menor valor de contenido de humedad (CH) al finalizar el proceso de secado que el *Q. rugosa*, alcanzando el valor del contenido

de humedad en equilibrio (CHE) en 47 días. El encino blanco no alcanzó el mismo valor de CH en ese tiempo, pero el experimento se interrumpió en esa fecha pues ya se habían conseguido los objetivos del estudio que eran comparar el tiempo de secado entre las dos especies. Para evaluar el tiempo de secado, se puede emplear la razón de las tasas de secado de las dos especies. El valor de este cociente es muy cercano a 2.0. En la figura 6 se puede ver la progresión del contenido de humedad promedio de los testigos de las dos especies contrastado con el contenido de humedad en equilibrio durante el tiempo de la prueba.



TABLA 5. Propiedades físicas de *Quercus sideroxyla*.

Árbol	Localidad	Densidad	CR %	CT%	CV (%)	CT/CR
						Coefficiente de anisotropía
20	Santiago Papasquiario	pesada	muy alta	muy alta	muy alta	muy alto
		0.621	6.26	14.08	20.70	2.48
22	Papasquiario	pesada	muy alta	muy alta	alta	bajo
		0.630	6.36	9.95	16.31	1.56
1	San Dimas	pesada	mediana	muy alta	mediana	muy alto
		0.644	3.99	10.67	14.66	2.68
2	San Dimas	pesada	alta	muy alta	alta	muy alto
		0.638	4.43	11.17	15.60	2.52
10	Durango	pesada	muy alta	muy alta	muy alta	muy alto
		0.663	5.95	14.75	20.70	2.48

CR = contracción radial. CT = contracción tangencial. CV = contracción volumétrica

TABLA 6. Propiedades mecánicas en verde de *Quercus sideroxyla*.

Árbol	Municipio	Densidad PA/VV	Flexión estática		Compresión paralela		Compresión Perpendicular			Dureza		Cortante EMAX	Tenacidad Péndulo Charpy μJ/mm <sup>3</sup>	
			Módulo de Ruptura	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo Máximo	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo a 2,5 mm	Esfuerzo proporcional	Limite Elástico	Módulo de Elasticidad	Promedio lateral			Promedio Extremos
			(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(N)			(N)
20	Santiago Papasquiario	0.626	52.8	7742	20.6	9544	10.10	6.65	319	5543	5551	7.13	608	
22	Santiago Papasquiario	0.643	63.6	10057	25.0	11706	7.80	5.23	278	4907	4967	8.40	420	
	Promedio	0.634	58.2	8900	22.8	10625	8.95	5.94	298	5225	5259	7.77	514	
1	San Dimas	0.625	71.5	11352	22.8	13676	13.46	7.23	461	5550	5485	9.03	454	
2	San Dimas	0.630	74.8	13053	25.1	15830	14.92	7.72	574	6589	5846	9.49	572	
	Promedio	0.628	73.2	12203	23.9	14753	14.19	7.48	518	6069	5665	9.26	513	
10	Durango	0.675	63.2	11405	22.8	12756	7.38	4.80	275	5349	5727	9.07	376	
	Promedio General	0.640	65.2	10722	23.2	12702	10.73	6.33	382	5588	5515	8.62	486	

TABLA 7. Propiedades mecánicas en condición seca (12%) de *Quercus sideroxyla*.

Árbol	Municipio	Densidad PA/VV	Flexión estática		Compresión paralela		Compresión Perpendicular			Dureza		Cortante Tenacidad	
			Módulo de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo a 2,5 mm (MPa)	Esfuerzo proporcional (MPa)	Limite Elástico (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Promedio lateral (N)	Promedio Extremos (N)	EMAX (MPa)
20	Santiago Papasquiario	0.616	89.0	11501	45.8	12242	12.70	7.03	428	5904	6343	12.4	546
22	Santiago Papasquiario	0.617	98.9	11876	46.3	13236	11.19	7.00	455	6903	7153	11.7	441
	Promedio	0.616	93.9	11688	46.1	12739	11.94	7.01	441	6404	6748	12.1	494
1	San Dimas	0.663	138.9	15213	48.7	10326	11.92	5.94	264	8725	8579	15.6	448
2	San Dimas	0.646	131.5	15453	68.7	22333	16.72	10.17	578	8186	8648	15.1	552
	Promedio	0.655	135.2	15333	58.7	16330	14.32	8.05	421	8456	8613	15.3	500
10	Durango	0.651	112.2	15442	47.4	17599	14.63	13.87	495	8862	9540	15.1	497
	Promedio General	0.639	114.1	13897	51.4	15147	13.43	8.80	444	7716	8053	14.0	497

TABLA 8. Resultados de la prueba de secado al aire libre.

	<i>Q. sideroxyla</i>	<i>Q. rugosa</i>
Tiempo de secado (días)	47	47
CH inicial (%)	56.47	35.76
CH final (%)	10.35	12.40
Dif. CH (inicial – final)	46.12	23.36
Tasa/día	0.98	0.50
Razón <i>Q. sideroxyla</i> / <i>Q. rugosa</i>	1.97	

## 2. *Quercus rugosa* Née

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledónea)

Subclase: Hamamelidaceae

Orden: Fagales

Familia: Fagaceae

Subgénero *Leucobalanus* (Trelease, 1924), *Euquercus* (Nixon, 1993)

Distribución geográfica en México (Figura 5c)

Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, México, Distrito Federal, Morelos, Tlaxcala, Puebla y Veracruz.

Distribución en el estado de Durango (Fig. 5a)

Guanaceví, Tepehuanaes, Topia, Canelas, Santiago Papasquiario, Otáez, San Dimas, Canatlán, Durango, Pueblo Nuevo, Suchil y Mexquital.

Distribución altitudinal: 1800 a los 3000 m snm.

Nombres comunes: Encino, encino cuero, encino blanco liso, encino de asta, encino avellano, encino tocuz, encino quebracho, encino hojarasca, encino negro y roble.

### *Características morfológicas (Lámina 1. 11-12a)*

Árbol monoico, perennifolio, de 10 m a 20 m de alto, tronco de 30 cm a 60 cm de diámetro (DAP). Corteza en placas castaño grisáceo, separadas por surcos profundos.

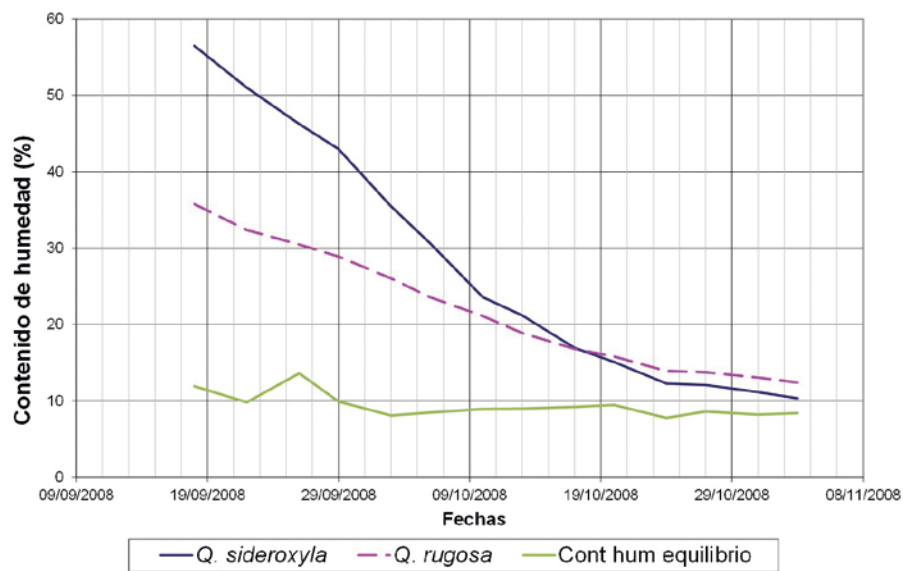


FIGURA 6. Tiempo de secado al aire libre de las dos especies.

Hojas coriáceas y rígidas, acucharadas, elíptico-obovadas o elíptico-oblongas, de 8 cm a 10 cm de largo y de 3 cm a 8 cm de ancho, borde revuelto, crenado-aserrado con 5 a 10 dientes triangulares de cada lado, principalmente de la mitad hacia el ápice, cada uno con un mucrón duro, haz verde claro, glabro, envés tomentoso amarillento, pluricelular y glandular, base cordada. Pecíolo tomentoso de 5 mm a 10 mm de largo. Fruto o bellota anual, ovoide, angosta y puntiaguda, de 10 mm a 13 mm de largo y 8 mm de ancho, solitario o en pares o hasta tres, incluido un tercio en la cúpula, con un pedúnculo de 3 cm a 6 cm de longitud.

### Características anatómicas de la madera

#### *Características macroscópicas (Lámina 4; Tabla 9)*

##### *Municipio Durango*

La madera de los dos árboles presenta diferencia de color entre albura y duramen. En el árbol 11, la albura es castaño pálido y en el árbol 12, es blanca. El duramen varía en los diferentes planos y entre los dos individuos.

Plano transversal: En el árbol 11, el parénquima y los radios son blancos y las fibras castaño grisáceo muy

oscuro. En el árbol 12, el parénquima es castaño pálido, los radios son blancos y las fibras castaño oscuro.

Plano tangencial: En el árbol 11, los radios son negros, en el 12 son castaños.

Plano radial: En el árbol 11, los radios con castaños y están poco marcados, no dan la figura típica de los encinos en ese plano. En el árbol 12, los radios son castaño grisáceo, a pesar de ser extremadamente anchos, no dan un vetado atractivo en este plano.

La madera de los dos individuos, no presenta olor ni sabor característicos, el brillo es bajo en los tres planos, el vetado es pronunciado, la textura es gruesa y el hilo es recto. Los anillos de crecimiento están marcados por los poros de la madera temprana y una hilera de parénquima.

#### *Características microscópicas (Lámina 4; Tabla 10)*

La madera presenta porosidad con tendencia a anular, más marcada en el árbol 11, los poros son solitarios, poco numerosos, de diámetro tangencial mediano. Los elementos de vaso son de longitud mediana, los dos individuos presentan abundantes tílides. En ambos, se observan traqueidas vasicéntricas. El parénquima axial es difuso en agregados, en el árbol 11, algunas células presenta cristales prismáticos.

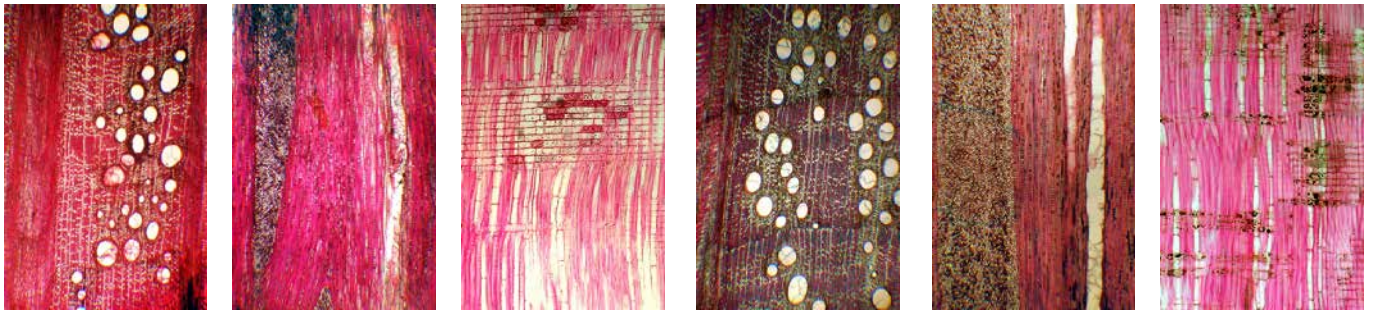


LÁMINA 4. *Quercus rugosa*. a. Tablillas transversales. b. Tablillas tangenciales. c. Tablillas radiales. d. Cortes transversales (10x). e. Cortes tangenciales (10x). f. Cortes radiales (20x). 11-12. Durango.

Los radios son uniseriados y multiseriados, homogéneos, formados por células procumbentes, los uniseriados son numerosos y bajos, los multiseriados son poco numerosos, bajos y muy anchos en el árbol 11 y muy altos y extremadamente anchos en el árbol 12. En el árbol 11 se presentan abundantes grasas, en ambos individuos algunas células presentan cristales prismáticos. Algunos radios multiseriados del árbol 11 están “abiertos” longitudinalmente en la parte media.

Las fibras son de tipo libriforme y fibrotraqueidas, las libriformes son más abundantes, son largas, de diámetro fino y de paredes muy gruesas. El árbol 11 tiene fibras gelatinosas.

En el árbol 11 todos los elementos constitutivos tienen abundantes taninos, en el árbol 12, únicamente en

ambos radios. Los anillos de crecimiento están marcados por los poros de la madera temprana y por una hilera de parénquima y por tres o cuatro hileras de fibras en la madera tardía.

#### *Propiedades físicas (Tabla 11)*

En la tabla 11 se presentan los resultados de densidad, contracciones radial, tangencial y volumétrica, así como el coeficiente de anisotropía que *Q. rugosa*. Cabe destacar que, por el alto coeficiente de anisotropía, se trata de una madera poco estable dimensionalmente.

#### *Propiedades mecánicas*

Las propiedades mecánicas obtenidas para *Q. rugosa* en condiciones verde y seca se presentan en las tablas 12 y 13,



Tabla 9. Características anatómicas macroscópicas de *Quercus rugosa*.

Municipio	Color	Olor y Sabor	Brillo	Veteado	Textura	Hilo	Anillos
Durango Árbol 11	A. castaño muy pálido						
	D. castaño	sin	mediano	pronunciado	gruesa	recto	marcados
	R. castaño oscuro						
Durango Árbol 12	A. castaño pálido						
	D. castaño	sin	mediano	pronunciado	gruesa	recto	marcados
	R. castaño oscuro						

A=albura. D=duramen. R=radios multiseriados.

Tabla 10. Características anatómicas mensurables de *Quercus rugosa*

Municipio	Vasos			Radios						Fibras		
	Poros		Elementos	Uniseriados		Multiseriados				longitud*	diámetro*	grosor de pared*
	mm <sup>2</sup>	diámetro*	longitud*	mm <sup>-1</sup>	células	no x 5 mm	altura cm	anchura* series				
	pocos	mediano	cortos	numerosos	bajos	pocos	bajos	muy anchos		largas	fino	gruesa
Durango Árbol 11	4	60	320	7	5	2	0.5	200	18	1235	5	10
	10	310	650	11	14	2	2.0	560	54	2140	7	13
	8	230	520	9	9	2	1.0	410	39	1710	6	9
Durango Árbol 12	pocos	mediano	cortos	numerosos	bajos	pocos	muy altos	muy anchos		largas	fino	muy gruesa
	4	70	300	4	6	1	1.5	600	35	1020	3	8
	10	240	500	12	20	2	4.5	970	59	2110	5	10
	7	210	350	10	13	1	4.0	810	47	1650	4	9

\*=micrómetros (µm)

Tabla 11. Propiedades físicas de *Quercus rugosa*.

Árbol	Especie	Densidad	CR%	CT%	CV%	CT/CR
11	<i>Quercus rugosa</i>	Muy pesada	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alto
		0.819	5.01	14.07	19.08	2.81
12	<i>Quercus rugosa</i>	Muy pesada	alta	Muy alta	Alta	Muy alto
		0.730	4.41	12.05	16.46	2.73

Tabla 12. Propiedades mecánicas en condición verde de *Quercus rugosa*.

Árbol	Municipio	Densidad	Flexión estática			Compresión paralela			Compresión Perpendicular			Dureza		Cortante Tenacidad
			MOR	MOE	EMAX	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo a 2,5 mm	Esfuerzo Limite proporcional	Módulo de Elasticidad	Promedio lateral	Promedio Extremos	EMAX	Péndulo Charpy	
			(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(N)	(N)	(MPa)	μJ/mm <sup>3</sup>	
11	Durango	0.821	63.3	8593	27.4	10639	13.07	7.02	468	6943	6497	9.45	670	
12	Durango	0.749	61.9	9058	24.3	10796	9.06	5.94	298	6346	6008	5.46	543	
Promedio		0.785	62.6	8825	25.9	10717	11.06	6.48	383	6644	6252	7.46	606	

Tabla 13. Propiedades mecánicas en condición seca (12%) de *Quercus rugosa*.

Árbol	Municipio	Densidad	Flexión estática			Compresión paralela			Compresión Perpendicular			Dureza		Cortante Tenacidad
			MOR	MOE	EMAX	Modulo de Elasticidad	Esfuerzo a 2,5 mm	Esfuerzo Limite proporcional	Módulo de Elasticidad	Promedio lateral	Promedio Extremos	EMAX	Péndulo Charpy	
			(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(N)	(N)	(MPa)	μJ/mm <sup>3</sup>	
11	Durango	0.816	103.3	11683	37.4	12801	25.42	19.05	922	13995	9821	11.5	690	
12	Durango	0.711	99.9	11292	44.4	14556	29.92	16.10	964	10601	10579	8.5	458	
Promedio		0.763	101.6	11488	40.9	13678	27.67	17.57	943	12298	10200	10.0	574	

respectivamente. (no existe criterio de clasificación para las pruebas de impacto tipo Charpy).

En la tabla 14 se presenta un resumen de la clasificación de los resultados obtenidos para las propiedades físicas y las mecánicas de las dos especies estudiadas.

## DISCUSIÓN

La madera de los siete individuos estudiados tiene semejanzas y diferencias, entre subgéneros y entre los individuos del mismo subgénero. La madera de los siete árboles muestra características comunes en diferencia de color entre albura y duramen, olor y sabor no característicos, veteado pronunciado, textura gruesa, hilo recto, anillos de crecimiento marcados, poros solitarios, poco numerosos, platina de perforación simple, punteaduras intervas-

culares areoladas alternas, traqueidas vasicéntricas, parénquima difuso en agregados, radios uniseriados numerosos y bajos, radios multiseriados poco numerosos, fibras libriformes de diámetro fino y contracción tangencial muy alta.

Las diferencias entre subgéneros son en el color, en *Q. sideroxylo* los tonos van de rosa a rojo y en *Q. rugosa* va de blanco a castaño. En cuanto al tipo de porosidad, en el encino rojo es anular y en el blanco, con tendencia a anular, lo que repercute en el diámetro y longitud de los vasos de un grupo a otro. La anchura y el número de series de los radios multiseriados son menores en el primero que en el segundo; dadas estas características, el veteado y la textura, son más marcados en el encino blanco, hay menor presencia de tílides en el encino rojo



TABLA 14. Clasificación de las propiedades físicas y mecánicas.

## Propiedades físicas.

Municipio	densidad básica	contracciones			coeficiente anisotropía	estabilidad dimensional
<i>Quercus sideroxyla</i>						
		radial	tangencial	volumétrica		
Santiago Papasquiario	pesada	muy alta	muy alta	alta	alto	estable
San Dimas	pesada	alta	muy alta	alta	muy alto	poco estable
Durango	pesada	muy alta	muy alta	muy alta	muy alto	poco estable
<i>Quercus rugosa</i>						
<i>Durango</i>	muy pesada	alta	muy alta	alta	muy alto	poco estable

## Propiedades mecánicas en condición verde.

municipio	dureza	flexión	compresión paralela	compresión perpendicular	cortante paralelo
<i>Quercus sideroxyla</i>					
Santiago Papsquiario	dura	rígida	moderadamente resistente	resistente	resistente
San Dimas	dura	rígida	moderadamente resistente	resistente	resistente
Durango	dura	rígida	poco resistente	resistente	resistente
<i>Quercus rugosa</i>					
Durango	muy dura	moderadamente rígida	moderadamente resistente	muy resistente	moderadamente resistente

## Propiedades mecánicas en condición seca.

Municipio	dureza	flexión	compresión paralela	compresión perpendicular	cortante paralelo
<i>Quercus sideroxyla</i>					
Santiago Papasquiario	dura	moderadamente rígida	moderadamente resistente	resistente	muy resistente
San Dimas	dura	muy rígida	moderadamente resistente	resistente	muy resistente
Durango	dura	muy rígida	resistente	muy resistente	muy resistente
<i>Quercus rugosa</i>					
Durango	muy dura	rígida	moderada resistente	muy resistente	moderada resistente

que en el blanco, mayor presencia de taninos en el rojo que en el blanco.

La madera es pesada en el encino rojo y muy pesada en el blanco, el tiempo de secado es menor en el rojo que en el blanco. La madera de *Q. rugosa* (encino blanco) es mucho más pesada que la madera de *Q. sideroxylla* (encino rojo) porque, al tener menos espacios vacíos en su interior, su contenido de humedad inicial es menor al que alcanza la madera de esta última. Esa misma condición de tener menores espacios vacíos en su interior y, al mismo tiempo, tener mayor cantidad de tñides que ocluyen los vasos, hacen mas lento el proceso de secado para el encino blanco.

Las diferencias entre individuos del mismo subgénero se dan en los resultados. En *Q. sideroxylla*, es notable la porosidad anular poco marcada en el árbol 22, en el que los radios multiseriados, son extremadamente anchos, de 600  $\mu\text{m}$  y 35 series; y en los otros cuatro son muy anchos de 18 a 24 series, los más delgados los presenta el árbol 1 de San Dimas, con 300  $\mu\text{m}$  y 18 series. El árbol 10 tiene las fibras más largas y las paredes más gruesas que los otros cuatro, fue el ejemplar con mayor dificultad en la obtención de cortes. La madera del árbol 22 requirió el mayor tiempo de ablandamiento de los cubos, mostró presencia de tñides en la mayoría de los vasos, comparado con los otros cuatro y tiene la contracción radial más alta (6.36%) y la contracción tangencial más baja, de los otros cuatro, por lo que es estable dimensionalmente.

En los dos ejemplares de *Quercus rugosa*, la porosidad con tendencia a anular, es más marcada en el árbol 11 que en el 12, en este último, los radios multiseriados son extremadamente anchos de 810  $\mu\text{m}$  y 69 series y en el árbol 11, los radios mutiseridos son muy anchos de 410  $\mu\text{m}$  y de 39 series.

La presencia de radios multiseriados, hace que la madera de encino sea poco preferida por la influencia que tienen en las contracciones, en el aserrío y en el secado (Panshin, 1970; Jane, 1970; De la Paz-Pérez *et al.*, 2005; Zavala, 2005). Sin embargo, como se demuestra en la presente investigación y en toda la literatura generada para este género, no todas las especies tienen los mismos valores, ni el mismo comportamiento físico, lo que es impor-

tante que se considere es los procesos de transformación. Por otro lado, los radios son elementos fácilmente visibles a simple vista y estos junto con la porosidad anular, hacen que el veteado y el brillo de la madera, sean de valor estético en cualquier plano en que sea expuesta, que el color de la madera presente tonalidades distintas entre los individuos, haciéndola atractiva en cualquiera de sus tres planos, pudiendo satisfacer diferentes gustos. En el plano radial dan brillo plateado, muy apreciado en ebanistería y chapa (Jane, 1970).

El tamaño, arreglo y abundancia de los elementos constitutivos (vasos, fibras, radios, parénquima) unido al ancho de los anillos y a la proporción de madera temprana y tardía, tienen influencia en las propiedades físicas, mecánicas y de secado de la madera (Kolmann y Coté, Jr., 1968; Panshin, 1970; Dinwoodie, 1985).

La madera es higroscópica por que tiene la propiedad de absorber y desprender humedad dependiendo del ambiente en que se encuentre. La humedad está ligada a los cambios dimensionales de la madera. Cuando esta pierde agua, se contrae y, cuando gana, se expande. Las contracciones tangenciales son 1.5 a 2.5 mayores que las radiales (Echenique-Manrique y Robles-Fernández-V., 1993). Aunque la magnitud de la contracción es muy variable según el tipo de madera, se puede considerar un valor promedio de 14% para la volumétrica; 7% para la tangencial y de 4% para la radial. La madera de angiospermas templadas, tanto en México como de Estados Unidos, sufre contracciones mayores que la de angiospermas tropicales y que la de coníferas de ambos países (Bárcenas y Dávalos, 1999).

La madera es un material higroscópico y la cantidad de humedad absorbida depende principalmente de la humedad relativa y la temperatura del ambiente. Muchas propiedades mecánicas de la madera aumentan significativamente si el contenido de humedad del material disminuye por debajo del punto de saturación de la fibra (aproximadamente 30%), por lo que es conveniente expresar los esfuerzos respecto a un contenido de humedad determinado (por ejemplo, 12% o 18%) para madera seca.





Las características físicas de ambas especies clasifican a la madera como de altas a muy altas; la densidad de *Q. sideroxyla* es alta (pesada) y la de *Q. rugosa* es muy alta (muy pesada). Las contracciones tangenciales de las dos especies son muy altas, lo mismo que el coeficiente de anisotropía; esto significa que es madera poco estable dimensionalmente. Los valores de las otras contracciones van de altos a muy altos para ambas especies. Las propiedades mecánicas en verde clasifican a la madera como muy dura, rígida, resistente a la compresión perpendicular y cortante y de poco resistente a

moderadamente resistente en compresión paralela a la fibra; mientras que las propiedades mecánicas en condición seca son duras, muy rígidas en flexión, resistentes en compresión perpendicular, muy resistente en cortante paralelo y de moderadamente resistente a resistente en compresión paralela (Tablas 6, 7, 12, 13).

Nájera *et al.* (2007) estudiaron *Q. sideroxyla* de la región de El Salto, P. N. y encontraron valores muy semejantes para todas las propiedades (Tablas 15 y 16). La madera de *Q. sideroxyla* de El Salto, P. N. es ligeramente más resistente en condición verde (5%) pero inferior en

Tabla 15. Comparación de las propiedades mecánicas en condición verde.

Especie	Flexión estática		Compresión paralela	Compresión perp.	Dureza Janka		Cortante paralelo	Resistencia al impacto	Referencia
	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	EMAX (Mpa)	ELP (Mpa)	Extremos (N)	Lateral (N)	EMAX (Mpa)	( $\mu\text{J}/\text{mm}^3$ )	
<i>Quercus sideroxyla</i>	67	8708	28	6.47	6090	6502	9.71	606	Nájera Luna <i>et al.</i> , 2007
<i>Quercus rugosa</i>	78	10535	30	9.02	7061	7208	10.10	---	Martínez y Ramírez, 2007
<i>Quercus sideroxyla</i>	65	10722	23	6.28	5590	5511	8.63	486	Este estudio
<i>Quercus rugosa</i>	63	8825	26	6.47	6649	6257	7.45	561	Este estudio

Tabla 16. Comparación de las propiedades mecánicas en condición seca (12%).

Especie	Flexión estática		Compresión paralela	Compresión perp.	Dureza Janka		Cortante paralelo	Resistencia al impacto	Referencia
	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	EMAX (Mpa)	ELP (Mpa)	Extremos (N)	Lateral (N)	EMAX (Mpa)	( $\mu\text{J}/\text{mm}^3$ )	
<i>Quercus sideroxyla</i>	88	10693	41	9.02	7747	7914	14.02	628	Nájera Luna <i>et al.</i> , 2007
<i>Quercus rugosa</i>	84	9859	39	10.59	9620	9453	14.02	---	Martínez y Ramírez, 2007
<i>Quercus sideroxyla</i>	114	13897	51	8.83	7718	8051	14.02	476	Este estudio
<i>Quercus rugosa</i>	102	11487	41	17.55	12297	10199	10.00	593	Este estudio

resistencia y rigidez en condición seca (12%). Los valores del módulo de elasticidad en ambas condiciones es bastante más alto (30% en ambas condiciones) para la madera de los municipios estudiados en este trabajo. Los valores de las propiedades físicas son muy semejantes, conforme a lo registrado por los mismos autores. Para el caso de *Q. rugosa*, Martínez y Ramírez (2007) encontraron valores de las propiedades mecánicas ligeramente más altos para la condición verde y sensiblemente inferiores en la condición seca a 12% de *CH*. Lo que esto significa es que el efecto de la humedad en las propiedades mecánicas de las especies estudiadas en este trabajo es más pronunciado que para las mismas especies de otras regiones del estado.

Con respecto a las características de secado, Rodríguez (2007) estudió el *Q. sideroxylla* en un presecador y determinó valores de tasas de secado ligeramente superiores a las del estudio al aire libre llevado a cabo aquí. La tasa de secado diaria que encontró fue 1.72%/día. Aviña *et al.* (2002) estudiaron la misma especie al aire libre y encontraron una tasa de secado al aire libre de 1,24%/día, 25% mayor que la encontrada aquí.

## RECOMENDACIONES

En la madera de encino es importante considerar las diferencias anatómicas y de propiedades tecnológicas que existen entre subgéneros y entre individuos de la misma especie en los procesos de transformación ya que esta variación es la que tiene mayor influencia en su comportamiento en los tiempos y tipo de aserrío, la secuela de secado apropiada, resistencias, para darle los usos más apropiados, etc. (Zavala, 2003). La aplicación de tecnología de acuerdo con su anatomía y sus propiedades físicas y mecánicas puede hacer que la madera de encino ocupe un lugar importante en la industria, aprovechando que México tiene especies como *Q. sideroxylla* que presenta características excelentes para ser destinada a usos valiosos que beneficien a los propietarios del recurso y a la economía nacional.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a los Sres. Hugo y Antonio Mancinas y a los ejidatarios, dueños de los predios donde se hizo

la recolección del material de estudio, por las facilidades brindadas. A la M. en C. Lourdes Aguilar por la identificación de las muestras de herbario y la determinación de las especies. Al M. en C. Abel García Arévalo por encabezar las actividades de recolección de los árboles para el estudio. A la Fís. Rosario Landgrave de la Red de Ecología Funcional del Instituto de Ecología, A.C., por los mapas de los sitios de recolección y de distribución de los encinos en Durango y en México.

Este trabajo forma parte del Proyecto de investigación Fondo Mixto CONAFOR-CONACYT 032697: "Caracterización tecnológica de las especies de pino y encino con valor comercial del estado de Durango" que fue financiado en parte por la CONAFOR-CONACYT. Este proyecto se realizó de manera conjunta con la Asociación de Industriales del Estado de Durango, A.C. (AIFDAC) y por parte de la misma fungió como responsable administrativo del proyecto el Ing. Gerardo Andrade Martínez con el apoyo de la Sra. Laura Godina.

## REFERENCIAS

- ASTM-D-143. 2000. Standard methods of testing small clear specimens of timbers. ASTM International. West Conshohocken, PA, Estados Unidos. DOI: 101520/D0143.
- ASTM-D2915. 1993. Standard practice for evaluating allowable properties for grades of structural lumber. ASTM International. West Conshohocken, PA, Estados Unidos.
- Aviña B., L.J., M.A. Pérez., A. Tomita y M.R. Andrade 2002. Presecado de madera comercial y cuadrado de encino rojo spp. Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Folleto Científico Núm. 2. Durango, Durango; México. 16 p.
- Bárceñas P., G.M. y R. Dávalos S. 1999. Importancia de la lignina en las contracciones de la madera: revisión bibliográfica. *Madera y Bosques* 5(1):13-26.
- Chattaway, M. 1932. Proposed standards for numerical values used in de scribing woods. *Tropical Woods* 9:20-28.
- Dávalos S., R. y G. Bárceñas P. 1998. Clasificación de las propiedades mecánicas en condición verde. *Madera y Bosques* 4(1):65-70.



- Dávalos S., R. y G. Bárcenas P. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas en condición seca. *Madera y Bosques* 5(1):61-69.
- De la Paz-Pérez O., C. 1985. Variación en la estructura anatómica de los encinos y su efecto en el aprovechamiento de los mismos. II Seminario Nacional Sobre Utilización de Encinos. Pub. Esp. Inst. Nac. Invest. For. No. 49:291-312. México.
- De la Paz-Pérez O., C., R. Dávalos Sotelo y E. Guerrero C. 2000. Aprovechamiento de la madera de encino en México. *Madera y Bosques* 6(1):3-13.
- De la Paz-Pérez O., C., R. Dávalos S. y A. Quintanar I. 2005. Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos (*Quercus*) de Durango, México. *Madera y Bosques* 11(2):49-68.
- De la Paz Pérez O., C. y R. Dávalos S. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80.
- Desch, H.E. 1991. *Timber, its structure and properties*. Macmillan. 424p.
- Dinwoodie, J.H. 1985. *Timber, a review of the structure, mechanical properties relationship*. I. McGraw-Hill. Nueva York. 315p.
- Echenique-Manrique, R., J. Barajas, L. Pinzón y V. Pérez-Morales. 1975. Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Ver. 1. Características tecnológicas de la madera de 10 especies. INIREB. 66p.
- Echenique-Manrique, R. y F. Robles-Fernández-V. 1993. *Ciencia y tecnología de la madera I. Textos Universitarios*. Universidad Veracruzana. México. 137p.
- Gobierno del Estado de Durango. 2011. Programa de ordenamiento ecológico del estado de Durango. Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Durango, Segundo Semestre. Tomo CCXXV, No.6. 25 de julio de 2011, Durango, Dgo. 105p.
- González V., L.M. 1986. Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Jalisco. Colección Flora de Jalisco. Instituto de Botánica. Universidad de Guadalajara. 240p.
- IAWA Committee. 1937. Standard terms of length of vessel members and wood fibers. *Tropical Woods* 51:21-22.
- IAWA Committee. 1939. Standard terms of size for vessel diameter and ray width. *Tropical Woods* 59:51-52.
- IAWA Committee. 1964. Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. Committee on Nomenclature IAWA. Suiza. 186p.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* n.s. 10(3):219-332.
- INAFED. s/f. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Durango. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM10durango/mediofisico.html>
- Inegi. 2011. Panorama sociodemográfico de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 104 p.
- Inegi. 2013. Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 744p.
- Inegi. 2014a. Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 774 p.
- Inegi. 2014b. Anuario estadístico y geográfico de Durango. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 462 p.
- Jane, F. W. 1970. *The structure of wood*. Adam & Charles Black. Londres. 478p.
- Johansen, D.A. 1940. *Plant microtechnique*. McGraw Hill. Nueva York. 523p.
- Kollmann, F.P. W.A. Coté. 1968. *Principles of wood science and technology*. I. Solid Wood. Springer-Verlag. Nueva York. 592p.
- López C., M. de L., J. Márquez G. y G. Murguía S. 2005. Técnicas para el estudio del desarrollo en Angiospermas. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 177p.
- Martínez, M. 1981. Los encinos de México. Comisión forestal. Técnica Manejo 8. México. Mich. 358p.
- Martínez R., V. y A. M. Ramírez S. 2007. Estudio tecnológico en la madera de dos especies de encino de la región de El Salto, Durango” Tesis Profesional Instituto Tecnológico de El Salto El Salto, P. N., Durango

- Miranda, F. y E. Hernández-Xolocotzi, E.H. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Colegio de Postgraduados, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F. 176 p.
- Munsell Color. 1990. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland. 17p.
- McVaugh, R. 1974. Flora novo-galiciana. Contributions from the University of Michigan Herbarium 12(1)3:1-93.
- Nájera J.A., J.L. Escárpita, J.A. Honorato Salazar, F.J. Hernández, J.J. Graciano L. y R. de la Cruz. 2007. Propiedades físico-mecánicas de la madera en *Quercus sideroxylla* Hump & Bonpl., de la región de El Salto, Durango. *TecnoINTELECTO* 4(1):13-18.
- Nixon, K.C. 1993. Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. *Annales des Sciences Forestieres* 50(1):25-34.
- Panshin, A.J. y C. de Zeeuw. 1970. Textbook of wood technology I. McGraw-Hill. Nueva York. 705p.
- Rodríguez-Reta, I. 2007. Aserrío y secado de la madera de *Quercus sideroxylla* en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Tesis Maestría en Ciencias, Instituto Tecnológico de El Salto, El Salto, P.N. Dgo.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D. F. 431p.
- Sandoval Z., E. 2005. Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal. Cuadernos 38. Instituto de Biología. UNAM. 278p.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2014. Normales climatológicas. Estado de Durango. Periodo 1951-2010. <http://smn.cna.gob.mx>
- Tapia T., N.A., C. de la Paz-Pérez O., A. Román G., A. Quintanar I., E. García M. y F. Cruz S. 2014. Histoquímica, contenido de fenoles totales y actividad antioxidante de la hoja y de la madera de *Litsea glaucescens* Kunth (Lauraceae). *Madera y Bosques* 20(3):125-137.
- Torelli, L. 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. SARH-INIF. México. 73p.
- Tortorelli, L. 1956. Maderas y bosques argentinos. ACME. Buenos Aires. 910p.
- Trelease, W. 1924. The American oaks. Proceedings of the National Academy of Sciences 20:1-238.
- Valencia A., S. y M. Gómez C. 2002. Catálogo de encinos del estado de Guerrero. Libro Técnico No. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 180p.
- Zavala C., F. 1995. Encinos y robles, notas fitogeográficas. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 44p.
- Zavala Z., D. 2003. Efecto del sistema de aserrío tradicional en las características de la madera de encino. *Madera y Bosques* 9(2):29-39.

Manuscrito recibido el 5 de octubre de 2014.

Aceptado el 26 de octubre de 2015.

Este documento se debe citar como:

De la Paz P.O., R. Dávalos-Sotelo, R. Limón G. y P.A. Quintanar I. 2015. Características tecnológicas de la madera de dos especies de *Quercus* de Durango, México. *Madera y Bosques* 21(3):19-46.