



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA DE MONTE BAJO  
DE DOS ESPECIES DE *Quercus* DEL VOLCÁN  
POPOCATÉPETL**

**TESIS**

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN CIENCIAS FORESTALES**

Presenta:

**JOSÉ OCTAVIO ORTEGA GUTIÉRREZ**

Bajo la supervisión de:

**Dra. Ma. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA**

Chapingo, Texcoco, Estado de México,  
junio de 2017



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



**CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA DE MONTE BAJO DE DOS  
ESPECIES DE *Quercus* DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL**

Tesis realizada por **JOSÉ OCTAVIO ORTEGA GUTIÉRREZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

DIRECTOR:



---

Dra. Ma. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

ASESOR:



---

DR. ARTURO ANTONIO ALVARADO SEGURA

ASESOR:



---

DR. ROBERTO MACHUCA VELASCO

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	iii
LISTA DE CUADROS .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vi
DEDICATORIAS .....	vii
AGRADECIMIENTOS .....	viii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo General.....	4
2.2 Objetivos específicos .....	4
3 REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
3.1 Método de monte bajo .....	5
3.2 Propiedades de la madera de monte bajo .....	6
3.3 Características y uso de la madera de <i>Q. laurina</i> y <i>Q. obtusata</i> .....	7
3.3.1 <i>Quercus laurina</i> .....	7
3.3.2 <i>Quercus obtusata</i> .....	8
4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
4.1 Área de estudio.....	9
4.2 Obtención de las muestras .....	10

4.3	Descripción anatómica.....	13
4.4	Porcentaje de elementos constitutivos .....	14
4.5	Disociados .....	15
4.6	Densidad básica, contenido de humedad, contracción volumétrica y punto de saturación.....	16
4.7	Contracciones lineales y relación de anisotropía .....	17
4.8	Poder calorífico.....	18
5	RESULTADOS .....	20
5.1	Descripción anatómica.....	20
5.2	Proporción y dimensión de elementos celulares constitutivos .....	25
6	DISCUSIÓN.....	32
7	CONCLUSIÓN.....	36

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Proporción de elementos constitutivos (%). .....	26
Cuadro 2. Dimensiones de fibras.....	26
Cuadro 3. Dimensiones y cuenta de los elementos de vaso. ....	27
Cuadro 4. Amplitud y cuenta de rayos. ....	28
Cuadro 5. Propiedades del CPC1.....	29
Cuadro 6. Propiedades del CPC2.....	30
Cuadro 7. Contracciones, hinchamientos y relación de anisotropía del CPP. ...	31
Cuadro 8. Anatomía, morfometría y propiedades físicas comparadas de <i>Q. laurina</i> . ....	33
Cuadro 9. Anatomía, morfometría y propiedades físicas comparadas de <i>Q. obtusata</i> . ....	34

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sitios de muestreo. ....	9
Figura 2. <i>Quercus obtusata</i> (Encino de hoja ancha) y <i>Quercus laurina</i> (Tetzmolle). .....	10
Figura 3. Brotes, trozas y rodajas. ....	11
Figura 4. Conjunto de probetas cúbicas número uno (CPC1). ....	12
Figura 5. Conjunto de probetas cúbicas número dos (CPC2) y tres (CPC3). ...	12
Figura 6. Conjunto de probetas prismáticas (CPP). ....	13
Figura 7. Interface del módulo Análisis del paquete de cómputo LAS 3.8 (Leica Microsystems). ....	14
Figura 8. Registro de masa y volumen en campo y laboratorio. ....	17
Figura 9. Conjunto de probetas prismáticas. ....	18
Figura 10. Astillas, calorímetro y poder calorífico. ....	19
Figura 11. Zonaciones de crecimiento y porosidad. ....	20
Figura 12. Elementos de vaso. ....	21
Figura 13. Tíldes y traqueidas vasicéntricas. ....	22
Figura 14. Detalles de las fibras. ....	24
Figura 15. Parénquima axial, radial e inclusiones. ....	25

## **DEDICATORIAS**

Aprovecho este espacio para agradecer a mi Madre y a Nicolás. Sepan que estoy satisfecho con todo lo que me han facilitado. Los triunfos que he alcanzado se los debo a ustedes, es por eso que les dedico todos mis logros y por supuesto les dedico sus nietos.

A mis engendros y su mamá les debo, por lo menos, lo que mis padres han procurado para mí, ustedes saben que mis reflexiones y acciones están dedicadas a nuestra familia.

Y al tío Bob, que su compañía, apoyo y rivalidad fraternal también han contribuido a mi formación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología el apoyo económico brindado a través de la beca otorgada.

Se agradece a la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo económico y por facilitar sus instalaciones.

Pero sobre todo agradezco a mi comité asesor, profesores, compañer@s, personal de la Universidad y todas las personas que contribuyeron académica, intelectual y moralmente en la realización de este trabajo y en mi desarrollo personal durante mi estancia en Chapingo.

A tod@s, gracias.



## DATOS BIOGRÁFICOS



### Datos personales

Nombre	José Octavio Ortega Gutiérrez
Fecha de nacimiento	2 de febrero de 1985
Lugar de nacimiento	Puebla, Puebla, México
No. Cartilla militar	N/A
CURP	OEGO850202HPLRTC04
Profesión	Biólogo
Cedula profesional	7661637

### Desarrollo académico

Bachillerato	Escuela Preparatoria Emiliano Zapata Universidad Autónoma de Puebla Periodo 2000-2003.
Licenciatura	Escuela de Biología Universidad Autónoma de Puebla Licenciado en Biología Generación 2003.

## RESUMEN

Caracterización de la madera de monte bajo de dos especies de *Quercus* del volcán Popocatepetl

México cuenta con al menos 179 especies del género *Quercus*, el cual abarca algunas de las especies más importantes para la silvicultura de monte bajo. La implementación de dicho sistema así como la diferenciación de tratamientos y uso final con base en las características tecnológicas de la madera, podría contribuir a optimizar la utilización de los bienes y servicios proporcionados por este recurso. En este trabajo se evalúan las características anatómicas y algunas propiedades físicas de la madera de brotes de *Quercus laurina* y *Quercus obtusata*, especies utilizadas por las comunidades aledañas al volcán Popocatepetl, en Puebla, México, para la obtención de carbón vegetal y leña. En general, las características anatómicas reportadas en este trabajo coinciden con descripciones precedentes de la madera de árboles indemnes, salvo por la presencia de engrosamientos helicoidales en fibras y porosidad anular observadas en *Quercus obtusata*. Respecto a las propiedades físicas, se registraron valores inferiores a los ya reportados por otros autores. Se sugiere llevar a cabo ensayos silvícolas del método de monte bajo sobre especies del género *Quercus* y evaluar las características tecnológicas de la madera resultante.

Palabras clave: anatomía; brotes; propiedades físicas; *Quercus laurina*; *Quercus obtusata*

## ABSTRACT

Characterization of coppiced wood from two *Quercus* species from Popocatepetl volcano

Mexico has at least 179 species of the genus *Quercus*, which includes some of the most important species for coppice forestry. The implementation of this system as well as the differentiation of treatments and end use based on the technological characteristics of wood, could help to optimize the use of the goods and services provided by this resource. This work evaluates the anatomical characteristics and some physical properties of coppiced wood from *Quercus laurina* and *Quercus obtusata*, species used by the communities surrounding the Popocatepetl volcano in Puebla, Mexico, to obtain charcoal and firewood. In general, the anatomical characteristics reported in this work coincide with previous descriptions of the wood from uncut trees, except for the presence of helical thickenings in fibers and annular porosity observed in *Quercus obtusata*. Regarding physical properties, values lower than those previously reported by other authors were recorded. It is suggested to carry out silvicultural trials of coppicing method on *Quercus* species and to evaluate the technological characteristics of the resulting wood.

Keywords: anatomy; sprouts; physical properties; *Quercus laurina*; *Quercus obtusata*

---

Director: Dra. Ma. Amparo Máxima Borja de la Rosa  
Master's thesis in Forest Sciences, Universidad Autónoma Chapingo  
Author: José Octavio Ortega Gutiérrez  
Advisor: Dra. Ma. Amparo Máxima Borja de la Rosa

# 1 INTRODUCCIÓN

En México, las localidades rurales (menos de 2500 habitantes) manifiestan los mayores indicadores de pobreza (Boltvinik & Damián, 2016). Para estas comunidades los recursos forestales representan una fuente de bienes de provecho local o para la obtención de ingresos a través del comercio de sus productos (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2001). Uno de los recursos forestales más destacados son las especies del género *Quercus*, de las cuales se puede aprovechar prácticamente cada estructura de la planta, siendo su madera la más valorada (Luna-Jose, Montalvo-Espinosa, & Rendon-Aguilar, 2003). Lo anterior puede ser constatado en los anuarios estadísticos de la producción forestal, que en su entrega más reciente posiciona a la madera de encino en segundo lugar de aprovechamiento, aportando 10.8 % (0.7 millones m<sup>3</sup> rollo) de la producción forestal maderable nacional (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2016).

México cuenta con al menos 179 especies de encinos, de las cuales 90 pertenecen a la sección *Quercus* (encinos blancos), 85 a la sección *Lobatae* (encinos rojos) y 4 a la sección *Protobalanus* (encinos intermedios) (Valencia & Flores-franco, 2006). Cada sección posee características que deberían ser tomadas en cuenta para designar los tratamientos y destinos de su madera (De la Paz Pérez & Dávalos-Sotelo, 2008; De la Paz Pérez, Dávalos, & Guerrero, 2000). Sin embargo, en 2015 su producción maderable a nivel nacional (660,948 m<sup>3</sup> rollo) se destinó principalmente a escuadría (215,956 m<sup>3</sup>) y combustibles (317,443 m<sup>3</sup>), en forma de leña (106,983 m<sup>3</sup>) y carbón (210,460 m<sup>3</sup>) (SEMARNAT, 2016), sin indicios de que se haya hecho una distinción técnica para destinar el producto de acuerdo a sus propiedades. Por otra parte, el éxito del encino como una fuente sostenible de madera depende de prácticas silvícolas que maximicen la acumulación de biomasa por unidad de área (Aguilar, Ghilardi, Vega, Skutsch, & Oyama, 2012). Debido a las propiedades de su madera, a su productividad y a la flexibilidad de su manejo, el género *Quercus* abarca algunas

de las especies más apropiadas para ser aprovechadas bajo el Método Silvícola de Monte Bajo (MSMB) (Dickmann, 2006; Gutiérrez Galindo, Bravo, Sánchez, Serrada, & Allué Camacho, 2003; Matula et al., 2012; Ríos-Saucedo et al., 2016; Serrada, 2002). El MSMB aprovecha la capacidad de regeneración vegetativa de algunas especies para establecer una masa compuesta completa o mayoritariamente de brotes (Hawley & Smith, 1972). Dicho método de aprovechamiento forestal es uno de los más antiguos, y fue la principal fuente de madera combustible en otros países, mayoritariamente europeos (Daniel, Helms, & Baker, 1982; Peterken, 1981). No obstante, el MSMB fue abandonado a medida que sus productos fueron reemplazados por combustibles fósiles y sus derivados (Rackham, 1967). Actualmente, ante la necesidad de aminorar la dependencia de combustibles fósiles y reducir la emisión de gases de efecto invernadero, la cantidad de publicaciones enfocadas en el MSMB y su potencial como fuente de biomasa destinada a la generación de energía ha incrementado (Faasch & Patenaude, 2012; Hauk, Knoke, & Wittkopf, 2014).

La implementación del MSMB y la diferenciación de tratamientos y destinos de la madera con fundamento en sus características tecnológicas podría contribuir a optimizar el aprovechamiento de los bienes y servicios proporcionados por las especies del género *Quercus*. Esto podría generar un incremento en el valor de sus productos y disminuir la intensidad de su explotación en beneficio de los actores involucrados en las cadenas productivas de este recurso. Actualmente se cuenta con un acervo basto de información referente a las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de las especies del género *Quercus* de mayor relevancia comercial. No obstante, se carece de estudios enfocados en la madera de brotes de monte bajo, la cual, históricamente ha sido catalogada como de calidad inferior y se ha relegado a la producción de energía (Daniel, Helms, & Baker, 1982). Sin embargo, estudios comparativos entre la madera de brotes y árboles monofustales originados de semillas, ha demostrado que no siempre la madera de brotes es inferior para todas sus características (Luostarinen, Huotari, & Tillman-Sutela, 2009; Sharma et al., 2005; Zbonak, Bush, & Grzeskowiak, 2007). En ese sentido, se presentan los resultados del estudio

de las características anatómicas y algunas propiedades físicas de la madera de brotes de *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. y *Quercus obtusata* Humb. & Bonpl., dos especies aprovechadas por las comunidades aledañas al volcán Popocatepetl en el estado de Puebla, México, principalmente para la obtención de carbón vegetal y leña.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de brotes de *Quercus laurina* y *Quercus obtusata* para orientar la designación de sus usos potenciales, y de esta manera, aportar argumentos para valorar la pertinencia de implementar el Método Silvícola de Monte Bajo en especies del género *Quercus* que vegetan en México.

### 2.2 Objetivos específicos

Respecto a la madera de brotes de *Quercus laurina* y *Quercus obtusata*, los objetivos particulares fueron:

- Describir las características microscópicas conforme a las clasificaciones propuestas por Chattaway (1932) e IAWA Committee (1937, 1939, 1989).
- Estimar la proporción de elementos celulares constitutivos.
- Medir las dimensiones de las fibras y elementos de vaso.
- Estimar la densidad básica, contenido de humedad, contracción volumétrica y punto de saturación de la fibra.
- Medir las contracciones lineales.
- Establecer la relación de anisotropía
- Medir el poder calorífico

## 3 REVISIÓN DE LITERATURA

### 3.1 Método de monte bajo

La silvicultura es un componente fundamental de las ciencias forestales y su objetivo es producir y mantener un bosque de forma que le proporcione al propietario los beneficios más elevados en un tiempo determinado. En ese sentido, el método silvícola de monte bajo, aprovecha la capacidad de regeneración vegetativa de algunas especies para establecer una masa compuesta completa o mayoritariamente de rebrotes a la cual se le denomina monte bajo o tallar (Hawley & Smith, 1972).

Dicho método es una de las prácticas silvícolas más antiguas y durante muchos años fue la principal fuente de madera combustible en muchos países, principalmente europeos (Daniel et al., 1982; Peterken, 1981). Sin embargo, a mediados del siglo XIX la importancia del método de monte bajo comenzó a declinar a medida que muchos productos tradicionales fueron sustituidos. Finalmente, después de la Segunda Guerra Mundial los programas de electrificación rural, el gas, el petróleo y sus derivados remplazaron la leña como principal combustible (Rackham, 1967). Por lo tanto, muchos montes bajos quedaron abandonados por la decadencia del precio de sus productos (Evans, 1992; Serrada, 2002).

El embargo petrolero de la Organización de Países Exportadores de Petróleo en 1973, repercutió en la actitud de los países importadores respecto a la energía, propiciando un financiamiento sin precedentes para la investigación en cultivos energéticos (Dickmann, 2006). Actualmente, en la unión Europea se está evaluando la viabilidad del monte bajo como fuente de biomasa destinada a la generación de energía, con la finalidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir los gases de efecto invernadero (Faasch & Patenaude, 2012; Hauk et al., 2014).



En México la investigación relacionada con el monte bajo se ha enfocado al estudio de la respuesta de algunas comunidades vegetales a perturbaciones por actividades agrícolas (Miller & Kauffman, 1998), el fuego (Alanís-Rodríguez et al., 2008, 2011) y el pastoreo (Álvarez-Yépiz, Martínez-Yrizar, Búrquez, & Lindquist, 2008), resaltando su importancia para la conservación de características florísticas originales en sitios cuya vegetación ha experimentado perturbación crónica. También se ha estudiado la capacidad de rebrote de especies de distribución nacional, por ejemplo, Negreros-Castillo y Hall (2000) hallaron una relación positiva entre el número y altura de brotes de tres años de edad con el diámetro del tocón, en diecisiete especies forestales tropicales. Sin embargo los trabajos nacionales dedicados al monte bajo son escasos y más aún aquellos enfocados en especies del género *Quercus*. A la fecha, quizá la investigación de Aguilar et al. (2012) para determinar la productividad de un monte bajo de dos especies del género *Quercus* sea el único trabajo enfocado en el aprovechamiento de rebrotes de encino en México.

### **3.2 Propiedades de la madera de monte bajo**

Un factor determinante para destinar la producción de un monte bajo es conocer las propiedades de su madera. Históricamente se ha caracterizado la madera de monte bajo como de calidad inferior y se ha relegado a la generación de energía. Comparaciones entre la madera de árboles unifustales de la primera rotación y madera de rebrotes de la segunda rotación de *Eucalyptus globulus* Labill. de 18 años, concluyeron que la madera de rebrotes fue 2.5 % menos densa que la de árboles unifustales (Miranda & Pereira, 2015). Sin embargo, otros estudios han demostrado que no siempre la madera de monte bajo es inferior para todas sus características. Por ejemplo, la amplitud de los anillos anuales, la longitud y anchura de las fibras, así como la densidad de la madera de rebrotes de 25 años de *Abedul* (*Betula pubescens* Ehrh.) no fueron significativamente diferentes a las características de la madera de árboles unifustales, lo que sugiere un uso indistinto para la producción de pulpa, con la diferencia de que el turno es mucho

más corto bajo un sistema de monte bajo (Luostarinen et al., 2009). De forma similar la madera de rebrotes de entre 10 y 12 años de edad y la madera de árboles unifustales de la misma edad de *Eucalyptus tereticornis* Sm. puede emplearse para los mismos propósitos debido a que sus características físicas y mecánicas no son significativamente diferentes (Sharma et al., 2005).

Al estimar la relación alométrica y productividad de los rebrotes de especies de encino empleadas para la producción de carbón vegetal en la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México, Aguilar et al. (2012) reportaron que la densidad básica de la madera de rebrotes de *Quercus laeta* Liebm. (0.58 g/cm<sup>3</sup>) fue inferior que el rango de valores reportados en la literatura (de 0.68 g/cm<sup>3</sup> a 0.75 g/cm<sup>3</sup>). Mientras que la densidad básica de la madera de rebrotes de *Quercus castanea* Née. (0.64 g/cm<sup>3</sup>) se encuentre dentro del rango reportado previamente para esa especie (de 0.63 g/cm<sup>3</sup> a 0.75 g/cm<sup>3</sup>), reseñando que tanto el contenido de humedad como la densidad básica influyen en la eficiencia de conversión y propiedades del carbón vegetal.

### **3.3 Características y uso de la madera de *Q. laurina* y *Q. obtusata***

#### **3.3.1 *Quercus laurina***

Las características anatómicas de su madera han sido descritas por Aguilar-Rodríguez & Castro-Plata (2006); De la Paz Pérez & Dávalos-Sotelo (2008); De la Paz Pérez & Quintanar Isaías (2001); De la Paz Pérez, Vélez, & Ceja (2006); Honorato Salazar & Fuentes López (2001); Ruiz-Aquino, González-Peña, Valdez-Hernández, & Romero-Manzanares (2016) y Valencia y Barajas-Morales (1995). Sus resultados se resumen en el Cuadro 8

Su madera se emplea como leña, carbón, para la fabricación de cercas, cabos, arados, redilas y vaquetas de tambor (Arizaga, Cruz, Cabrales, & González, 2009). No obstante, por su excelente comportamiento durante el maquinado (Velázquez et al., 2013), su madera ha sido catalogada como apropiada para ser

utilizada por la industria maderera en la elaboración de productos terminados como molduras, lambrines, parquet y muebles (Flores-Velázquez, Rangel-Piñón, Quintanar-Olguin, Fuentes-López, & Vázquez-Silva, 2007). Su tenacidad (280  $\mu\text{J}/\text{mm}^3$ ) está notablemente influenciada por su densidad básica (Dávalos-Sotelo, Pérez-Olvera, & Bárcenas Pazos, 2010)

### **3.3.2 *Quercus obtusata***

Las características anatómicas de su madera han sido descritas por Bucio Sánchez & Quintero Sánchez (1994); Chávez-romero, Aguilar-rodríguez, & Terrazas (2010); De la Paz Pérez & Dávalos-Sotelo (2008); De la Paz Pérez et al. (2006) y Honorato Salazar & Fuentes López (2001). Sus resultados se resumen en el Cuadro 9

Su madera se emplea como leña, carbón, para la fabricación de postes, horcones, cabos, toneles y vigas; en el curtido de pieles; con fin medicinal y extracción de celulosa para papel (Arizaga et al., 2009).

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Área de estudio.

Las muestras fueron colectadas al pie de la cara nororiental del volcán Popocatepetl entre los 19°02' 25.03" y 19°03' 31.45" latitud norte y los 98°32' 16.17" y 98°33' 42.64" longitud oeste; a altitudes de entre 2760 y 3035 msnm; en territorio del ejido Santiago Xalitzintla, municipio San Nicolás de los Ranchos, estado de Puebla (Figura 1). Las características de la vegetación del sitio varían desde bosque de pino hasta vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [INEGI], 2013). Su clima es semifrío, subhúmedo con verano fresco largo. La temperatura media anual de la zona oscila entre 5° y 12° Celsius con una precipitación media anual de 800 a 1200 mm (García, 1998), sobre suelos de tipo regosol eútrico de textura media con fase física lítica, y litosol de textura gruesa (Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias [INIFAP], 2001).

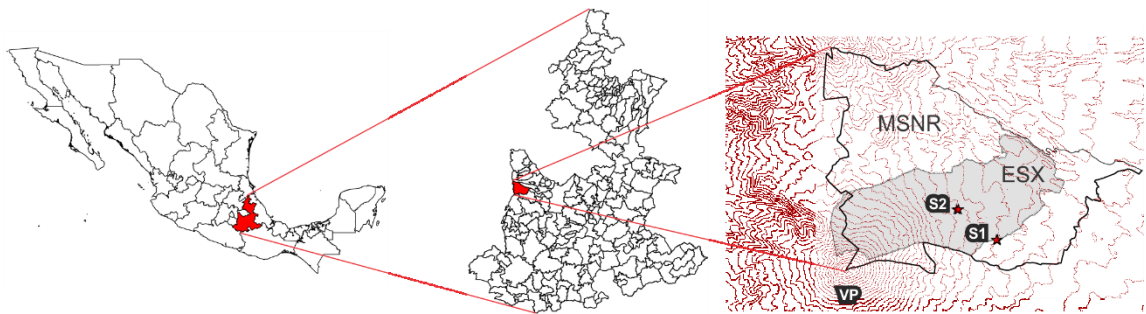


Figura 1. Sitios de muestreo.

Ubicación de los sitios de muestreo al pie de la cara nororiental del Volcán Popocatepetl (VP), en el Ejido Santiago Xalitzintla (ESX), Municipio San Nicolás de los Ranchos (MSNR). Las muestras de *Q. obtusata* fueron colectadas en el Sitio 1 (S1), coordenadas 19°02'26.54" latitud norte, 98°32'18.35" longitud oeste. Las muestras de *Q. laurina* fueron colectadas en el Sitio 2 (S2), coordenadas 19° 3'31.03" latitud norte, 98°33'39.54" longitud oeste.

## 4.2 Obtención de las muestras

Se aprovechó el derribo de encinos asociado a la actividad carbonera de la zona para extraer muestras de la madera de ocho brotes, cuatro de *Quercus laurina* (Tetzmolle) y cuatro de *Quercus obtusata* (encino de hoja ancha), cada uno procedente de un tocón diferente (Figura 2). La edad promedio de los brotes al momento de ser derribados fue de 21.5 años a partir del último aprovechamiento con un promedio de 22 cm de diámetro a 1.3 m de distancia de la cima del tocón a partir del cual se generó.



Figura 2. *Quercus obtusata* (Encino de hoja ancha) y *Quercus laurina* (Tetzmolle). A la izquierda se muestra los brotes originados por el desmoche de un árbol de *Q. obtusata*. A la derecha, brotes de tocón de *Q. laurina*.

De cada brote se obtuvieron tres trozas de 20 cm de grosor, la primera basal (T1), la segunda a 1.3 m de la base (T2) y la tercera intermedia entre la segunda troza y el ápice del brote (T3).

Cada troza fue seccionada en tres rodajas de 5 cm de grosor, la primera (R1) fue destinada a la obtención de probetas para estudio de densidad y poder calorífico, la segunda (R2) para estudio de densidad y descripción anatómica y la tercera (R3) para la evaluación de contracciones lineales (Figura 3).

En el sitio de colecta, de la rodaja R1 de cada troza, se extrajeron dos probetas cúbicas de 2 cm por lado, una cercana a la médula y una cercana a la corteza. Las probetas resultantes fueron denominadas conjunto de probetas cúbicas número uno (CPC1) (Figura 4). Las rodajas R2 y R3, así como los restos de R1 de cada una de las trozas, fueron envueltas en película elástica de polietileno de baja densidad para evitar pérdida de humedad durante su traslado al aserradero.

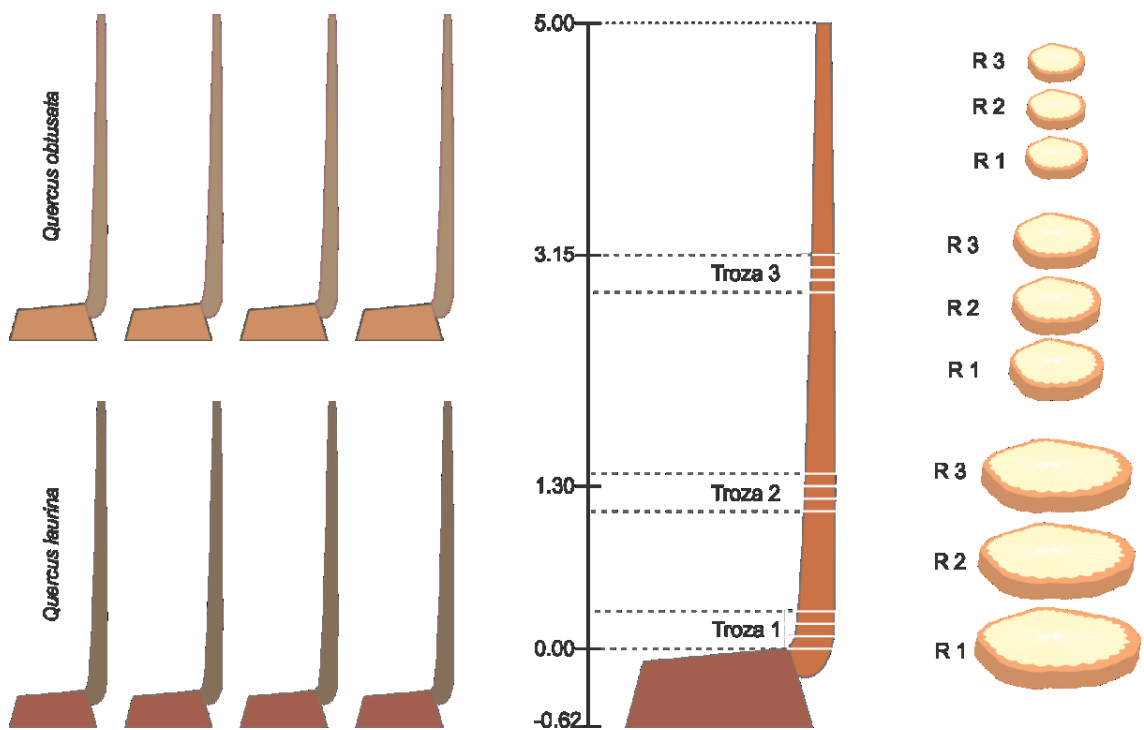


Figura 3. Brotes, trozas y rodajas. Visualización del número de brotes y altura a la que fue colectada cada troza. En total se obtuvieron 72 rodajas (R1:3).



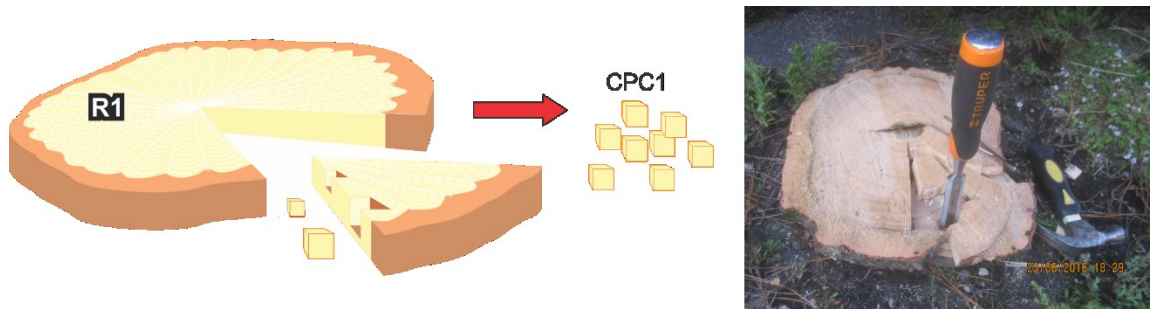


Figura 4. Conjunto de probetas cúbicas número uno (CPC1).  
Las probetas fueron extraídas de cada rodaja 1 (R1) empleando formón y martillo.

En el aserradero, las rodajas R2 fueron marcadas y cortadas para obtener el mayor número posible de probetas cúbicas de 2cm por lado con los tres planos típicos. De las 779 probetas resultantes, fueron reservadas 712 para el estudio de densidad, este grupo fue denominado como conjunto de probetas cúbicas número dos (CPC2). Las otras 67 probetas fueron seleccionadas por presentar los mejores cortes típicos y se designaron a la elaboración de preparaciones permanentes. Este conjunto se constituyó con una probeta próxima a la médula, una próxima a la corteza y cuando fue posible, una probeta intermedia de cada una de las rodajas R2. Este grupo fue denominado conjunto de probetas cúbicas número tres (CPC3) (Figura 5).

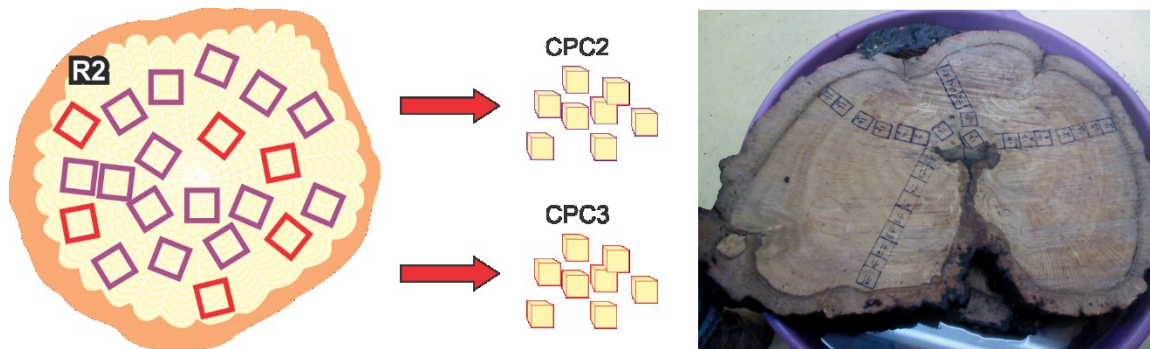


Figura 5. Conjunto de probetas cúbicas número dos (CPC2) y tres (CPC3).  
Los rayos curvos y la médula excéntrica de la mayoría de las rodajas no permitieron hacer trazos cardinales regulares.

Las rodajas R3 fueron marcadas en su plano transversal con el mayor número posible de rectángulos de 2 x 5 cm para obtener probetas prismáticas (2 x 2 x 5 cm) destinadas a ensayos de contracciones lineales. Las probetas para medir contracción radial fueron marcadas orientando su eje mayor paralelo a los rayos, mientras que la contracción tangencial se registró en probetas con el eje mayor perpendicular a los rayos. En total se obtuvieron 433 probetas que fueron denominadas conjunto de probetas prismáticas (CPP) (Figura 6).

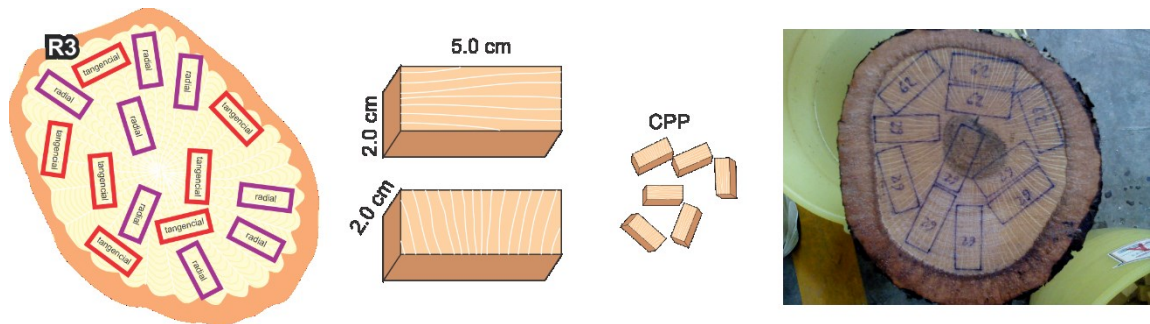


Figura 6. Conjunto de probetas prismáticas (CPP). La probeta superior corresponde al ensayo de contracción radial y la inferior a contracción tangencial.

### 4.3 Descripción anatómica

Cada probeta del CPC3 permaneció 48 horas en una estufa UN110 (Mettler) a 70° C antes de ser cortada en el micrótopo de deslizamiento SM2000R (Leica Microsystems). De cada probeta se obtuvieron tres láminas de 20 µm de grosor correspondientes a los planos transversal, tangencial y radial. Todas las láminas fueron sumergidas en colorante pardo de Bismarck (Merck) durante cuatro horas, lavadas con agua destilada, deshidratadas con alcohol etílico al 96 % durante 5 minutos, deshidratadas con alcohol etílico absoluto durante 5 minutos y lubricadas durante 10 segundos con sustituto de xileno Neo-Clear (Merck) antes de ser fijada con el medio de montaje Entellan (Merck). Las características anatómicas de las preparaciones fijas fueron observadas a través del microscopio Leica DM3000 (Leica Microsystems) y se describieron conforme a



las clasificaciones propuestas por Chattaway (1932) e IAWA Committee (1937, 1939, 1989).

#### 4.4 Porcentaje de elementos constitutivos

Se empleó el módulo Análisis del paquete de cómputo Leica Application Suit 3.8 (Leica Microsystems) para medir el porcentaje de área ocupada por cada conjunto celular y el diámetro y número de elementos de vaso (EDV) por mm<sup>2</sup> de plano transversal en las preparaciones fijas. Usando una cámara Leica DFC295 (Leica Microsystems), en la lámina transversal de cada una de las preparaciones se tomaron tres campos de 7.09 mm<sup>2</sup> para medir el porcentaje de área ocupada por los EDV y tres campos diferentes de 0.11 mm<sup>2</sup> para medir el porcentaje de área ocupada por el parénquima axial. De igual forma se tomaron tres campos de 0.44 mm<sup>2</sup> por cada lámina tangencial para medir el porcentaje de área ocupada por rayos uniseriados y tres campos diferentes de 7.09 mm<sup>2</sup> para medir el porcentaje de área ocupada por rayos multiseriados (Figura 7).

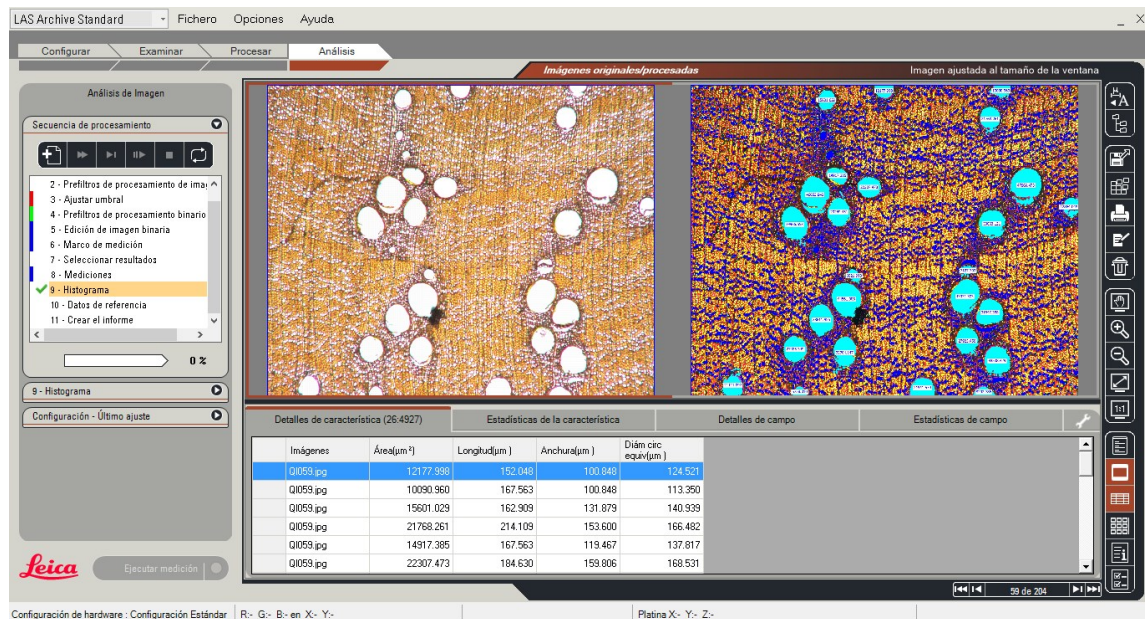


Figura 7. Interface del módulo Análisis del paquete de cómputo LAS 3.8 (Leica Microsystems). Se aprovechó la capacidad del programa para reconocer patrones de colores y formas, y de discriminar con base en el tamaño y relación de aspecto de los objetos seleccionados para automatizar el análisis de imágenes.

#### 4.5 Disociados

Se eligió la probeta más cercana a la corteza de cada una de las rodajas R2 para extraer astillas no mayores a 5 mm x 1 mm x 1 mm. Las astillas de cada probeta se sumergieron en una solución a partes iguales de peróxido de hidrógeno 29-32 % (MEYER) y ácido acético glacial ACS (Fermont) contenida en un frasco de vidrio con tapa roscada. Los frascos permanecieron 36 horas en una estufa UN110 (Memmert) a temperatura constante de 60° C. El material disociado de cada frasco se lavó no menos de cinco veces con agua destilada y se tiñó con colorante pardo de Bismarck (Merck) durante 4 horas. Posteriormente se lavó con agua el exceso de colorante. Con el disociado teñido se montaron preparaciones temporales y se observaron a través del microscopio Leica DM3000 (Leica Microsystems). Se usó el programa Leica Application Suit 3.8 (Leica Microsystems) para medir la longitud, diámetro del lumen y grosor de la pared de las fibras, así como la longitud de los vasos. El número de fibras y vasos a medir fue determinado con datos de una muestra previa (n=40) de longitud de fibras y mediante la ecuación:

$$n = (t^2 * cv^2)/E^2$$

Donde:

$n$  = tamaño de muestra

$t$  = valor de  $t$  crítico para  $\alpha = 0.05$

$cv$  = coeficiente de variación (desviación estándar/media)

$E$  = error relativo = 5 %

#### 4.6 Densidad básica, contenido de humedad, contracción volumétrica y punto de saturación.

En campo, Inmediatamente después de haber sido elaborada, cada probeta del CPC1, se midió en masa ( $P_V$ ) y volumen ( $V_V$ ) con una báscula electrónica portátil de 0.01 g de precisión modelo BABOL-100G (Rhino). Posteriormente, en el laboratorio, las probetas fueron deshidratadas en una estufa UN110 (Mettler), a 103°C hasta alcanzar un peso constante, en ese momento se registró su masa ( $P_0$ ) y volumen ( $V_0$ ) mediante una báscula electrónica de 0.01 g de precisión modelo TS4KD (OHAUS). Con la misma báscula fue medida la masa y volumen de cada probeta del CPC2 en condición saturada ( $P_V$ ,  $V_V$ ), equilibrada ( $P_H$ ,  $V_H$ ) y anhidra ( $P_0$ ,  $V_0$ ) (Figura 8).

La densidad básica, contenido de humedad, contracción volumétrica y punto de saturación de la fibra de las probetas de CPC1 y CPC2 se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$D_b = \frac{P_0}{V_V} \quad CH = \left( \frac{P_i - P_f}{P_0} \right) 100 \quad \beta V = \left( \frac{V_v - V_0}{V_v} \right) 100 \quad PSF = \frac{\beta V_t}{(D_b * 0.9)}$$

Donde:

$D_b$  = Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>)

$P_0$  = Masa en condición anhidra (g)

$V_v$  = Volumen en condición saturada (cm<sup>3</sup>)

$CH$  = Contenido de humedad (%)

$P_i$  = Masa verde ( $P_V$ ) o en equilibrio ( $P_H$ ) según sea el caso (g)

$P_f$  = Masa en condición anhidra (g)

$\beta V$  = Contracción volumétrica (%)

$V_0$  = Volumen en condición anhidra (cm<sup>3</sup>)

$PSF$  = Punto de saturación de la fibra (%)



Figura 8. Registro de masa y volumen en campo y laboratorio.

#### 4.7 Contracciones lineales y relación de anisotropía

Cada probeta del CPP fue medida en masa mediante una báscula electrónica de 0.01 g de precisión modelo TS4KD (OHAUS) y en longitud del eje mayor mediante un vernier digital (Mitutoyo) en su condición saturada, equilibrada y anhidra (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Las contracciones lineales y relación de anisotropía se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$\beta T_t = \left( \frac{LT_v - LT_0}{LT_v} \right) 100 \qquad \beta R_t = \left( \frac{LR_v - LR_0}{LR_v} \right) 100 \qquad RA = \frac{\beta T_t}{\beta R_t}$$

Donde:

$\beta T_t$  = Contracción tangencial total (%)

$LT_v$  = Longitud del eje mayor en probeta tangencial, condición saturada (mm)

$LT_0$  = Longitud del eje mayor en probeta tangencial, condición anhidra (mm)

$\beta R_t$  = Contracción radial total (%)

$LR_v$  = Longitud del eje mayor en probeta radial, condición saturada (mm)

$LR_0$  = Longitud del eje mayor en probeta radial, condición anhidra (mm)

$RA$  = Relación de anisotropía



Figura 9. Conjunto de probetas prismáticas.

#### 4.8 Poder calorífico

Después de medir densidad básica y contenido de humedad del  $CPC_1$ , se extrajo una astilla de 1.2 g de cada una de sus probetas y se midió su poder calorífico superior en el calorímetro isoperibólico Parr 6200 (Parr) (Figura 10). Para conocer el poder calorífico inferior se empleó la fórmula sugerida por Parr Instrument Company (2007) descrita a continuación:

$$PC_I = PC_S - (91.23)(H)$$

Donde:

$PC_I$  = Poder calorífico inferior (Btu/lb)

$PC_S$  = Poder calorífico superior (Btu/lb)

$H$  = Porcentaje de la masa que representa el hidrógeno



Finalmente los resultados fueron convertidos a kilojulios por gramo (kJ/g) para emplear unidades de energía y masa del sistema internacional.



Figura 10. Astillas, calorímetro y poder calorífico.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Descripción anatómica.

Las muestras de ambas especies poseen características anatómicas similares, por lo que se presenta una descripción general y solo se señalan las diferencias específicas cuando es necesario. En ambas especies los límites de los anillos de crecimiento no están definidos formalmente, sin embargo, un patrón discreto formado por bandas discontinuas de fibras aplanadas radialmente, cadenas tangenciales de células parenquimatosas axiales y el arreglo espacial y tamaño de los vasos permite distinguir zonaciones festoneadas (Figura 11, A y B).

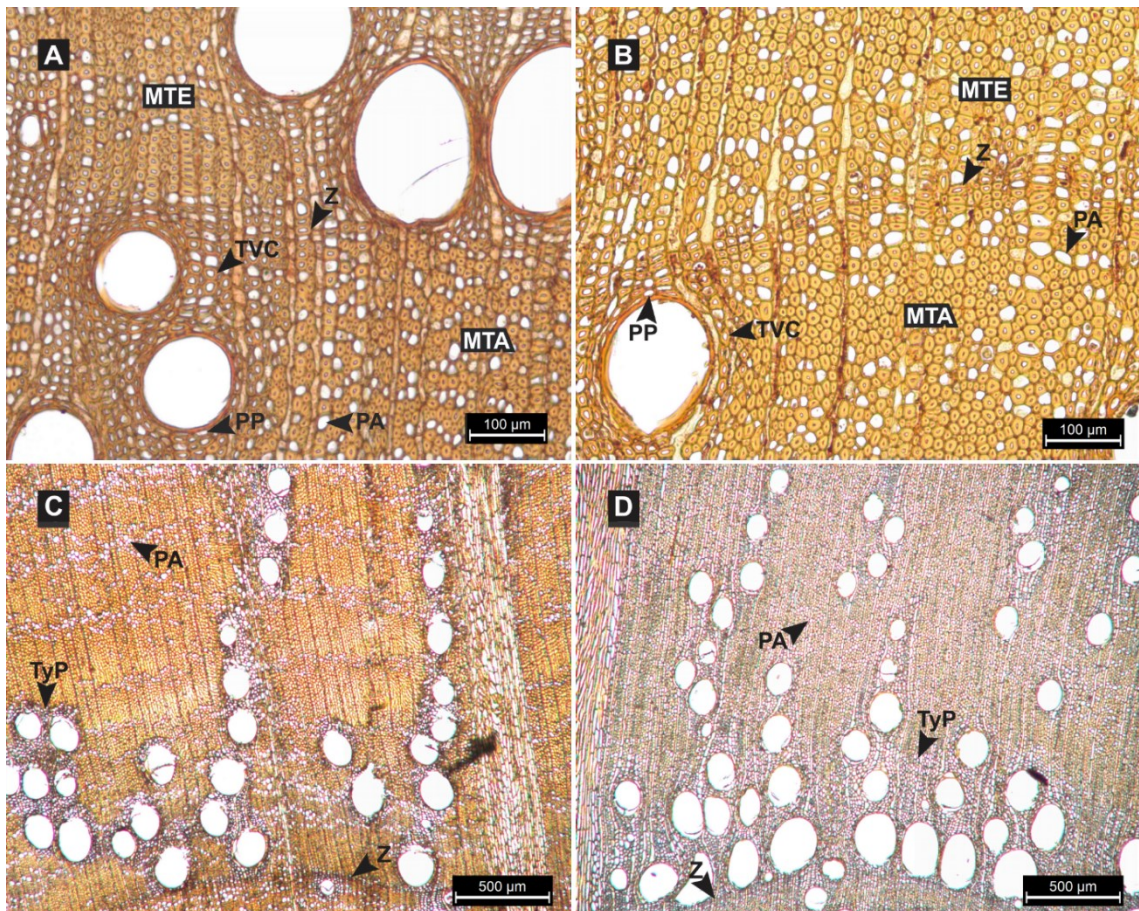


Figura 11. Zonaciones de crecimiento y porosidad. Detalles de la zonación de crecimiento (Z) en *Q. laurina* (A) y *Q. obtusata* (B). Se resaltan regiones de madera temprana (MTE) y madera tardía (MTA), evidenciándose diferencias en la amplitud de sus lúmenes. También se señalan células del parénquima axial paratraqueal (PP) intercaladas



con traqueidas vasicéntricas (TyP). Porosidad semicircular y arreglo espacial de los vasos de *Q. laurina* (C) y *Q. obtusata* (D). En las dos últimas es posible distinguir el margen festoneado de la zonación.

La porosidad es semicircular, no obstante, puede aparentar porosidad difusa debido a que en algunos casos los límites de las zonaciones de crecimiento no son claras y a que secciones ahusadas de algunos EDV podrían coincidir transversalmente con secciones gruesas de otros vasos. Los vasos son ligeramente ovalados y solitarios aunque se distribuyen en arreglos diagonal mayoritariamente, radial y en menor grado ramificado, principalmente cerca de la madera temprana (Figura 11, C y D).

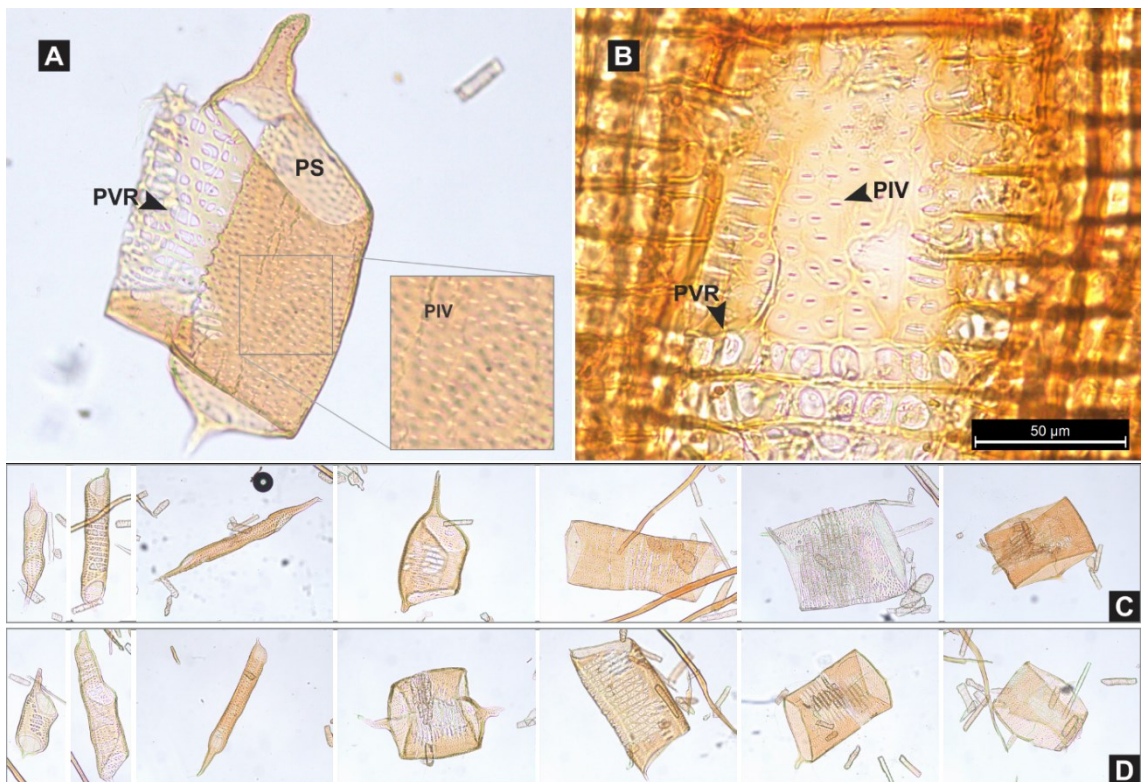


Figura 12. Elementos de vaso.

Se señalan la placa simple (PS), puntuaciones vaso-radiales (PVR) y puntuaciones intervasculares aureoladas (PIV) alternas de *Q. obtusata* (A) y *Q. laurina* (B). Ejemplos de la variedad de formas de EDV de *Q. obtusata* (C) y *Q. laurina* (D).

Los EDV de ambas especies presentan placa simple, puntuaciones intervasculares aureoladas alternas y puntuaciones vaso-radiales verticales con



borde simple (Figura 12, A y B). No se observaron engrosamientos helicoidales. La longitud y diámetro de los EDV puede ser consultada en el Cuadro 3. Los EDV poseen formas y tamaños múltiples que corresponden a su posición en la madera tardía (vasos esbeltos), madera temprana (vasos tipo barril y tambor) e intermedia (Figura 12, C y D). En el corte transversal se observaron en promedio 4.8 y 5.1 vasos por mm<sup>2</sup> para *Q. obtusata* y *Q. laurina* respectivamente (Cuadro 3). En promedio, el diámetro equivalente del lumen de los EDV fue de 124.9 µm para *Q. obtusata* y 108.8 µm para *Q. laurina*. La longitud promedio del cilindro (descontando los ápices) fue de 358.82 µm, mientras que la longitud promedio incluyendo los ápices fue de 511.12 µm. No se observaron depósitos de gomas, aceites u otras inclusiones, en los lúmenes de los EDV pero se observó presencia de tílides (Figura 13, A y B; Cuadro 3).

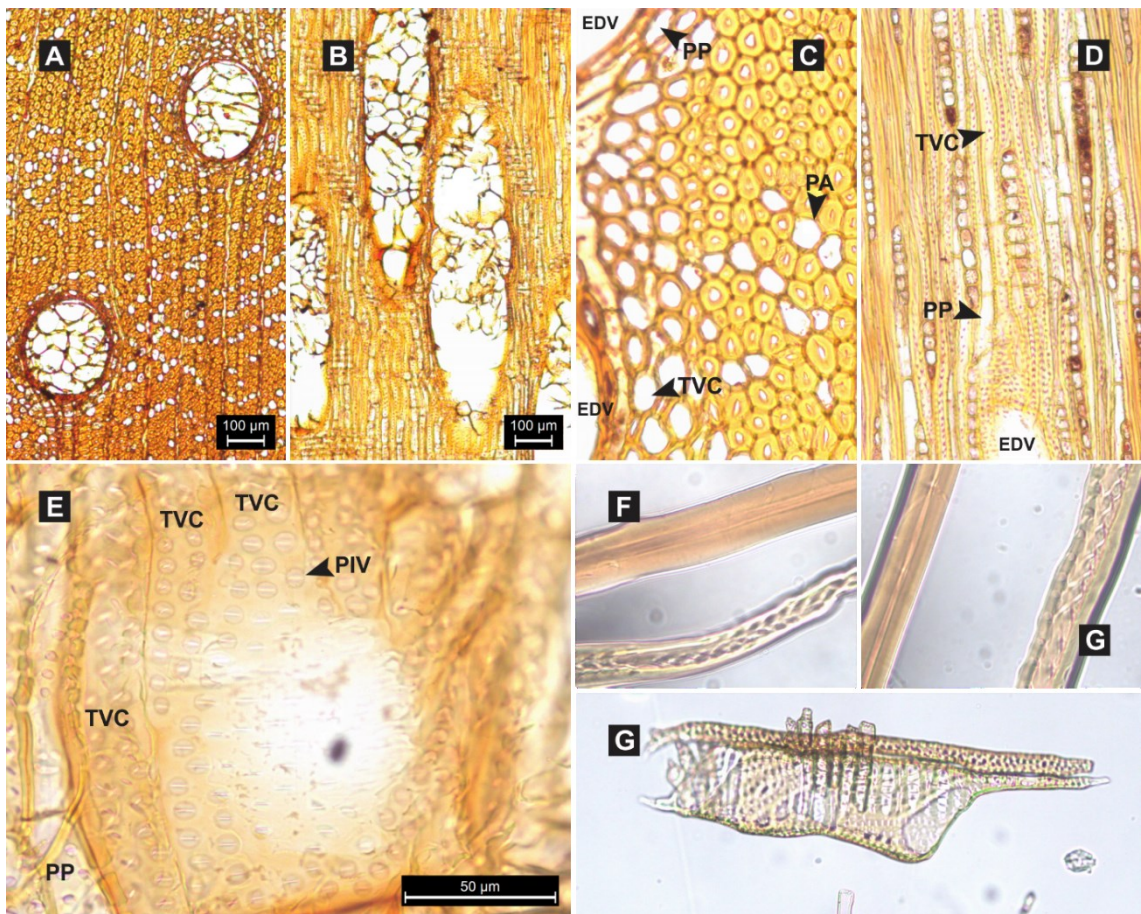


Figura 13. Tílides y traqueidas vasicéntricas.

Tíldes en vasos (EDV) de *Q. obtusata* (A) y *Q. laurina* (B). Traqueidas vasicéntricas (TVC) en los planos transversal (C), tangencial (D) y radial (E). Puntuaciones aureoladas (PIV) en traqueidas vasicéntricas de *Q. laurina* (E). Aspecto de traqueidas en material disociado de *Q. laurina* (F, G) y *Q. obtusata* (H). Algunas células del parénquima axial paratraqueal (PP) intercaladas con las traqueidas (C y D).

En su mayoría, los vasos están rodeados parcial o totalmente por traqueidas vasicéntricas abundantes intercaladas con algunas células del parénquima axial (Figura 11 y Figura 13, C). Las puntuaciones de las traqueidas son aureoladas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, E). No se observaron traqueidas vasculares. Las fibras de ambas especies poseen puntuaciones simples con canal infundibuliforme y carecen de septos (Figura 14, A y B). Se observaron engrosamientos helicoidales en todas las fibras de las muestras provenientes de dos de los cuatro brotes de *Q. obtusata* (50 de 100) mientras que solamente tres de cien fibras de *Q. laurina* presentaron engrosamientos muy sutiles (Figura 14, C). En ambas especies, algunas fibras poseen segmentos corrugados en uno de sus planos (Figura 14, D). Ambas especies presentaron conjuntos de fibras gelatinosas (madera de tensión) dispuestas en parches dispersos, sin un patrón o forma definidas (Figura 14, E).

Ambas especies poseen parénquima axial apotraqueal en arreglo difuso-agregado y parénquima paratraqueal escaso. El parénquima apotraqueal puede generar patrones similares a bandas concéntricas, mientras que las células del parénquima apotraqueal se encuentran intercaladas con traqueidas vasicéntricas formando mosaicos que conectan las traqueidas y parénquima asociadas a otros vasos cercanos, acentuando la configuración espacial diagonal, radial y ramificada de los mismos (Figura 15, A). El parénquima radial está dispuesto en rayos multiseriados, uniseriados y agregados, aunque se pueden hallar algunos rayos biseriados y triseriados escasos (Figura 15, B y C). La composición de los rayos es heterogénea, con la mayoría de sus células procumbentes y filas marginales e intermedias de células cuadradas y ocasionalmente erectas (Figura 15, E). El número de rayos por milímetro lineal es de nueve para uniseriados y hasta uno para multiseriados.

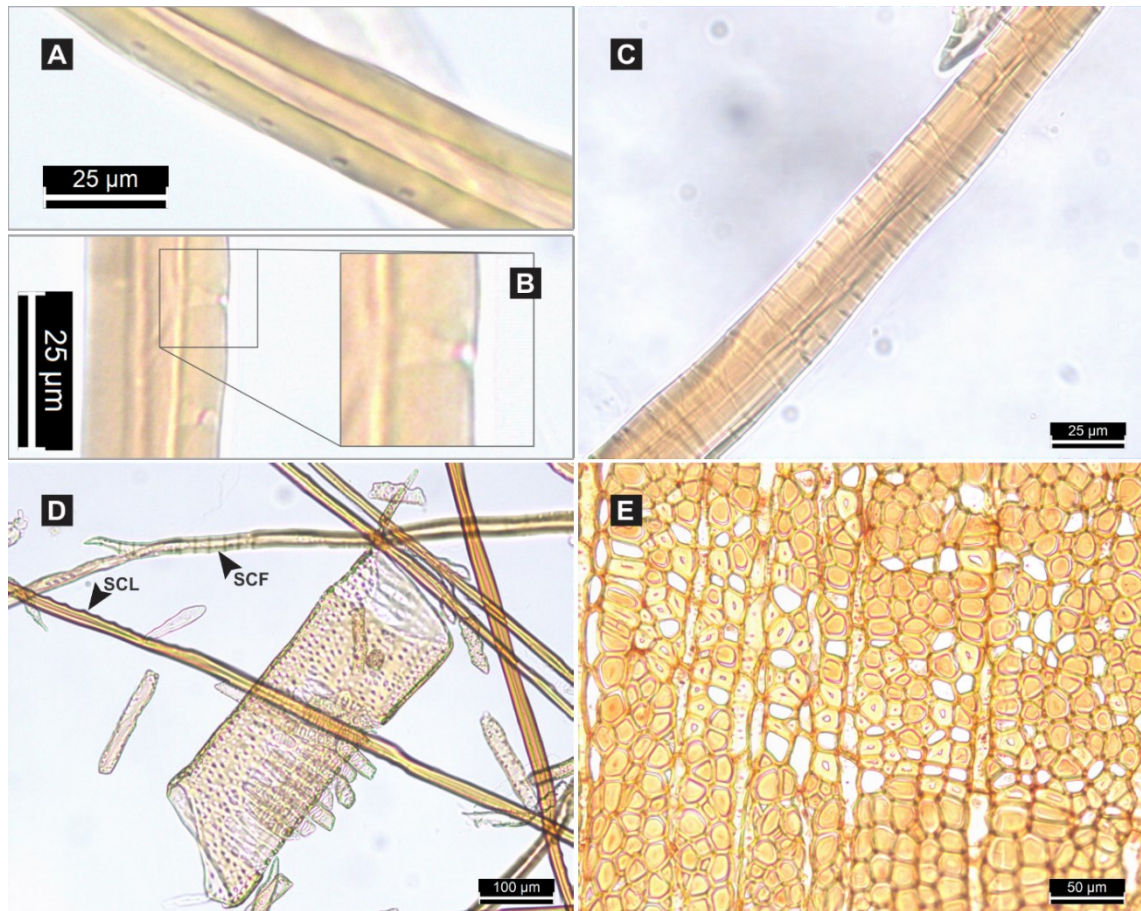


Figura 14. Detalles de las fibras.

Puntuaciones simples en fibras de *Q. obtusata* (A). Detalle de canal infundibuliforme de puntuación simple en fibra de *Q. laurina* (B). Engrosamientos helicoidales en fibra de *Q. obtusata* (C). Vista lateral (SCL) y frontal (SCF) de segmento corrugado de fibras de *Q. laurina* (D). Fibras gelatinosas en *Q. obtusata* (E).

Las células parenquimatosas de los rayos pueden encontrarse saturadas de inclusiones de color ámbar de intensidades variables (Figura 15, C y D). También es posible observar esporádicamente cristales prismáticos y cuerpos silíceos tanto en células radiales como en parénquima axial (Figura 15, F-I).



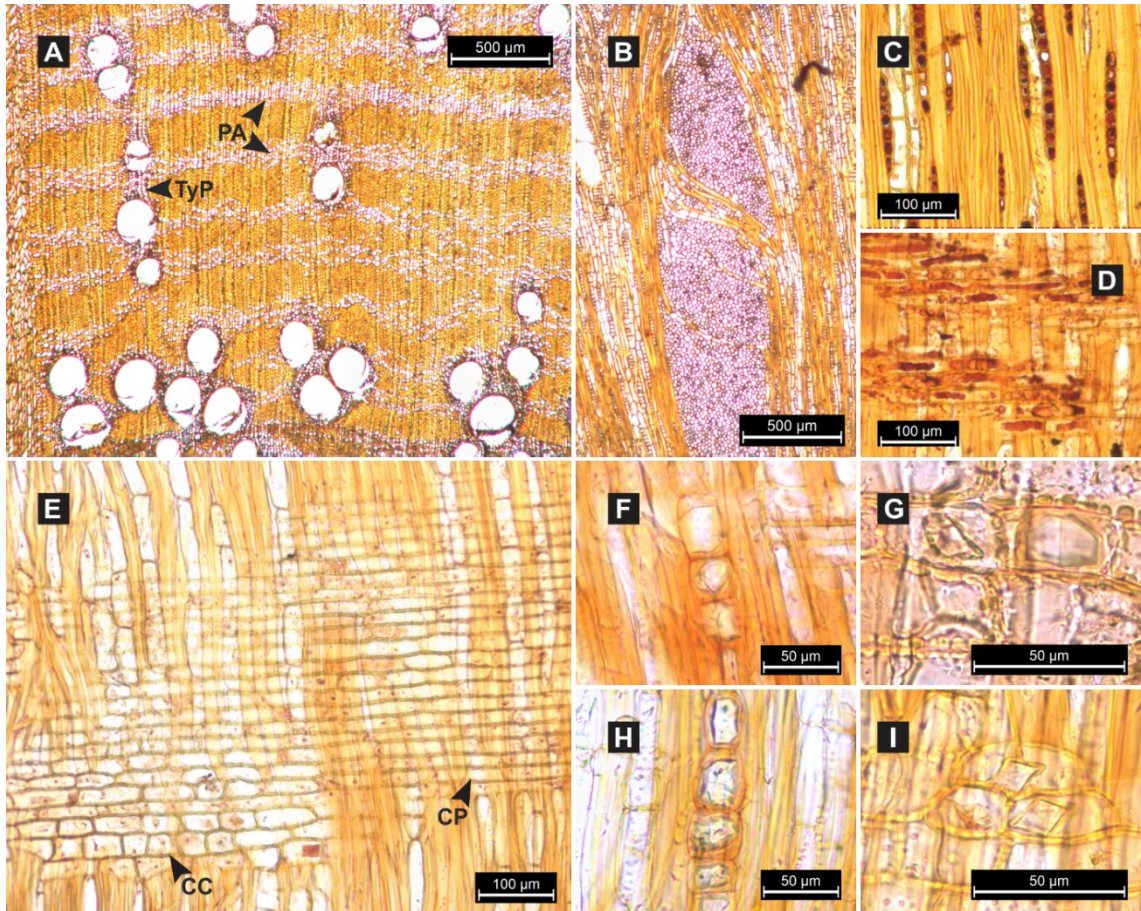


Figura 15. Parénquima axial, radial e inclusiones. Parénquima axial apotraqueal (PA) y mosaico formado por traqueidas vasicéntricas con parénquima axial apotraqueal (TyP) en *Q. obtusata* (A). Rayos multiseriados agregados de *Q. laurina* (B). Rayos uniseriados con inclusiones en el plano tangencial de *Q. obtusata* (C) y en el plano radial de *Q. laurina* (D). Células procumbentes (CP) y células cuadradas (CC) en rayo multiseriado de *Q. laurina* (E). Cristales prismáticos en parénquima axial (F) y parénquima radial (G) de *Q. obtusata* y de *Q. laurina* (H e I).

## 5.2 Proporción y dimensión de elementos celulares constitutivos

El grupo celular que ocupa mayor área en el campo transversal en ambas especies son las fibras, seguidas del parénquima y elementos vasculares. Las proporciones de cada elemento constitutivo se pueden apreciar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Proporción de elementos constitutivos (%).

Especie	Fibras	Rayos multiseriados	Rayos uniseriados	Parénquima axial	Vasos	Traqueidas vasicéntricas
<i>Q. laurina</i>	53.80	11.04	11.20	13.68	5.72	4.54
<i>Q. obtusata</i>	54.12	14.72	9.06	11.73	6.98	3.36

El tamaño de muestra para fibras y EDV fue de 25 unidades por cada brote, por lo que se midieron 100 fibras y 100 vasos de cada especie. Los estadísticos de sus dimensiones están registrados en el Cuadro 2 y en el Cuadro 3 respectivamente. La relación de amplitud del lumen respecto al doble de la pared es de 0.2 en promedio para *Q. obtusata* y de 0.3 para *Q. laurina*, por lo que de acuerdo con el IAWA Committee (1989) la pared de ambas especies es de un espesor muy grueso con promedios de 9.37  $\mu\text{m}$  y 8.96  $\mu\text{m}$ , respectivamente. De acuerdo con la clasificación propuesta en Chataway (1932) y en IAWA Cometeet (1937, 1939) la longitud de fibra de ambas especies es mediana.

Cuadro 2. Dimensiones de fibras.

Especie (n)	Estadístico	Longitud ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro ( $\mu\text{m}$ )	Lumen ( $\mu\text{m}$ )	Pared ( $\mu\text{m}$ )	Lumen / (Pared*2)
<i>Q. laurina</i> (n=100)	Máximo	1820.99	34.19	12.26	13.95	0.33
	Promedio	1352.78	23.83	5.91	8.96	
	Mínimo	946.32	13.62	1.03	6.25	
	S	184.64	4.21	2.69	1.49	
	CV	0.13	0.17	0.45	0.16	
<i>Q. obtusata</i> (n=100)	Máximo	1942.55	34.35	9.45	14.81	0.20
	Promedio	1380.45	22.57	3.83	9.37	
	Mínimo	975.06	16.06	1.04	6.94	
	S	224.85	4.10	2.34	1.60	
	CV	0.16	0.18	0.61	0.17	

n = tamaño de muestra, S = desviación estándar, CV = coeficiente de variación

De acuerdo con la clasificación Marja-Sisko e Ilvessalo-Pfäffli (1995), Chataway (1932) e IAWA Cometeet (1937, 1939) la longitud de los EDV de ambas especies

varía de corta a media con diámetros medianos. La abundancia de poros por mm<sup>2</sup> es moderada y escasa para *Q. laurina* y *Q. obtusata* respectivamente.

Cuadro 3. Dimensiones y cuenta de los elementos de vaso.

Especie (n)	Estadístico	Longitud del cilindro (µm)	Longitud con ápices (µm)	Longitud clase	Diámetro (µm)	Numero de poros por mm <sup>2</sup>
<i>Q. laurina</i> (n=100)	Máximo	660.09	759.358	media	325.71	17.20
	Promedio	346.84	479.55	corta	108.80	5.14
	Mínimo	158.13	220.83	corta	43.73	1.97
	S	96.74	105.83		48.30	2.16
	CV	0.27	0.22		0.44	0.42
<i>Q. obtusata</i> (n=100)	Máximo	592.95	786.20	media	316.73	13.80
	Promedio	358.82	511.12	media	124.90	4.87
	Mínimo	203.182	272.74	corta	43.77	1.69
	S	82.84	101.70		51.50	2.06
	CV	0.23	0.19		0.41	0.42

*n* = tamaño de muestra, *S* = desviación estándar, *CV* = coeficiente de variación. Clasificación de la longitud propuesta en Marja-Sisko e Ilvessalo-Pfäffli (1995). El número de poros por milímetro cuadrado fue medido en el plano transversal.

Ambas especies presentan rayos uniseriados/mm numerosos, mientras que la gran amplitud de los rayos multiseriados permiten no más de un solo rayo por milímetro.

Cuadro 4. Amplitud y cuenta de rayos.

Especie	Estadístico	Ancho ( $\mu\text{m}$ )		Cuenta	
		Multiseriados	Uniseriados	Multiseriados /mm	Uniseriados /mm
Q. laurina	n	75	720	102*	102**
	Máximo	918.29	25.78	1	21.48
	Promedio	447.79	14.26	0.24	9.50
	Mínimo	272.86	8.72	0	1.34
	S	143.62	3.23	0.20	4.06
	CV	0.32	0.23	0.83	0.42
Q. obtusata	n	85	656	102*	102**
	Máximo	1037.76	24.62	0.67	18.79
	Promedio	526.65	13.50	0.27	8.66
	Mínimo	268.21	8.72	0	1.34
	S	210.02	2.76	0.22	4.68
	CV	0.40	0.20	0.79	0.54

*n* = tamaño de muestra, *S* = desviación estándar, *CV* = coeficiente de variación.

\* = 102 campos de 7.09 mm<sup>2</sup> donde se contaron los rayos dentro de un transecto de 2.98 mm

\*\* = 102 campos de 0.44 mm<sup>2</sup> donde se contaron los rayos dentro de un transecto de 0.74 mm

Las 48 probetas del CPC<sub>1</sub> cuyo peso y volumen fueron registrados en campo (Cuadro 5) manifestaron promedios de contenido de humedad y densidad básica menores que las 712 probetas saturadas y medidas en laboratorio (Cuadro 6). En ambos casos la madera de *Q. obtusata* presentó mayor densidad. El poder calorífico superior de las astillas de ambas especies se promedió a partir de los datos crudos arrojados por el calorímetro, mientras que el poder calorífico inferior se calculó asumiendo un contenido de hidrógeno del 6.15 % de la masa total, porcentaje promedio que representa el hidrogeno en la masa total de la madera de cultivos de rotación corta de acuerdo al anexo C de la norma CEN/TS 14961:2005 Solid biofuels - Fuel specifications and clases, consultada en Francescato, Antonini, & Bergomi (2008) y Krajnc (2015).

Cuadro 5. Propiedades del CPC1.

Especie (n)	Estadístico	Contenido de humedad verde (%)	Densidad verde (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	Poder calorífico (kJ/g) (CH = 11.94 %)	
					Superior	Inferior
Q. laurina (24)	Máximo	102.82	1.10	0.64	18.57	18.55
	Promedio	77.72	0.98	0.55	17.80	17.79
	Mínimo	64.14	0.79	0.42	17.44	17.43
	S	8.24	0.06	0.04	0.30	-
	CV	0.10	0.06	0.08	0.01	-
Q. obtusata (24)	Máximo	76.24	1.24	0.77	18.24	18.23
	Promedio	67.63	1.07	0.64	17.77	17.75
	Mínimo	58.22	0.85	0.52	17.29	17.27
	S	4.89	0.08	0.05	0.23	-
	CV	0.07	0.07	0.08	0.01	-

n = tamaño de muestra, S = desviación estándar, CV = coeficiente de variación. El poder calorífico corresponde a muestras con un 11.94 % de contenido de humedad promedio.

Se emplearon los valores promedio del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para estimar el PSF conforme a la propuesta de Fuentes (2000), obteniendo 38.63 % para *Q. laurina* y 33.39 % para *Q. obtusata*.



Cuadro 6. Propiedades del CPC2.

Especie (n)	Estadístico	Contenido de Humedad (%)		Densidad (g/cm <sup>3</sup> )			Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	Contracción volumétrica (%)	
		Verde	Equilibrio	Verde	Equilibrio	Anhidro		Parcial	Total
Q. laurina (411)	Máximo	120.00	23.92	1.38	0.95	0.94	0.73	32.05	36.52
	Promedio	93.46	11.82	1.20	0.84	0.79	0.62	16.74	21.56
	Mínimo	72.59	10.58	1.16	0.71	0.67	0.54	1.26	7.73
	S	8.56	0.70	0.02	0.04	0.04	0.03	3.59	3.35
	CV	0.09	0.06	0.02	0.04	0.05	0.05	0.21	0.16
Q. obtusata (301)	Máximo	102.34	13.24	1.29	1.16	1.10	0.80	34.40	38.65
	Promedio	78.57	12.04	1.23	0.92	0.87	0.69	15.54	20.74
	Mínimo	47.83	10.92	0.90	0.75	0.71	0.49	9.19	5.87
	S	6.80	0.42	0.03	0.07	0.07	0.04	3.99	3.80
	CV	0.09	0.04	0.02	0.08	0.08	0.05	0.26	0.18

n = tamaño de muestra, S = desviación estándar, CV = coeficiente de variación.

Los promedios de hinchamiento, contracción y la relación de anisotropía reportados en el Cuadro 7 sugieren que ambas especies son altamente deformables. Se incluye el contenido de humedad de las probetas medidas.

Cuadro 7. Contracciones, hinchamientos y relación de anisotropía del CPP.

Especie (n)	Estadístico	Contenido de humedad (%)		Hinchamiento (%)				Contracción (%)				Relación de Anisotropía
				Tangencial		Radial		Tangencial		Radial		
		Verde	Equilibrio	Parcial	Total	Parcial	Total	Parcial	Total	Parcial	Total	
Q. laurina (299)	Máximo	118.12	13.22	6.39	31.59	3.73	6.11	19.18	24.00	4.39	5.76	4.05
	Promedio	92.26	12.42	4.59	19.10	1.89	4.11	12.14	15.99	2.14	3.94	
	Mínimo	75.86	11.92	0.90	11.29	0.73	2.51	7.82	10.15	-0.33	2.45	
	S	6.36	0.23	0.84	2.98	0.37	0.85	1.99	2.06	0.64	0.78	
	CV	0.07	0.02	0.18	0.16	0.19	0.21	0.16	0.13	0.30	0.20	
Q. obtusata (131)	Máximo	95.10	13.67	5.72	26.72	3.38	9.40	16.68	21.09	5.87	8.59	2.68
	Promedio	80.46	12.92	4.82	15.97	2.40	5.39	9.57	13.73	2.83	5.11	
	Mínimo	62.54	12.21	3.43	10.90	0.39	3.33	5.64	9.83	1.46	3.23	
	S	6.58	0.33	0.41	2.62	0.48	1.17	1.87	1.92	0.86	1.05	
	CV	0.08	0.03	0.09	0.16	0.20	0.22	0.20	0.14	0.30	0.21	

n = tamaño de muestra, S = desviación estándar, CV = coeficiente de variación.

## 6 DISCUSIÓN

En general, las características anatómicas reportadas en este trabajo coinciden con descripciones previas, sin embargo, existen algunas discrepancias que podrían estar relacionadas con el hecho de que las probetas del presente trabajo provienen de brotes de tocón o a factores ambientales (Schweingruber, 2007). En el Cuadro 8 y el Cuadro 9 pueden apreciarse algunas características anatómicas, morfométricas y propiedades físicas descritas por otros autores junto a los resultados obtenidos.

Cuadro 8. Anatomía, morfometría y propiedades físicas comparadas de *Q. laurina*.

		Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Q. laurina	Vasos	Porosidad	SA	A	A	D -> SA	SA	A, SA, D		D -> SA
		Longitud (µm)	479.55	446.7 426.4	442-623	579	475			552
		Diámetro (µm)	108.8	258.2 101.9 239.1 98.70		190	160			215
		Poros/mm <sup>2</sup>	5.14	4.8 5.2		5	5			5
	Fibras (µm)	Longitud	1352.78	1800 1600	1186-1548	1801	1337			940
		Diámetro	23.83	26 23.1		19.2				
		Lumen	5.91	9.2 8.8	8	8	8			6
		Pared	8.96	8.4 7.1	5-8	5.5	9			11
	RM (µm)	Ancho	447.79	341.5 368.4	280-457	328	390	345-457		
	RU	Ancho (µm)	14.26	14 16						
		Cuenta	9.5			6	9			
	PF	D <sub>b</sub> (%)	0.62	0.69	0.65					0.60
		βV (%)	21.56	19.65	18.48					17.46
RA		4.05		2.63					2.55	

0: Resultados del presente trabajo

1: (Ruiz-Aquino et al., 2016)

2: (De la Paz Pérez & Dávalos-Sotelo, 2008)

3: (Aguilar-Rodríguez & Castro-Plata, 2006)

4: (De la Paz Pérez et al., 2006)

5: (De la Paz Pérez & Quintanar Isaías, 2001)

6: (Honorato Salazar & Fuentes López, 2001)

7: (Valencia & Barajas-Morales, 1995)

SA: Semianular, A: Anular, D: Difusa

RM: Rayos multiseriados

RU: Rayos uniseriados

PF: Propiedades físicas

D<sub>b</sub>: Densidad básica

βV: Contracción volumétrica

RA: Relación de anisotropía

Cuadro 9. Anatomía, morfometría y propiedades físicas comparadas de *Q. obtusata*.

		Variable	0	1	2	3	4	5
Q. obtusata	Vasos	Porosidad	SA	D	D	D		D
		Longitud ( $\mu\text{m}$ )	511.12	592.5	400-562	494		
		Diámetro ( $\mu\text{m}$ )	124.9	195		153		
		Poros/mm <sup>2</sup>	4.87			4		
	Fibras ( $\mu\text{m}$ )	Longitud	1380.45	1477	1479-1536	1515		
		Diámetro	22.57	21.8				
		Lumen	3.83	6.7	4-5	4		
		Pared	9.37	6.2	8-9	8		
	RM ( $\mu\text{m}$ )	Ancho	526.65		846-971	840		
	RU	Ancho ( $\mu\text{m}$ )	13.50					
		Cuenta	8.66			12		
	PF	D <sub>b</sub> (%)	0.69		0.75		0.72	
$\beta\text{V}$ (%)		20.74		20.13		16.21		
RA		2.68		2.31		2.66		

0: Resultados del presente trabajo

1: (Chávez-Romero, Aguilar-Rodríguez, & Terrazas, 2010)

2: (De la Paz Pérez & Dávalos-Sotelo, 2008)

3: (De la Paz Pérez et al., 2006)

4: (Honorato Salazar & Fuentes López, 2001)

5: (Bucio Sánchez & Quintero Sánchez, 1994)

SA: Semianular, D: Difusa

RM: Rayos multiseriados

RU: Rayos uniseriados

PF: Propiedades físicas

D<sub>b</sub>: Densidad básica

$\beta\text{V}$ : Contracción volumétrica

RA: Relación de anisotropía

Además de las diferencias incluidas en los cuadros anteriores, otros autores reportan rayos homogéneos de células procumbentes únicamente (Aguilar-Rodríguez & Castro-Plata, 2006; Chávez-Romero et al., 2010; De la Paz Pérez et al., 2006; Valencia & Barajas-Morales, 1995), mientras que en el presente trabajo también se observaron células cuadradas y erectas escasas.

Ningún autor precedente reporta engrosamientos helicoidales en fibras, Carlquist (2001) señala que suelen ser escasos en fibras libriformes y que podrían estar relacionados con la presencia de madera de reacción, condición que se

manifiesta en ambas especies descritas en este trabajo. La presencia de fibras gelatinosas en *Q. obtusata* también es mencionada por Rivera, Quintanar, & De la Paz Pérez (1999). La densidad básica registrada en el presente trabajo es inferior a la reportada en trabajos precedentes. Esta situación es similar a la reportada por Aguilar et al. (2012), quienes reportaron que la densidad básica de la madera de rebrotes de *Quercus laeta* Liebm. (0.58 g/cm<sup>3</sup>) fue inferior que el rango de valores reportados en la literatura (de 0.68 g/cm<sup>3</sup> a 0.75 g/cm<sup>3</sup>), mientras que la densidad básica de la madera de rebrotes de *Quercus castanea* Née. (0.64 g/cm<sup>3</sup>) se encuentre dentro del rango reportado previamente para esa especie (de 0.63 g/cm<sup>3</sup> a 0.75 g/cm<sup>3</sup>). Una menor densidad básica y mayores contracciones volumétricas y relación de anisotropía que las reportadas por De la Paz Pérez & Dávalos-Sotelo (2008) y Honorato Salazar & Fuentes López (2001) podrían significar que la madera de brotes de *Q. laurina* y *Q. obtusata* posea características tecnológicas relativamente inferiores. Por otra parte, el poder calorífico promedio reportado en este trabajo (17.7 kJ/g) es apenas menor que el señalado en la norma CEN/TS 14961:2010 para madera de plantaciones de rotación corta de *Populus sp.* (18.8 kJ/g) (Krajnc, 2015). No obstante, poder calorífico, así como la producción de biomasa podrían verse favorecidos por la aplicación de tratamientos silvícolas (Fang et al., 2011; Liu, Fang, Liu, Yu, & Tang, 2011).

## 7 CONCLUSIÓN

El presente es uno de los primeros trabajos enfocados deliberadamente en la caracterización de la madera de brotes de encino en México, donde el método de monte bajo no ha sido fomentado, y por lo tanto es complicado llevar a cabo estudios de la madera de plantaciones formales establecidas con propósitos definidos. El hecho de que la madera descrita en el presente trabajo provenga de árboles explotados sin algún tipo de manejo, aparte de aprovechar la capacidad de regeneración de los mismos, podría ser un factor influyente en sus propiedades. Por lo tanto, las características tecnológicas inferiores mostradas por la madera de rebrotes de *Quercus laurina* y *Quercus obtusata* no son definitorias, pero pueden servir para orientar los usos potenciales que se le puede dar a madera obtenida en dichas condiciones y como referencia para estudios futuros.

## 8 LITERATURA CITADA

- Aguilar-Rodríguez, S., & Castro-Plata, B. J. (2006). Anatomía de la madera de doce especies del bosque mesófilo de montaña del Estado de México. *Madera y Bosques*, 12(1), 95–115. <http://doi.org/10.21829/myb.2006.1211252>
- Aguilar, R., Ghilardi, A., Vega, E., Skutsch, M., & Oyama, K. (2012). Sprouting productivity and allometric relationships of two oak species managed for traditional charcoal making in central Mexico. *Biomass and Bioenergy*, 36, 192–207. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.029>
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Espinoza-Vizcarra, D., Jurado-Ybarra, E., Aguirre-Calderón, O., & González-Tagle, M. (2008). Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 14(2), 113–118. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v14n2/v14n2a6.pdf>
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O., & Treviño-Garza, E. J. (2011). Caracterización De Regeneración Leñosa Post-Incendio De Un Ecosistema Templado Del Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, XVII(1), 31–39. <http://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.032>
- Álvarez-Yépiz, J. C., Martínez-Yrizar, A., Búrquez, A., & Lindquist, C. (2008). Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and secondary tropical dry forests in northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 256(3), 355–366. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.049>
- Arizaga, S., Cruz, J. M., Cabrales, M. S., & González, M. Á. B. (2009). *Manual de*



*la biodiversidad de encinos michoacanos. Instituto Nacional de Ecología.* Delegación Tlalpan, México, D.F: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Retrieved from [http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=603](http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=603)

Boltvinik, J., & Damián, A. (2016). Pobreza Creciente Y Estructuras Sociales Cada Vez Más Desiguales En México. Una Visión Integrada Y Crítica. *Acta Sociológica*, 70, 271–296. <http://doi.org/10.1016/j.acso.2017.01.012>

Bucio Sánchez, Y. H., & Quintero Sánchez, R. (1994). Características anatómicas de la madera de cuatro especies de encinos del municipio de Uruapan, Michoacán. *Ciencia Nicolaita*, (6), 105–120.

Carlquist, S. (2001). *Comparative wood anatomy: Systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Springer Series in Wood Science* (Second). Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag. <http://doi.org/10.1007/978-3-662-04578-7>

Chattaway, M. . (1932). Proposed standards for numerical values used in describing woods. *Tropical Woods*, (29), 20–28.

Chávez-romero, D. M., Aguilar-rodríguez, S., & Terrazas, T. (2010). Variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* ( Fagaceae ). *Madera y Bosques*, 16(2), 69–87.

Chávez-Romero, D. M., Aguilar-Rodríguez, S., & Terrazas, T. (2010). Variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* ( Fagaceae ). *Madera y Bosques*, 16(1), 69–87.

Comisión Nacional Forestal. (2001). *Programa estratégico forestal para México 2025*. Zapopan, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal.

Daniel, T. W., Helms, J. A., & Baker, F. S. (1982). *Principios de silvicultura*. Edo de México, México: McGraw-Hill.

- Dávalos-Sotelo, R., Pérez-Olvera, C. D. L. P., & Bárcenas Pazos, G. M. (2010). RESISTENCIA AL IMPACTO DE LA MADERA DE DIEZ ENCINOS (*Quercus*) MEXICANOS. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, XVI(2), 215–226. <http://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2009.10.039>
- De la Paz Pérez, O. 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.
- De la Paz Pérez, O. C., Dávalos, S. R., & Guerrero, C. E. (2000). Aprovechamiento de la madera de encino en México. *Madera y Bosques*, 6(1), 3–13.
- De la Paz Pérez, O. C., & Quintanar Isaías, A. (2001). CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE LA MADERA DE *Quercus castanea* Née, *Q. crassifolia* Humb. et Bonpl. Y *Q. laurina* Humb. et Bonpl. *Ciencia Forestal*, 24(85), 95–107.
- De la Paz Pérez, O. C., Vélez, J. S., & Ceja, R. J. (2006). Anatomía de la madera de ocho especies de *Quercus* (FAGACEAE) de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 12(1), 63–94.
- Dickmann, D. I. (2006). Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: Then and now. *Biomass and Bioenergy*, 30(8–9), 696–705. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.02.008>
- Evans, J. (1992). Ecology and Management Coppice forestry - an overview. In G. P. Buckley (Ed.), *Ecology and Management of Coppice Woodlands* (p. 336). Dordrecht, Netherlands: Springer-Science+Bussines Media. <http://doi.org/10.1007/978-94-011-2362-4>
- Faasch, R. J., & Patenaude, G. (2012). The economics of short rotation coppice in Germany. *Biomass and Bioenergy*, 45, 27–40. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.04.012>

- Fang, S., Liu, Z., Cao, Y., Liu, D., Yu, M., & Tang, L. (2011). Sprout development, biomass accumulation and fuelwood characteristics from coppiced plantations of *Quercus acutissima*. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 3104–3114. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.017>
- Flores-Velázquez, R., Rangel-Piñón, J. V, Quintanar-Olguin, J., Fuentes-López, M. E., & Vázquez-Silva, L. (2007). Calidad de maquinado de la madera de *Quercus affinis* y *Quercus laurina*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 13(1), 41–46.
- Francescato, V., Antonini, E., & Bergomi, L. Z. (2008). *Wood fuels handbook*. Legnaro, Italy: AIEL - Italian Agriforestry Energy Association Agripolis.
- Fuentes, M. (2000). Estimación del punto de saturación de la fibra (PSF) de las maderas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 6(1), 79–81.
- García, E. (1998). *Climas (clasificación de Köppen, modificado por García)*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Gutiérrez Galindo, E., Bravo, J. A., Sánchez, I., Serrada, R., & Allué Camacho, M. (2003). Evaluación del regenerado posterior a diferentes tratamientos de resalveo en un monte bajo de *Quercus faginea* Lamk. (Torreadrada, Segovia). *Cuadernos de La SECF*, 15, 141–146.
- Hauk, S., Knoke, T., & Wittkopf, S. (2014). Economic evaluation of short rotation coppice systems for energy from biomass - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 435–448. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.103>
- Hawley, R. C., & Smith, D. M. (1972). *Silvicultura Práctica*. Barcelona, España: Ediciones Omega.
- Honorato Salazar, J. A., & Fuentes López, M. E. (2001). Propiedades físico-

mecánicas de la madera de cinco especies de encinos del estado de Guanajuato. *Revista Ciencia Forestal En México*. Retrieved from <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Forestales/article/view/41/32#>

IAWA Committee. (1937). Committee on the standardization of terms of cell size. Standard terms of length of vessel members and wood fiber. *Tropical Woods*, (51), 21–22.

IAWA Committee. (1939). Committee on the nomenclature. Standard terms of size for vessel diameter and ray width. *Tropical Woods*, (59), 51–52.

IAWA Committee. (1989). IAWA List of Microscopic Features For Hardwood identification. *IAWA Bulletin N.s.*, 10(3), 219–332.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2013). *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1 : 250 000 , Serie V ( Capa Unión ) (2a ed.)*. Aguascalientes, Mexico: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).

Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias. (2001). *Edafología*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Krajnc, N. (2015). *Wood Fuels Handbook*. Pristina, Kosovo: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) concerning.

Liu, Z., Fang, S., Liu, D., Yu, M., & Tang, L. (2011). Influence of thinning time and density on sprout development, biomass production and energy stocks of sawtooth oak stumps. *Forest Ecology and Management*, 262(2), 299–306. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.03.035>

Luna-Jose, A. D. L., Montalvo-Espinosa, L., & Rendon-Aguilar, B. (2003). Los usos no leñosos de los encinos en Mexico. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 72(July), 107–117.

- Luostarinen, K., Huotari, N., & Tillman-Sutela, E. (2009). Effect of regeneration method on growth, wood density and fibre properties of Downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.). *Silva Fennica*, 43(3), 329–338.
- Marja-Sisko, & Ilvessalo-Pfäffli. (1995). *Fiber Atlas, Identification of Papermaking Fibers*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. <http://doi.org/10.1007/978-3-662-07212-7>
- Matula, R., Svátek, M., Kůrová, J., Úradníček, L., Kadavý, J., & Kneifl, M. (2012). The sprouting ability of the main tree species in Central European coppices: Implications for coppice restoration. *European Journal of Forest Research*, 131(5), 1501–1511. <http://doi.org/10.1007/s10342-012-0618-5>
- Miller, P., & Kauffman, B. (1998). Effects of slash and burn agriculture on species abundance and composition of a tropical deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 103(2–3), 191–201. [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00180-1](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00180-1)
- Miranda, I., & Pereira, H. (2015). Variation of wood and bark density and production in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in a second rotation. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 8(1991), e1–e6. <http://doi.org/10.3832/ifor1442-008>
- Negreros-Castillo, P., & B. Hall, R. (2000). Sprouting capability of 17 tropical tree species after overstory removal in Quintana Roo, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 126(3), 399–403. [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00109-7](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00109-7)
- Parr Instrument Company. (2007). Introduction to Bomb Calorimetry. *Parr Instrument Company*. Moline, Illinois, USA. Retrieved from [http://www.parrinst.com/files/483M\\_Parr\\_Intro-to-Bomb-Calorimetry.pdf](http://www.parrinst.com/files/483M_Parr_Intro-to-Bomb-Calorimetry.pdf)
- Peterken, G. F. (1981). *Woodland Conservation and Management*. Springer-Science+Business Media. <http://doi.org/10.1007/978-1-4899-2857-3>

- Rackham, O. (1967). The history and effects of coppicing as a woodland practice. In E. Duffey (Ed.), *The biotic effects of public pressures on the environment* (pp. 82–93). London, United Kingdom: The Nature Conservancy, Natural Environment Research Council.
- Ríos-Saucedo, J. C., Acuña-Carmona, E., Cancino-Cancino, J., Rubilar-Pons, R., Navar-Chaidez, J. de J., & Rosales-Serna, R. (2016). Allometric equations commonly used for estimating shoot biomass in short-rotation wood energy species: a review. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, XXII(2), 193–202. <http://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.05.022>
- Rivera, N. L., Quintanar, I. A., & De la Paz Pérez, O. C. (1999). Comparación histoquímica de albura y duramen de tres especies de *Quercus*. *Madera y Bosques*, 5(1), 27–41.
- Ruiz-Aquino, F., González-Peña, M. M., Valdez-Hernández, J. I., & Romero-Manzanares, A. (2016). Estructura anatómica de la madera de dos encinos de Oaxaca. *Madera y Bosques*, 22(1), 177–189.
- Schweingruber, F. H. (2007). *Wood Structure and Environment*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2015*. Ciudad de México, México: Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Retrieved from [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181383/ANUARIO\\_FORESTAL\\_2015.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181383/ANUARIO_FORESTAL_2015.pdf)
- Serrada, H. R. (2002). Selvicultura aplicada en España. *Eria*, 58, 220–229.
- Sharma, S. K., Rao, R. V, Shukla, S. R., Kumar, P., Sudheendra, R., Sujatha, M., & Dubey, Y. M. (2005). Wood quality of coppiced *Eucalyptus tereticornis* for value addition. *IAWA Journal*, 26(1), 137–147.
- Valencia, A. S., & Barajas-Morales, J. (1995). Comparación de la anatomía de la

madera de *Quercus affinis* y *Quercus laurina* (Fagaceae). *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Mexico, Ser. Bot*, 66(2), 113–131.

Valencia, A. S., & Flores-franco, G. (2006). Catálogo de autoridades taxonómicas de las fagáceas (Fagaceae: Magnoliopsida) de México. Facultad de Ciencias, UNAM. Base de datos SNIB-CONABIO, proyecto CS008. México.

Velázquez, R. F., Elena, M., López, F., Quintanar, J., Carlos, J., & Urías, T. (2013). MAQUINADO DE CUATRO ESPECIES MADERABLES DE ENCINO DE LA SIERRA DE JUÁREZ, OAXACA. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(16).

Zbonak, A., Bush, T., & Grzeskowiak, V. (2007). Comparison of tree growth , wood density and anatomical properties between coppiced trees and parent crop of six Eucalyptus genotypes. *Forestry*, (1991), 1–10.

=^• λ • ^=