



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA

VARIACIÓN ANATÓMICA EN LA MADERA DE *Quercus obtusata*

Humboldt & Bonpland (FAGACEAE)

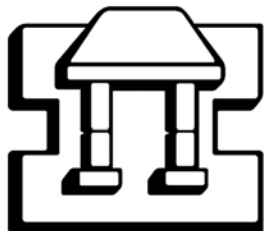
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A :

DULCE MARÍA CHÁVEZ ROMERO



DIRECTOR DE TESIS: DRA. SILVIA AGUILAR RODRÍGUEZ

LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTLA, EDO. DE MÉX. 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*El hombre encuentra a Dios detrás de cada puerta que la ciencia logra abrir*

Albert Einstein

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Doctora Silvia Aguilar Rodríguez por dirigir este trabajo, por sus consejos, apoyo, paciencia y por compartir inolvidables momentos, muchas gracias Doctora.

A la Doctora Teresa Terrazas Salgado por su atención, consejos, sugerencias y conocimientos que hicieron de esta tesis un mejor trabajo.

A la Doctora Silvia Romero Rangel y Doctor Carlos Rojas Zenteno por el recorrido en campo e identificación del material, así como por sus sugerencias y aportaciones.

Al Doctor Daniel Tejero Diez por sus consejos, atención, sugerencias y los buenos momentos compartidos.

Al Físico Samuel Meraz Martínez por sus consejos y aportaciones.

A mis entrañables amigos de la carrera, Miguel, Luis, Claudia, Omar, Cristhian, y a mis viejos amigos Mizael y Sandra, por los largos años que han estado conmigo, a todos ustedes les agradezco por las vivencias, las buenas y malas experiencias, por su amistad, apoyo y porque los verdaderos amigos son lo que permanecen hasta el final, los quiero.

A mi amiga Gaby, porque te lo prometí y por gran el apoyo que me has brindado desde que te conozco, porque eres una hermosa persona, te quiero mucho amiga.

Y a todas esas personas que han dejado una huella en mis recuerdos y estuvieron a mi lado en algún momento de mi vida.

## **Dedicado**

A mis *Padres*

*Eulalio y Maria Eugenia* porque

son el pilar de mi vida,

y no tengo palabras para poder expresar

el infinito agradecimiento que se merecen,

gracias por apoyarme y estar conmigo siempre.

A mis hermanos *Lalo, Luis, Mario,*

*Maritza y Natividad,*

juntos en las buenas y en las malas,

gracias por ser la mejor familia.

A *Valeria, Angeles, Maritsa y Aline*

por cambiar y llenar de alegría mi vida.

Y finalmente a ti *Daniel*

que has estado conmigo

en las buenas, en las malas,

siempre a mi lado;

a todos y cada uno de ustedes

que me han apoyado incondicionalmente

les estoy eternamente agradecida.

Los amo profundamente.

---

## ÍNDICE

### RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. MARCO TEÓRICO.....	6
III. ANTECEDENTES.....	11
IV. OBJETIVOS.....	13
V. MATERIAL Y MÉTODO.....	14
VI. RESULTADOS.....	19
VI.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA.....	19
VI.2 VARIACIÓN ANATÓMICA.....	24
VII. DISCUSIÓN.....	38
VIII. CONCLUSIONES.....	43
APÉNDICE.....	44
LITERATURA CITADA .....	52

---

---

## RESUMEN.

En este trabajo, se evaluó la variación anatómica de la madera de *Quercus obtusata* bajo diferentes condiciones ambientales. Las características anatómicas de la madera temprana y tardía se analizaron junto con el tamaño y diámetro de los individuos, la latitud, la altitud y 19 parámetros climáticos obtenidos mediante el uso del programa de modelaje bioclimático (BIOCLIM), a través de correlaciones simples y el análisis exploratorio de componentes principales. Los resultados mostraron que la longitud del elemento de vaso angosto de la madera tardía y la altura del radio uniseriado se asocian positivamente con la altura del árbol ( $R_p = 0.35$  a  $0.34$ ,  $p < 0.0001$ ). La longitud del elemento de vaso ancho y angosto de la madera temprana se asocian negativamente con la latitud ( $R_p = -0.24$  a  $-0.31$ ,  $p < 0.0001$ ) y con la altitud ( $R_p = -0.26$  a  $-0.27$ ,  $p < 0.0001$ ), mientras que la altura del radio uniseriado ( $R_p = -0.23$ ,  $p < 0.0001$ ) y el diámetro de las punteaduras ( $R_p = -0.20$ ,  $p < 0.0001$ ) se correlacionan con la latitud. Como en otras especies, *Q. obtusata* mostró una relación negativa entre la longitud de los elementos de vaso y la altura del radio con la altitud y la latitud; sin embargo, la asociación fue positiva y significativa entre el tamaño de los individuos y las longitudes de elementos de vaso, diámetro de las punteaduras intervasculares y altura del radio uniseriado. El análisis de componentes principales reveló que 66.5% de la variación total esta dada en tres componentes y nueve variables son las que más contribuyen a explicar dicha variación. Este análisis segregó las poblaciones debido a algunos factores climáticos, siendo la estacionalidad de la precipitación, la temperatura promedio del periodo más frío y más seco los que tuvieron un efecto sobre el diámetro y longitud de los elementos de vaso, así como sobre la pared de la fibra. En la localidad más seca "Los Arcos", con precipitación anual de 721 mm y temperatura de 13 °C, la madera mostró los elementos traqueales más cortos (elementos de vaso con longitud promedio de 561  $\mu\text{m}$  en madera temprana

---

---

y 610  $\mu\text{m}$  en la tardía), mientras que en el ambiente méxico "Santa Catarina", con una precipitación de 996 mm y temperatura de 15 °C, la madera presentó los elementos traqueales más largos (elementos de vaso de 600  $\mu\text{m}$  en madera temprana y 646  $\mu\text{m}$  en madera tardía). Aunque en otras especies es bien conocida la tendencia de las fibras a disminuir su tamaño con la latitud y aumentarlo con la talla de los individuos, en *Q. obtusata* esta tendencia no se presenta, posiblemente la longitud de las fibras en este taxa es un carácter que está fijado genéticamente o bien, son otros parámetros como los edáficos los que podrían explicar su variación. Los factores climáticos como el frío o sequía extremos, influyen directamente en el comportamiento de los elementos celulares de la especie estudiada; por lo que para sugerir un uso adecuado de su madera, se debe tomar en cuenta la procedencia microclimática de las poblaciones.

Palabras clave. Anatomía de la madera, encino, variación, variables ambientales.

---



---

## I. INTRODUCCIÓN.

La madera provee información que puede ser usada como registro de las condiciones ambientales donde los árboles se desarrollan. Las características estructurales de ésta, como los anillos de crecimiento y la longitud, diámetro y grosor de la pared de los elementos traqueales, pueden revelar detalles de la historia natural de una especie y de su ecosistema (Jagels *et al.*, 1994). En este sentido, los elementos celulares de la madera pueden ser ecológicamente variables dentro de ciertos grupos taxonómicos, sobre todo en aquellos de amplia distribución que se desarrollan en diferentes condiciones climáticas (Noshiro y Baas, 1998; Dickison, 1999; Aguilar-Rodríguez y Terrazas, 2001). Las presiones de selección del ambiente tales como la temperatura, fotoperiodo y disponibilidad del agua, operan continuamente sobre la anatomía de la madera (Van den Over *et al.*, 1981; Villagra, 1997) y sobre el tamaño de los individuos (Arias y Terrazas, 2001; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006).

En algunos estudios, se ha manifestado que existen cambios en el tamaño celular entre individuos de la misma especie que crecen en diferentes hábitats, al observar que su talla también influye en el comportamiento de los elementos celulares de la madera (Roig, 1986; Dünisch y Bauch, 1994; Cordell *et al.*, 1998; Noshiro y Baas, 2000; Terrazas y Loza-Cornejo, 2003; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006). El análisis de la variación anatómica intraespecífica en una especie debida a los factores climáticos y al hábito de los individuos, ayuda a la estandarización de las características deseadas de una determinada especie, optimizando el uso de la madera que ya se explota comercialmente (De la Paz y Quintanar, 1994).

Los encinos pertenecen al género *Quercus* y cuentan en México con una gran variedad de especies arbóreas. De La Paz y colaboradores (1998) mencionan que por las características de sus tallos, su abundancia y amplia distribución, los encinos pueden destinarse a usos en donde se

---

---

pongan de manifiesto sus excelentes características. *Quercus obtusata* Humboldt & Bonpland, se distribuye principalmente en el centro del país, en los estados de Nuevo León, Durango, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Guanajuato, Colima, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Veracruz, México, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Guerrero, y Oaxaca (Fig. 1). Prospera en los bosques de *Pinus*, *Quercus* y *Pinus-Quercus*, en donde se asocia con otras especies; también se le reconoce en el bosque mesófilo de montaña y pastizal con matorral xerófilo de *Acacia* y *Opuntia*, así como en encinares perturbados. Altitudinalmente se desarrolla entre los 1430 y 2850 m s.n.m. (Rzedowski, 1978; Romero, 2002; De la Paz *et al.*, 2006). Económicamente es una especie con un alto potencial de aprovechamiento; considerando que su madera es excelente para ser usada como duela para pisos, y por el alto contenido de tálides y su alta resistencia a la pudrición, es la madera más adecuada para tonelería. Se utiliza en la elaboración de leña, carbón, postes para cercas, implementos agrícolas, cabos para herramienta y también como material de construcción (Romero, 2002). Dentro de los usos no leñosos, se utiliza la corteza de esta especie debido al gran contenido de taninos para el curtido de pieles, y, las hojas frescas son usadas como forraje para el ganado caprino (Luna *et al.*, 2003). Por lo anterior, los estudios sobre variación anatómica de madera en especies de importancia económica son fundamentales para su manejo y el avance en este tipo de conocimiento, provee las bases para un manejo forestal adecuado que favorezca las plantaciones o la restauración.

---

---

## Área de estudio

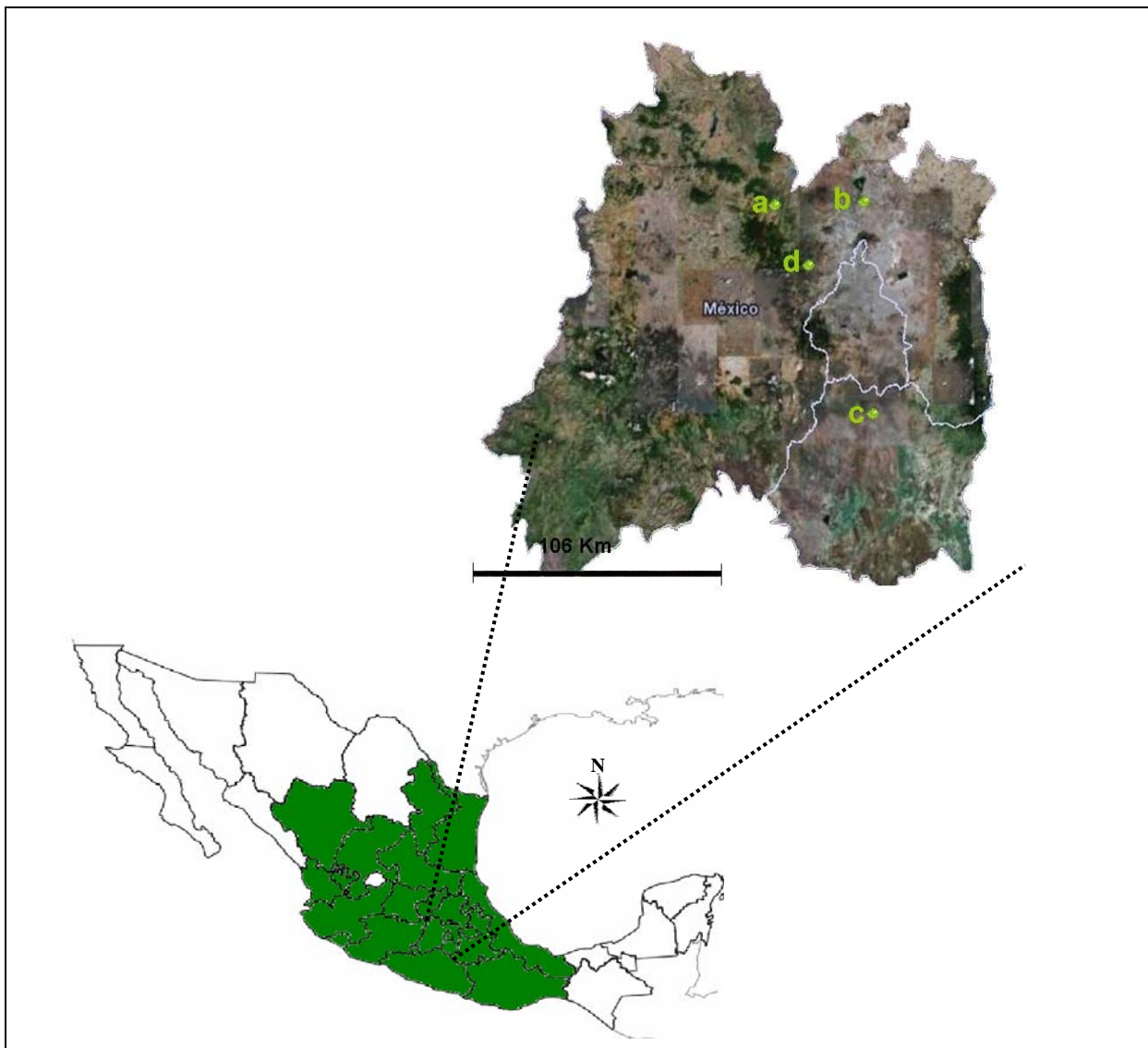


Figura 1. Mapa de distribución de *Quercus obtusata* en la República Mexicana y las cuatro localidades donde se recolectaron los ejemplares de madera; a=Llano del Güilo (Villa del Carbón), b=Arcos del Sitio (Tepoztlán), c=Santa Catarina (Tepoztlán), d=Santa Ana Jilotzingo (Tlazala de Fabela).

---

---

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A pesar de la elevada importancia que reviste la madera de los encinos como un recurso forestal, no existen estudios sobre la variación de la misma en nuestro país. Cabe destacar que en algunos países de Europa y de América del norte, toman en cuenta el origen geográfico de las especies, con la finalidad de establecer un estricto criterio de selección sobre sus poblaciones (De la Paz *et al.*, 2000).

Por ello una de las finalidades de este trabajo es el de realizar un estudio de variabilidad de elementos celulares que permitan entender la biología de *Quercus obtusata* para un mejor aprovechamiento.

---

---

## II. MARCO TEÓRICO

*Quercus obtusata* se caracteriza por ser un árbol de 6 a 30 m de alto con troncos de 40 a 60 cm de diámetro; su corteza es escamosa, de color café oscura casi negra y áreas blanquecinas, con grietas longitudinales y transversales que forman piezas irregulares; al seccionar transversalmente se observan los radios de color café claro o café rojizo y múltiples capas perpendiculares a los radios que corresponden a las peridermis acumuladas. Las ramillas son glabrescentes, rojizas, grises o negras, de 2 a 3 mm de diámetro con indumento formado por tricomas glandulares y estrellados, lenticelas pálidas de hasta 2 mm de largo. Las hojas jóvenes tienen el haz rojizo, con tricomas glandulares, envés amarillento, densamente pubescente e indumento formado por tricomas estrellados entrelazados. Las hojas maduras son decíduas, gruesas y coriáceas, rugulosas, obovadas o elípticas con 7 a 12 nervaduras en cada lado, ascendentes, rectas o ligeramente curvas; el haz es de color verde lustroso, glabrescente, con tricomas simples y estrellados dispersos. Flores distribuidas a lo largo del raquis largamente pubescente, 6 estambres, anteras y filamento de 1 mm de largo, amentos femeninos de 3 a 6 ó más flores distribuidas en la mitad distal de un pedúnculo. Fruto anual, bellota globosa; a veces cilíndrica-ovoide, solitario o en grupos de 2 ó más (Fig. 2) (Romero, 2002).

*Quercus obtusata* se reconoce por poseer hojas obovadas, con mucrones robustos que se doblan hacia el envés, éste con abundantes tricomas glandulares y escasos tricomas estrellados con las ramas enredadas entre sí; con bellotas globosas. *Q. obtusata* se relaciona con *Quercus laeta* por tener las hojas con bordes mucronados, pero se distingue por tener el envés de la hoja con pubescencia formada por escasos tricomas glandulares y abundantes tricomas estrellados con las ramas extendidas y estípites cortos (Romero, 2002).

---



Figura 2. Ramilla con hojas y fruto de *Quercus obtusata*.

---

---

## La madera de los encinos

Los encinos forman el segundo grupo más abundante en la vegetación forestal de las zonas de clima templado frío del país, mismas que cubren una superficie aproximadamente de 30 millones de hectáreas (Quintanar, 2002). Así mismo, su madera ocupa el segundo lugar de aprovechamiento en el país y representa 9% del recurso maderable total explotable (De la Paz *et al.*, 2000).

*Quercus obtusata* pertenece al subgénero *Leucobalanus*, llamados encinos blancos. En general la madera de éstos se caracteriza por tener mayor densidad, dureza, cantidad de cristales y tálides en sus lúmenes, además, sus radios multiseriados son más anchos y más altos, en comparación con los encinos rojos. En este sentido la anatomía de la madera es una herramienta que puede ser empleada en su identificación dentro de un proceso de control de calidad, pues los encinos blancos tienden a ser más susceptibles a las contracciones e hinchamientos, llegando a constituir un problema en el secado y maquinado. Sin embargo, por el contenido elevado de tálides y su alta resistencia a la pudrición, es la madera más adecuada para la elaboración de barricas. (De la Paz *et al.*, 1978, 2000).

A pesar de la elevada importancia que reviste la madera de los encinos como un recurso forestal, no existen estudios sobre la variación de la misma en nuestro país. Cabe destacar que en algunos países de Europa y de América del norte, toman en cuenta el origen geográfico de las especies, con la finalidad de establecer un estricto criterio de selección sobre sus poblaciones (De la Paz *et al.*, 2000).

---

---

## Propiedades de la madera

La madera es un tejido que se origina a partir del cámbium vascular y se reconoce como xilema secundario. Está constituido por varios tipos celulares: traqueidas, elementos de vaso, diferentes tipos de fibras, parénquima axial y radial, así como un conjunto de células secretoras (Fahn, 1978). Las diferencias entre los caracteres anatómicos repercuten en las propiedades y por consiguiente en los usos de la madera. Dentro de sus propiedades tecnológicas, las físico-mecánicas son importantes, pues se utilizan como índices para evaluar si las características o calidad de una madera son adecuadas para un uso específico (Panshin & DeZeew, 1980). En este sentido, la variabilidad que presentan las propiedades tecnológicas, están relacionadas con el tipo, arreglo y disposición de las células en las distintas direcciones (la dirección longitudinal se considera paralela a la orientación de las células, la dirección radial paralela a los radios medulares y la tangencial tangente a los anillos de crecimiento (Fig. 3) (Young, 1991). En la madera de los encinos estas discrepancias se basan principalmente en el color, tamaño de los radios multiseriados, presencia y ausencia de tílides y la cantidad de cristales, por mencionar algunos (De la Paz *et al.*, 1978).

---



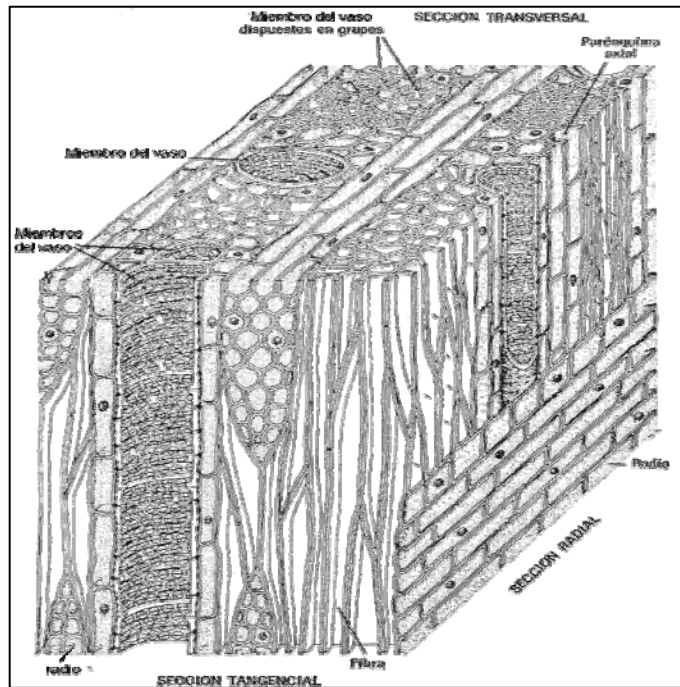


Figura 3. Direcciones principales de la madera.

---

### III. ANTECEDENTES

Los estudios realizados sobre la variabilidad de la madera con respecto a factores ambientales han sido desarrollados por diferentes autores. Roig (1986) estudió la anatomía de la madera en *Adesmia horrida* (Leguminosae, Papilionoideae) y las modificaciones en su estructura; tomando en cuenta la cantidad de precipitación, observó que ésta determina la presencia de porosidad anular en ambientes áridos y la semianular en localidades más húmedas. Dünisch y Bauch (1994) estudiaron la variación de la madera de *Piceae abies*, encontrando que la influencia de ciertos minerales (Mg, Ca, K), así como la dimensión de las células están fuertemente influenciados por la temperatura y disponibilidad del agua. Otro trabajo que muestra la variación con respecto al ambiente es el de Villagra (1997), quien describe los cambios en la estructura de la madera de *Prosopis alata* y *P. argentina* bajo diferentes condiciones edáficas, relacionadas con el estrés de agua. La plasticidad fenotípica del árbol hawaiano *Metrosideros polymorpha* (Myrtaceae), que ocupa una amplia diversidad de ambientes a lo largo de un gradiente altitudinal, fue estudiada por Cordell *et al.* (1998), ellos revelaron que dicha variación puede ser determinada por diferencias genéticas o modificaciones fenotípicas resultado de las condiciones climáticas; en este trabajo se concluyó que la combinación de los diferentes ambientes induce a una variabilidad en la fisiología y en los caracteres anatómicos de la madera. Psaras y Sofroniou (1999), compararon desde una perspectiva ecológica, los caracteres cuantitativos de la madera en tallo y raíz de *Capparis spinosa*, observando diferencias entre los vasos de ambos órganos. Noshiro y Baas (2000) correlacionaron los caracteres anatómicos de la madera de tres especies de *Cornus* con el tamaño y diámetro del árbol, con la altitud y latitud, así como con la temperatura anual y

---

---

la precipitación; ellos encontraron una correlación significativa con algunos caracteres anatómicos (el diámetro tangencial del vaso, las longitudes del elemento de vaso y fibra y la frecuencia de los vasos) de la madera. En *Annona glabra* (Annonaceae) Yáñez y Terrazas (2001) evaluaron el efecto de la inundación sobre el xilema secundario, encontrando diferencias marcadas en la madera que se encuentra bajo inundación. Aguilar-Rodríguez *et al.* (2006) realizaron un estudio sobre la anatomía de la madera de *Buddleja cordata* (Buddlejaceae) y reportan una variación de caracteres a lo largo de su distribución geográfica. Fisher y colaboradores (2007) reportan que la variación en el diámetro de los vasos de la madera de *Metrosideros polymorpha* está determinada por el genotipo y el ambiente.

Con respecto al género *Quercus*, Villar *et al.* (1997) realizaron un estudio que relaciona el ambiente con la anatomía de la madera de tres encinos, *Quercus coccifera*, *Q. ilex* y *Q. faginea*, ellos encuentran correlaciones significativas entre la precipitación y el diámetro y la longitud del elemento de vaso. En México estudios relacionados con la variación anatómica de madera de encinos no se reporta, sin embargo son frecuentes los trabajos descriptivos, como los de Corral (1981), De la Paz *et al.* (1982, 1994, 1998, 2006), Aguilar- Rodríguez *et al.* (2000), Martínez *et al.* (2003), Aguilar- Rodríguez y Castro-Plata (2006). De estos trabajos, los de Ortega *et al.* (1988), De la Paz *et al.* (1982, 2006) y Aguilar-Rodríguez *et al.* (2000) describen la madera de individuos de *Quercus obtusata* provenientes de diferentes áreas de distribución natural de la especie. En ellos se aprecia que existen algunas discrepancias en cuanto a las dimensiones del tamaño celular, por ello una de las finalidades de este trabajo es el de realizar un estudio de variabilidad de elementos celulares que permitan entender la biología de esta especie.

---

---

#### **IV. OBJETIVOS**

Objetivo general:

- Evaluar los caracteres anatómicos de la madera de *Quercus obtusata* bajo diferentes condiciones ambientales.

Objetivos particulares:

- Describir los caracteres microscópicos de la madera de *Quercus obtusata*.
  - Evaluar la correlación de la variación de los caracteres de la madera con la temperatura, precipitación, altitud y latitud.
  - Evaluar la relación entre los caracteres anatómicos y el tamaño y diámetro de los individuos.
-

---

## V. MATERIAL Y MÉTODO

**Colecta.** Se recolectaron muestras de *Quercus obtusata* provenientes de cuatro localidades en ambientes contrastantes (Tabla 1, Fig. 1). El clima donde crece *Q. obtusata* varía de templado a seco. La temperatura fluctúa entre 12° y 20 °C y la precipitación promedio anual entre 711 mm y 1463 mm. La vegetación predominante de acuerdo a Rzedowski (1978) en las localidades de colecta, correspondió a bosque de pino, pino-encino y matorral xerófilo con diferentes grados de perturbación. Se recolectaron ejemplares de herbario para respaldo, éstos fueron depositados en el herbario IZTA. En el campo se obtuvieron datos generales como la altura y el diámetro del individuo a la altura del pecho (DAP). Cada sitio fue georeferenciado con un GPS Magellan modelo Mapa 410. En cada localidad se obtuvieron de dos a tres trozos de madera y corteza del tronco, a una altura de 1.30 m del tronco principal, de tres individuos maduros y sanos; se fijaron y almacenaron en una solución de formol - ácido acético - alcohol al 70% (Johansen, 1940) hasta su procesamiento en laboratorio, posteriormente se ablandaron empleando una solución de glicerina-alcohol etílico-agua (GAA = 1:2:3).

**Trabajo de laboratorio.** De cada una de las muestras se obtuvieron cubos de 1.5 cm de lado y con un micrótopo de deslizamiento se cortaron los planos transversal, tangencial y radial (Fig. 4) obteniendo secciones de 20 a 30 µm de grosor. Los cortes se tiñeron con safranina y posteriormente se montaron de acuerdo a la técnica propuesta por Johansen (1940). Astillas de madera se colocaron en la solución Jeffrey (Berlyn y Miksche, 1976) con la finalidad de obtener disociados y medir la longitud de los elementos de vaso y fibras y corroborar la presencia de traqueidas vasculares.

---

---

**Descripción y variación anatómica.** Se llevó a cabo la descripción anatómica de la madera según lo recomendado por la Asociación Internacional de los Anatomistas de la Madera (International Association of Wood Anatomists Committee) (IAWA Committee, 1989) (Apéndice).

Se tomaron 50 mediciones para cada uno de los 16 caracteres cuantitativos por individuo. Estos caracteres fueron: diámetro del lumen y longitud del elemento de vaso ancho y angosto; longitud, diámetro del lumen, diámetro total y grosor de la pared de las fibras, medidos todos ellos en la madera temprana y tardía, así como, el diámetro de las punteaduras intervasculares y la altura del radio uniseriado. Con ellos se obtuvo la estadística descriptiva (media, desviación estándar e intervalos mínimo y máximo). Los caracteres se describieron y cuantificaron empleando un microscopio óptico marca Carl Zeiss. Con base en las localidades georeferenciadas para cada población, se generaron 19 parámetros climáticos mediante el uso de un programa de modelaje bioclimático (BIOCLIM).

Para relacionar la variación anatómica de la madera en *Quercus obtusata* con el clima, el hábito, la latitud y la altitud, se llevaron a cabo una serie de análisis estadísticos. En primer lugar se realizó un análisis de correlación de Pearson entre los 16 caracteres anatómicos cuantitativos de la madera, el tamaño de los individuos, DAP, altitud y latitud. Posteriormente, con la finalidad de identificar que parámetros contribuían significativamente a explicar el mayor porcentaje de la variación, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) a los 19 datos climáticos (ver apéndice). En seguida se practicó un segundo análisis de ACP con los caracteres anatómicos (ver apéndice). Finalmente, se efectuó un tercer ACP que incluyó los caracteres más significativos de los anteriores ACP (seis parámetros climáticos y siete caracteres anatómicos), así como el tamaño del individuo, DAP, altitud y latitud. El análisis de componentes principales es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es

---

---

decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. Mediante un análisis de varianza del modelo general lineal, se detectaron las diferencias significativas entre las medias de las variables identificadas por el ACP y aquellas que presentaron correlaciones significativas con las localidades. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo empleando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) (SAS Institute, 1989).

---

**Tabla 1. Datos de colecta de los individuos de *Quercus obtusata*, con los parámetros climáticos de BIOCLIM, Oscilación anual de la temperatura (OAT), Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (TPCS), Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (TPF), Precipitación anual (PA), Estacionalidad de la precipitación (EP), Precipitación del cuatrimestre más frío (PCF).**

Localidad	Tamaño (m)	DAP (cm)	Coordenadas	Altitud (m s.n.m)	Tipo de vegetación	Parámetros climáticos						Formula climática
						OAT	TPCS	TPF	PA	EP	PCF	
<b>Llano del Güilo</b> (Estado de México)	13, 13, 15	43, 36.5, 33.5	19°42'44.3" N 99°27'37" W	2525	Bosque de encino-pino	23.8	11.8	11.8	886	94	31	Cb(w2)(w)(i)g
<b>Arcos del Sitio</b> (Estado de México)	15, 18.6, 11	44, 47, 34	19°41'05"N 99°12'21.9" W	2402	Matorral xerófilo	24.9	12.6	12.6	721	93	22	Cb(w1)(w)(i)g
<b>Santa Catarina</b> (Morelos)	24, 19, 32	64, 42, 32	19°00'51.3" N 99°09'43.6" W	2220	Bosque de encino con elementos mesófilos	22.5	14.9	14.9	996	101	30	(A)Ca(w2)(w)(i)g
<b>Santa Ana Jilotzingo</b> (Estado de México)	15, 19	31 29	19°33'1.2" N 99°24'1.6" W	2700	Bosque de encino	21.6	11.3	11.3	1085	96	38	Cc(m)(w)igw"



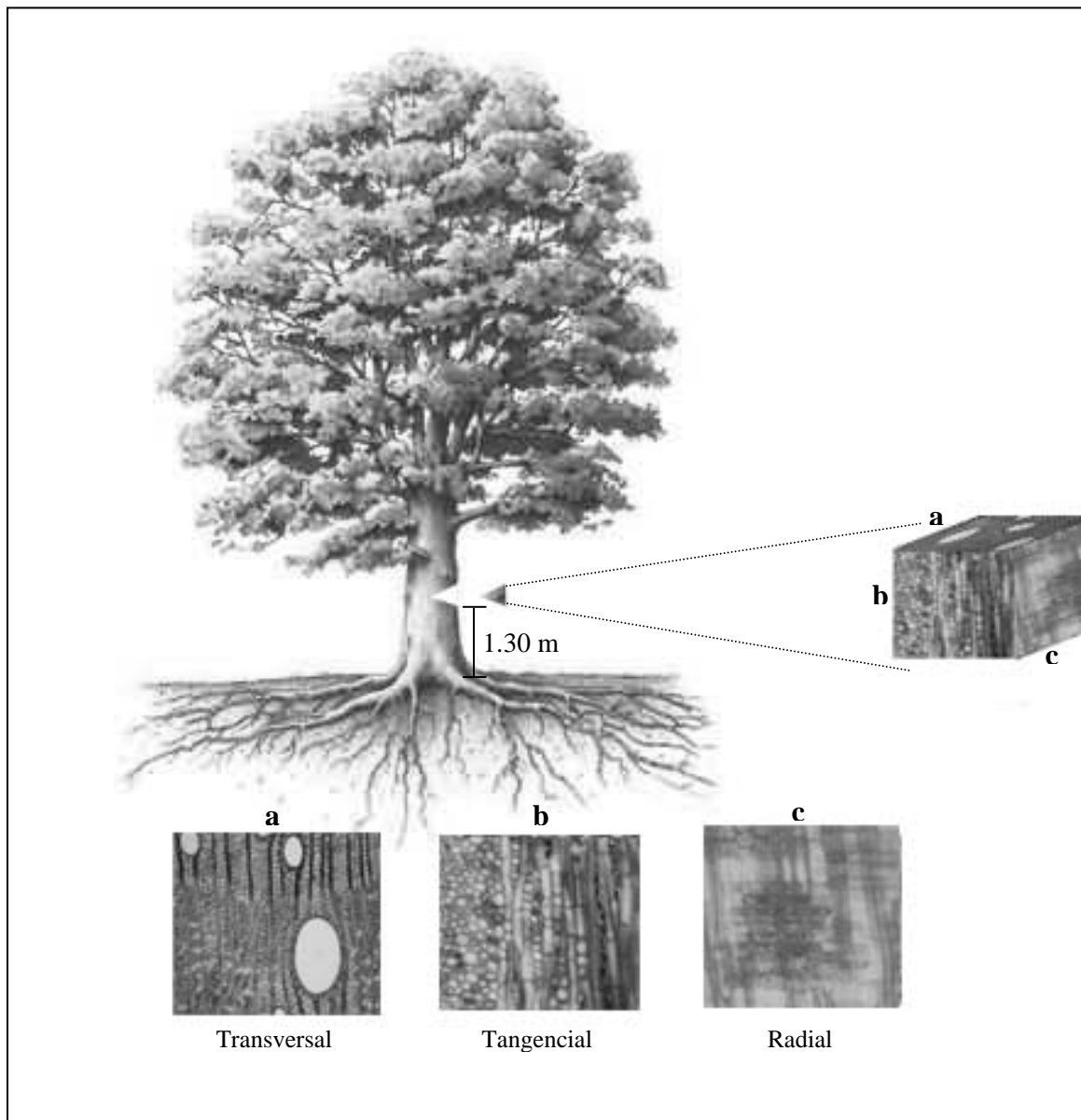


Figura 4. Representación de las secciones obtenidas para cada individuo de *Quercus obtusata*.

---

---

## VI. RESULTADOS

### VI.1 Descripción anatómica (Figuras 5-8)

Anillos de crecimiento poco evidentes, en ocasiones se delimitan por la presencia de bandas angostas de fibras con forma rectangular en vista transversal, con las paredes engrosadas y lúmenes angostos, además de vasos escasos con diámetro pequeño entremezclados en la madera tardía. Porosidad difusa (Fig. 5); vasos principalmente solitarios, arreglados en cadenas diagonales. Diámetro tangencial promedio de los vasos anchos en la madera temprana con  $195 \pm 33 \mu\text{m}$  (125-345  $\mu\text{m}$ ), los vasos angostos de la madera tardía con  $63 \pm 25 \mu\text{m}$  (15-141  $\mu\text{m}$ ). Longitud promedio de los elementos de vaso anchos y angostos en la madera temprana con  $580 \pm 95 \mu\text{m}$  (314-880  $\mu\text{m}$ ) y  $605 \pm 90 \mu\text{m}$  (377-1006  $\mu\text{m}$ ) respectivamente; mientras que en la madera tardía la longitud de los elementos de vaso anchos es de  $573 \pm 99 \mu\text{m}$  (353-919  $\mu\text{m}$ ) y en los angostos de  $620 \pm 97 \mu\text{m}$  (353-864  $\mu\text{m}$ ); placas de perforación simple con una inclinación de 10 a 45°, punteaduras intervasculares alternas  $9 \pm 1 \mu\text{m}$  (6-14  $\mu\text{m}$ ), punteaduras vaso-radio de bordes reducidos a aparentemente simples. Fibras de tipo libriforme, con una longitud promedio en la madera temprana de  $1407 \pm 204 \mu\text{m}$  (793-2122  $\mu\text{m}$ ), diámetro total de  $20 \pm 2 \mu\text{m}$  (15-29  $\mu\text{m}$ ), diámetro del lumen de  $6.7 \pm 1.7 \mu\text{m}$  (1-11  $\mu\text{m}$ ) y paredes gruesas con  $6.2 \pm 1.25 \mu\text{m}$  (3.9-9.8  $\mu\text{m}$ ); mientras que en la madera tardía la longitud promedio de  $1487 \pm 220 \mu\text{m}$  (723-2311  $\mu\text{m}$ ), diámetro total de  $23 \pm 3 \mu\text{m}$  (15-31  $\mu\text{m}$ ), diámetro del lumen  $14.4 \pm 3 \mu\text{m}$  (5.9-23.6  $\mu\text{m}$ ) y grosor de la pared de  $3.4 \pm 1 \mu\text{m}$  (1.97-5.9  $\mu\text{m}$ ). El parénquima axial es apotraqueal difuso en agregados y paratraqueal escaso; abundancia regular; en series de 4 a 8 células; cristales prismáticos se depositan en algunas células (Fig. 8b). Los radios uniseriados y multiseriados homogéneos, con células procumbentes; con cristales romboidales en pocas células, altura de los radios uniseriados  $464 \pm 147 \mu\text{m}$  (149-1006  $\mu\text{m}$ ).

---

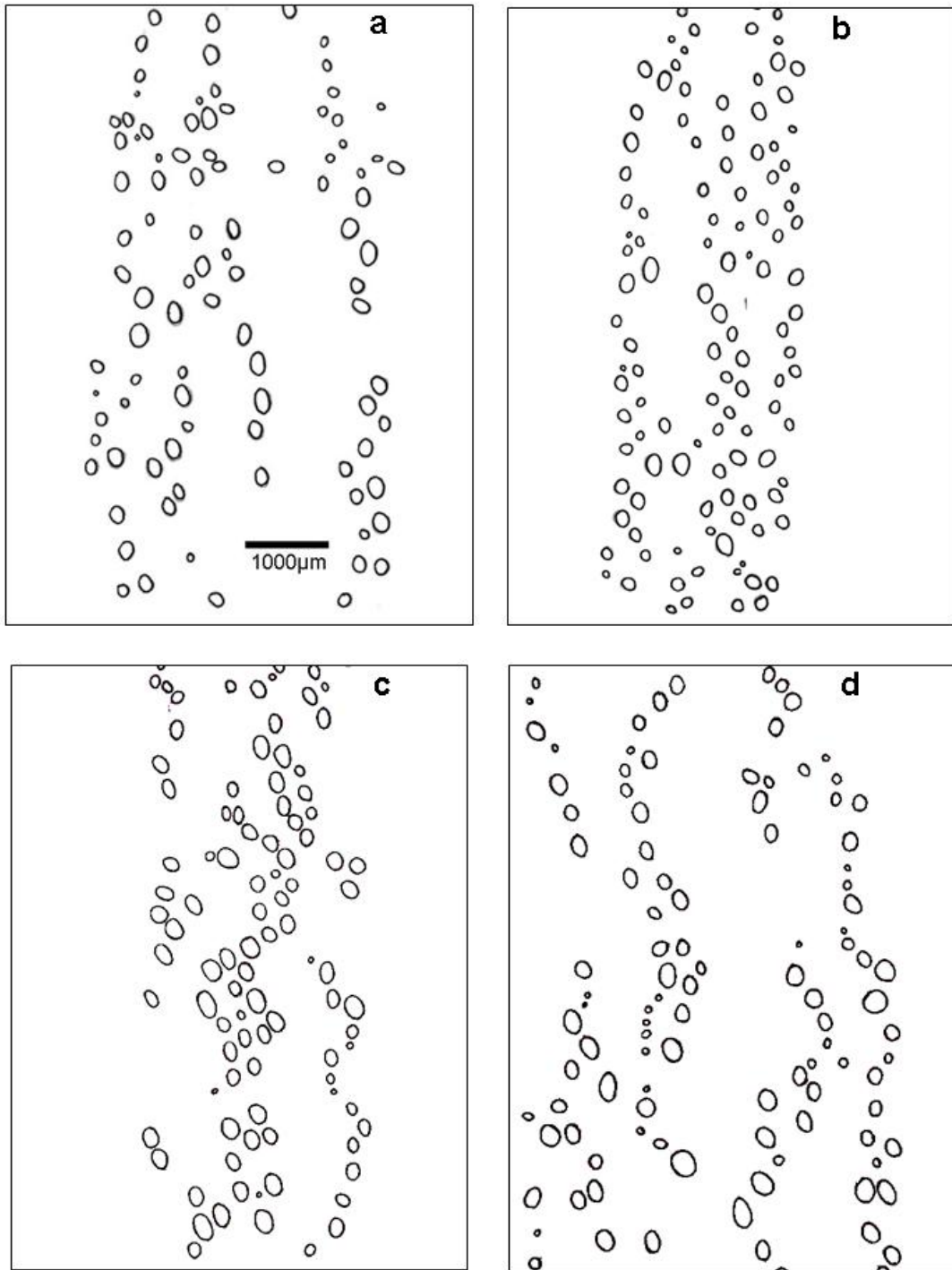


Figura 5. Arreglo de los vasos de la madera de *Q. obtusata*, (a) Llano del Güilo, (b) Arcos del Sitio, (c) Santa Catarina y (d) Santa Ana Jilotzingo.

---

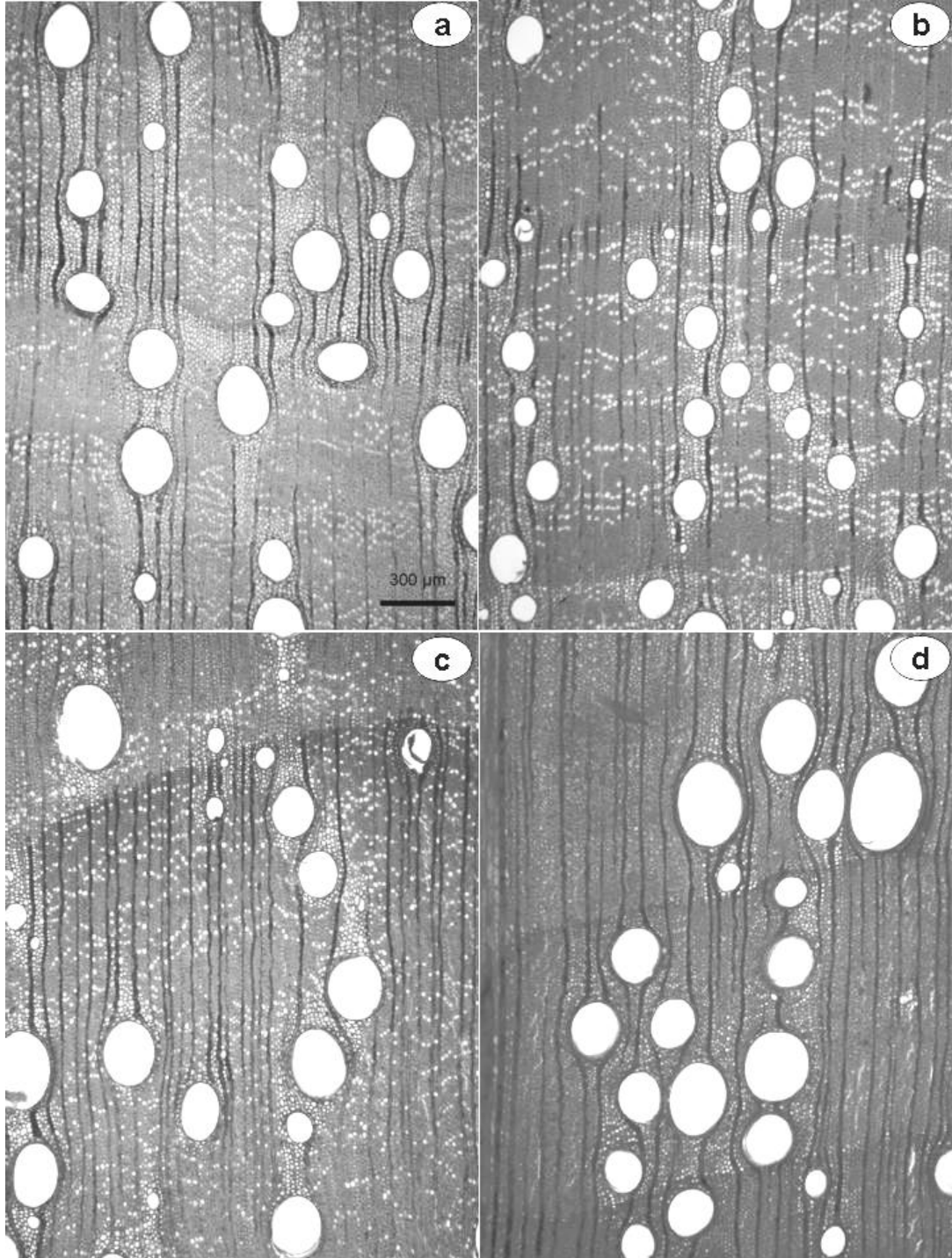


Figura 6. Vistas transversales de *Q. obtusata* (4x). (a) Llano del Güilo, (b) Arcos del Sitio, (c) Santa Catarina y (d) Santa Ana Jilotzingo; poros solitarios y parénquima apotraqueal difuso en agregados.

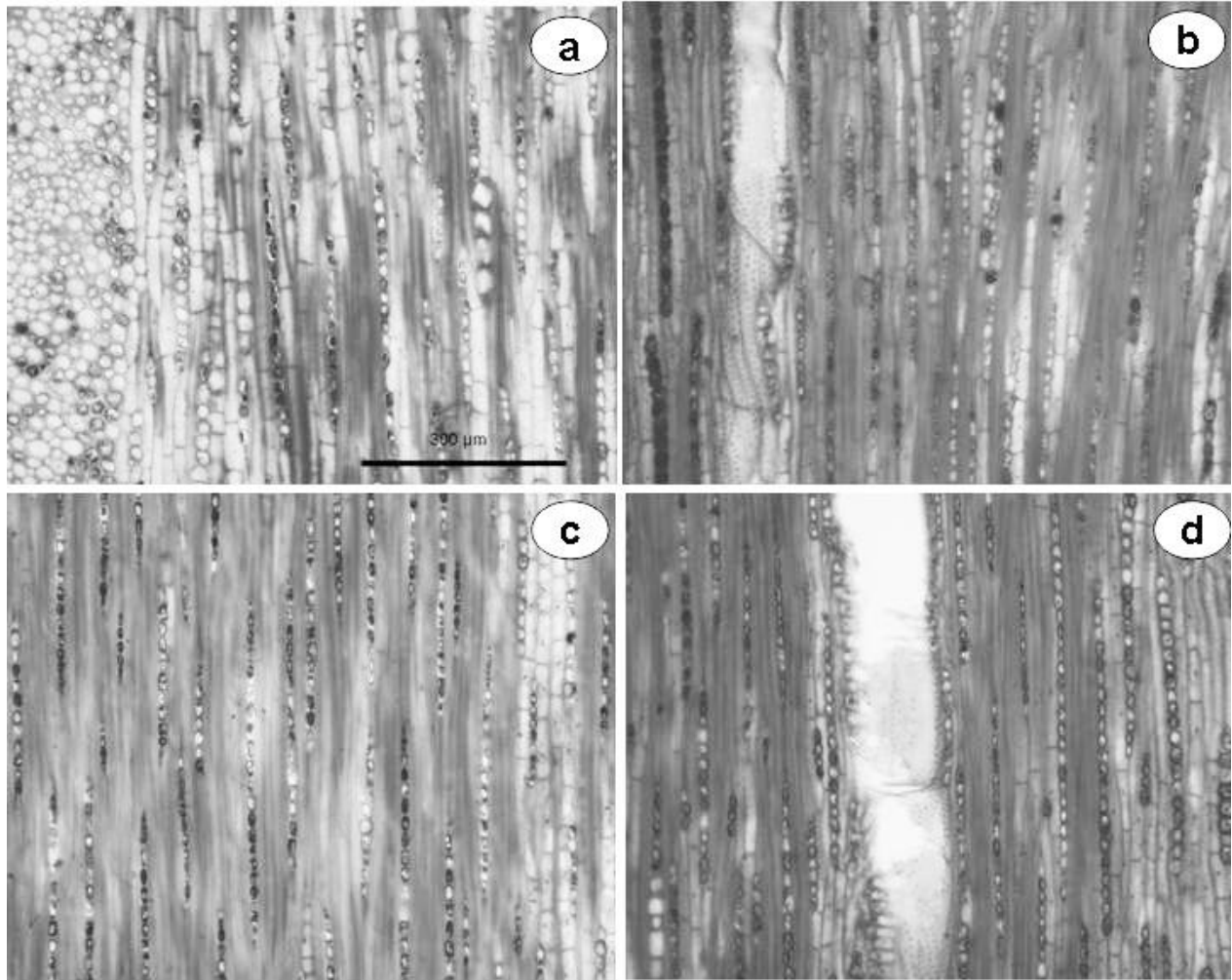


Figura 7. Vistas tangenciales (10x) de *Q. obtusata*. (a) Llano del Güilo, (b) Arcos del Sitio, (c) Santa Catarina y (d) Santa Ana Jilotzingo; características de los elementos de vaso y radios.



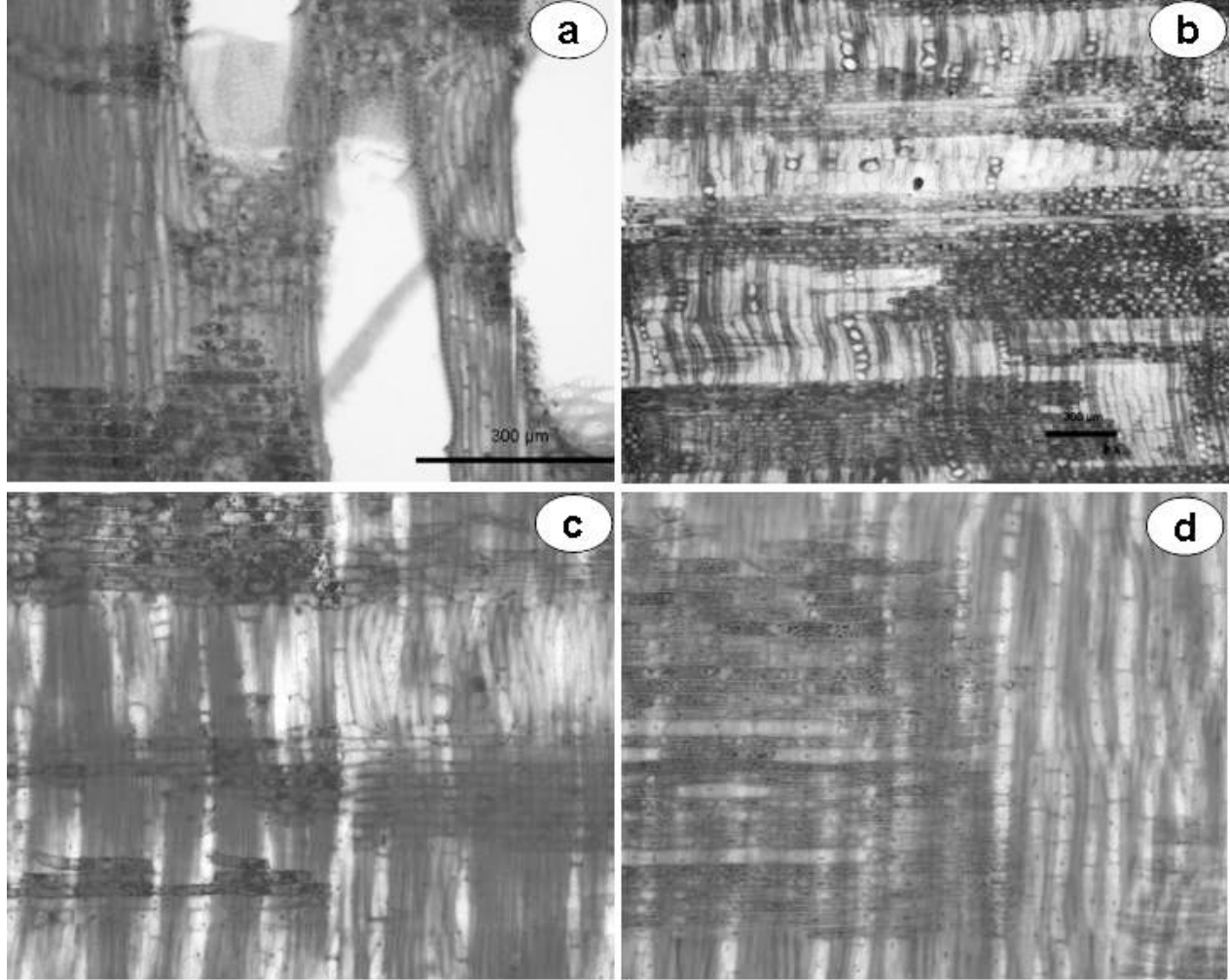


Figura 8. Vista radial (10x) de *Q. obtusata*. (a) Llano del Güilo, (b) Arcos del Sitio, (c) Santa Catarina y (d) Santa Ana Jilotzingo; con punteaduras de vaso a radio con bordes reducidos a aparentemente simples y radios con células procumbentes.

En la tabla 2 se comparan las medias con la desviación estándar de algunos caracteres anatómicos de *Q. obtusata* que mostraron diferencias con los reportados por De la Paz- Pérez (1982), Ortega *et al.* (1988) y Aguilar-Rodríguez *et al.* (2000)

Tabla 2. Comparación entre los caracteres cuantitativos de *Quercus obtusata* con los publicados por 1. De la Paz- Pérez (1982), 2. Ortega, *et al.* (1988) y 3. Aguilar- Rodríguez, *et al.* 2000.

<b>Caracteres anatómicos</b> ( $\mu\text{m}$ )	<b>En este trabajo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Diámetro de vaso	195 $\pm$ 33	181 $\pm$ 11	162 $\pm$ 53	260 $\pm$ 19
Longitud de elemento de vaso	580 $\pm$ 94	583 $\pm$ 11	457 $\pm$ 107	882 $\pm$ 131
Punteaduras intervasculares	9	---	---	9
Altura del radio	464 $\pm$ 147	402 $\pm$ 17	229 $\pm$ 208	609 $\pm$ 13
Diámetro de la fibra	20 $\pm$ 2	23 $\pm$ 4	23 $\pm$ 4	18 $\pm$ 1
Pared de la fibra	6 $\pm$ 1	8 $\pm$ 1	6 $\pm$ 1	6 a 7
Longitud de la fibra	1477 $\pm$ 204	1692 $\pm$ 19	1415 $\pm$ 260	1850 $\pm$ 19

## VI.2 VARIACIÓN ANATÓMICA

Los valores de la media y desviación estándar para los 16 caracteres cuantitativos de *Q. obtusata* se muestran en las tablas 3 (para los elementos de vaso) y 4 (para las fibras). Símbolos que muestran las diferencias significativas entre las medias de las variables que más contribuyen a explicar la variación de la madera se exponen en estas mismas tablas.

Tabla 3. Media y desviación estándar de los caracteres cuantitativos de cada población de *Quercus obtusata*. Diámetro del lumen del elemento de vaso ancho de la madera temprana (DIVAmate), diámetro del lumen del elemento de vaso angosto madera tardía (DIVAmata), longitud del elemento de vaso ancho madera temprana y tardía (LOVA), longitud del elemento de vaso angosto madera temprana y tardía (LOVE) y diámetro de la punteadura intervascular (DIPU).

<b>Población</b>	<b>DIVAmate</b>	<b>DIVAmata</b>	<b>LOVAmate</b>	<b>LOVEmate</b>	<b>LOVAmata</b>	<b>LOVEmata</b>	<b>DIPU</b>
Localidad <b>a</b>	188.7±26	72.4±27	584.8±81	560.4±85	564.2±99	631±93	8.8±1
Localidad <b>b</b>	197.9±37	65.3±25	561.2±87	606.4±93	560.3±106	610.8±96	9.4±1
Localidad <b>c</b>	196.9±37	59.6±22	621.3±109	645.8±82	600±94	635.2±100	9.7±1
Localidad <b>d</b>	197.3±30	49±20	538.4± 73	592.5±78	564.5±94	599.2±93	9.7±0.7



Tabla 4. Media y desviación estándar de los caracteres anatómicos cuantitativos de cada población de *Quercus obtusata*. Diámetro de la fibra madera temprana (DIFImate), diámetro de la fibra madera tardía (DIFImata), lumen de la fibra madera temprana (LUFImate), lumen de la fibra madera tardía (LUFImata), pared de la fibra madera temprana (PAFImate), pared de la fibra madera tardía (PAFImata), longitud de la fibra madera temprana (LOFImate), longitud de la fibra madera tardía (LOFImata) y altura del radio uniseriado (ALRA). Símbolos distintos significan diferencias significativas (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Población	DIFImate	DIFImata	LUFImate	LUFImata	PAFImate	PAFImata	LOFImate	LOFImata	ALRA
<b>Localidad a</b>	19±2 s	22.6±2 z	6.6±2 z	15.1±3 z	5.6±1 s	2.8±1 s	1523.6±220 z	1508.4±227 z	326.7±126
<b>Localidad b</b>	21±2 z	23.7±3 s	6.4±2 z	15.3±2 z	6.6±1 z	3.6±0.8 z	1487.3±195 zs	1360.6±208 s	508.1±142
<b>Localidad c</b>	21.4±3 z	22±2 z	7±2 s	13.1±3 s	6.5±1 z	3.6±1 z	1468.7±196 z	1517.5±167 z	505.6±86
<b>Localidad d</b>	20±2 n	24.1±2 s	6.8±1 z	14.1±2 n	6±0.8 s	3.8±1 z	1404.1±185 s	1596.6±214 n	541.1±121

---

### **Correlación entre caracteres anatómicos.**

En la Tabla 5 se sintetizan los coeficientes de correlación significativos en tres grupos para los 16 caracteres anatómicos. Las correlaciones más altas y positivas se presentaron entre el diámetro, lumen y pared de las fibras de la madera temprana; así mismo, el diámetro y lumen de las fibras de la madera tardía también se asociaron positivamente. Una asociación alta, pero negativa, se observó entre el lumen y la pared de las fibras de la madera tardía. La longitud de los elementos de vaso y altura de los radios se asociaron positiva y significativamente en todos los casos. Correlaciones más bajas de 0.10 y 0.20, existieron entre la longitud de los elementos de vaso angosto y la longitud de fibras de la madera temprana y entre la longitud de los elementos de vaso angosto en la madera temprana y la longitud de los elementos de vaso ancho en la madera tardía, así como entre la longitud de los elementos de vaso anchos en la madera tardía y la altura de los radios.

---

Tabla 5. Coeficientes de Correlación de Pearson para 16 caracteres anatómicos de *Q. obtusata*, colocados en intervalos.  $p < 0.001 = *$ ,  $p < 0.0001 = **$ , (-) correlaciones negativas

0.10 – 0.20	0.21 – 0.30	0.31 - 0.59
DIVA mate- DIFI mata*	DIVA mate- LOFI mata**	DIFI mate- LUFU mate**
DIVA mate- LOFI mate*	DIVA mata- ALRA (-)**	DIFI mate- PAFI mate**
DIVA mate-LOVA mate**	LOVA mate- LOFI mate**	DIFI mata- LUFU mate**
DIVA mate- LOVE mate*	LOVA mate- LOFI mata**	LUFU mata- PAFI mata(-)**
DIVA mate- DIPU*	LOVA mate- LOVE mate**	
DIVA mata- DIFI mata(-)*	LOVA mate- LOVA mata**	
DIVA mata- PAFI mata(-)*	LOVA mate- LOVE mata**	
DIVA mata-LOFI mata(-)*	LOVE mate- ALRA**	
DIVA mata-LOVE mate(-)*	LOVA mata- LOVE mata**	
DIVA mata- DIPU(-)*	DIFI mate- ALRA **	
LOVA mate-PAFI mate(-)*	DIFI mata- PAFI mata**	
LOVE mate- LOFI mate*	PAFI mata- DIFI mata**	
LOVE mate- LOVA mata*		
LOVE mate- DIPU*		
LOVA mata- ALRA**		
LOVE mata-DIFI mate(-)**		
LOVE mata- PAFI mate(-)*		
DIFI mate- LUFU mata(-)*		
DIFI mate- PAFI mata**		
DIFI mate- LOFI mate(-)*		
LUFU mate- PAFI mate(-)*		
LUFU mata- PAFI mate(-)*		
LUFU mata- LOFI mate*		
PAFI mate- PAFI mata**		
PAFI mate- ALRA**		
PAFI mate- LOFI mate(-)*		
PAFI mata- ALRA*		
PAFI mata- DIPU*		
ALRA- DIPU**		

---

## **Correlación de los caracteres anatómicos con la altura y diámetro de los individuos, latitud y altitud.**

La tabla 6 muestra los coeficientes de correlación entre los caracteres anatómicos de *Q. obtusata* con el tamaño y diámetro de los individuos, la latitud y la altitud. La longitud de los elementos de vaso, diámetro de la fibra de la madera temprana y la altura de los radios uniseriados se correlacionaron positivamente con la altura de los individuos; mientras que el diámetro de los vasos de la madera temprana y el diámetro de las fibras de la madera tardía se asociaron negativamente. Once caracteres anatómicos se asociaron negativamente con la latitud, mientras que la longitud de los elementos de vaso, el diámetro y la pared de la fibra de la madera temprana, la altura del radio uniseriado y el diámetro de las punteaduras intervasculares se asociaron negativamente con la altitud.

Las correlaciones entre los caracteres no anatómicos son altamente significativas, esto es, entre el tamaño de los individuos con la latitud ( $r = -0.803$ ,  $P < 0.0001$ ) y con la altitud ( $r = -0.561$ ,  $P < 0.0001$ ).

---

Tabla 6. Coeficiente de Correlación de Pearson para los caracteres anatómicos con la altura de los individuos, diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP), latitud y altitud.  $p < 0.05 = *$ ,  $p < 0.001 = **$ ,  $p < 0.001 = ***$ , no significativo <sup>n.s.</sup>

<b>Caracteres</b>	<b>Altura de los individuos</b>	<b>DAP</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud</b>
<b>DIVA mate</b>	-0.12580 *	-0.08895 *	-0.04361 <sup>n.s.</sup>	-0.03190 <sup>n.s.</sup>
<b>DIVA mata</b>	-0.05474 <sup>n.s.</sup>	0.05728 <sup>n.s.</sup>	0.12804 *	-0.06261 <sup>n.s.</sup>
<b>LOVA mate</b>	0.19335***	0.25299***	-0.23780***	-0.26169***
<b>LOVE mate</b>	0.35517***	0.27202***	-0.30969***	-0.27479***
<b>LOVA mata</b>	0.24572***	0.20087***	-0.16830***	-0.12886 *
<b>LOVE mata</b>	0.17157***	0.22598***	-0.08753 *	-0.10730 *
<b>DIPU</b>	0.05058 <sup>n.s.</sup>	-0.01476 <sup>n.s.</sup>	-0.20541***	-0.09625*
<b>DIFI mate</b>	0.21824 ***	0.10609 *	-0.24943**	-0.27453**
<b>DIFI mata</b>	-0.23214 ***	-0.23053 ***	0.21196***	0.21638***
<b>LUFI mate</b>	0.12808 *	0.05340 <sup>n.s.</sup>	-0.12193 *	-0.04106 <sup>n.s.</sup>
<b>LUFI mata</b>	-0.15324 **	-0.01439 <sup>n.s.</sup>	0.29417***	0.14060**
<b>PAFI mate</b>	0.07546 <sup>n.s.</sup>	0.04718 <sup>n.s.</sup>	-0.14363 **	-0.23007***
<b>PAFI mata</b>	-0.04551 <sup>n.s.</sup>	-0.14331 **	-0.15002 **	-0.05977 <sup>n.s.</sup>
<b>LOFI mate</b>	-0.03752 <sup>n.s.</sup>	0.02578 <sup>n.s.</sup>	0.05821 <sup>n.s.</sup>	-0.05808 <sup>n.s.</sup>
<b>LOFI mata</b>	0.02279 <sup>n.s.</sup>	-0.15678 **	-0.12722 *	0.14053**
<b>ALRA</b>	0.33894***	0.10674 *	-0.23464***	-0.10132 *

---

### **Componentes que contribuyen a explicar el mayor porcentaje de la variación (Análisis de Componentes Principales).**

El análisis de componentes principales (Tabla 7) mostró que los tres primeros componentes explican 66.5% de la variación total de *Q. obtusata*. El primer componente explicó 37% de la varianza total y los parámetros climáticos que presentaron mayor peso son estacionalidad de la precipitación, temperatura promedio del periodo más frío, temperatura promedio del periodo más seco y la latitud. El segundo componente explicó 20 % de la varianza y son los parámetros climáticos oscilación anual de la temperatura y la precipitación anual y la del cuatrimestre más frío, los que más contribuyeron. El tercer componente explicó 9 % de la varianza remanente y los caracteres anatómicos con mayor peso son el diámetro del lumen y el diámetro total de la fibra de la madera tardía.

La figura 9 muestra la representación gráfica de los individuos de cada población, donde el primer componente separa hacia la derecha a la población de “Santa Catarina”, cuyos individuos se desarrollan a una menor latitud, en un ambiente donde la temperatura y precipitación son elevadas, con un promedio de temperatura en las épocas seca y fría de 15 °C y precipitación promedio anual de 996 mm. En estas condiciones, las maderas presentaron los elementos de vaso más largos en la madera temprana y tardía, así como el mayor diámetro total de la fibra en la madera temprana y correspondieron a los individuos de mayor talla. Por el contrario, hacia el lado izquierdo se separan las poblaciones que se desarrollaron a mayor latitud, con temperaturas más bajas en las épocas seca y fría con una menor estacionalidad de la precipitación, sobre todo en “Arcos del Sitio”, donde además llueve menos al año (721 mm). En esta población la longitud promedio del elemento de vaso y longitud de fibra en la madera tardía fue menor que en la de “Santa Catarina”, y también corresponden a individuos de menor talla. El

---

---

segundo componente separa hacia la parte superior de la gráfica a la población de Santa Ana Jilotzingo debido a que en la zona existe una mayor precipitación promedio anual (1085 mm), y en el periodo más frío llueven alrededor de 38 mm, mientras que la oscilación anual de la temperatura es menor (21.6 °C). En estas maderas se presentaron algunos elementos celulares (longitud del elemento de vaso) más cortos que en los de “Arcos del Sitio”.

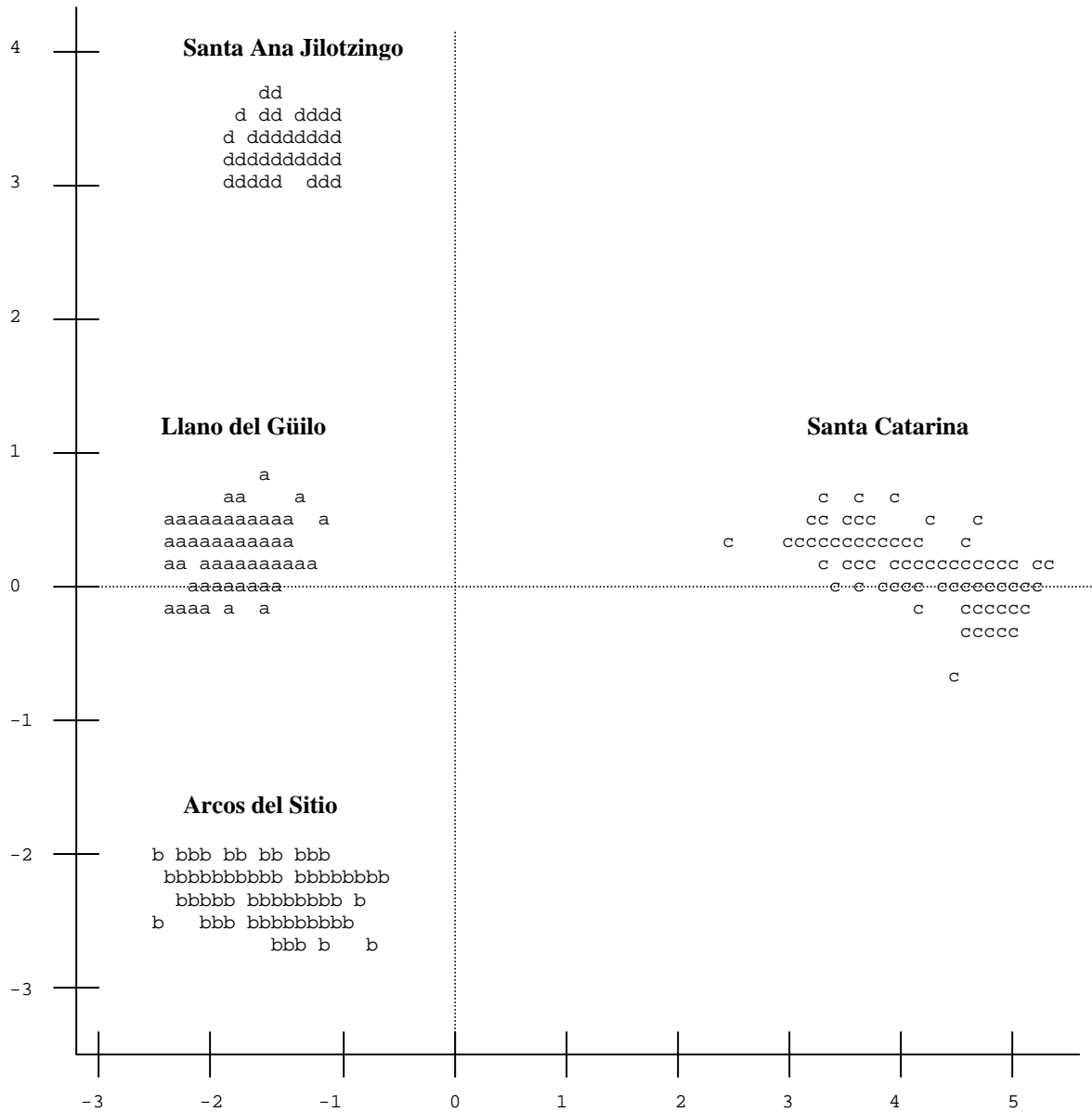
---

Tabla 7. Eigenvectores del análisis de componentes principales de los caracteres anatómicos de la madera. Los valores con (\*) corresponden a los mayores en cada componente.

<b>Caracteres</b>	<b>PRIN 1</b>	<b>PRIN 2</b>	<b>PRIN3</b>
DIVA mata	-0.037283	-0.147193	-0.271378
LOVA mate	0.128907	-.037251	0.197680
DIPU	0.073067	0.055150	0.220440
DIFI mate	-0.002528	-0.002106	-0.076732
DIFI mata	-0.119857	.014100	0.639401*
LUFU mata	-0.123018	-0.095895	0.607007*
PAFI mate	0.066327	-0.127836	-0.193679
LATI	-0.388425*	-.074766	-0.040429
ALTURA	0.343299	0.044842	0.062841
DAP	0.320850	-0.181589	0.085852
ALTI	-.313590	0.312516	-0.018660
OAT	-0.173373	-0.473234*	-0.026818
TPCS	0.371321*	-0.167860	0.035136
TPF	0.371321 *	-0.167860	0.035136
PA	0.162854	0.481249 *	0.005265
EP	0.373992 *	0.160820	0.029200
PCF	0.018208	0.521684*	-0.024939



Prin2



Prin1

Figura 9. Representación gráfica del análisis de componentes principales de las poblaciones de *Quercus obtusata* colectadas en cuatro localidades. Los componentes 1 y 2 explican 57.8% de la variación total.

---

## **Diferencias significativas entre los caracteres anatómicos con respecto a las localidades (Análisis de varianza y comparación de medias)**

Los resultados del análisis de varianza de los caracteres anatómicos con respecto a las localidades indicaron que existen diferencias significativas para el diámetro de los vasos en la madera tardía ( $F=20.35$ , g. l. 3,  $p > 0.0001$ ,  $n=50$ ), longitud del elemento de vaso ancho y angosto de la madera temprana ( $F=19.84$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$  y  $F= 22.41$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$ , respectivamente,  $n=50$ ); longitud del elemento de vaso ancho y angosto de la madera tardía ( $F=5.46$ , g. l. 3,  $p < 0.0011$  y  $F=3.70$ , g. l. 3,  $p < 0.0118$  respectivamente,  $n=50$ ) y para el diámetro de la punteadura intervascular ( $F=20.41$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$ ,  $n=50$ ). Con respecto a las fibras, las diferencias se observan en el diámetro de la fibra de la madera temprana y tardía ( $F=30.26$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$  y  $F=20.48$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$ , respectivamente,  $n=50$ ), lumen de la fibra en la madera temprana y tardía ( $F=3.65$ , g. l. 3,  $p > 0.0125$  y  $F=19.27$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$ , respectivamente,  $n=50$ ), pared de la fibra de la madera temprana y tardía ( $F=23.43$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$  y  $F=21.55$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$ ,  $n=50$ ) y en la longitud de la fibra de la madera temprana y tardía ( $F=7.32$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$  y  $F=30.33$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$ ,  $n=50$ ); en la altura del radio uniseriado ( $F=91.11$ , g. l. 3,  $p < 0.0001$ ,  $n=50$ ).

El análisis de comparaciones múltiples mostró diferencias significativas sólo entre algunas localidades (Figura 10 A-G).

Los lúmenes de los vasos de la madera tardía más amplios, se presentaron en la población “Llano del Guilo”, con  $72 \pm 27 \mu\text{m}$ , (Fig. 10A); las longitudes del elemento de vaso anchos y angostos en la madera temprana más largos los presentó la localidad con mayor humedad “Santa Catarina”, con  $621 \pm 109 \mu\text{m}$  y  $646 \pm 82 \mu\text{m}$  respectivamente (Fig. 10B, C), mientras que en la madera tardía éstas fueron de  $601 \pm 94 \mu\text{m}$  y  $635 \pm 100 \mu\text{m}$ , respectivamente; los elementos de

---

---

vaso más cortos los presentó la localidad de “Santa Ana Jilotzongo”, que tiene la mayor altitud, con  $538 \pm 73 \mu\text{m}$  de longitud de los elementos de vaso anchos y  $592 \pm 77 \mu\text{m}$  en los angostos de la madera temprana y con  $564 \pm 93 \mu\text{m}$  en anchos y  $599 \pm 92 \mu\text{m}$  en los angostos de la madera tardía (Fig. 10D, E). Las punteaduras intervasculares más grandes se presentaron en la localidad de “Santa Catarina”, con  $9.7 \mu\text{m}$  y las de menor tamaño en “Llano del Guilo” con  $8.8 \mu\text{m}$  (Fig. 10F). Los radios uniseriados más altos se presentaron en la localidad de “Santa Ana Jilotzongo”, con  $541 \pm 120 \mu\text{m}$ , la segunda población con mayor humedad, mientras que los radios más cortos con  $326 \pm 126 \mu\text{m}$ , se presentaron en “Llano del Guilo” (Fig. 10G).

---

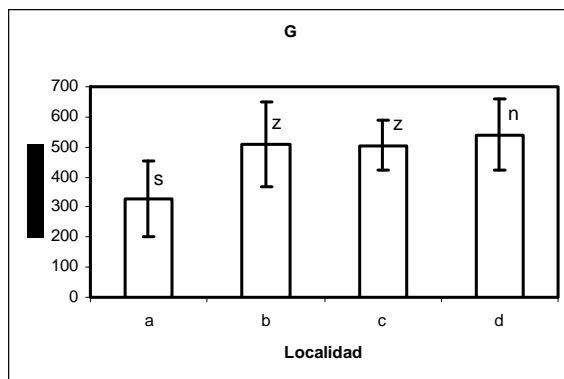
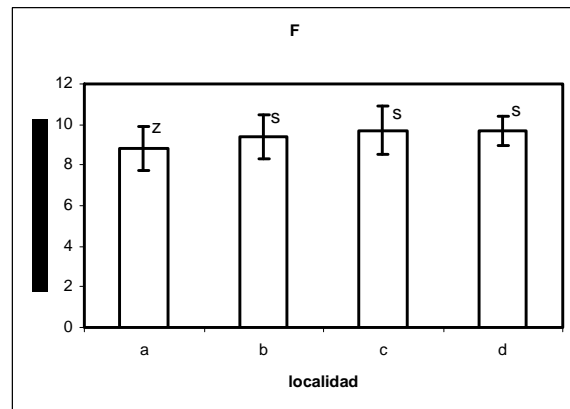
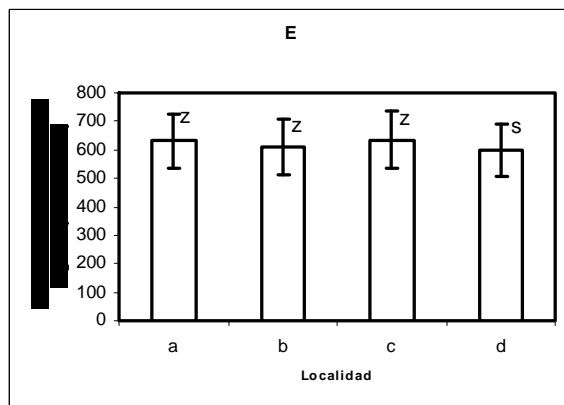
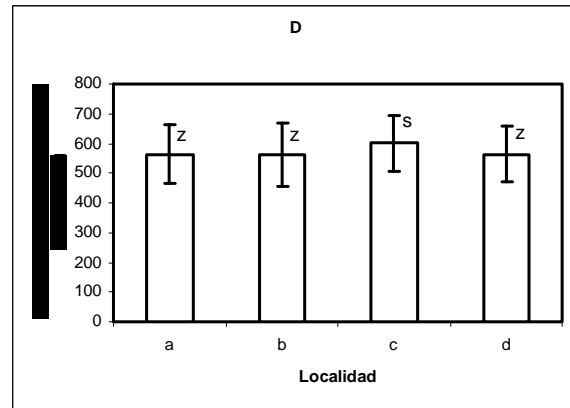
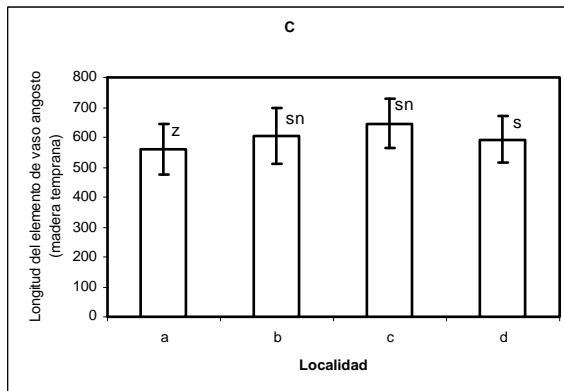
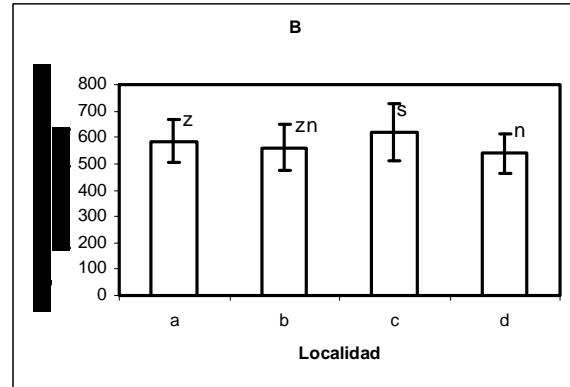
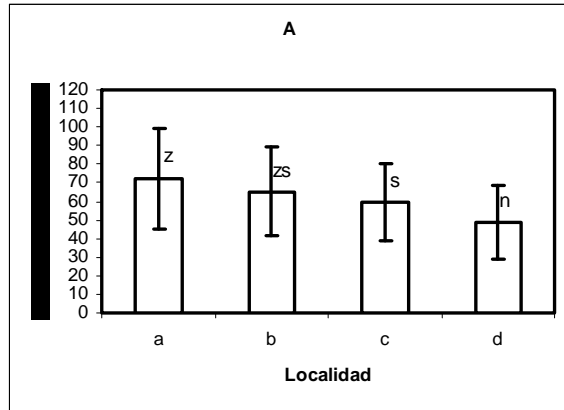


Figura 10. A-G. Los valores de la media y desviación estándar para siete caracteres anatómicos de la madera de *Q. obtusata* por localidad. A. Diámetro del vaso, B. Longitud del elemento de vaso ancho, C. Longitud del elemento de vaso angosto, D. Longitud del elemento de vaso ancho E. Longitud del elemento de vaso angosto F. Punteaduras intervasculares G. Altura del radio uniseriado. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). a=Llano del Guilo; b=Arcos del Sitio; c=Santa Catarina; d= Santa Ana Jilotzingo.

---

## VII. DISCUSIÓN

### **Asociación entre caracteres.**

La correlación entre caracteres anatómicos mostró que en la madera de *Q. obtusata* los coeficientes de correlación más altos y positivos fueron entre el diámetro, el lumen y la pared de la fibra de la madera temprana, mientras que en la madera tardía esta relación positiva sólo existió entre el diámetro y lumen y fue negativa entre el lumen y la pared, por lo que esta última aumenta conforme el lumen de la fibra se hace más pequeño. Con respecto a los sitios de colecta, las fibras de la madera temprana con paredes de mayor grosor, se observan en la localidad más seca “Arcos del Sitio”; pero estas diferencias no son estadísticamente significativas con las de “Santa Catarina”, que se caracteriza por tener una mayor humedad ambiental. Características como el diámetro total, diámetro del lumen y grosor de la pared de la fibra son relevantes en la densidad de la madera y en la calidad de la pulpa para papel; por ello, ahondar en el estudio de éstas variables puede estimar la calidad y rendimiento del producto (Tamarit, 1996). Al registrar la variación en estas propiedades se puede aportar información para un buen control genético de la especie en términos de producción económica (<http://www.fao.org/docrep/a2173s/a2173s0.html>).

### **Variación anatómica de la madera asociada con el clima.**

Numerosos trabajos se han escrito acerca de la relación que los caracteres anatómicos de la madera tienen con el clima (Roig, 1986; Dünisch y Bauch, 1994; Villar *et al.*, 1997; Villagra y Roig, 1997; Cordell *et al.*, 1998; Psaras y Sofroniou, 1999; Yañez y Terrazas, 2000; Yañez *et al.*, 2004; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006) y aunque se han propuesto tendencias ecológicas generales, el estudio de la variación de la madera a nivel

---

---

intraespecífico es interesante, debido a que los resultados no siguen siempre un patrón típico (Roig, 1986; Villar, 1997; Cordell *et al.*, 1998; Noshiro y Baas, 2000; Arias y Terrazas, 2001; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006). En este sentido, las diferencias entre las dimensiones de los elementos traqueales en las maderas provenientes de ambientes contrastantes llegan a ser evidentes.

Para el caso de *Quercus obtusata*, el análisis de componentes principales reveló que los factores climáticos, tales como la oscilación anual de la temperatura, la temperatura promedio de la época más seca y fría, la estacionalidad de la precipitación, la precipitación anual y la del cuatrimestre más frío, así como la latitud, separaron notoriamente las cuatro poblaciones de *Q. obtusata*. A pesar de que *Q. obtusata* se desarrolla principalmente en ambientes templados, el microclima en su área de distribución varía de un sitio a otro; en “Santa Catarina” (Morelos), se registró una precipitación anual de 996 mm y una temperatura promedio de 15 °C. En este sitio el diámetro total de las fibras (en la madera temprana) y la longitud de los elementos de vaso mostraron sus mayores dimensiones con respecto a las demás poblaciones. Es sabido que la presencia de los elementos traqueales largos, con lúmenes amplios se relacionan con una elevada humedad (Aguilar-Rodríguez y Barajas-Morales, 2005), aspecto que también se ha visto en las especies perennifolias *Quercus coccifera* y *Q. ilex*, donde la longitud de los elementos de vaso aumenta conforme existe una mayor precipitación. Sin embargo, no siempre existe alguna tendencia significativa, como sucede en *Quercus faginea*, especie caducifolia (Villar-Salvador *et al.*, 1997) o en algunas especies de *Cornus* (Noshiro y Baas, 2000), donde los caracteres anatómicos no muestran una respuesta clara con respecto a los factores climáticos. En la localidad más

---

---

seca (“Arcos del Sitio”), que presentó una precipitación promedio de 721 mm y una temperatura anual de 13 °C, las longitudes de elementos de vaso fueron más cortas; a su vez, en la localidad con una mayor altitud (“Santa Ana Jilotzingo”), también los elementos de vaso tienden a reducirse.

### **Variación anatómica de la madera asociada con el hábito.**

Con respecto al hábito de los individuos de *Quercus obtusata* se reporta una correlación positiva y altamente significativa con la longitud de los elementos de vaso, evidenciándose una relación alométrica. Es común esperar que conforme aumenta la talla de los individuos los elementos celulares también incrementen su tamaño (Noshiro y Baas, 1998, 2000; Arias y Terrazas, 2001; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006), como se observa en *Cornus controversa*, donde existe una relación positiva entre la longitud del elemento de vaso y la altura y grosor del tallo (Noshiro y Bass, 2000). En el caso del diámetro de vaso de la madera temprana en *Q. obtusata*, no se observó esta relación alométrica, pues se obtuvo una correlación negativa significativa con respecto al tamaño y diámetro del individuo, esto es, que los vasos presentaron sus diámetros más pequeños en individuos más altos y corpulentos a diferencia de lo observado en *Cornus controversa*, *C. kousa*, *C. macrophylla* y *Buddleja cordata* en donde la tendencia es positiva, aunque en *B. cordata* el diámetro de vaso angosto también muestra una asociación baja (Noshiro y Baas, 2000; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006). Por otro lado la longitud de las fibras en *Q. obtusata* no mostró alguna asociación significativa con el hábito, aspecto poco común, pues en general las dimensiones de las fibras, en especial su longitud, aumentan con relación al tamaño del individuo como se observa en

---

---

*Pachycereus pecten-aboriginum* y *Buddleja cordata* (Arias y Terrazas, 2001; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006). Para el caso de la altura de los radios uniseriados en *Q. obtusata*, también se asocian positiva y significativamente con la talla de los individuos como se reporta para *Buddleja cordata* y *Pachycereus pecten-aboriginum* (Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006; Arias y Terrazas, 2001).

### **Variación anatómica de la madera asociada con latitud.**

En *Quercus obtusata* las correlaciones con respecto a la latitud fueron significativas negativas con la longitud del elemento de vaso, las punteaduras intervasculares, diámetro de fibra, lumen y grosor de la pared de la fibra en la madera temprana y longitud y pared de la fibra en la madera tardía, así como con la altura del radio uniseriado, observando que conforme la latitud aumenta las dimensiones de estos caracteres de vasos y fibras, disminuyen. Las tendencias reportadas a nivel de género y familia muestran asociaciones negativas de la latitud, con respecto a la longitud y diámetro de los elementos de vaso y fibras (van den Oever, *et al.*, 1981; Noshiro y Bass, 1998), pero a nivel de especie se han obtenidos diferentes resultados. En *Cornus controversa* y *Buddleja cordata* existe una asociación significativa negativa sólo con la longitud de la fibra (Noshiro y Bass, 2000; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006). En *Pachycereus pecten-aboriginum* y *Cornus koursa*, se registraron relaciones negativas con respecto a la longitud de la fibra y el diámetro de los vasos, pero positiva con su abundancia (número de vasos por mm<sup>2</sup>) (Noshiro y Baas 2000; Arias y Terrazas 2001), mientras que en *Cornus macrophylla* la asociación es negativa con el número por mm<sup>2</sup> de los mismos (Noshiro y Bass, 2000). En *Acacia melanoxylon* la latitud tiene una

---



---

correlación positiva con la longitud del elemento de vaso y negativa con el diámetro del mismo y con la longitud de la fibra (Wilkins y Papassotiropoulos, 1989), mientras que en *Q. obtusata* el diámetro de vaso de la madera tardía tiene una asociación positiva. Como se observa, la variación intraespecífica de los caracteres anatómicos de la madera muestra resultados contrastantes; esto es, cada especie responde de diferente manera a las condiciones latitudinales.

### **Variación anatómica de la madera asociada a la altitud.**

Generalmente los elementos traqueales tienden a disminuir conforme aumenta la altitud, sin embargo, para la especie de estudio parece no existir un patrón consistente ya que correlaciones significativas negativas se observaron con la longitud de los elementos de vaso, el diámetro de las punteaduras, el diámetro y pared de las fibras de la madera temprana y la altura del radio uniseriado, pero el diámetro, lumen y longitud de la fibra de la madera tardía aumentaron de tamaño conforme la latitud fue mayor. En diferentes grupos de plantas se ha estudiado la posible influencia de la altitud sobre sus caracteres anatómicos con resultados contrastantes. En *Cornus kousa* existe una correlación negativa entre la altitud y el diámetro del vaso y la longitud de la fibra y en *C. macrophylla* sólo con el diámetro del vaso (Noshiro y Baas, 2000); en el género *Symplocos* el diámetro y longitud del elemento de vaso, el diámetro de la fibra y la longitud de la fibra tuvieron una asociación negativa con la altitud y positiva con la frecuencia de vasos, sin embargo, con la altura del radio y las punteaduras intervasculares no existió ninguna correlación para este género (van den Oever *et al.*, 1981).

---

---

## **Correlaciones entre el tamaño y diámetro de los individuos con respecto a la altitud y latitud.**

En *Quercus obtusata* existe una correlación significativa negativa entre el tamaño y diámetro de los individuos y los gradientes altitudinal y latitudinal, observándose que árboles de menor talla y diámetro se localizaron en Santa Ana Jilotzingo, zona de mayor altitud, en contraste con los que crecen en Santa Catarina, en donde la altitud y latitud son menores. Esto concuerda con las tendencias generales propuestas para otras especies, como *Metrosideros polymorpha* y *Rhododendron caucasicum* (Cordell *et al.* 1998; Merev y Yavuz, 2000).

---

---

## VIII. CONCLUSIONES

- En *Quercus obtusata* existe una relación alométrica entre el tamaño del individuo y la longitud de los elementos de vaso, observándose que mientras aumenta el tamaño del individuo las longitudes de estos elementos son mayores. Pero no para la longitud de las fibras.
  - La longitud del elemento de vaso, el diámetro de la fibra en la madera temprana y la altura del radio aumentan conforme el diámetro del tronco es mayor.
  - La latitud y la altitud se correlacionaron negativamente con la longitud del elemento de vaso, el diámetro de la punteadura intervascular, el diámetro y la pared de la fibra, y la altura del radio uniseriado; sin embargo, la longitud de las fibras no mostró un comportamiento claro en la especie.
  - La oscilación anual de la temperatura, la temperatura promedio de la época más seca y fría, la estacionalidad de la precipitación, la precipitación anual y la del cuatrimestre más frío, así como la latitud, fueron los factores climáticos más relevantes en la separación de las poblaciones de *Q. obtusata*. Por ello se deberá tomar en cuenta estos resultados en programas de restauración ecológica o reforestación con fines de aprovechamiento.
  - Los estudios sobre variación anatómica en la madera a nivel de especie muestran resultados contrastantes, consecuencia de condiciones ambientales de cada localidad. Por lo que para sugerir un uso adecuado a la especie se debe tomar en cuenta su procedencia microclimática, pues esta influye directamente en el comportamiento de los elementos celulares. Por esto, es importante seguir
-

---

realizando estudios para saber cuales son los mecanismos que tiene un mayor impacto dentro de la especie.

---

---

## APÉNDICE

---

Tabla de eigenvectores del primer análisis de componentes principales para los 19 parámetros climáticos (BIOCLIM). Los valores con (\*) corresponden a los mayores en cada componente.

<b>Caracteres</b>	<b>PRIN 1</b>	<b>PRIN 2</b>	<b>PRIN 3</b>
<b>Eigenvalores</b>	<b>55%</b>	<b>41%</b>	<b>2%</b>
Temperatura promedio anual (°C)	-302256	0.021316	0.412600
Oscilación diurna de la temperatura (°C)	0.280131	-0.066166	0.605964
Isotermalidad (°C)	-0.302411	-0.104782	0.103713
Estacionalidad de la temperatura (°C)	-0.046610	0.357514	0.180996
Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)	0.195623	0.286033	-0.073207
Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	-0.306469	0.047057	0.304944
Oscilación anual de la temperatura (°C)	-0.029032	0.362555*	0.069184
Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)	0.085406	0.350851	0.042569
Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)	0.018162	0.363740*	0.45651
Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)	0.085406	-0.350851	0.042569
Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)	0.310989*	-0.061237	-0.120856
Precipitación anual (mm)	0.315775*	-0.006815	-0.102694
Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	0.00	0.00	0.00
Precipitación del periodo más seco (mm)	0.248685	0.225460	-0.038650
Estacionalidad de la precipitación (mm)	0.315187*	-0.020139	-0.111940
Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)	0.282852	-0.124314	0.413416
Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	0.276836	-0.157500	0.312527
Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)	0.269834	-0.190698	0.022942
Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	0.039015	0.361577*	0.043807

Tabla de eigenvalores del segundo análisis de componentes principales para los 16 caracteres anatómicos. Los valores con (\*) corresponden a los mayores en cada componente.

<b>Caracteres</b>	<b>PRIN 1</b>	<b>PRIN 2</b>	<b>PRIN 3</b>
<b>Eigenvalores</b>	15%	10%	9%
<b>DIVA mate</b>	0.276153	0.126106	0.074090
<b>DIVA mata</b>	-0.188974	0.372472*	-0.136204
<b>LOVA mate</b>	0.368711*	0.159513	-0.147934
<b>LOVE mate</b>	0.211983	0.139674	-0.136582
<b>LOVA mata</b>	0.249732	0.007842	-0.219192
<b>LOVE mata</b>	0.310066	0.130969	-0.124598
<b>DIPU</b>	0.080732	0.389032*	0.104483
<b>DIFI mate</b>	0.374280*	0.228123	0.280403
<b>DIFI mata</b>	0.181540	-0.104039	0.646654*
<b>LUFI mate</b>	-0.056006	0.163999	0.283353
<b>LUFI mata</b>	0.231258	-0.422841*	0.483038
<b>PAFI mate</b>	-0.390709*	0.089846	0.042538
<b>PAFI mata</b>	-0.112712	0.428162	0.114074
<b>LOFI mate</b>	0.315776	-0.134204	0.013608
<b>LOFI mata</b>	0.215244	0.280937	0.169308
<b>ALRA</b>	0.032511	0.273792	0.082820

---

**Lista de caracteres. (propuesto por IAWA Comité, 1989)**

**Caracteres anatómicos**

**Anillos de Crecimiento-**

1. Anillos de crecimiento evidentes
2. Anillos de crecimiento no evidentes o ausentes

**Vasos**

**Porosidad.**

3. Anular
4. Semi-anular
5. Difusa

**Arreglo de los vasos**

6. Vasos en bandas tangenciales
7. Vasos en patrones radiales y diagonales
8. Vasos en patrones dendríticos

**Agrupamiento de los vasos**

9. Vasos exclusivamente solitarios (90 % o más)
10. Vasos en múltiplos radiales de 4 o más
11. Vasos en racimos

**Contorno del vaso solitario**

12. Contorno del vaso solitario angular

**Placas de perforación**

13. Placas de perforación simple
14. placas de perforación escalariforme
15. Placas de Perforación escalariforme con  $\leq 10$  barras
16. Placas de perforación escalariforme con 10-20 barras
17. Placas de perforación escalariforme con 20-40 barras
18. placas de perforación escalariforme con  $\geq 40$  barras
19. Placas de perforación múltiples, reticulada, foraminada y/u otro tipo

**Punteaduras intervasculares: arreglo y tamaño**

20. Punteaduras intervasculares escalariformes
  21. Punteaduras intervasculares opuestas
-



- 
22. Punteaduras intervasculares alternas
  23. Forma de la punteaduras alterna poligonal
  24. Diminuta -  $\leq 4 \mu\text{m}$
  25. Pequeña - 4-7  $\mu\text{m}$
  26. Mediana - 7-10  $\mu\text{m}$
  27. Grande -  $\geq 10 \mu\text{m}$

#### **Punteadura de vaso a radio**

28. Punteaduras de vaso a radio con aerolas evidentes, similares a las punteaduras intervasculares en tamaño y forma a lo largo del radio.
29. Punteaduras de vaso a radio con muchas aerolas reducidas aparentemente simples: punteaduras redondas o angulares.
30. Punteaduras de vaso a radio con muchas aerolas reducidas aparentemente simples: punteaduras horizontales) escalariformes a verticales.
31. Punteaduras de vaso a radio de dos tamaños o tipos distintos en la misma célula del radio.
32. Punteaduras de vaso a radio unilateralmente compuesto y áspero (más de 10  $\mu\text{m}$ )
33. Punteaduras de vaso a radio restringidas a hileras marginales.

#### **Engrosamientos helicoidales**

34. Engrosamientos helicoidales presentes en los elementos de vaso
35. Engrosamientos helicoidales a lo largo del cuerpo del elemento de vaso
36. Engrosamientos helicoidales solo en la parte anterior del elemento de vaso
37. Engrosamientos helicoidales solo en los elementos de vaso angostos

#### **Traqueidas y Fibras**

38. Traqueidas vasculares/vasicéntricas presentes

#### **Fibras**

39. Fibras con punteaduras aeroladas simples a diminutas
40. Fibras con punteaduras aeroladas evidentes
41. Fibras con punteaduras comunes en la pared radial y tangencial
42. Engrosamientos helicoidales en la pared de las fibras

#### **Fibras septadas y parénquima en bandas de fibras**

43. Fibras septadas presentes
44. Fibras no septadas presentes
45. Fibras con bandas de parénquima alternando con fibras ordinarias

#### **Grosor de la pared de la fibra**

---

- 
46. Fibras con paredes delgadas
  47. Fibras con paredes delgadas a gruesas
  48. Fibras con paredes muy gruesas

#### **Longitud de las fibras**

49.  $\leq 900 \mu\text{m}$
50. 900-1600  $\mu\text{m}$
51.  $\geq 1600 \mu\text{m}$
52. Media, +/- desviación estándar, Rango,  $n = x$

#### **Parénquima Axial**

53. Parénquima axial ausente o extremadamente raro

#### **Parénquima axial apotraqueal**

54. Parénquima axial difuso
55. Parénquima axial difuso en agregados

#### **Parénquima axial paratraqueal**

56. Parénquima axial escaso
57. Parénquima axial vasicéntrico
58. Parénquima axial aliforme
59. Parénquima axial aliforme-romboide
60. Parénquima axial aliforme lateral
61. Parénquima axial confluyente
62. Parénquima axial paratraqueal unilateral

#### **Bandas de parénquima**

63. Parénquima axial en bandas de más de tres células de ancho
64. Parénquima axial en bandas estrechas o líneas hacia arriba con tres células de ancho
65. Parénquima axial reticulado
66. Parénquima axial escalariforme
67. Parénquima axial en márgenes o bandas marginales aparentes

#### **Tipo de células del parénquima axial / longitud de hebras**

68. Células del parénquima fusiforme
  69. Dos células por hebra de parénquima
  70. Cuatro (3-4) células por hebra de parénquima
  71. Ocho (5-8) células por hebra de parénquima
-

---

72. Más de ocho células por hebra de parénquima

**Radios anchos**

73. Radios exclusivamente uniseriados

74. Radios de 1 a 3 células de ancho

75. Radios largos comúnmente en series de 4 a 10

76. Radios largos > 10 series

77. Radios con partes multiseriados muy anchos con partes uniseriadas

**Radios agregados**

78. Radios agregados

**Altura de los radios**

79. Altura de los radios > 1 mm

**Radios de dos tamaños distintos**

80. Radios de dos tamaños distintos

**Radios: composición celular**

81. Todas la células de radio procumbentes

82. Todas las células del radio verticales y/o cuadradas

83. Cuerpo de las células del radio procumbentes con una hilera de células marginales erectas y/o cuadradas

84. Cuerpo de las células del radio procumbentes principalmente con 2-4 hileras de células marginales erectas y/o cuadradas

85. Cuerpo de las células del radio procumbentes con más de 4 hileras de células marginales erectas y/o cuadradas

86. Radios con procumbentes, células cuadradas y erectas mezcladas a lo largo del radio

**Células envolventes**

87. Células envolventes

**Células del radio perforadas**

88. Células del radio perforadas

**Elementos de secreción y variantes cambiales**

89. Aceites y/o células de mucílago asociados con los radios del parénquima

90. Aceites y/o células de mucílago asociados con parénquima axial

91. Aceites y/o células de mucílago presentes entre las fibras

**Inclusiones minerales**

92. Cristales prismáticos presentes

---

- 
93. Cristales prismáticos en las células del radio erectas y/o cuadradas
  94. Cristales prismáticos en las células del radio procumbentes
  95. Cristales prismáticos con alineamientos radiales en las células del radio procumbentes
  96. Cristales prismáticos en las células del parénquima axial
  97. Cristales prismáticos en fibras
-

---

## Literatura citada

- Aguilar-Rodríguez, S. y B. J. Castro-Plata. 2006. Anatomía de la madera de doce especies del bosque mesófilo de montaña del Estado de México. *Madera y Bosque* 12: 95-115.
  - Aguilar-Rodríguez, S., J. Barajas M. y J. D. Tejero D. 2000. Anatomía de maderas de México: especies de un bosque mesófilo de montaña. Instituto de Biología, UNAM 87 p.
  - Aguilar-Rodríguez, S. y T. Terrazas. 2001. Anatomía de la madera de *Buddleja* L. (Buddlejaceae): análisis fenético. *Maderas y Bosques* 7:63-85
  - Aguilar-Rodríguez, S., Terrazas T. y L. López Mata. 2006. Anatomical wood variation of *Buddleja cordata* (Buddlejaceae) along its natural range in Mexico. *Trees* 20: 253-261.
  - Arias S. y T. Terrazas, 2001. Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Cactaceae). *Anales del Instituto de Biología, UNAM* 72: 157-169.
  - Baas P. 1983. Ecological patterns in xylem anatomy. In: T. J. Givnish, ed. *On the economy of plant form and function*. Harvard Forest. Cambridge University Press 327-352.
  - Berlyn, G.P. y J.P. Miksche. 1976. *Botanical microtechnique and cytochemistry*. Iowa State University Press. Iowa.
  - Cordell, S., Goldstein. G., Mueller, D. D. Webb y P. M. Vitousek. 1998. Physiological and morphological variation in *Metrosideros polymorpha*, a
-

- 
- dominant Hawaiian tree species, along an altitudinal gradient: the role of phenotypic plasticity. *Oecologia* 113: 188- 196.
- De la Paz, O. C. 1982. Anatomía de la madera de cinco especies de encinos de Durango. Boletín Técnico del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales núm. 43. México. 35 p.
  - De la Paz Pérez, O. C. y M. de L. Aguilar. 1978. Diferencias Morfológicas Externas y Anatómicas de la madera de los Encinos Blancos y Rojos. México. Boletín Técnico del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales 59: 19.
  - De la Paz Pérez, O. C. y A. Quintanar. 1994. Características anatómicas de la madera de cinco especies del estado de Jalisco, México. *Acta Botánica Mexicana* 27: 75-87.
  - De la Paz Pérez O., C., R. Dávalos S. y E. Guerrero C. 2000. Aprovechamiento de la madera de encino en México. *Madera y Bosques* 1:3-13.
  - De la Paz Pérez, O. C., Campos R. A., Quintanar I. A. y R. Dávalos. 1998. Estudio anatómico de la madera de cinco especies del género *Quercus* (*Fagaceae*) del estado de Veracruz. México. *Madera y Bosques* 4: 45-65
  - De la Paz Pérez, O. C., Vélez J. S. y J. Ceja R. 2006. Anatomía de la madera de ocho especies de *Quercus* (*Fagaceae*) de Oaxaca, México. *Maderas y Bosques* 12: 63-94.
  - Dickison, C. W. 1999. A view of the current status of comparative wood anatomy. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 64: 87-91.
-

- 
- Dickison, C. W. 2000. Integrative plant anatomy. Academic Press. San Diego, California. 503 pág.
  - Dünisch, O y J. Bauch. 1994. Influence of mineral elements on wood formation of old growth spruce (*Picea abies* [L.] Karst). *Holzforchung* 48: 5- 14.
  - Fahn, A. 1978. Anatomía Vegetal. H. Blume Ed. Madrid.
  - Fisher, B.J., G. Goldstein, T.J. Jones y S. Cordell. 2007. Wood vessel diameter is related to elevation and genotype in the Hawaiian tree *Metrosideros polymorpha* (Myrtaceae). *American Journal of Botany* 94:709-715.
  - International Association of Wood Anatomists Committee. 1989. International Association of Wood Anatomists list of microscopic features for hardwood identification. *International Association of Wood Anatomists Bulletin new series* 10: 219-332.
  - Jagels, R., J. Hornbeck y S. Marden. 1994. Drought and cold stress-induced morphometric changes in tree rings of red spruce. *Technical Bulletin Maine Agricultural and Forest Experiment Station No. 159*.
  - Johansenn, J. 1940. *Plant microtechnique*. Mc Graw-Hill Book Co. New York.
  - Luna, J. A. L. 2003. Los usos no leñosos de los encinos en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 72: 107-117.
  - Martínez, C. D., Terrazas T. y F. Zavala Ch. 2003. Arquitectura foliar y anatomía de la corteza y la madera de *Quercus Sartorii* y *Quercus Xalapensis* (Fagaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 73: 62- 72.
-

- 
- Metcalfe C. R. y Chalck L. 1983. Anatomy of the dicotyledons, vol. II. 2 rd. Clarendon Press, Oxford.
  - Noshiro, S. y P. Baas. 1998. Systematic Wood anatomy of Cornaceae and allies. International Association of Wood Anatomists Journal 19: 43-97.
  - Noshiro, S. y P. Baas. 2000. Latitudinal trends in wood anatomy within species and genera: Case study in *Cornus* s.l. (Cornaceae). American Journal of Botany 87: 1495-1506.
  - Ortega, F., L. Guerrero, T. Carmona y C. Córdoba. 1988. Anatomía de la madera de veintiocho especies de Cosautlán de Carvajal, Veracruz. La madera y su uso 19. Boletín Técnico. INIREB- LACITEMA. México. 206 p.
  - Psaras, G.K. y I. Sofroniou.1999. Wood anatomy of *Capparis spinosa* from an ecological perspectiva. International Association of Wood Anatomists Journal 20: 419-429.
  - Panshin, J. A. y C. Zeeuw . 1970. Text book of Wood technology. Vol. I. 3 ed. Mcgraw-Hill.
  - Quintanar, O. J. 2002. Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. INIFAP. Puebla. 195 pág.
  - Roig, J. F. A. 1986. The wood of *Adesmia horrida* and its modifications by climatic conditions. International Association of Wood Anatomists Bulletin 7: 129-135.
-



- 
- Romero, R. S. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 564-566 pp
  - Rzedowski, J. 1978. *vegetación de México*. Limusa. México.
  - SAS Institute. 1989. *SAS user's guide statistics*. Cary, North Carolina.
  - Tamarit, U., J.C. 1996. Determinación de los índices de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosque* 2:29-41.
  - Terrazas, T. 1999. Anatomía de la madera de Anacardiaceae con énfasis en los géneros americanos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 64: 103-109.
  - Terrazas, T y S. Loza-Cornejo. 2003. Anatomía de la madera y alometría de veinte especies de *Stenocereus* (Cactaceae). *Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México Botánica* 74:195-208.
  - van den Oever, L., P. Baas y M. Zandee. 1981. Comparative Wood anatomy of *Symplocos* and latitude and altitude of provenance. *International Association of Wood Anatomists Bulletin new series* 2: 3-24.
  - Villa- Salvador, P., Castro- Díez P., Pérez –Rontomé C. y G. Montserrat-Martí. 1997. Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. *Trees* 12:90-96.
  - Villagra, P. y F. A. Roig, J. 1997. Wood structure of *Prosopis alpataco* and *P. argentina* growing under different edaphic conditions. *Internacional Association of Wood Anatomists Journal* 18: 37- 51.
-

- 
- Yáñez, L. y Terrazas, T. 2001. Variación anatómica en la madera y en la corteza de *Annona glabra* L. bajo inundación. *Agrociencia* 34: 51-63.
  - Young, A. R. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Ed. Limusa. México. 632 pág.

**Páginas web consultadas**

- <http://www.fao.org/docrep/a2173s/a2173s05.htm>.
-