



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**MAESTRIA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**“ANÁLISIS DE CARACTERES DE LAS MADERAS DE ESPECIES  
DE LA FAMILIA FABACEAE DE LA SIERRA DEL TENTZO Y LA  
RELACION CON SUS CONGÉNERES”**

Tesis para obtener el grado de  
Maestra en Ciencias Biológicas

Presenta:

**Claudia Saharai Vazquez Morales**

Directora:

**AGUSTINA ROSA ANDRÉS HERNÁNDEZ**

Codirector:

**ERNESTO CHANES RODRÍGUEZ RAMÍREZ**

**ENERO 2026**

x

H. Puebla de Z. a 02 de diciembre de 2025

**Asunto: Voto Aprobatorio**

**Comité Académico del Posgrado  
PRESENTE**

Por medio de la presente se hace constar que se revisó y aprobó la tesis titulada:

**“Análisis de caracteres de las maderas de especies de la familia Fabaceae de la Sierra del Tentzo y la relación con sus congéneres”**

Que presenta el (la) estudiante **Claudia Saharai Vazquez Morales** con número de matrícula **223470523**, aspirante al grado de **Maestra en Ciencias Biológicas**, de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: **“Sistemática”**, notificamos que la tesis reúne los requisitos y se aprueba para su réplica oral en el examen de grado.

Por lo tanto, emitimos los **VOTOS APROBATORIOS** como miembros del **Comité de Jurado de Examen de Grado** como a continuación se indica:

Tutor Interno: Dra. Etelvina Gándara Zamorano



Tutor Externo: Dra. Sombra Patricia Rivas Arancibia



Revisor: Dr. Agustín Maceda Rodríguez



Agradecemos de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.



## CARTA DE NO PLAGIO

Heroica Puebla de Zaragoza, 12 de noviembre de 2025

A quien corresponda:

Por medio de la presente, yo, Claudia Saharai Vazquez Morales, estudiante del programa de Maestría en Ciencias Biológicas en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con número de matrícula 223470523, declaro bajo protesta de decir verdad que el trabajo titulado:

“Análisis de caracteres de las maderas de especies de la familia Fabaceae de la sierra del Tentzo y la relación con sus congéneres”, es de mi autoría original, y que en su elaboración no se ha incurrido en plagio total ni parcial de obras de otros autores, conforme a lo establecido en la normativa institucional y en la legislación vigente sobre derechos de autor.

Asimismo, certifico que todas las fuentes de información utilizadas han sido debidamente citadas y referenciadas, y que cualquier colaboración o apoyo recibido ha sido reconocido en la sección correspondiente del trabajo.

Estoy consciente de que, en caso de detectarse plagio o fraude académico en el contenido de mi tesis, la institución académica está facultada para invalidar mi trabajo y retirar cualquier grado o reconocimiento obtenido, además de aplicar las sanciones correspondientes.

Sin más por el momento, firmo la presente en cumplimiento de los requisitos establecidos por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla para la presentación del trabajo de grado.

Atentamente,



---

Claudia Saharai Vazquez Morales  
Firma

Matrícula: 223470523

Programa: Maestría en Ciencias Biológicas

Institución: Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Correo electrónico: sah.vm.1994@gmail.com

## AGRADECIMIENTOS

A la secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, por la beca asignada para llevar a cabo mis estudios de maestría con el número de beca 1318379.

Dra Agustina Rosa Andrés Hernández, por aceptarme en el laboratorio, por la confianza, el apoyo que me ha brindado en este tiempo, y el tiempo que ha dedicado a enseñarme y darme observaciones, tanto del trabajo como en otros aspectos.

Dr. Ernesto Chanes Rodríguez Ramírez, por su asesoramiento y apoyo que me ha brindado en este tiempo.

Dra. Sombra Patricia Rivas Arancibia por las sugerencias en cuanto al escrito y las observaciones, así como su disponibilidad de tiempo.

Dra. Etelvina Gándara Zamorano por aceptar ser parte de mis revisores, por sus observaciones, así como su disponibilidad de tiempo.

Dr. Agustín Maceda por aceptar ser parte de mis revisores, por sus observaciones, así como también por sus enseñanzas y tiempo que me proporcionado.

A cada uno de los profesores que han estado a lo largo de esta etapa, por sus enseñanzas, confianza y consejos.

A mis compañeros del laboratorio y maestría: Biol. Gabriela Gonzales Vélez e Ing. José Andrés Cruz Martines por su apoyo y sus enseñanzas a lo largo de este camino que compartimos juntos, además de su apoyo en las salidas de campo.

A mis amigos, Jesús Alejandro, Ricardo Monterrosas, gracias por ayudarme a dar este paso al siguiente nivel, y a mis amigos Nely Ely, Karen, Yamili, Adolfo, Lupe y Adrián por seguir con nuestra amistad a pesar del tiempo.

## Contenido

Resumen .....	1
Introducción .....	2
Antecedentes.....	3
Anatomía de madera en bosque tropical caducifolio .....	7
Estudios de respuesta a déficit hídrico en Fabaceae .....	9
Estudios de respuesta a déficit hídrico en diversas Familias.....	11
Justificación .....	13
Preguntas de investigación: .....	14
Hipótesis .....	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos .....	15
Materiales y Métodos .....	15
Sitio de estudio.....	15
Trabajo de campo: .....	17
Trabajo de laboratorio. ....	17
Trabajo de gabinete .....	18
Análisis estadístico.....	18
Resultados.....	19
Análisis de varianza .....	38
Relación con los congéneres .....	40
Respuesta al déficit hídrico.....	43
Análisis Fourth-Corner .....	43
Análisis Canónico de correspondencia .....	45
Discusión .....	47
Literatura citada. ....	60

## Resumen

La familia Fabaceae comprende aproximadamente 770 géneros y 19,500 especies a nivel mundial; en Puebla se han registrado 491 especies, y en Huehuetlán el Grande, 53 especies pertenecientes a 34 géneros. La anatomía de la madera en Fabaceae ha sido ampliamente estudiada, observándose características distintivas como placas de perforación simples, parénquima axial paratraqueal, punteaduras intervasculares alternas y fibras libriformes. Sin embargo, en México son escasos los estudios anatómicos de la madera en esta familia, por lo que resulta esencial ampliar la investigación para entender la similitud entre especies nacionales y sus congéneres internacionales.

El objetivo de este estudio fue analizar los caracteres anatómicos de la madera de Fabaceae en la Sierra del Tentzo, para determinar si existen agrupaciones por similitud anatómica y si se identifican caracteres asociados al déficit hídrico en las especies presentes en el municipio de Huehuetlán el Grande, Puebla. Para ello, se seleccionaron doce especies de Fabaceae, se recolectaron muestras de madera y ejemplares botánicos. Se aplicó una microtecnia convencional, y los caracteres anatómicos fueron evaluados de acuerdo con los criterios de la IAWA. Para el análisis estadístico se utilizaron ANOVA y modelos lineales generalizados (GLM), así como análisis jerárquicos de conglomerados para evaluar la similitud entre congéneres.

Los análisis estadísticos (ANOVA, GLM) revelaron diferencias significativas en todos los caracteres anatómicos evaluados entre especies. El análisis de conglomerados identificó dos grupos diferenciados en función de sus características: el primer grupo presentó diámetros del lumen de las fibras en el rango de 5.32 a 7.03  $\mu\text{m}$ , mientras que el segundo grupo mostró valores significativamente mayores, entre 12.8 y 17  $\mu\text{m}$ . Por otro lado, el análisis Fourth-Corner indicó asociaciones bajas entre los caracteres anatómicos de la madera y variables climáticas, con correlaciones negativas entre el largo de los radios y variables como precipitación, temperatura máxima y media. El análisis canónico mostró una fuerte asociación lineal, donde los dos primeros ejes explicaron el 85% de la variabilidad, alcanzando una correlación canónica máxima de 1.0.

Entre las especies estudiadas, *Conzattia multiflora* mostró claras adaptaciones a altas temperaturas, mientras que *Vachellia spp.* evidenció respuestas anatómicas

relacionadas con la temperatura mínima, particularmente en el ancho de radios. *Neltuma laevigata* y otras especies, como *Lonchocarpus spp* y *Leucaena spp*, presentaron ajustes anatómicos eficientes frente a las condiciones ambientales locales. En conclusión, las especies de Fabaceae analizadas presentaron la anatomía típica de la familia, pero con diferencias significativas entre sí. Las especies del bosque tropical seco mostraron adaptaciones en el xilema relacionadas con el déficit hídrico, moduladas por la temperatura y la precipitación. Estos hallazgos proporcionan información relevante para la conservación, el manejo forestal y la selección de especies resilientes al cambio climático.

## Introducción

La familia Fabaceae Lindl. es una de las más importantes y diversas del mundo, con aproximadamente 770 géneros y 19,500 especies distribuidas globalmente (Lewis *et al.*, 2005, 2013). Es la tercera familia más grande en número de especies, sólo superada por Asteraceae y Orchidaceae (Azani *et al.*, 2017).

México constituye un centro importante de diversidad para Fabaceae, al contar con unas 1,903 especies en 93 géneros, de las cuales el 59.5% son endémicas (Villaseñor, 2003, 2016). Entre los géneros más representativos a nivel nacional destacan *Dalea* L. con 146 especies, *Mimosa* L. con 112 y *Desmodium* Desv. con 110 (Villaseñor, 2016).

En el estado de Puebla se registran 584 especies de Fabaceae (Villaseñor y Ortiz, 2025), reflejando su gran riqueza florística. Dentro de esta entidad, el bosque tropical caducifolio (BTC) ocupa una superficie aproximada de 536,851 ha (CONABIO, 2024), donde Fabaceae destaca por su riqueza, abundancia de individuos y dominancia en el estrato arbóreo (Rzedowski, 2006). En particular, en el municipio de Huehuetlán el Grande se han documentado 34 géneros y 53 especies de Fabaceae dentro del BTC (SEINet, 2024).

Aunque existen estudios desde 1951 sobre anatomía en Fabaceae, solo una docena presentan descripciones completas de especies. Un estudio destacado es el de Evans *et al.* (2006), que abarcó 52 géneros y 249 especies de la subfamilia Mimosoideae (actualmente dentro de Caesalpinoideae; Azani *et al.*, 2017). Warwick *et al.* (2017) realizaron un análisis eco-anatómico con ocho géneros y 30 especies en cinco regiones climáticas. En Puebla, los trabajos anatómicos (Barajas-Morales y

León, 1989; Moyotl, 2014; Vázquez-Morales, 2018) han incluido 31 especies, pero en la Sierra del Tentzo sólo se han descrito nueve de las 53 especies reportadas (SEINet, 2024).

Por lo tanto, es necesario ampliar los estudios sobre la anatomía y eco-anatomía de las maderas de Fabaceae en esta región para fortalecer el conocimiento sobre su diversidad y adaptaciones.

## **Antecedentes**

La familia Fabaceae cuenta con diversos estudios desde el siglo pasado, alrededor del mundo como: Argentina (Cozoo, 1951), Australia (Whinder *et al.*, 2013), Colombia (Pulido *et al.*, 2011), Estados Unidos de América (Gasson *et al.*, 2009), Madagascar (Ramanantsialonina *et al.*, 2022), México (Barajas-Morales y León, 1989; Silva *et al.*, 1989; Chehaibar y Grether, 1990; Rebollar *et al.*, 1996; Rebollar y Quintanar, 1998; Abundiz *et al.*, 2004; Quintanar *et al.*, 2005; Montaña-Arias *et al.*, 2013; Moyotl, 2014; Maiti y González-Rodríguez, 2016; Ramírez-Martínez *et al.*, 2017; Vázquez-Morales, 2018; Romero *et al.*, 2022; Ruiz-Valencia *et al.*, 2022), Reino Unido (Evans *et al.*, 2006), Venezuela (León, 2008) que abordan diferentes temas como: anatomía, ecología (León, 2005) y relaciones hídricas (Carlquist, 1989; Martínez-Cabrera *et al.*, 2009; Brown *et al.*, 2013; Warwick *et al.*, 2017; Hacke *et al.*, 2023).

De estos, uno de los primeros fue el de Cozoo (1951); en este estudio se describió la anatomía de la madera de 200 ejemplares pertenecientes a 33 géneros y 96 especies presentes en Argentina, constituyendo uno de los trabajos con mayor número de especies descritas. Además, elaboró una clave dicotómica basada en las especies y sus caracteres, reconociendo caracteres anatómicos para la subfamilia Mimosoideae: tipos de anillos de crecimiento (bien delimitados y no definidos), vasos solitarios o unidos, presencia de traqueidas, presencia de radios biseriados y multiseriados, tipos de radios (homogéneos, heterogéneos o uniseriados, biseriados o multiseriados) y tipo de parénquima (vasicéntrico o vasicéntrico aliforme). Asimismo, Carlquist (1989) trabajó con siete especies del género *Cercidium*, cuyas características anatómicas principales son la porosidad semianular, anillos de crecimiento presentes, (pero no tan marcados), de 29-123 vasos por mm<sup>2</sup>, diámetro del vaso de 24-43 µm, longitud del vaso 122-318 µm, longitud de la fibra que va de 223- 725 µm, pared de la fibra 1.5-4 µm, fibras septadas, presencia de traqueidas vasicéntricas, las fibras cuentan

con acumulación de cristales.

Uno de los trabajos más importantes sobre anatomía de las maderas obtenidas de xiloteca es el de Evans *et al.* (2006), en el que realizaron descripciones de 52 géneros y 249 especies de la subfamilia Mimosoideae. Los caracteres que utilizaron fueron tanto cualitativos como cuantitativos. Las características de la subfamilia son porosidad difusa, punteaduras alternas, las fibras suelen ser gelatinosas, parénquima axial aliforme o vasicéntrico, confluyente, radios frecuentemente uniseriados, homocelulares, pueden presentar cristales; depósitos de goma en vasos, ocasionalmente en fibras. Además, en este trabajo se desglosaron algunos caracteres que agruparon a algunas especies, como las fibras que pueden ser septadas o no septadas, parénquima en bandas o no bandeado y el parénquima radial 1-3 radios o de 2-5 radios, por lo que dichos caracteres pueden ser importantes para uso taxonómico.

Por otro lado, León (2008) reconoce caracteres cuantitativos de 31 especies, pertenecientes a 17 géneros de la subfamilia Mimosoideae (actualmente Caesalpinioideae) que se distribuyen en Venezuela. Los principales caracteres son: como: 1-29 vasos por mm<sup>2</sup>, el diámetro de los vasos de 79-296 µm, la longitud de las fibras 212-502 µm con diámetro de punteaduras de 2.5-10 µm, longitud de las fibras 880-1634 µm, 3-14 radios por mm, altura de los radios de 146-622 µm. Todas las especies tienen radios exclusivamente homocelulares de células procumbentes y los cristales prismáticos formando series en el parénquima axial con excepción de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke. El parénquima axial en su mayoría fue paratraqueal vasicéntrico, aliforme y confluyente.

Gasson *et al.* (2009) en Estados Unidos de América, describen nueve géneros y 25 especies, *Caesalpinia*, *Coulteria*, *Erythrostemon*, *Guilandina*, *Libidibia*, *Mezoneuron*, *Poincianella*, *Tara* y *Pomaria*. La mayoría de las especies carecen de anillos de crecimiento bien definidos, los vasos son solitarios y en múltiples radiales, placas de perforación simple, las punteaduras intervasculares son alternas, las fibras son principalmente no septadas, el parénquima axial es aliforme a confluyente e irregularmente estratificado, y los radios son principalmente 1-2-seriados, en su mayoría no estratificados, la altura de los radios va de 4-50, predomina un diámetro de los vasos de 100-200 µm y todas las especies cuentan con cristales en el parénquima.

Posteriormente, Pulido *et al.* (2011) realizaron un estudio anatómico de la madera de Colombia con 21 especies de los géneros *Cynometra*, *Dialium*, *Eperua*, *Erythrophleum*, *Heterostemon*, *Hymenaea*, *Koompassia*, *Macrolobium*, *Mora*, *Orphanodendron*, *Peltogyne*, *Prioria*, *Sclerolobium* y *Tachigali*. Las especies tuvieron porosidad difusa, vasos solitarios sin patrón de disposición, placas de perforación simple, punteaduras intervasculares areoladas alternas y ornamentadas, vasos con gomas, fibras no septadas con punteaduras simples parénquima paratraqueal, radios de una a tres células de ancho y compuestos principalmente por células procumbentes. Además, realizaron un análisis de similitud para identificar las semejanzas entre grupos taxonómicos y el grado de relación de los factores ambientales. Los géneros más parecidos entre sí fueron *Peltogyne*, *Erythrophleum*, *Hymenaea* y *Mora*, lo que se comprobó por medio de un análisis de similitud (0.8 de similitud), mientras que los géneros con índice más bajo fueron *Sclerolobium* y *Tachigali*.

Otro trabajo fue el de Whinder *et al.* (2013) quienes realizaron un estudio en ocho localidades forestales en el sur de Nueva Gales, Australia, en el cual tomaron 12 especies del género *Acacia* que presentaron porosidad difusa, placas de perforación simple, fibras con pared gruesa, parénquima predominantemente paratraqueal, vasicéntrico confluyente, diámetro de los vasos de 44-57  $\mu\text{m}$ , vasos por  $\text{mm}^2$  30-45  $\mu\text{m}$ , ancho de los radios 1-1.3  $\mu\text{m}$ , altura de los radios 6-10  $\mu\text{m}$ .

Ramanantsialonina *et al.* (2022), en Madagascar realizaron un análisis de componentes principales (PCA) con 16 especies del género *Dalbergia*. Por lo que identificaron cuatro componentes principales; en el primer componente se separaron individuos con madera difusa-porosa y anillos de crecimiento no definidos de los demás individuos que explicó el 24% de la variación. El segundo componente separó individuos que carecen de parénquima axial apotraqueal difuso en agregados de los demás individuos, que explicó el 13% de la variación. El tercer componente separó individuos que carecen de parénquima axial paratraqueal aliforme de los demás individuos que explicó el 10% de la variación. El último explicó el 10% de la variación y separó individuos con una composición celular de radios completamente procumbentes de los demás individuos. Estos cuatro componentes explicaron el 57% de la variación total evaluada en las variables anatómicas de la madera.

En México se han descrito 19 trabajos de anatomía de la madera de la familia Fabaceae en diversos tipos de vegetación, en los cuales se han descrito alrededor

de 89 especies pertenecientes a 31 géneros (Vázquez-Morales, 2018). En los trabajos más representativos se encuentran los trabajos de Rebollar *et al.* (1996), en una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo en el cual describen seis especies: *Lysiloma* (L.) Benth., *Caesalpinia gaumeri* Greenm., *Alvaradoa amorphoides* Liebm., *Thouinia paucidentata* Radlk., *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson y *Guettarda combsii* Urb. Estas especies presentaron porosidad difusa, placas de perforación simples, punteaduras de los vasos alternas, con pequeños radios. Sin embargo, se diferencian en la disposición de los vasos, el tipo de parénquima radial y el espesor de la pared de la fibra.

Otro estudio es el de Rebollar y Quintanar (1998), en cual describen ocho especies en la selva mediana subperennifolia en Quintana Roo: *Acacia gaumeri* Blake, *Diphysa carthagenensis* Jacq., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud., *Leucaena glauca* (L.) Benth., *Senna racemosa* (Mill) Irwin & Bameby, *Murraya paniculata* L.Mant., *Maytenus guatemalensis* Lundell y *Pimenta dioica* (L.) Merr. Estas especies cuentan con porosidad difusa, placas de perforación simples, punteaduras vasculares alternas y opuestas y radios pequeños, los cristales están ausentes solo en *Acacia gaumeri* y *Senna racemosa*. El parénquima axial fue común en los tipos paratraqueal, bandeado y libriformes. Se encontraron diferencias en los radios, disposición de los poros, presencia de fibrotraqueidas, traqueidas vasculares y tílides.

Por otra parte, en el estudio de Abundiz *et al.* (2004), en un matorral xerófilo en Puebla, se describieron 13 especies, las cuales cuentan con porosidad difusa y semi anular, un arreglo de los vasos solitarios, placas de perforación simple, células de parénquima fusiformes, radios homogéneos con células procumbentes y fibras libriformes.

En el bosque mesófilo de montaña, en Tamaulipas, se realizó un estudio por Aguilar-Alcántara *et al.*, (2014), en el que se describieron 12 especies, de las cuales solo tres pertenecientes a la familia Fabaceae: *Acaciella angustissima* (Mill.) Britton & Rose y *Cercis canadensis* L. Se relacionaron los caracteres con la posición geográfica en la que se encuentra, como por ejemplo anillos de crecimiento, porosidad difusa y semi anular, elementos de vaso cortos, con un punteaduras simples y fibras septadas.

Por su parte, Maiti y González-Rodríguez (2016) realizaron un estudio en el estado de Nuevo León, en un matorral espinoso subtropical, donde recolectaron 15 especies de las cuales solo siete pertenecen a la familia Fabaceae: *Acacia rigidula* (Benth.) Seigler

& Ebinger, *Senegalia berlandieri* Benth. Britton & Rose, *Vachellia shaffneri* (S. Watson) Seigler & Ebinger., *Vachellia farnesiana* (L.), *Senegalia wrightii* Benth. Britton & Rose, *Senegalis berlandieri* (Benth) Britton & Rose, y *Caesalpinia mexicana* A. Gray. Estas especies mostraron porosidad difusa, los vasos no fueron uniformes, la mayoría con vasos solitarios, parénquima axial paratraqueal, parénquima aliforme, confluyente, parénquima apotraqueal agregado en tangencial amplio bandas, con parénquima marginal estrecho y los radios uniseriados y homogéneos.

### **Anatomía de madera en bosque tropical caducifolio**

Uno de los primeros estudios en este tipo de vegetación fue el de Silva *et al.* (1989) con nueve especies: *Bauhinia aculeata* L., *Calliandra renvoizeana* Barneby, *Cassia spectabilis* DC. Cat. Pl. Horti, *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger Monsp., *Coursetia arborea* Griseb., *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook, *Leucaena trichodese* Benth., *Lonchocarpus violaceus* Oliv., *Pithecellobium saman* (Jacq.) Benth. Las especies tuvieron longitud de vasos de media a muy corta, tendencia al agrupamiento de los vasos, tendencia al agrupamiento del parénquima axial, una longitud del vaso que va de 8.2-56  $\mu\text{m}$ , 2.5-30 vasos por  $\text{mm}^2$ , 14-344 radios por  $\text{mm}$  y la altura de los radios se encuentra de 4-36  $\mu\text{m}$ .

Poco después, en Chamela, Jalisco, Barajas-Morales y León (1989) describieron detalladamente los caracteres cualitativos y cuantitativos de la madera de 15 géneros y 24 especies de la familia Fabaceae. La mayoría de las especies tuvieron porosidad difusa, placa de perforación simple, punteaduras intervasculares opuestas, presencia de cristales o contenidos.

Así también se suma el trabajo de Chehaibar y Grether (1990) quienes describen tres especies del género *Mimosa*; *Mimosa lactiflua* Delile ex Benth. con tres variedades, *M. lactiflua* var. *lactiflua*, *M. lactiflua* var. *psilocarpa*, y *M. lactiflua* var. *Goldmanii*; *M. tricephala* L. con dos variedades, *M. tricephala* var. *xanti* A. Gray y *M. tricephala* var. *nelsonii* B.L. Rob. y *M. sicyocarpa* B.L. Rob. var. *mellii* Britton & Rose. En su estudio mostraron diferencias en las especies debido a que el parénquima presentó cuatro agrupaciones distintas: bandeado confluyente, aliforme confluyente, aliforme unilateral y vasicéntrico, radios tanto homogéneos como heterogéneos. Asimismo, Montaña-Arias *et al.* (2013) analizaron cinco especies del género *Mimosa*, de las cuales solo las especies *Mimosa bahamensis* Benth. y *Mimosa tenuiflora* Benth. pertenecen al

BTC en los estados de Yucatán y Oaxaca respectivamente. Encontraron que las especies presentan porosidad difusa, con anillos de crecimiento, vasos numerosos (más de diez), vasos agrupados, punteaduras intervasculares areoladas, alternas y ornamentadas. Las cinco especies de *Mimosa* presentaron características morfológicas de los elementos de vaso que les permiten vivir y adaptarse a los ambientes secos.

Uno de los estudios más recientes en Oaxaca es el de Romero *et al.* (2022) en el que describe 13 especies: *Lysiloma divaricatum* (Jacq.) J.F. Macbr., *Lonchocarpus lanceolatus* Benth., *Mimosa eurycarpa* B. L. Rob., *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. y *Vachellia campechiana* (Mill.) Seigler & Ebinger. En el estudio obtuvieron que los vasos por  $\text{mm}^2$  fueron de 9-163, el lumen de los vasos entre 39 y 141  $\mu\text{m}$ , con un mínimo de 5  $\mu\text{m}$  en *M. eurycarpa* y *V. campechiana*, punteaduras intervasculares alternas, punteaduras vaso-radio similar al tamaño de las intervasculares, fibras con paredes gruesas en *V. campechiana*, *L. lanceolatus* y *M. tenuiflora*, parénquima axial apotraqueal difuso y paratraqueal de escaso a bandeado, la altura media de los radios varía desde 121  $\mu\text{m}$  en *L. lanceolatus*. cuentan con cristales prismáticos.

Otro estudio en el BTC es el de Quintanar *et al.* (2005), en el estado de Morelos, donde estudiaron a *Acaciella angustissima* (Mill.) Britton & Rose., *Vachellia campechiana* (Mill.) Seigler & Ebinger, *Conzattia multiflora* Standl., y *Guazuma ulmifolia* Lam. Estas especies presentaron porosidad difusa, radios múltiples, solitarios y agrupados, punteaduras intervasculares areoladas-alternas, 2-15 vasos por  $\text{mm}^2$ , el diámetro de los vasos de 123-226  $\mu\text{m}$ , la longitud de los vasos que va de 210-249  $\mu\text{m}$ , la altura de los radios 246-483  $\mu\text{m}$ , el ancho de los radios 18-88  $\mu\text{m}$ , los radios por  $\text{mm}^2$  fueron de 4-10, la longitud de la fibra abarcó 780-109  $\mu\text{m}$ , diámetro de la fibra de 11-24  $\mu\text{m}$  y el grosor de la pared de 5-7  $\mu\text{m}$ .

Además, en el trabajo de Ramírez-Martínez *et al.* (2017) en Tamaulipas se estudiaron 21 especies de árboles, ocho fueron de Fabaceae: *Senegalia berlandieri* (Benth.) Britton & Rose, *Bauhinia divaricata* L., *Caesalpinia mexicana* A. Gray, *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes, *Harpalyce arborescens* A. Gray, *Parkinsonia aculeata* L., *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn. Las características de las especies fueron: los anillos de crecimiento conspicuo por diferencias en lumen de vasos y fibras, el grosor de la pared de la fibra y en algunas especies por parénquima marginal. Las especies que presentaron porosidad

anular fueron: *Ehretia anacua* (Terán & Berland.) y *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf, las que presentan porosidad semianular son: *Caesalpinia mexicana* A.Gray, y *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn. No se encontró mucha variación en el número de vasos por mm, el lumen de los vasos fue aprox. de 60 a 80  $\mu\text{m}$ , longitud de la fibra 900  $\mu\text{m}$ , la especie con el menor grosor de la pared de las fibras fue *Parkinsonia aculeata* L. con 1.6  $\mu\text{m}$ . El 71% de las especies tienen entre 2 a 4  $\mu\text{m}$ . El parénquima es paratraqueal en bandas aliforme y vasicéntrico. Un 76% cuenta con radios heterocelulares.

Particularmente en la Sierra del Tentzo, Moyotl (2014) describió e identificó la madera de *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd., *Caesalpinia caladenia* Standl., *Lysiloma microphyllum* Benth. El autor analizó la relación de la anatomía de la madera y correlacionó la eficiencia energética (calórica) con las características anatómicas como el grosor de las fibras, tamaños y distribución de las células. Posteriormente Vázquez-Morales (2018) analizó los caracteres cualitativos y cuantitativos de maderas de nueve especies de la familia Fabaceae en la sierra del Tentzo, por lo que reconoce caracteres representativos de climas áridos, como las placas de perforación simples y fibras libriformes.

Entre los trabajos que abordan un análisis de la anatomía de la madera y semejanzas con sus congéneres de otras regiones es el de Ruiz-Valencia *et al.* (2022) quienes reconocen la similitud de nueve especies de la Sierra del Tentzo, el análisis de conglomerados mostró la agrupación de los géneros *Bursera*, *Berberis*, *Karwinskia*, *Cascabela*, *Lycianthes*, *Fouquieria* e *Ipomoea*.

Se han publicado diversos trabajos en los cuales se describen de una a dos especies como *Acacia melanoxylon* R. Br., *Caesalpinia gaumeri* Greenm, *Dinizia jueirana-facao* G. P. Lewis & G. S. Siqueira, *Mimosa tenuiflora* Benth., *Neltuma nigra* (Griseb.) C. E. Hughes & G. P. Lewis, *Wisteria brachybotrys* Siebold & Zucc y *Wisteria floribunda* (Will) DC. Todas las especies tuvieron placas de perforación simple, parénquima paratraqueal vasicéntrico, fibras libriformes y cristales en el parénquima (Cardoso, 2014; Camargo-Ricalde, 2000; Giménez *et al.*, 2000; Fontana *et al.*, 2019; Interián-ku *et al.*, 2011; Nejapa y Pace, 2023).

### **Estudios de respuesta a déficit hídrico en Fabaceae**

Hasta el momento, se han realizado diversos estudios sobre la anatomía y adaptaciones a climas áridos, uno de los primeros trabajos relacionados a este tema

es el de Bass *et al.* (1983), quienes trabajaron con 35 géneros de árboles y arbustos comunes de los países bajos como representantes de la flora del noroeste de Europa. Los datos se dividieron por categorías ecológicas que fueron: regiones áridas, mediterráneas, hidrófilas, sinantrópicos y especies árticas. Los caracteres anatómicos que mostraron influencia por el clima fueron el tamaño de los vasos, debido a que en climas áridos los vasos son cortos y estrechos, mientras que la frecuencia de los vasos fue alta en zonas mediterráneas y árticas, y baja en zonas tropicales y áridas.

Carlquist en 1984, elaboró un estudio donde utilizó la colección de maderas del Jardín Botánico Rancho Santa Ana, California, Estados Unidos de América, en ese estudio menciona que la agrupación de los vasos en las dicotiledóneas está relacionado a sequías o heladas, debido a que es una manera segura de transportar agua si llegan a tener complicaciones los vasos ante presiones climáticas. Posteriormente Carlquist (1989) realizó un estudio en torno a los factores ambientales, en este se describen las adaptaciones de la madera de diferentes especies, como son el estrechamiento de vasos, cambio en la densidad vascular, presencia de anillos de crecimiento, presencia de fibras libriformes, engrosamientos helicoidales en los vasos y presencia de traqueidas vasculares, donde mencionó la evolución de los tejidos conductores y de sostén para arbustos en chaparrales.

En América se han realizado diversos estudios de anatomía ecológica, uno de ellos es el de León (2005) en Venezuela, en vegetación de bosque seco tropical (BST). Este autor investigó la anatomía de 51 especies arbóreas, donde hubo predominio de caracteres anatómicos orientados a la eficiencia en la conducción de agua como: pocos vasos por mm<sup>2</sup> y por grupo, amplio diámetro de vasos, ausencia de traqueidas y de engrosamientos helicoidales. Según los índices de vulnerabilidad y mesomorfía, el leño de los individuos estudiados fue clasificado como mesomórfico, lo que indica una estructura de la madera conectada con una alta eficiencia en la conducción hidráulica, aunque con una seguridad relativamente baja.

Martínez-Cabrera *et al.* (2009) trabajaron con 61 especies de ocho sitios desde Estados Unidos de América hasta Argentina, en cual se analizaron las características anatómicas y densidad de las maderas, además vieron las relaciones filogenéticas entre especies, los análisis realizados encontraron que la densidad de la madera estaba significativamente correlacionada con la precipitación y la aridez y no con la

temperatura. Además, identificaron que la relación entre la anatomía de la madera y la densidad está influenciada por múltiples funciones del xilema, como el almacenamiento, el soporte mecánico y el transporte de agua, las cuales están interrelacionadas y afectadas por restricciones filogenéticas y hay una covarianza en respuesta a variables ambientales, como la disponibilidad de agua.

Brown *et al.* (2013) realizaron un estudio en Nueva Gales del género *Acacia* con 12 especies, dividiéndolo en cuatro zonas climáticas que son: semiárida I, semiárida II, templado y sub-tropical, en el cual describen la morfología de cristales prismáticos, predominando la forma romboide y hexágono romboide, mediante un análisis de regresión lineal se observó que la acumulación de cristales se vio influenciada por la aridez y la baja humedad del suelo.

Otro estudio en Nueva Gales fue el de Warwick *et al.* (2017) que trabajaron con ocho géneros y 30 especies, principalmente con el género *Acacia*, agrupándolas en cinco regiones climáticas: árida, semiárida I, semiárida II, templado y subtropical. Las especies de las regiones climáticas, árida, semiárida I y II presentaron agrupación de los vasos en racimos comunes, múltiples radiales de cuatro o más, principalmente en grupos de dos o tres y *Acacia cana* Maiden., cuenta con  $\geq 90\%$  de vasos solitarios, las paredes de las fibras fueron muy gruesas (98%) y delgadas a gruesas (52%), solo *Acacia spectabilis* A. Cunn. ex Benth. presentó fibras muy delgadas, el parénquima paratraqueal fue confluyente, aliforme, vasicéntrico y escazo, el ancho de los radios exclusivamente uniseriados (55%), uniseriados a biseriados (44%). *Acacia conferta* A. Cunn. ex Benth. y *Senegalia micrantha* Britton & Rose, presentaron de 1-4 células, cristales prismáticos se encontraron en parénquima axial en todas las especies, en fibras (98%) y en células de los radios (36%), mientras que el índice de vulnerabilidad fue de 0.25- 3.5, el diámetro de los vasos varió de 40-55  $\mu\text{m}$ , el ancho de los radios 1.3-1.6 células, la frecuencia de los vasos por  $\text{mm}^2$  fue de 50-78 y la altura de los radios de 8- 10 células.

### **Estudios de respuesta a déficit hídrico en diversas Familias**

Se han descrito diversos estudios de anatomía sobre el déficit hídrico en otras familias, uno de ellos es el de Rodríguez-Ramírez *et al.* (2019), con la especie *Fagus mexicana* Martínez. en el que examinó la relación entre el ancho de los anillos de crecimiento y las características de los vasos del xilema con eventos climáticos como

los años semilleros (producción masiva de semillas) y sequías. Se describió una correlación entre sitios de estudio, lo que sugirió una respuesta regional a los factores climáticos.

El análisis de los anillos de crecimiento y las características de los vasos del xilema reveló que durante los años semilleros, los árboles tienden a producir anillos de crecimiento más estrechos y una menor frecuencia y diámetro de los vasos en comparación con los años donde no hay eventos semilleros. Por lo que se puede inferir que *F. mexicana* puede invertir más recursos en la reproducción durante los años de eventos semilleros a expensas del crecimiento del tronco.

Así también, Rodríguez-Ramírez *et al.* (2020) trabajaron con dos especies del género *Magnolia* (*Magnolia vovidesii* A. Vázquez, Domínguez-Yescas & L. Carvajal y *M. schiedeana* Schltl.), donde evaluaron la aclimatación de los rasgos anatómicos de los vasos de xilema y la anchura de los anillos de crecimiento en relación a eventos de sequías, encontrando que por cada anillo de crecimiento se encontraban 47.2 vasos para *M. vovidesii* y 111 a 112 para *M. schiedeana*. La densidad de los vasos en *M. vovidesii* fue de 3-17  $\mu\text{m}$  en años con sequía y años sin sequía de 1-20  $\mu\text{m}$  y, *M. schiedeana* de 1-4  $\mu\text{m}$  y 3-18  $\mu\text{m}$ , por lo que infirieron que la aclimatación de los rasgos de los vasos apoya la eficiencia del transporte de agua, y capacidad de ajuste para eventos de estrés hídrico.

Para reconocer la aclimatación de los vasos en sequía, Rodríguez-Ramírez *et al.* (2022) realizaron un estudio en el bosque mesófilo de los Andes de tres especies del género *Cedrela*: *C. odorata* L., *C. montana* Moritz ex Turcz. y *C. angustifolia* DC. Los resultados mostraron que hubo correlación significativa entre las cronologías de anillos de crecimiento de los árboles y los datos climáticos mensuales. Además, se identificaron eventos de sequía específicos que afectaron el crecimiento de los árboles, se encontraron diferencias significativas en las características de los vasos del xilema entre años de sequía y años no secos, así como entre diferentes intensidades de sequía, concluyendo que las especies ajustan su arquitectura vascular en respuesta a eventos climáticos, lo que puede tener implicaciones para su resiliencia frente al cambio climático.

Uno de los estudios más recientes es el de Hacke *et al.* (2023) que realizaron un estudio relacionado a la susceptibilidad a embolismos en plantas de vid (*Vitis vinifera* L.), álamo temblón (*Populus tremuloides* Michx.), álamo balsámico (*P. balsamifera*

sub. *trichocarpa* L.), y espinillo amarillo (*Hippophae rhamnoides* L.). En el estudio se reportó que los vasos más anchos tienden a ser más vulnerables al embolismo que los vasos más estrechos. Además, se observó que las curvas de vulnerabilidad mostraron niveles iniciales de conductividad bastante bajos en comparación con la conductividad de la muestra hidratada, lo que sugiere que muchos vasos ya están embolizados, también se encontró que los vasos más anchos tienden a ser más vulnerables a la embolia inducida por la sequía que los conductos estrechos. Inferieron que los vasos más anchos contribuyen a la vulnerabilidad de las plantas a la embolia y/o cavitación bajo estrés hídrico.

Por su parte, Rodríguez-Ramírez *et al.* (2023) realizaron un estudio sobre la plasticidad de la anatomía de la madera en un bosque nuboso de montaña, de la cordillera de los Andes, Perú, con la especie *Juglans neotropica* Diels (Juglandaceae), durante el fenómeno del Sistema Monzónico Sudamericano (SAMS). El diámetro hidráulico varió de 70-140  $\mu\text{m}$  en evento SAMS fuerte y en SAMS débil fue de 40-80  $\mu\text{m}$ ; el porcentaje del área conductora en SAMS fuerte fue de 40-80%, en SAMS débil de 30-40%, el área de vasos durante SAMS fuerte y débil fue de 10-25  $\mu\text{m}$ , mientras que la densidad de vasos, el índice de vasos solitarios fue de 10-16  $\mu\text{m}$  en SAMS fuerte 16-30  $\mu\text{m}$  y SAMS débil 5-15  $\mu\text{m}$ , el índice de agrupación de vasos 4-10 vasos, demostrando el impacto del fenómeno SAMS sobre la anatomía. El estudio más reciente en la influencia del clima en rasgos de anatomía de la madera es el de Andrés-Hernández *et al.* (2023), este estudio se realizó en el bosque mesófilo de montaña, con dos especies del género *Ternstroemia*, el índice de agrupación de vasos fue de 2-70  $\text{mm}^2$  para *T. sylvatica* Schltdl. & Cham. y de 2-25  $\text{mm}^2$  para *T. huasteca* B. M. Barthol. *T. huasteca* mostró un índice de vaso solitario más alto de 30–100  $\text{mm}^2$ , además no mostró diferencias entre longitud de fibra y longitud de radios uniseriados. Para el ancho de los radios mostraron diferencias entre las especies *T. sylvatica* con 5-100 mm, y *T. huasteca* entre 300-2500 mm. Estos caracteres tuvieron una respuesta a la temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin), precipitación (Prec) y evapotranspiración (EvT), donde la longitud de radios-uniseriados fueron más sensibles al clima y el ancho de los radios se vio influenciado por Tmax, Prec y EvT.

## **Justificación**

Se han realizado pocos trabajos de anatomía de la madera del BTC, siendo este de

suma importancia para el estado de Puebla debido a que es uno de los principales tipos de vegetación y ocupa el cuarto lugar en riqueza florística (Rodríguez-Acosta *et al.*, 2014). De los cinco estudios de anatomía de madera en la Sierra del Tentzo, en el estado de Puebla, cuatro estudios son en relación con algunas especies de la familia Fabaceae. Estos estudios han sido enfocados a la subfamilia Caesalpinioideae, particularmente las especies del género *Mimosa*, por lo que es necesario estudiar la anatomía de la madera de otras especies de otros géneros y analizar de forma comparativa para identificar la capacidad adaptativa ante déficit hídrico, y complementar los estudios para determinar su valor taxonómico.

### **Preguntas de investigación:**

¿Los caracteres de la madera de especies Fabaceae apoyan agrupamientos con sus congéneres?

¿La anatomía de la madera de la familia Fabaceae responde a las características adaptativas de especies de climas áridos de la Sierra del Tentzo, Puebla?

### **Hipótesis**

Dado que la familia Fabaceae presenta una diversidad anatómica considerable en la estructura de la madera, se espera que existan diferencias entre especies y géneros, aunque algunos caracteres puedan ser compartidos entre congéneres. Asimismo, se considera que las especies que habitan 'los bosques tropicales caducifolios (BTC), mostrarán adaptaciones anatómicas en la madera asociadas al déficit hídrico, aunque la magnitud y el tipo de estas adaptaciones pueden variar entre especies. Por lo tanto:

Algunos caracteres anatómicos de la madera podrían apoyar el agrupamiento de especies dentro de sus respectivos géneros.

Los caracteres anatómicos de la madera reflejarán adaptaciones al déficit hídrico en especies de BTC, pero estas adaptaciones pueden diferir entre especies y géneros dentro de la familia Fabaceae

### **Objetivo general**

- Analizar si se agrupan por similitud entre caracteres anatómicos de la madera y establecer si existen caracteres asociados a déficit hídrico de especies de la familia Fabaceae en la Sierra del Tentzo, municipio de Huehuetlán el Grande, Puebla.

## Objetivos específicos

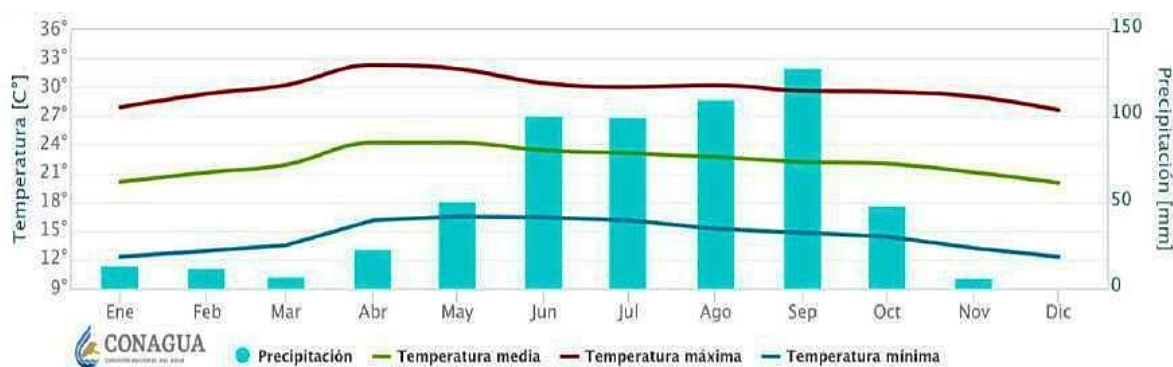
- Describir y comparar los caracteres cualitativos y cuantitativos de la madera de especies arbóreas de la Familia Fabaceae en la Sierra del Tentzo.
- Comparar los caracteres de las especies aquí estudiadas con sus congéneres.
- Reconocer los caracteres que responden a déficit hídrico e identificar los caracteres influenciados por temperatura y precipitación.

## Materiales y Métodos

### Sitio de estudio

La Sierra del Tentzo es una Área Natural Protegida de Jurisdicción estatal, cuenta con una extensión de: 57,815.28193 ha, está ubicada en los municipios de Atlixco, Atoyatempan, Huaquechula, Huatlatlauca, Huehuetlán El Grande, Molcaxac, Ocoyucan, Puebla, San Diego La Mesa Tochimiltzingo, San Juan Atzompa, Teopantlán, Tepeojuma y Tzicatlacoyan, todos pertenecientes al estado de Puebla (POE, 2011), se ubica entre los paralelos 18° 42' 26'' y 18° 58' 20'' N, y en los meridianos 98° 26' 30'' y 97° 55' 14'' E, presenta una disposición más bien irregular, con pendientes de más de 15° y con numerosos cerros que alcanzan alturas que oscilan entre 100 y 400 metros sobre el nivel del valle (SMADSO, 2011). La Sierra del Tentzo cuenta con cuatro tipos de vegetación los cuales son; bosque de *Quercus*, BTC, matorral xerófilo y bosque de táscate (INEGI, 2010). El clima de esta zona es C(wb) tropical con invierno seco de acuerdo con el criterio de Peel *et al.* (2007), cuenta con una temperatura entre 21°C y 24°C como se muestra en el Grafico 1.

Gráfico 1. Climograma de la estación Huehuetlán el Grande Puebla (1981-2010), clave 21045.



En las partes más bajas de la Sierra del Tentzo, y de forma dispersa, se presenta el conglomerado que es una roca sedimentaria detrítica formada en un 50% al menos por elementos de diámetro superior a 2 mm unidos por un cemento. Este término agrupa a las brechas sedimentarias (con elementos mayormente angulosos) y pudingas (elementos redondeados). Debido a que el conglomerado se forma por sedimentación la mayor concentración se encuentra en la zona sur de la Sierra en Huehuetlán El Grande (SMADSO, s.f.)

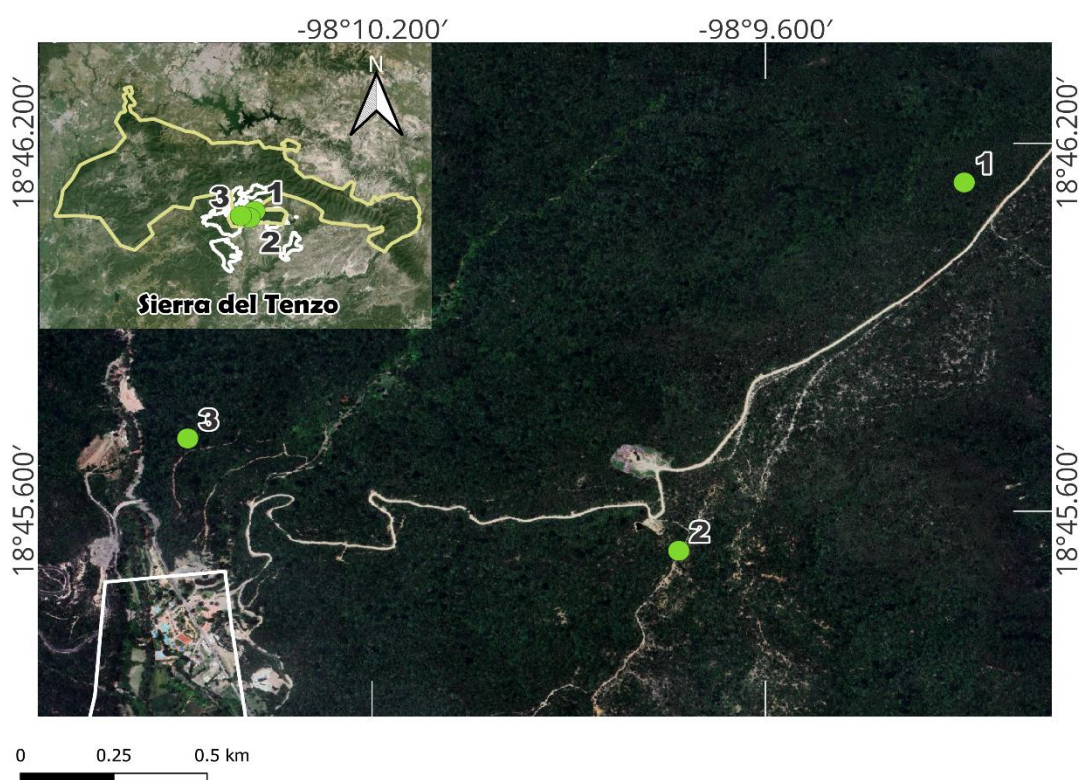


Figura 1. Zona de estudio ubicada en Huehuetlán El Grande y puntos de recolecta, escala 1 : 50 000.

El material se recolectó en el municipio Huehuetlán El Grande, Puebla, dentro de la Sierra del Tentzo, esta se localiza al centro de Puebla y al sur de la presa de Valsequillo, cuenta con un clima C(wb) tropical con invierno seco de acuerdo al criterio de Peel *et al.* (2007), las temperaturas oscilan entre 16 y 21.5 °C durante el día y en la noche desciende más de 10 °C, con una precipitación mensual que no alcanza 200 mm (Morón *et al.*, 2000) y una precipitación anual de 681.9 mm (Conagua, 2024).

### **Trabajo de campo:**

Se recolectaron en sitio de estudio ocho especies arbóreas con tres replicas por especie (24 especímenes) de la familia Fabaceae: *Caesalpinia pulcherrima* (L) Sw., *Conzattia multiflora* Standl., *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit, *Lonchocarpus caudatus* Pittier., *Neltuma laevigata* Britton & Rose, *Senna wislizeni* (A. Gray) H.S. Irwin & Barneby, *Vachellia bilimekii* (J. F. Macbr.) Seigler & Ebinger y *Vachellia pennatula* (Schltdl. & Cham.) Seigler & Ebinger, lo que representa el 18% del total de las especies reportadas en Huehuetlán El Grande.

**Para la recolecta botánica y de madera**, se recolectaron muestras de madera de los 24 especímenes, con autorización de autoridades ejidales. Las muestras se obtuvieron del tronco principal a 10 cm del suelo, con trozos de 5 cm<sup>3</sup> cortados con serrucho. Se conservaron siguiendo la metodología de Sass (1958), utilizando formaldehído, alcohol, ácido acético y agua (FAA: 1:1:1) por 48 horas, y posteriormente en glicerina, alcohol y agua destilada (GAA) por 30 días. Se realizó colecta botánica de respaldo, para posteriormente resguardar en el herbario (HUAP).

### **Trabajo de laboratorio.**

**Microtecnia.** De los trozos de 5 cm<sup>3</sup> de cada espécimen se realizaron cortes histológicos transversal, tangencial y radial con la ayuda de un micrótomo de deslizamiento (pfm AG-50996 Köln), a un grosor de 25-30 µm. Los cortes se deshidrataron en alcoholes con distinto porcentaje (5, 70 y 96%), 10 minutos cada uno. Posteriormente se tiñeron con safranina alcohólica y verde rápido los tejidos; aclarando el tejido con xilol para posteriormente montar las muestras en resina sintética (Johansen, 1940), para el material dissociado de elementos de vaso y fibras se utilizó una solución Jeffrey siguiendo el criterio de Berlyn y Miksche, (1976).

**Caracteres cuantitativos.** Por cada espécimen se contabilizaron el número y tipo de arreglo de elementos de vaso por milímetro cuadrado en 25 campos, del mismo modo la cantidad de radios (uniseriados, biseriados y/o triseriados) por mm lineal, se midieron lumen y pared de elemento de vaso, pared y lumen de fibras, largo y ancho de radios uniseriados y multiseriados. En la madera dissociada se midieron las longitudes de elemento de vaso y fibras.

**Caracteres cualitativos.** Los caracteres que se evaluaron fueron: presencia de anillos de crecimiento, porosidad, arreglo de los vasos, agrupación de los vasos,

placas de perforación, punteaduras intervasculares, arreglo y tamaño, tipos de radios, presencia de depósitos en los vasos, tipo de fibra, grosor de las fibras, parénquima axial, elementos de secreción, variantes cambiales y cristales prismáticos. Se analizaron los caracteres cuantitativos y cualitativos de acuerdo con las recomendaciones de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA Committee, 1989), y el parénquima radial se describe de acuerdo con Kribs (1935).

### **Trabajo de gabinete**

**Determinación de ejemplares botánicos.** Para la determinación se utilizaron diferentes claves taxonómicas, como las contenidas en Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Grether *et al.*, 2006), Flora Fanerogámica del Valle de México (Calderón y Rzedowski, 2001) y La Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes (Andrade *et al.*, 2007).

**Revisión bibliográfica.** Se realizó una revisión bibliográfica sobre trabajos de anatomía de la madera en Fabaceae, para generar una matriz de datos de los caracteres cualitativos y cuantitativos, que puedan ser comparados con las especies recolectadas en el sitio de estudio; con la finalidad de realizar un análisis de conglomerados. Por lo que la matriz está construida de 27 especies de diversos trabajos (Quintanar *et al.*, 2005; Cardoso 1991 y 2009; Bolzón *et al.*, 2010; Aguilar-Alcántara *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015; Montaña-Arias *et al.*, 2016 y 2017; Machuca-Velasco *et al.*, 2017). En el estudio se incluyeron cuatro especies estudiadas por (Vázquez-Morales, 2018) y que se distribuyen en la Sierra del Tentzo.

**Datos climatológicos.** Para la obtención de datos climatológicos (temperatura y precipitación) se descargaron de la base de datos de las normales climatológicas por estado. (CONAGUA, 2024).

### **Análisis estadístico**

Se evaluó la normalidad de los datos de los caracteres cuantitativos de 12 especies distribuidas en la Sierra del Tentzo (ocho correspondientes a este estudio y cuatro reportadas por Vázquez-Morales, 2018) mediante la prueba de Shapiro–Wilk, utilizando el software R v.3.6.1 (R Core Team, 2019).

Se aplicó un ANOVA de una vía, seguido de una prueba post hoc de Tukey. En los

casos en que no se cumplió la normalidad, se empleó un Modelo Lineal Generalizado (GLM) siguiendo el procedimiento de Ruiz-Valencia et al. (2022).

Para evaluar la similitud anatómica entre especies y sus congéneres, se realizó un análisis jerárquico aditivo de conglomerados con un total de 27 especies (12 de la Sierra del Tentzo y 15 provenientes de otros estudios realizados en bosque mesófilo, matorral xerófilo y bosque de pino–encino). La matriz de datos incluyó variables cualitativas y cuantitativas, aplicando el coeficiente de similitud de Gower (1971), y el agrupamiento se basó en el promedio ponderado entre observaciones para cada variable (Anexo 1).

Asimismo, se desarrolló un análisis Fourth-Corner para determinar la relación entre variables climáticas y caracteres anatómicos. Se construyó una matriz combinando datos cuantitativos de caracteres xilemáticos con variables climatológicas (Anexo 2) y se consideró como factor aleatorio a las especies de la Sierra del Tentzo. Este análisis permitió cuantificar y visualizar la interacción entre rasgos funcionales y condiciones ambientales, generando una matriz de coeficientes de interacción obtenida mediante un GLM que estima la influencia de cada variable climática sobre cada rasgo funcional. El procedimiento se implementó en R v.3.6.1 siguiendo la metodología de Brown et al. (2014).

Finalmente, se realizó un Análisis Canónico de Correspondencia (ACC) para explorar el efecto de las variables climáticas (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) sobre los caracteres anatómicos y la distribución de las especies. La colinealidad entre las variables climáticas se evaluó mediante el factor de inflación de la varianza (VIF). Este análisis se efectuó con el software CANOCO v.5.0 (Šmilauer y Lepš, 2014).

## **Resultados**

Se obtuvieron descripciones cualitativas y cuantitativas de 24 especímenes que corresponde a las ocho especies estudiadas en la Sierra del Tentzo, en el Cuadro 1. se muestran los datos cuantitativos y en el Cuadro 2 las variables cualitativas de forma resumida.

*Conzattia multiflora* Standl.

Material recolectado: Huehuetlán El Grande, Puebla, México. Árboles, de bosque tropical caducifolio, se distribuyen en todo México.

N 18° 46.166, W 098° 09.334, N 18° 76.882, W 098° 15.520

Los anillos de crecimiento son ausentes, porosidad difusa (Figura 2a), predominancia de vasos solitarios 51.26%, 30% en hileras radiales y 20% agrupados. Presenta un promedio de  $8 \pm 6.24$  vasos por  $\text{mm}^2$ , longitud de los vasos 224.39  $\mu\text{m}$  (133.99-358.46  $\mu\text{m}$ ), lumen de vaso 131.32  $\mu\text{m}$  (37.41-241.39  $\mu\text{m}$ ), pared de vaso 6.6 (3.2-11.4  $\mu\text{m}$ ), presenta placas de perforación simple (Figura 2g), punteaduras intervasculares alternas (Figura 2d) de 11.21  $\mu\text{m}$  de diámetro (7.07-15-39  $\mu\text{m}$ ), punteaduras vaso-radio con bordes iguales (Figura 2f).

Las fibras son libriformes, el grosor de la pared es de 2.56  $\mu\text{m}$  (1.33-4.07  $\mu\text{m}$ ), lumen de la fibra 12.36  $\mu\text{m}$  (4.59- 21.50  $\mu\text{m}$ ), longitud de la fibra 904.34  $\mu\text{m}$  (636.03-1330.31  $\mu\text{m}$ ). El parénquima axial es paratraqueal confluyente, aliforme, en bandas tangenciales, presenta cristales prismáticos en el parénquima. Los radios son homogéneos tipo I, tiene células procumbentes (Figura 2e), frecuencia de radios 12  $\text{mm}$  (9-16  $\text{mm}$ ), cuenta con radios uniseriados y multiseriados (Figura 2c), con un largo de radios uniseriados de 78.53  $\mu\text{m}$  (23.61-177.06  $\mu\text{m}$ ), ancho de radios uniseriados 12.76  $\mu\text{m}$  (8.67-16.1  $\mu\text{m}$ ), ancho de radios multiseriados 22.52  $\mu\text{m}$  (13.86-36.62  $\mu\text{m}$ ), largo de radios multiseriados 196.88  $\mu\text{m}$  (87.56-490.61  $\mu\text{m}$ ).

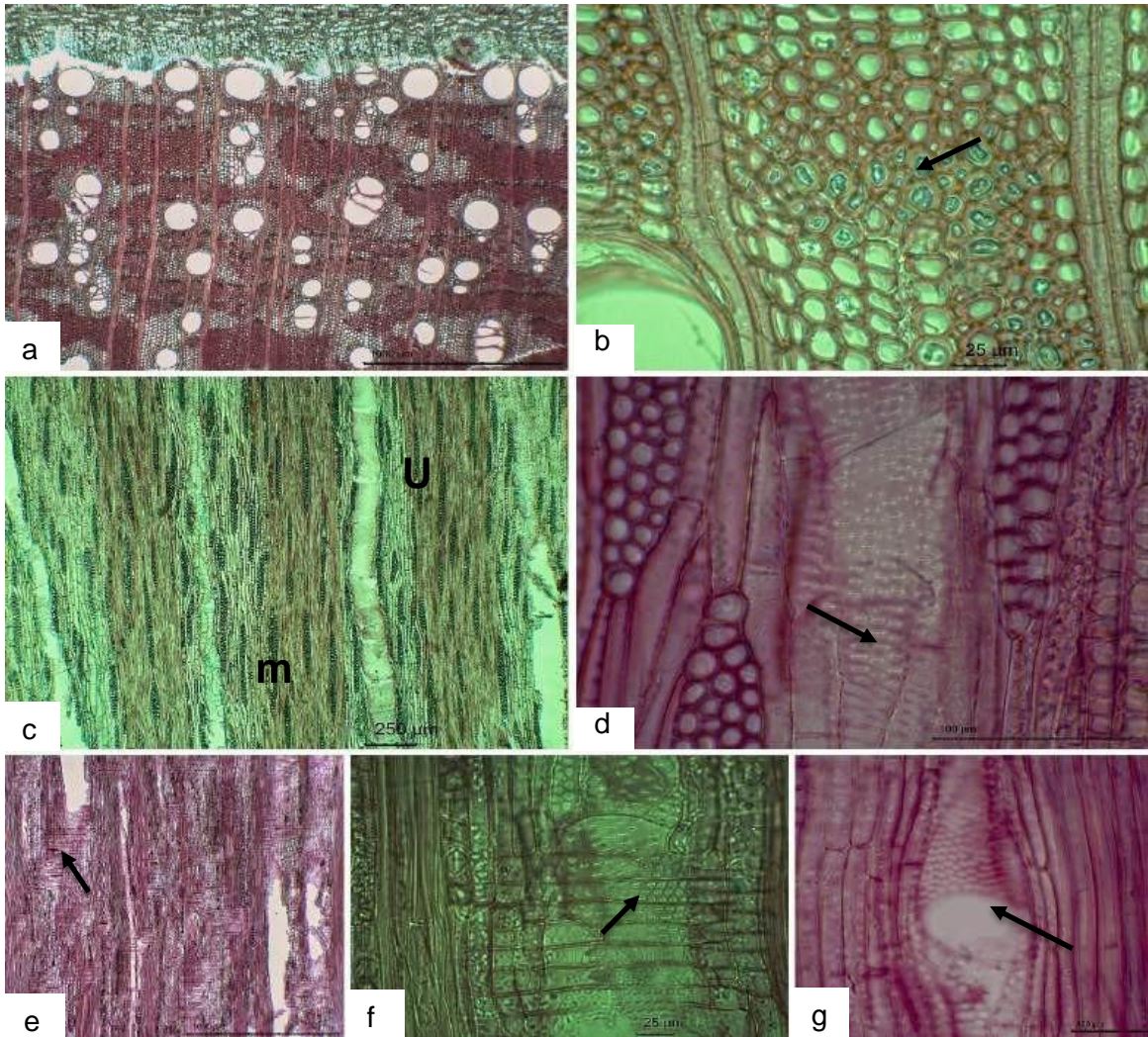


Figura 2. *Conzattia multiflora*, a. Parénquima axial paratraqueal confluyente, aliforme, en bandas tangenciales, b. Pared de fibras, c. Radios uniseriados y multiseriados, d. Punteaduras intervasculares alternas, e. Contenidos en las células de los radios, f. Punteaduras vaso-radio similares a las intervasculares, g. Placa de perforación simple. Las flechas negras resaltan los puntos importantes de cada imagen

*Lonchocarpus caudatus* Pittier

Material recolectado: Huehuetlán El Grande, Puebla, México. Árboles, de bosque tropical caducifolio, se distribuye en El Salvador, Honduras, México Central, Golfo de México, Sur de México.

N 18° 75.779, W 098° 16.276, N 18° 75.768, W 098° 16.286

Los anillos de crecimiento son ausentes, porosidad difusa (Figura 3a), predominancia de vasos en hileras radiales 40%, agrupados 31% y solitarios 28%, una frecuencia de  $8.72 \pm 6.2$  / mm<sup>2</sup> longitud de los vasos de 190.59  $\mu$ m (115.05-319.3  $\mu$ m), el lumen de vaso 83.5  $\mu$ m (187.16-21.83  $\mu$ m), pared de vaso 6.40  $\mu$ m (3.4-12.7  $\mu$ m).

Los vasos son de contorno oval y circular, presentan placas de perforación simple (Figura 3f), las punteaduras intervasculares son alternas de 5.66  $\mu$ m de diámetro, presencia de tílides (Figura 3b), punteaduras vaso-radio con bordes distintos, similares a las punteaduras entre vasos (Figura 3i). Las fibras son libriformes (Figura 3e), el grosor de las paredes de las fibras es muy gruesas (Figura 3c) con 3.59  $\mu$ m (1.92-5.50  $\mu$ m), diámetro de la fibra 5.92  $\mu$ m (2.44-11.54  $\mu$ m), la longitud de la fibra 909.90  $\mu$ m (449-1430.52  $\mu$ m). El parénquima axial es paratraqueal semi marginal unilateral en bandas (Figura 3a). Los radios son homogéneos tipo I, con células procumbentes (Figura 3h), de 17 radios/mm (12.66-8.12 radios/mm), radios uniseriados y multiseriados (Figura 3d), ancho de los radios multiseriados es de 23.35  $\mu$ m (11.97-41.69  $\mu$ m), largo de los radios multiseriados fue de 123.06  $\mu$ m (82.90-166.51  $\mu$ m), cuenta con depósitos de cristales en las células de radio (Figura 3g).

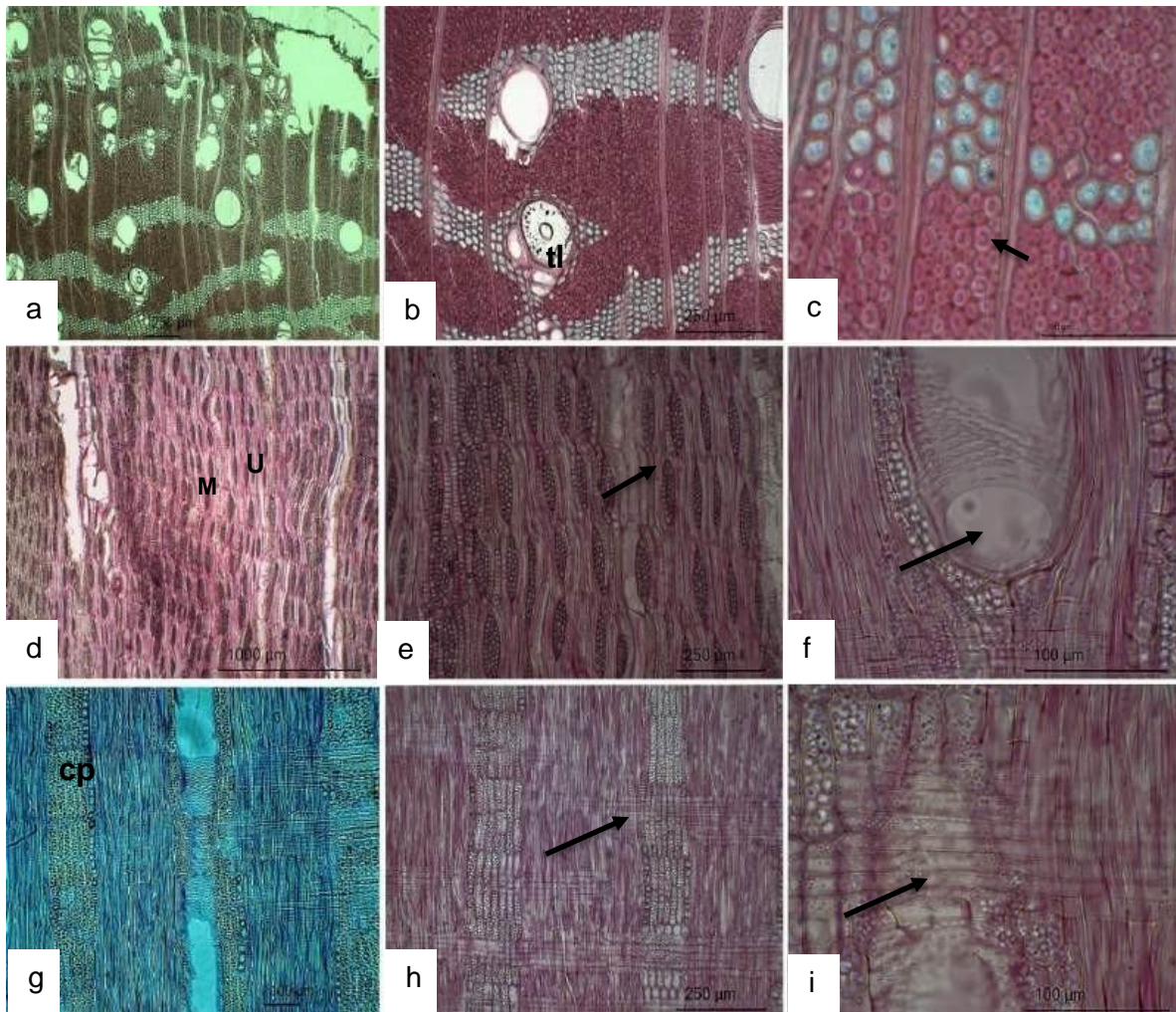


Figura 3. *Lonchocarpus caudatus*, a. Parénquima semi marginal unilateral en bandas, b. Tílide en vaso, c. Paredes de las fibras, d. Radios uniseriados y multiseriados, e. Fibras libriformes, f. Placa de perforación simple, g. Corte radial, h. Cristales en parénquima, i. Punteaduras vaso radio similares a las intervasculares, tl=tíldes, cp=cristales prismáticos. Las flechas negras resaltan los puntos importantes de cada imagen

*Vachellia pennatula* (Schltdl. & Cham.) Seigler & Ebinger

Material recolectado: Huehuetlán El Grande, Puebla, México. Árboles, de bosque tropical caducifolio, se distribuyen desde el norte de México hasta Venezuela, Nicaragua y Perú.

N 18° 75.779, W 098° 16.276, N 18° 75.768, W 098° 16.286

Los anillos de crecimiento ausentes, porosidad difusa (Figura 4a), la mayoría de los vasos son solitarios (38%), 35% en hileras radiales y 26% agrupados, con un patrón diagonal, con una frecuencia de  $9.69 \pm 6.73/\text{mm}^2$ , longitud de los vasos  $195.4 \mu\text{m}$  ( $105.2\text{-}302.2 \mu\text{m}$ ), diámetro de los vasos  $91.85 \mu\text{m}$  ( $201\text{-}37.37 \mu\text{m}$ ), las paredes de los elementos de vaso tienen un grosor de  $6.11 \mu\text{m}$  ( $2.6\text{-}10.38 \mu\text{m}$ ). Los vasos son de contorno oval y circular, presentan placas de perforación simple (Figura 4h), punteaduras intervasculares alternas (Figura 4f) de  $4.8 \mu\text{m}$  de diámetro ( $3.40\text{-}6.74 \mu\text{m}$ ), punteaduras vaso-radio con bordes similares (Figura 4i), similares a las punteaduras entre vasos. Presencia de gomas (Figura 4b).

Las fibras son libriformes, con paredes muy gruesas (Figura 4c) con un grosor de  $5 \mu\text{m}$  ( $1.51\text{-}10.36 \mu\text{m}$ ), lumen de la fibra de  $5.96 \mu\text{m}$  ( $1.53\text{-}13.02 \mu\text{m}$ ), longitud de la fibra  $1041.74 \mu\text{m}$  ( $680.68\text{-}1454.84 \mu\text{m}$ ). El parénquima axial es paratraqueal vasicéntrico y apotraqueal difuso (Figura 4a). Los radios son homogéneos tipo I, con parénquima radial y células procumbentes (Figura 4g) la frecuencia de los radios es de 10 (7-14) radios/mm, radios uniseriados y multiseriados (Figura 4d), largo de radio multiseriados  $41.9 \mu\text{m}$  ( $21.53\text{-}63.81 \mu\text{m}$ ), largo de radio multiseriado  $334.18 \mu\text{m}$  ( $113.77\text{-}676.4 \mu\text{m}$ ), cuenta con cristales prismáticos en parénquima y contenidos en los radios (Figura 4 e)

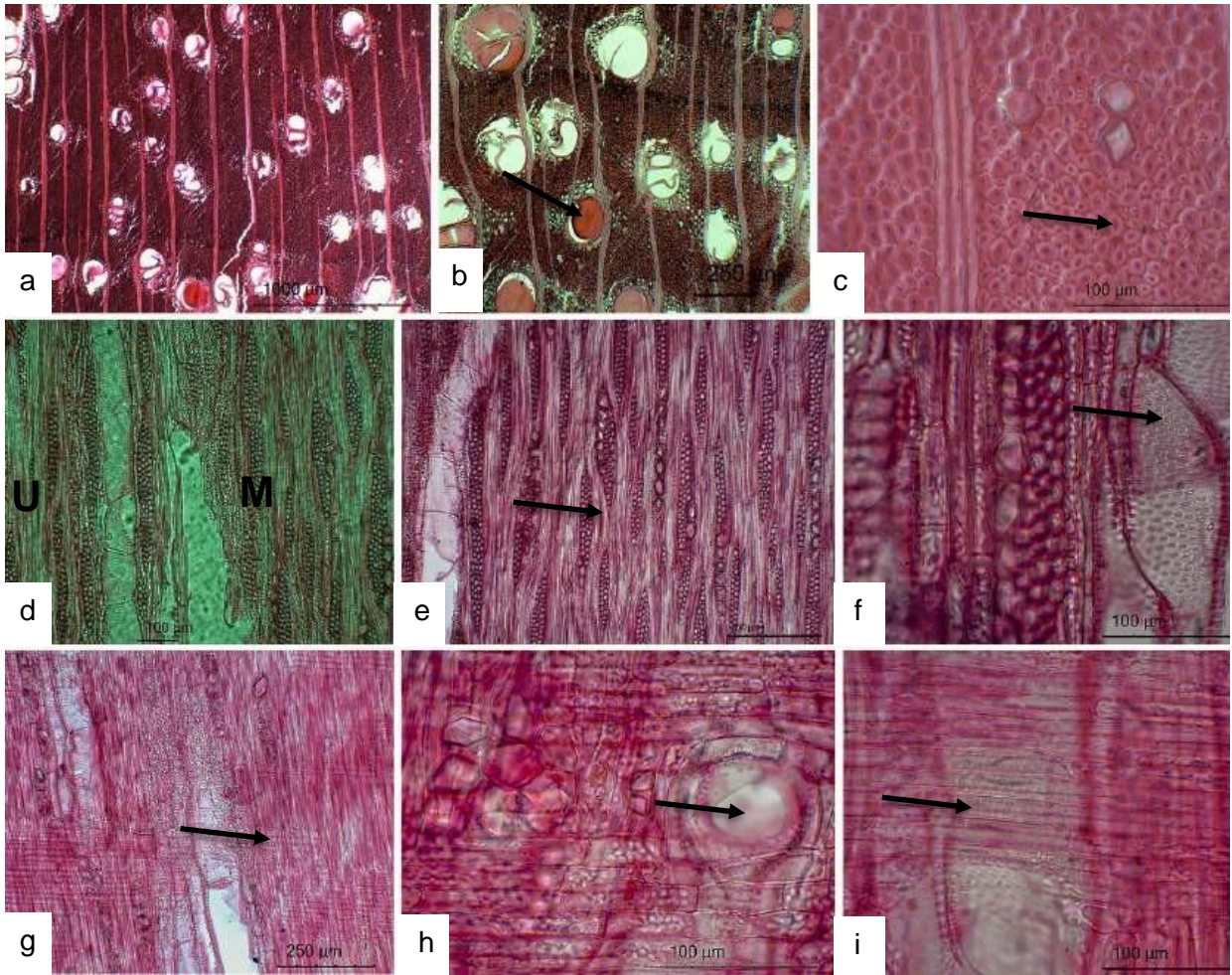


Figura 4. *Vachellia pennatula*, a. Parénquima paratraqueal vasicéntrico y apotraqueal difuso, b. Gomas en los elementos de vaso, c. Paredes de las fibras, d. Radios uniseriados y multiseriados, e. Fibras libriformes, f. Punteaduras intervasculares alternas, g. Células procumbentes, h. Placa de perforación simple, i. Punteaduras vaso radio con bordes similares. Las flechas negras resaltan los puntos importantes de cada imagen.

*Vachellia bilimekii* (J.F.Macbr.) Seigler & Ebinger

Material recolectado: Huehuetlán El Grande, Puebla, México. Árboles, de bosque tropical caducifolio, se distribuyen en el suroeste de México y México central.

N 18° 75.779, W 098° 16.276, N 18° 75.768, W 098° 16.286

Los anillos de crecimiento ausentes, porosidad difusa (Figura 5a), predominancia de vasos solitarios 43.61%,  $11.4 \pm 7.36$  vasos por  $\text{mm}^2$ , con un patrón diagonal de los vasos, longitud del vaso 274  $\mu\text{m}$  (182.25-1504  $\mu\text{m}$ ), diámetro de vaso 91.85  $\mu\text{m}$  (31.51-149.62  $\mu\text{m}$ ), las paredes de los vasos con un grosor de 9.22  $\mu\text{m}$  (2.99-10.04  $\mu\text{m}$ ).

Los vasos son de contorno oval y circular, presencia de tílides (Figura 5b), los elementos de vaso tienen una placa de perforación simple (Figura 5h). Las punteaduras intervasculares opuestas (Figura 5f) de 5  $\mu\text{m}$  de diámetro (3.23-6.68  $\mu\text{m}$ ). Las fibras son de tipo libriformes (Figural 5e), con paredes 3.17  $\mu\text{m}$  (1.61-5.59  $\mu\text{m}$ ), diámetro de la fibra 5.89  $\mu\text{m}$  de longitud (2.31-11.49  $\mu\text{m}$ ), longitud de la fibra 1025.38  $\mu\text{m}$  (772.61-1504.08  $\mu\text{m}$ ).

El parénquima axial es paratraqueal confluyente en bandas y apotraqueal difuso (Figura 5a) cristales en el parénquima (Figura 5g). Los radios son homogéneos tipo I, cuenta con células procumbentes, tiene una frecuencia de radios por mm de 15.60/mm (10.66-22.33/mm), radios uniseriados y multiseriados (Figura 5d), largo de radios uniseriados 111.06  $\mu\text{m}$  (73-225.28  $\mu\text{m}$ ), largo de radios multiseriados 171.33  $\mu\text{m}$  (35-285.08  $\mu\text{m}$ ), ancho de radios uniseriados 9.93  $\mu\text{m}$  (6.36-15.53  $\mu\text{m}$ ), ancho de radios multiseriados 17.68  $\mu\text{m}$  (12.64-23  $\mu\text{m}$ ), cuenta con cristales en las fibras (Figura 5c).

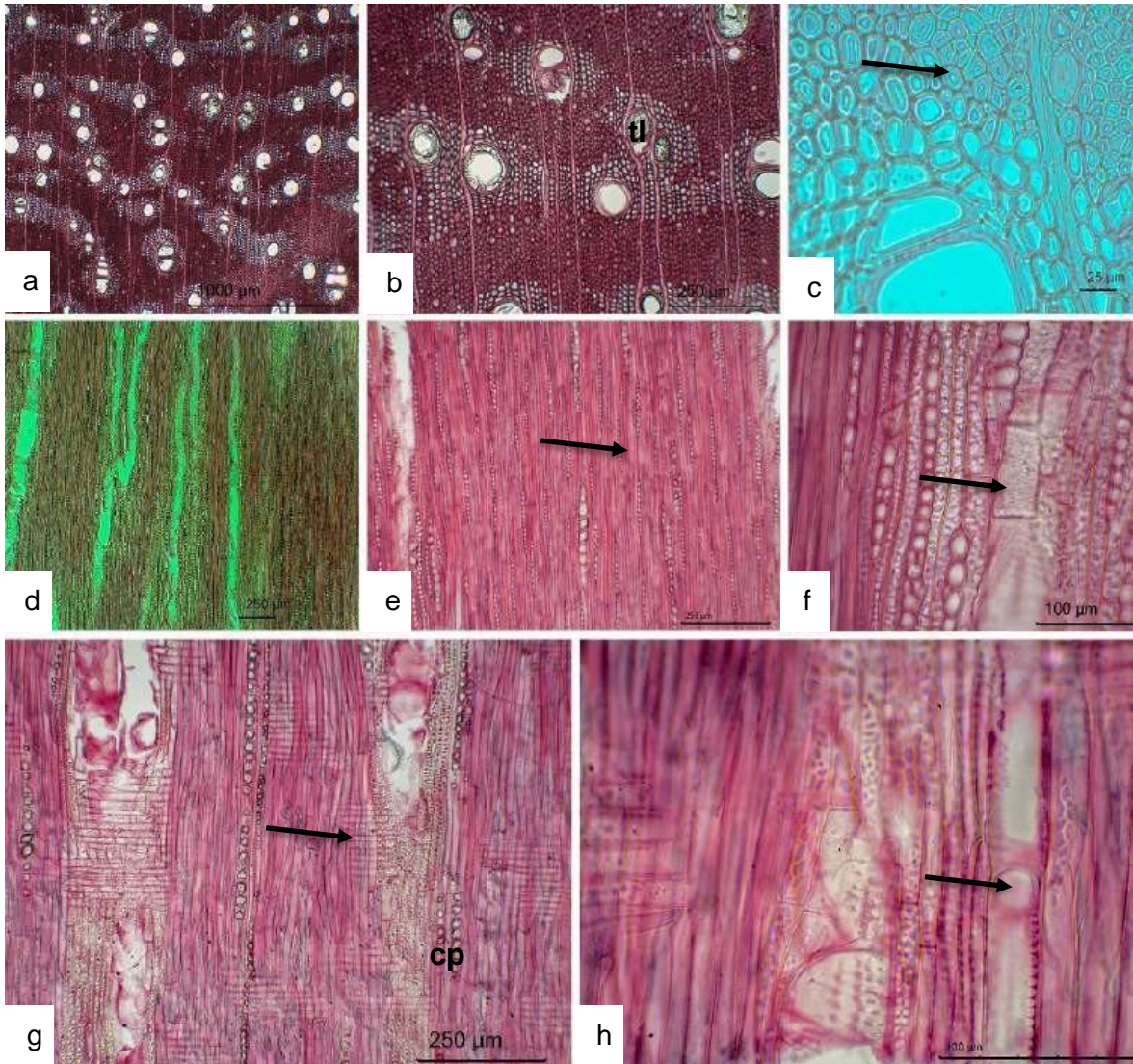


Figura 5. *Vachellia bilimekii*, a. Parénquima axial paratraqueal confluyente en bandas y apotraqueal difuso, b. Tíldes en vasos, c. Paredes de las fibras, d. Radios uni seriados y multi seriados, e. Fibras libriformes, f. Punteaduras intervasculares opuestas, g. Cristales en el parénquima, h. Placa de perforación simple. Las flechas negras resaltan los puntos importantes de cada imagen.

*Neltuma laevigata* Britton & Rose

Material recolectado: Huehuetlán El Grande, Puebla, México. Árboles o arbustos, de bosque tropical caducifolio, se distribuyen en México Central, Golfo de México, Noroeste de México y Sur de México.

N 18° 76.184, W 098° 17.471, N 18° 76.199, W 098° 17.461

Los anillos de crecimiento ausentes, porosidad difusa (Figura 6a), predominancia de vasos solitarios 41.09%, con un patrón diagonal radial, con una frecuencia de vasos de  $11.51 \pm 7.93/\text{mm}^2$ , la longitud de los elementos de vaso es de 201.34  $\mu\text{m}$  (123.47-330.42  $\mu\text{m}$ ), diámetro de vaso 74.48  $\mu\text{m}$  (13.29-193.62  $\mu\text{m}$ ), el grosor de la pared de vaso 7.26  $\mu\text{m}$  (4-13  $\mu\text{m}$ ).

Los vasos tienen un contorno oval y circular, los elementos de vasos cuentan con una placa de perforación simple (Figura 6d), punteaduras intervasculares alternas de 3.24  $\mu\text{m}$  de diámetro (2.09-4.9  $\mu\text{m}$ ). Las fibras son libriformes (Figura 6c), con paredes 2.46  $\mu\text{m}$  (1.21-4.7  $\mu\text{m}$ ), diámetro de la fibra 6  $\mu\text{m}$  (3-12.59  $\mu\text{m}$ ), longitud de la fibra 872.22  $\mu\text{m}$  (462.76-1178.07  $\mu\text{m}$ ).

El parénquima axial es de tipo paratraqueal confluyente marginal y parénquima apotraqueal difuso (Figura 6b), cuenta con cristales prismáticos en el parénquima (Figura 6d). Los radios son homogéneos tipo I, con células procumbentes (Figura 6e) con una frecuencia de 9 (6-12) radios/mm, radios uniseriados y multiseriados, largo de radios uniseriados 69.82  $\mu\text{m}$  (22.91-116.44  $\mu\text{m}$ ), largo de radios multiseriados 152.23  $\mu\text{m}$  (70.11-341.43  $\mu\text{m}$ ), ancho de radios uniseriados 12.60  $\mu\text{m}$  (5.71-12.62  $\mu\text{m}$ ), ancho de radios multiseriados 27.78  $\mu\text{m}$  (14.96-39.29  $\mu\text{m}$ ), cuenta con taninos (Figura 6f).

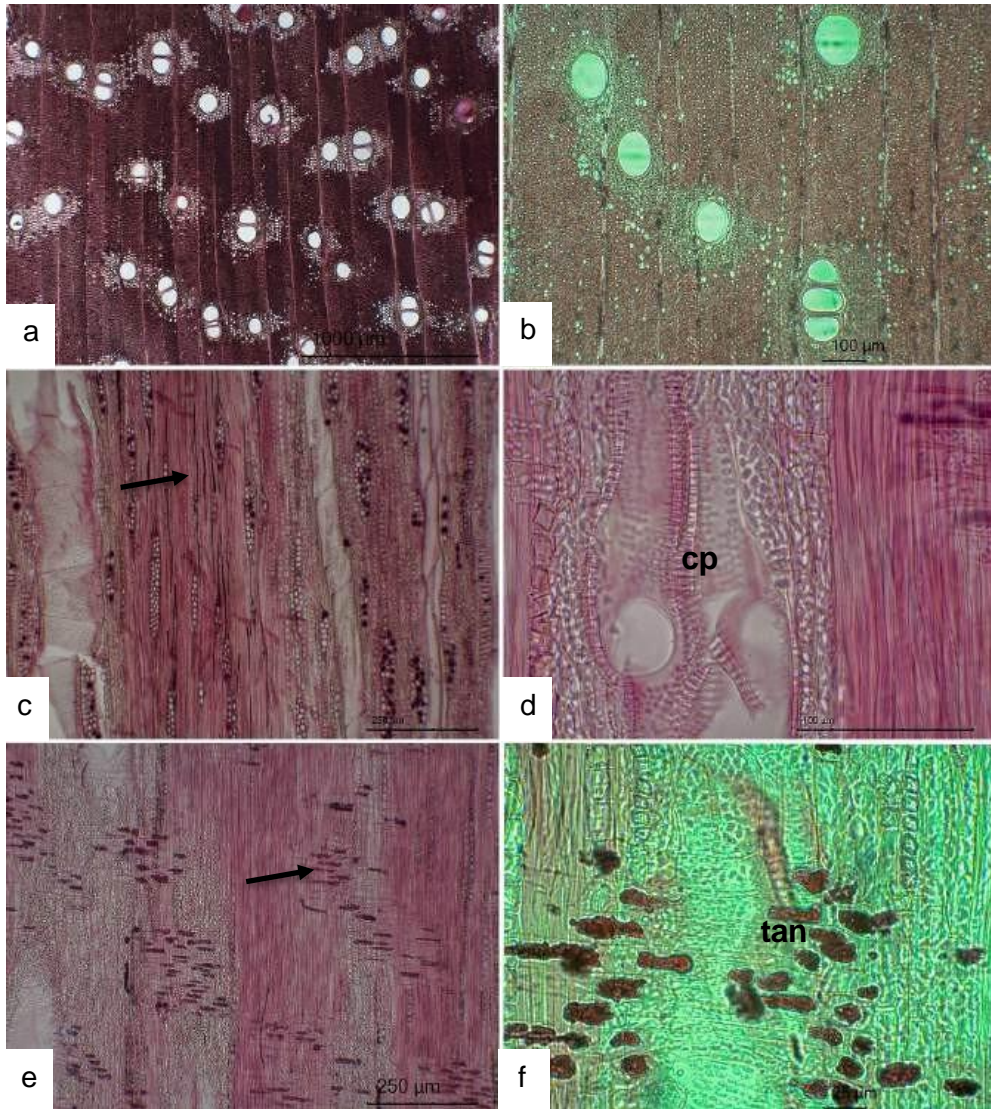


Figura 6. *Neltuma laevigata*, a. Porosidad difusa, b. Parénquima axial paratraqueal confluyente marginal y apotraqueal difuso, c. Fibras libriformes, d. Placa de perforación simple y cristales en el parénquima, e. Células procumbentes, f. Taninos en células de radio, cp=cristales prismáticos, tan= taninos. Las flechas negras resaltan los puntos importantes de cada imagen.

*Senna wizlisenii* (A.Gray) H.S.Irwin & Barneby

Material recolectado: Huehuetlán El Grande, Puebla, México. Árboles o arbustos, de bosque tropical caducifolio, se distribuyen en todo México hasta Arizona, nuevo México y Texas.

N 18° 76.184, W 098° 17.471, N 18° 76.199, W 098° 17.461

Los anillos de crecimiento ausentes, porosidad difusa (Figura 7a), predominancia de los vasos solitarios (38.41%), e hileras radiales (37.83%), con un patrón diagonal a radial, los elementos de vaso son numerosos 18 (12-22 vasos por mm<sup>2</sup>), son de diámetro 7 µm (5.77-8.35 µm), las paredes de los vasos tienen un grosor de 7.06 µm (3.94-11.75 µm). Los vasos son de contorno oval y circular; los elementos de vasos tienen placa de perforación simple (Figura 7h), las punteaduras intervasculares son circulares a ovadas, ornamentadas alternas (Figura 7e), pequeñas de 5.93 µm (4.09-7.50 µm). Las punteaduras vaso-radio poseen bordes simples (Figura 7g), son iguales en forma y en tamaño a las intervasculares. Algunos vasos presentan gomas.

Las fibras son de tipo libriformes, con paredes finas a gruesas (Figura 7c), el grueso de la pared de la fibra 2.33 µm (1.05-3.84 µm) y el lumen de 5.33 µm (2.96-8.32 µm). El parénquima axial es paratraqueal vasicéntrico en forma de bandas (Figura 7b), con cristales en el parénquima (Figura 7h). Los radios son homogéneos tipo I, la frecuencia de los radios 4-8/mm, biseriados (1-4), homogéneos; formados por células procumbentes (Figura 7f), presentan depósitos de cristales, radios uniseriados y multiseriados (Figura 7d), largo de radios uniseriados 102.26 (33-203) µm, ancho de radios uniseriados 11.55 µm (7.47-16.64 µm), largo de radios multiseriados 211.60 µm (101-374.02 µm), ancho de radios multiseriados 23.20 µm (14.71-34.90 µm).

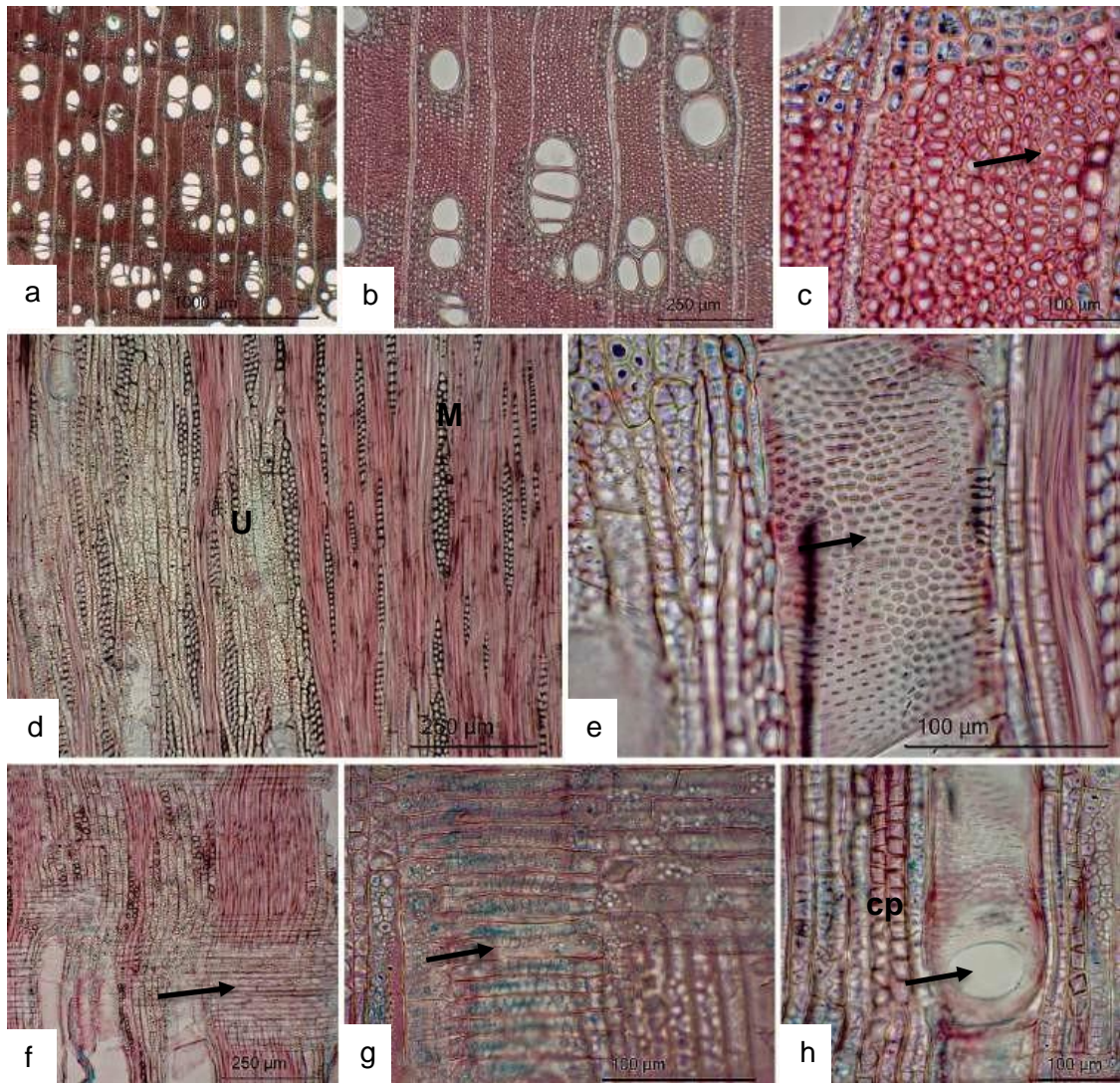


Figura 7. *Senna wizlisenii*, a. Porosidad difusa, b. Parénquima vasicéntrico en bandas, c. Paredes de las fibras, d. Radios uni seriados y multi seriados, e. Punteaduras intervasculares alternas, f. Células procumbentes, g. Punteaduras vaso radio similares a las intervasculares, h. Placa de perforación simple y cristales en el parénquima. Las flechas negras resaltan los puntos importantes de cada imagen.

*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit

Material recolectado: Huehuetlán El Grande, Puebla, México. Árboles, de bosque tropical caducifolio.

N 18° 76.184, W 098° 17.471, N 18° 76.199, W 098° 17.461

Los anillos de crecimiento ausentes, cuenta con porosidad difusa (Figura 8a), predominancia de vasos en hileras radiales 55%, solitarios con 35.56% y agrupados 7.23%, presenta un promedio de  $2 \pm 2.28/\text{mm}^2$ , longitud de los vasos de 265.79  $\mu\text{m}$  (155.98-399.21  $\mu\text{m}$ ), diámetro de vaso de 156.81  $\mu\text{m}$  (40.06-286.65  $\mu\text{m}$ ), las paredes de vaso tienen un grosor de 8.9  $\mu\text{m}$  (4.26-14.32  $\mu\text{m}$ ), presenta placas de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas (Figura 8f) de 6.46  $\mu\text{m}$  de diámetro (4.06-9.76  $\mu\text{m}$  de diámetro). Las fibras son de tipo libriformes (Figura 8e), con paredes 2.93  $\mu\text{m}$  (1.59-5.17  $\mu\text{m}$ ), diámetro de la fibra 20.13  $\mu\text{m}$  (9.53-32.26  $\mu\text{m}$ ), longitud de la fibra 807.09  $\mu\text{m}$  (483.03-1185.9  $\mu\text{m}$ ),

El parénquima axial es paratraqueal vasicéntrico, y parénquima apotraqueal difuso (Figura 8b). El parénquima radial con células procumbentes (Figura 8i), radios homogéneos tipo I, frecuencia de 12/mm (9-16/mm), uniseriados y multiseriados (Figura 8d), largo de radios uniseriados de 82.19  $\mu\text{m}$  (156.90-17.47  $\mu\text{m}$ ), ancho de radios uniseriados de 11.66  $\mu\text{m}$  (12.82-17.47  $\mu\text{m}$ ), largo de radios multiseriados 156.60  $\mu\text{m}$  (190-256.14  $\mu\text{m}$ ), ancho de radios multiseriados 20.32  $\mu\text{m}$  (7.38-33.85  $\mu\text{m}$ ), cuentan con contenidos en los radios (Figura 8g).

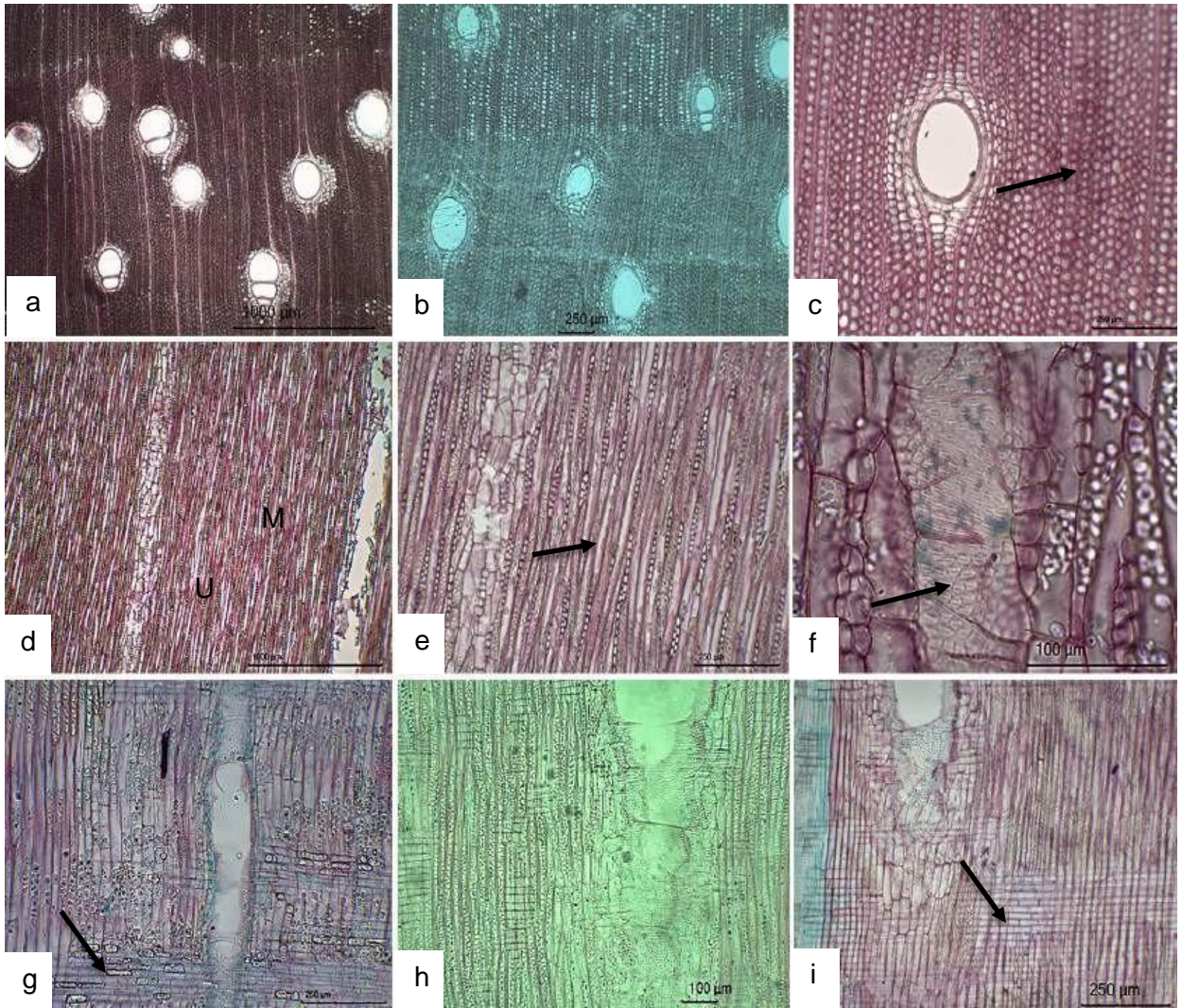


Figura 8. *Leucaena leucocephala* a. Porosidad difusa, b. Parénquima vasicéntrico y apotraqueal difuso, c. Paredes de las fibras, d. Radios uniseriados y multiseriados, e. Fibras libriformes, f. Punteaduras intervasculares alternas, g. Contenidos en los radios, h. Corte radial, i. Células procumbentes. Las flechas negras resaltan los puntos importantes de cada imagen.

*Caesalpinia pulcherrima* (L) Sw.

Material recolectado: Huehuetlán el Grande, Puebla, México. Árboles, de bosque tropical caducifolio

N 18° 76.184, W 098° 17.471, N 18° 76.199, W 098° 17.461

Los anillos de crecimiento ausentes, porosidad semi anular, predominancia de vasos en hileras radiales 48%, solitarios 40%, 11% agrupados, los vasos son numerosos con un promedio de  $10.9 \pm 6.7/\text{mm}^2$ , longitud de los vasos de 191.99  $\mu\text{m}$  (116.24-702.58  $\mu\text{m}$ ), presentan un diámetro los vasos de 69.27  $\mu\text{m}$  (24.54-134.69  $\mu\text{m}$ ), las paredes de los vasos tienen un grosor de 5.51  $\mu\text{m}$  (3.17-9.44  $\mu\text{m}$ ), cuentan con presencia de tílides (Figura 9a), presentan placas de perforación simple (Figura 9g). Los vasos con punteaduras intervasculares opuestas de 4.73  $\mu\text{m}$  de diámetro (3.37-6.54  $\mu\text{m}$ ) (Figura 9e). Las fibras son de tipo libriformes, con paredes finas a gruesas (Figura 9b), el grosor de paredes 3.03  $\mu\text{m}$  (1.46-5.42  $\mu\text{m}$ ), el lumen de la fibra 5.26  $\mu\text{m}$  (2.25-9.29  $\mu\text{m}$ ), longitud de la fibra 879.66  $\mu\text{m}$  (606.21-1282.7  $\mu\text{m}$ ).

El parénquima axial paratraqueal confluyente en bandas (Figura 9a), presenta cristales prismáticos en el parénquima (Figura 9d). Los radios son homogéneos tipo I, y la frecuencia de los radios 9.30/mm (6-12/mm), radios uniseriados y multiseriados (Figura 9c), formados por células procumbentes (Figura 9f), largo de radios uniseriados 131.83  $\mu\text{m}$  (60.73-227.46  $\mu\text{m}$ ), ancho de radios uniseriados 14.19  $\mu\text{m}$  (6.93-21.79  $\mu\text{m}$ ), largo de radios multiseriados 263.92  $\mu\text{m}$  (117.41-562.57  $\mu\text{m}$ ), ancho de radios multiseriados 31.10  $\mu\text{m}$  (18.6-49.25  $\mu\text{m}$ ).

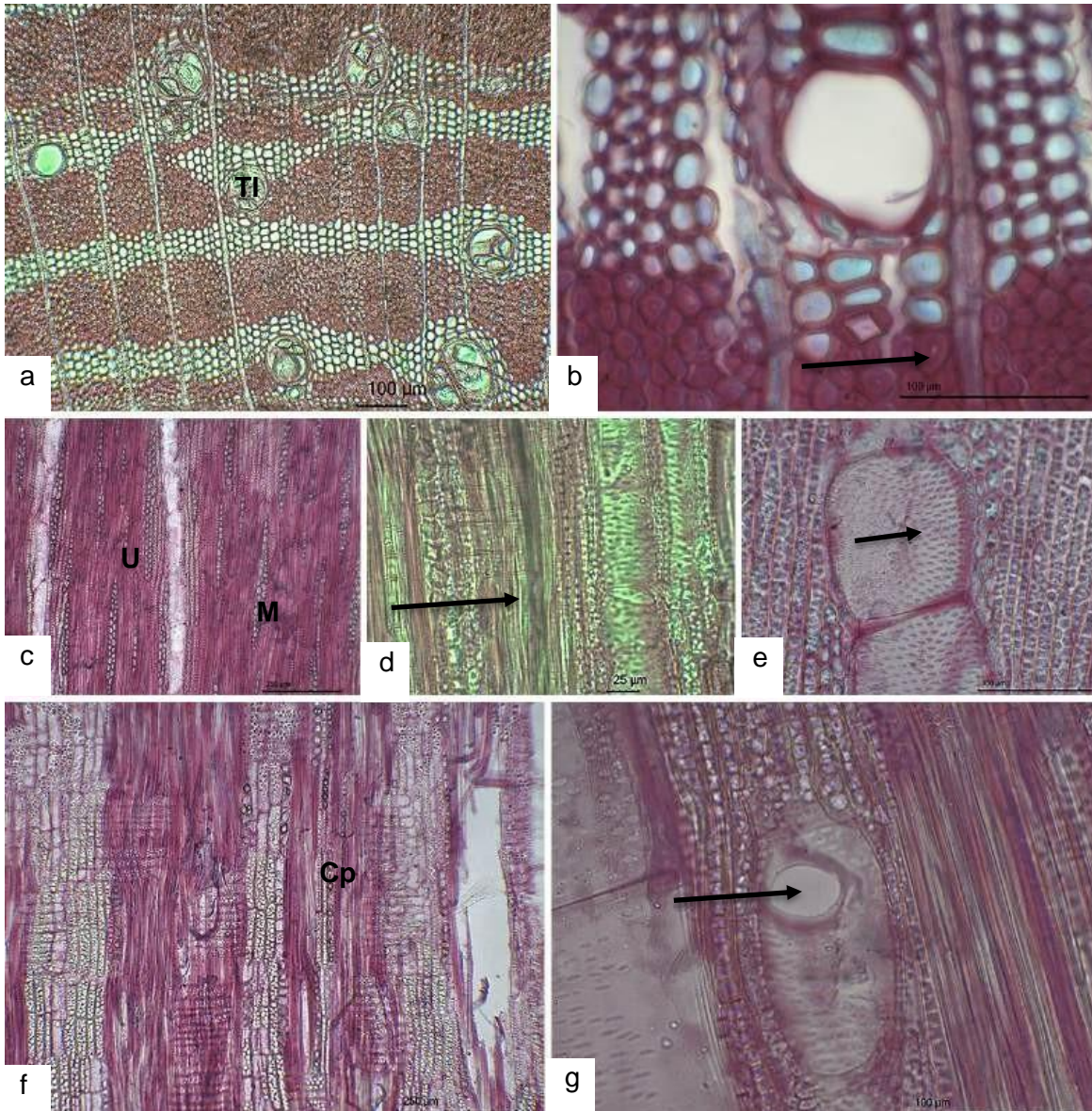


Figura 9. *Caesalpinia pulcherrima*, a. Tíldes en los vasos, b. Paredes de las fibras, c. Radios uniseriados y multiseriados, d. Fibras libriformes, e. Punteaduras intervasculares opuestas, f. Cristales en el parénquima, g. Placa de perforación. Las flechas negras resaltan los puntos importantes de cada imagen.

**Cuadro 1.** Caracteres cuantitativos de las especies de Fabaceae estudiadas en la Sierra del Tentzo, Puebla, México

Especie	Vasos ( $\mu\text{m}$ )					Fibras ( $\mu\text{m}$ )			Radios ( $\mu\text{m}$ )			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Conzattia multiflora</i>	131.3 (37.41-241.39)	6.59 (4.26-11.40)	224.39 (133.99-358.46)	<b>11.2</b> ( <b>7.07-15.39</b> )	2.55 (1.33-4.07)	12.3 (4.59-21.50)	904.34 (636.03-1330.31)	22.51 (13.86-36.62)	196.87 (87.54-490.61)	12.75 (8.67-16.1)	78.56 (23.61-177.06)	12.68 (9.33-16.66)
<i>Neltuma laevigata</i>	74.47 (13.29-193.62)	7.25 (4.02-13.07)	201.33 (123.47-330.42)	<b>3.24</b> ( <b>2.09-4.95</b> )	<b>2.46</b> ( <b>1.21-4.73</b> )	6.00 (3.01-12.57)	872.22 (462.76-1178.07)	27.77 (14.96-39.20)	152.22 (70.11-341.43)	12.59 (5.71-12.62)	<b>69.84</b> ( <b>22.91-116.44</b> )	<b>9.09</b> ( <b>2.09-12.33</b> )
<i>Vachellia pennatula</i>	105.2 (37.37-201.08)	6.11 (2.46-10.38)	195.4 (123.47-302.92)	4.84 (3.40-6.74)	<b>5.03</b> ( <b>1.53-9.90</b> )	5.96 (1.99-13.02)	<b>1041.74</b> ( <b>680.68-1454.84</b> )	<b>41.49</b> ( <b>21.53-63.81</b> )	<b>334.18</b> ( <b>113.77-676.42</b> )	-	-	10.01 (7-14.67)
<i>Vachellia bilimekii</i>	91.85 (31.51-149.62)	<b>9.21</b> ( <b>2.99-10.04</b> )	<b>274.64</b> ( <b>182.25-380.31</b> )	4.99 (3.23-6.68)	3.17 (1.61-5.39)	5.88 (2.31-11.49)	1025.38 (772.61-1504.08)	<b>17.67</b> ( <b>12.64-23.26</b> )	171.32 (73.5-283.08)	<b>9.92</b> ( <b>6.36-15.53</b> )	110.0 (35.28-225.28)	15.6 (10-22.33)
<i>Lonchocarpus caudatus</i>	83.49 (21.83-187.16)	6.40 (3.41-12.70)	<b>190.59</b> ( <b>115.08-319.3</b> )	5.66 (3.91-8.12)	3.58 (1.92-5.50)	5.92 (2.44-11.54)	909.89 (449-1430.52)	23.35 (11.97-41.69)	<b>123.06</b> ( <b>82.90-166.51</b> )	-	-	<b>17.98</b> ( <b>12.66-23.33</b> )
<i>Leucaena leucocephala</i>	<b>156.8</b> ( <b>40.06-286.55</b> )	8.89 (4.26-14.32)	265.78 (155.98-399.21)	6.45 (4.6-9.76)	2.93 (1.59-5.17)	<b>20.1</b> ( <b>9.53-32.26</b> )	<b>807.09</b> ( <b>483.03-1185.90</b> )	20.32 (12.82-33.85)	156.59 (76.43-256.14)	11.65 (7.83-17.47)	82.18 (30.55-190.41)	12.49 (9-16.33)
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	<b>69.2</b> ( <b>24.54-134.69</b> )	<b>5.5</b> ( <b>3.17-9.44</b> )	191.98 (116.24-702.58)	4.73 (3.37-6.54)	3.02 (1.46-5.42)	<b>5.25</b> ( <b>2.25-9.29</b> )	879.66 (606.21-1282.70)	31.1 (18.6-49.25)	263.92 (117.41-562.57)	<b>14.19</b> ( <b>6.93-21.79</b> )	<b>131.8</b> ( <b>60.73-227.46</b> )	9.3 (6.5-12.5)

. Significado de los números. 1: Diámetro de los vasos en la madera, 2: Pared de los vasos, 3: Longitud de elementos de vaso, 4: Diámetro de las punteaduras, 5: Pared de fibras, 6: Diámetro de fibras, 7: Longitud de fibras, 8: Ancho de radios multiseriados, 9: Altura de radios multiseriados, 10: Ancho de radios uniseriados, 11: Altura de radios uniseriados, 12: Radios por milímetro lineal. En negritas se señalan los valores mínimos y máximos reportados para las especie

**Cuadro 2** Caracteres cualitativos de las especies estudiadas en la Sierra del Tentzo, Puebla, México. 1: Porosidad (+=semi anular, -=difusa), 2: Disposición de vasos I= bandas tangenciales, II=radial, III=Solitario), 3: Placas de perforación (I=simples), 4: Punteaduras intervasculares (-=alternas, +=opuestas), 5: Punteaduras vaso radio (+= distintos tamaños, -=similar intervasculares), 6:Fibras(I=Libriformes), 7: Fibras paredes (+=Paredes delgadas a gruesas, -=Paredes gruesas), 8: Parénquima (Par=Paratraqueal, V=vasicéntrico, Con=confluente, B=Bandas, M=Marginal Apo=Apotraqueal, Di=Difuso), 9: Células radios (I=Procumbentes, III=Procumbentes y cuadráticas), 10: Radios tipo Kribs (-=homogéneos, +=heterogéneos), 11: Contenidos (Cp=cristales prismáticos, Dg=Depósitos de gomas, Til=Tílides, Tan=taninos).

Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Vachellia pennatula</i>	-	III	I	+	+	I	+	ParV	I	-	Cp, Dg, Til, Tan
<i>Vachellia bilimekii</i>	-	I	I	+	-	I	-	ConB	II	+	Cp
<i>Conzattia multiflora</i>	-	I	I	+	-	I	-	AconB	I	-	Cp
<i>Lonchocarpus caudatus</i>	-	I	I	+	+	I	-	SemiMB	I	-	Til, Cp
<i>Neltuma laevigata</i>	+	III	I	+	-	I	-	ConM	II	+	Cp
<i>Senna wislizenii</i>	-	I	I	+	-	I	+	Par V, Apo D	II	+	Gomas, Cp
<i>Leucaena leucocephala</i>	-	I	I	+	-	I	-	ConB	I	-	-
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	+	I	I	+	-	I	-	ParV	I	-	Cp

## Análisis de varianza

Para la evaluación de caracteres, se evaluó la normalidad de los caracteres cuantitativos de doce especies de Fabaceae registradas en la Sierra del Tentzo, correspondientes a ocho especies analizadas en este estudio y cuatro especies reportadas previamente por Vázquez-Morales (2018): *Acaciella angustissima*, *Conzattia multiflora*, *Eysehardtia punctata*, *Lonchocarpus caudatus*, *Mimosa lacerata*, *Senegalia subangulata*, *Senna wislizenii*, *Vachellia bilimekii* y *V. pennatula*. La prueba de Shapiro–Wilk indicó que únicamente el diámetro del lumen de los vasos cumplió con el supuesto de normalidad ( $p > 0.05$ ). En consecuencia, para esta variable, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para evaluar diferencias entre especies, seguido de una prueba *post hoc* de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Los resultados revelaron diferencias significativas en este carácter ( $p = 0.001$ ; Figura 10). Para los demás caracteres anatómicos, que no cumplieron normalidad, se empleó un Modelo Lineal Generalizado (GLM) a fin de evaluar las diferencias entre especies. Todos los caracteres analizados mediante GLM presentaron diferencias significativas ( $p = 0.02$ ), y posteriormente se realizaron comparaciones por pares para identificar qué especies diferían entre sí (Figura 11).

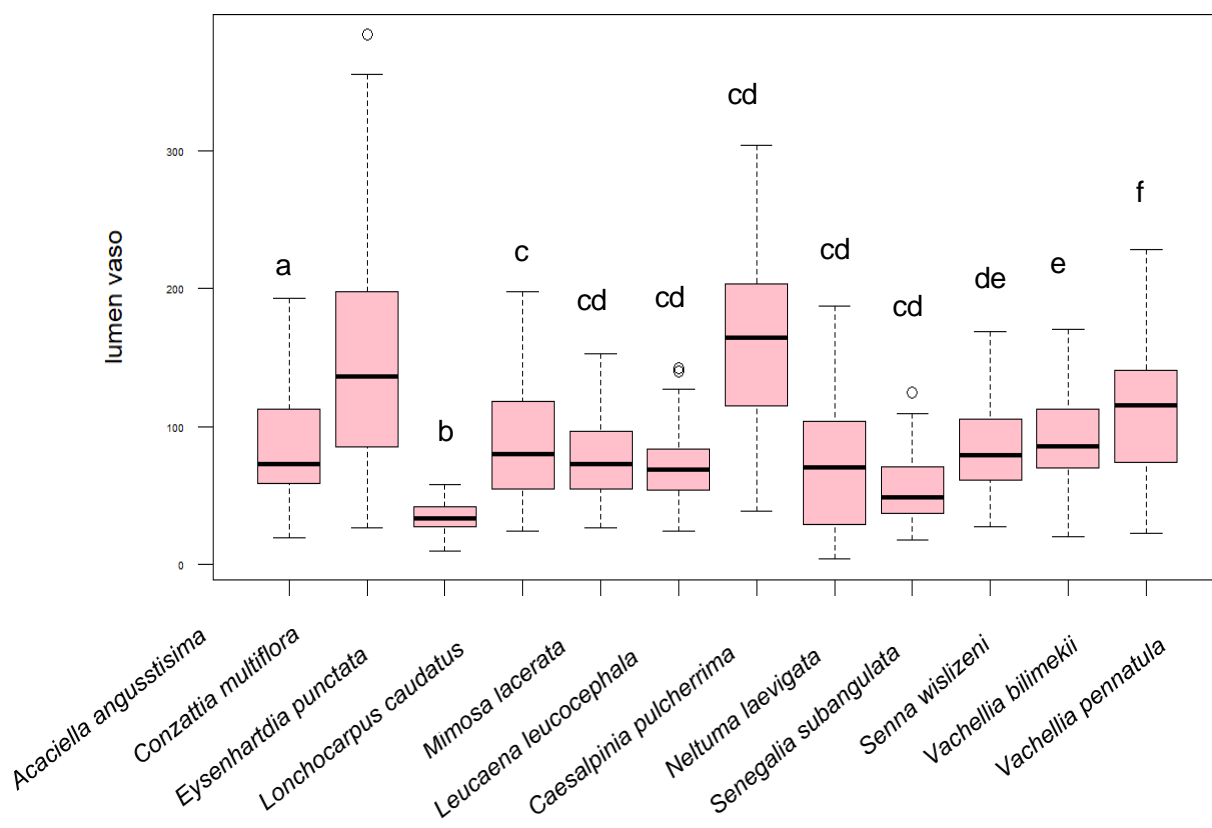


Figura 10. Gráfico de cajas donde se muestra los rangos de lumen de vaso, en las especies de la Sierra del Tentzo.

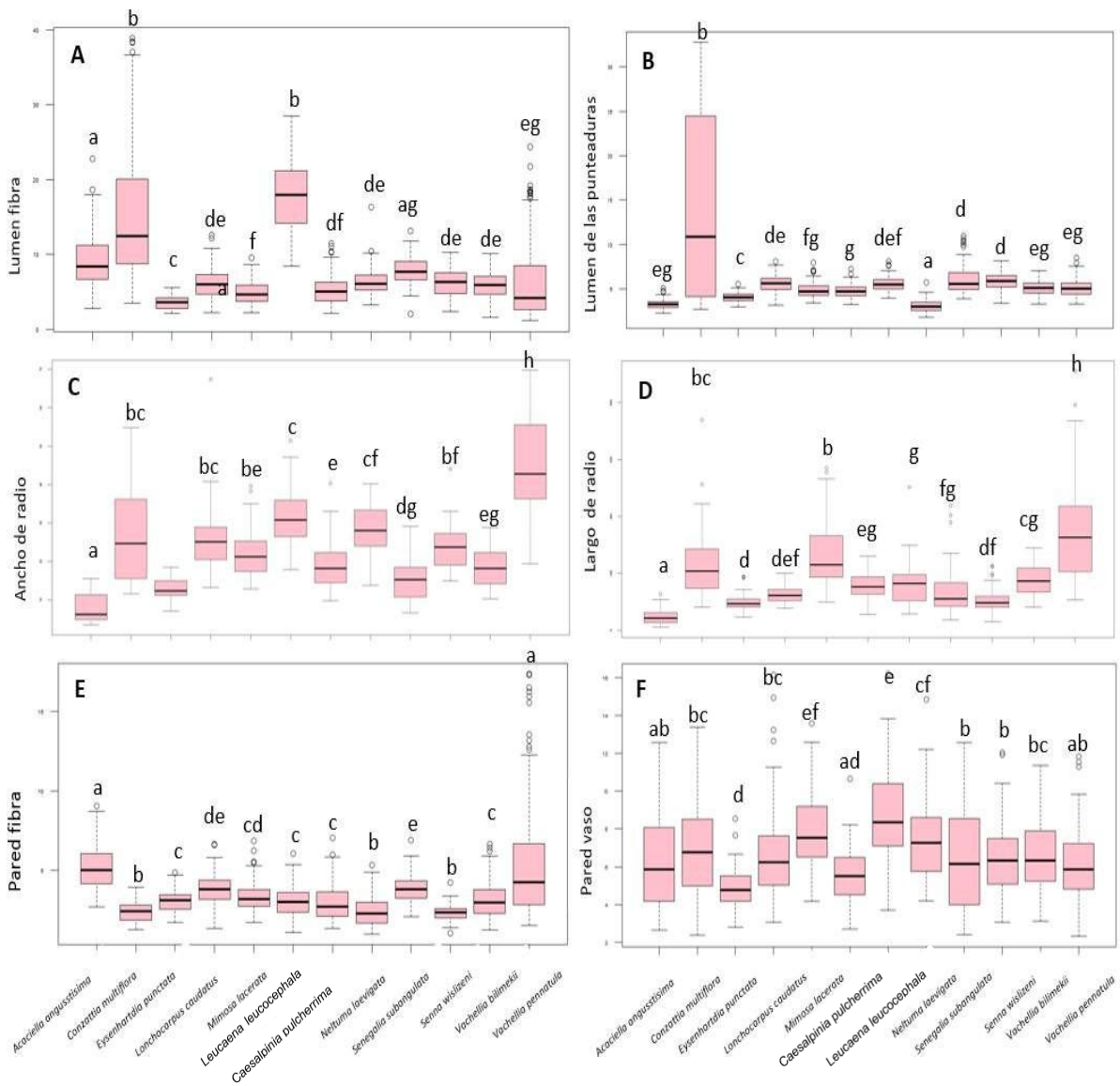


Figura 11. Gráfico de cajas donde se muestran los caracteres anatómicos evaluados con GML, **(A)** Lumen fibra, **(B)** Lumen de las punteaduras, **(C)** Ancho de radio, **(D)** Largo de radio, **(E)** Pared de fibra, **(F)** Pared de vaso, en las especies de la Sierra del Tentzo.

## Relación con los congéneres

El análisis jerárquico de conglomerados (UPGMA) reveló la formación de dos grupos principales (A y B) entre las especies analizadas (Figura 12).

### Grupo A

Incluye tres especies de *Neltuma* provenientes de matorral xerófilo (*N. nigra*, *N. alba* y *N. vinalillo*), con un 30 % de similitud. Comparten caracteres como porosidad semianular, vasos solitarios, presencia de fibras gelatinosas y radios homogéneos compuestos por células procumbentes.

No obstante, *N. laevigata* y *N. vetunia* no se integraron a este grupo: la primera carece de fibras gelatinosas y presenta radios heterogéneos, mientras que la segunda exhibe porosidad difusa y vasos organizados en hileras tangenciales.

También se incorporó al análisis una población de *Acaciella angustissima* del bosque mesófilo de montaña que, a pesar de pertenecer a la misma especie que la registrada en la Sierra del Tentzo, mostró diferencias anatómicas notables.

### Grupo B

Se subdividió en cuatro subgrupos (A, B, C y D):

Subgrupo A: integrado por especies del BTC de la Sierra del Tentzo que comparten punteaduras intervasculares alternas, radios heterogéneos, fibras libriformes y parénquima paratraqueal.

Subgrupo B: conformado por especies de diferentes tipos de vegetación, pero con una agrupación destacada de *Mimosa aculeaticarpa* y *M. luisiana* (18 % de similitud), ambas con vasos solitarios, punteaduras alternas y radios homogéneos, aunque difieren en su distribución ecológica (bosque de pino–encino vs. matorral xerófilo).

Subgrupo C: incluye *M. lacerata*, *M. polyantha* (matorral xerófilo) y *M. arenosa* (BTC), con una similitud del 23 %. Comparten radios homogéneos y punteaduras alternas.

El subgrupo D. incluye los géneros *Vachellia*, *Senegalia* y *Conzattia*, comparten la presencia de radios homogéneos y parénquima paratraqueal. Finalmente, dos especímenes de *Conzattia multiflora* se agrupan, a pesar de las diferencias geográficas reportadas entre los ejemplares analizados, ya que los registrados previamente fueron en bosque tropical caducifolio de Morelos y en el bosque tropical caducifolio en la Sierra del Tentzo y junto con *Vachellia*, con las especies *V. pennatula* y *V. melanoxydon*, mostraron un 30% de similitud, asociado a porosidad difusa, vasos solitarios, radios homogéneos, fibras libriformes y parénquima vasicéntrico, aunque se

requiere mayor profundización para consolidar estos patrones.

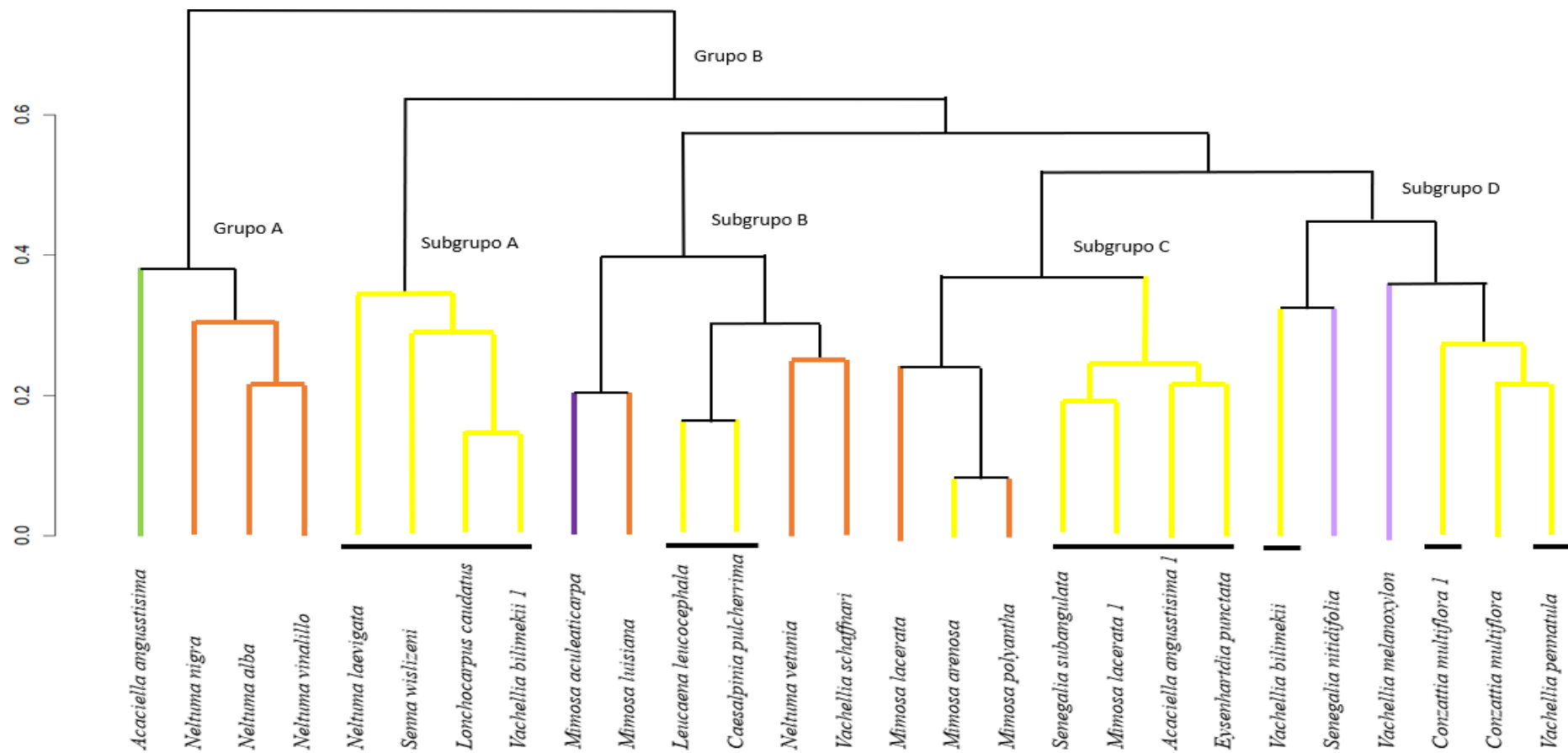


Figura 12. Dendrograma obtenido del análisis jerárquico de conglomerados, donde el color verde representa las especies en el bosque mesófilo de montaña, en color naranja, especies del matorral xerófilo; morado, especies del bosque de pino-encino, amarillo: especies del bosque tropical caducifolio y en lila: especies del bosque de araucarias, marcadas con una línea negra las especies de la Sierra del Tentzo.

## **Respuesta al déficit hídrico**

### **Análisis Fourth-Corner**

En general, el análisis Fourth-Corner mostró asociaciones débiles entre los caracteres anatómicos de la madera de especies de Fabaceae y las variables climáticas evaluadas (Figura 13). El largo de radios presentó correlaciones negativas con las variables climáticas de precipitación (Prec), temperatura media (Tmean) y temperatura máxima (Tmax), y se obtuvieron valores muy similares entre ellas ( $\approx -0.01305$  a  $-0.01306$ ), sin embargo, no se observó correlación con la temperatura mínima (Tmin = 0). A pesar de que estos coeficientes son de magnitud reducida, reflejan una tendencia baja a que radios más cortos puedan asociarse con ambientes más secos o con temperaturas más extremas. El ancho de los radios presentó correlación positiva con la temperatura media (Tmean).

No obstante, la mayoría de las asociaciones observadas no fueron estadísticamente significativas, lo que podría atribuirse a la alta variabilidad anatómica dentro de la familia Fabaceae o a la influencia de factores no climáticos, aunque existen algunas relaciones estructurales entre el ambiente y los rasgos anatómicos de la madera, estas son en general débiles y probablemente moduladas por otros factores ecológicos o evolutivos.

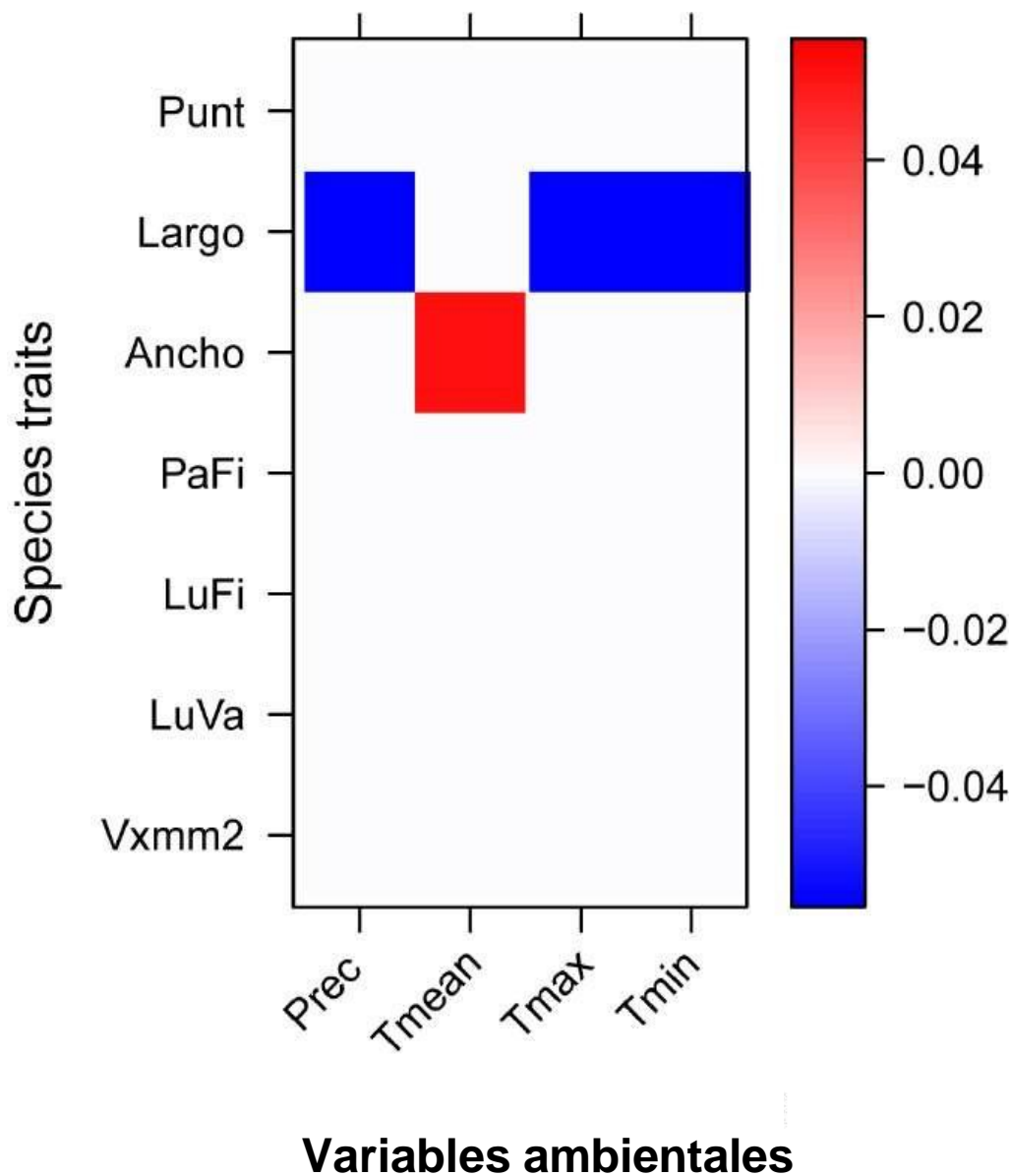


Figura 13. Resultados del análisis de Fourth Corner. Las correlaciones significativas entre los rasgos y las variables climáticas se representan mediante cuadrados de color. Los colores más oscuros indican correlaciones más fuertes. Caracteres anatómicos de la madera: Punt: Lumen de punteaduras, Largo: Largo de radios, Ancho: Ancho de radios, PaFi: pared de fibra, LuFi: lumen de fibra, LuVa: Lumen de vaso, Vxmm<sup>2</sup>: vasos por milímetro cuadrado, y en el eje x las variables ambientales: Prec: precipitación, Tmean: temperatura media, Tmax: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima

## **Análisis Canónico de correspondencia**

El Análisis canónico de correspondencia (ACC) reveló que los dos primeros ejes de ordenación, explicaron en conjunto el 85% de la inercia total observada en la relación entre las características anatómicas de la madera y las variables climáticas. El primer eje canónico explicó el 60.3% de esta varianza conjunta, mientras que el segundo eje contribuyó con un 23.1%, alcanzando así un valor acumulado del 83.4%.

Los valores de inercia asociados al primer y segundo eje fueron de 0.481 y 0.374, respectivamente, lo que indica una alta proporción de la variabilidad compartida representada en estos componentes. La correlación canónica entre los conjuntos de variables fue de 1 en ambos ejes, lo que sugiere una fuerte asociación lineal entre los caracteres de la madera y los factores climáticos analizados (Cuadro 3).

En la Figura 14 se pueden observar las especies y los caracteres como se ven relacionados con la temperatura y la precipitación. La especie *Conzattia multiflora* estuvo más adaptada a las condiciones de alta temperatura, en comparación con las demás especies en donde se pudo observar que tuvieron capacidad plástica de los caracteres anatómicos del lumen de los vasos, las punteaduras y el lumen de las fibras. Los caracteres como las paredes de las fibras, ancho de los radios, y los radios por milímetro lineal de las especies *Vachellia bilimekii* y *Vachellia pennatula* se vieron influenciadas positivamente por la temperatura mínima. Mientras que en la especie *Neltuma laevigata*, la precipitación influyó positivamente en radios por milímetro lineal. Por otro lado, las especies *Lonchocarpus caudatus*, *Leucaena leucocephala*, *Senna wislizeni* y *Caesalpinia pulcherrima* se observó que los caracteres se ajustaron más eficazmente en comparación de las demás especies.

Cuadro 3. Valores de la correlación entre la madera y el ambiente

	Ejes canónicos		Inercia total
	1	2	
Características de los valores	0.481	0.374	0.85
Correlación entre caracteres de la madera y factores climáticos	1	1	
% de varianza explicada por la relación características de la madera-clima	60.3	83.4	

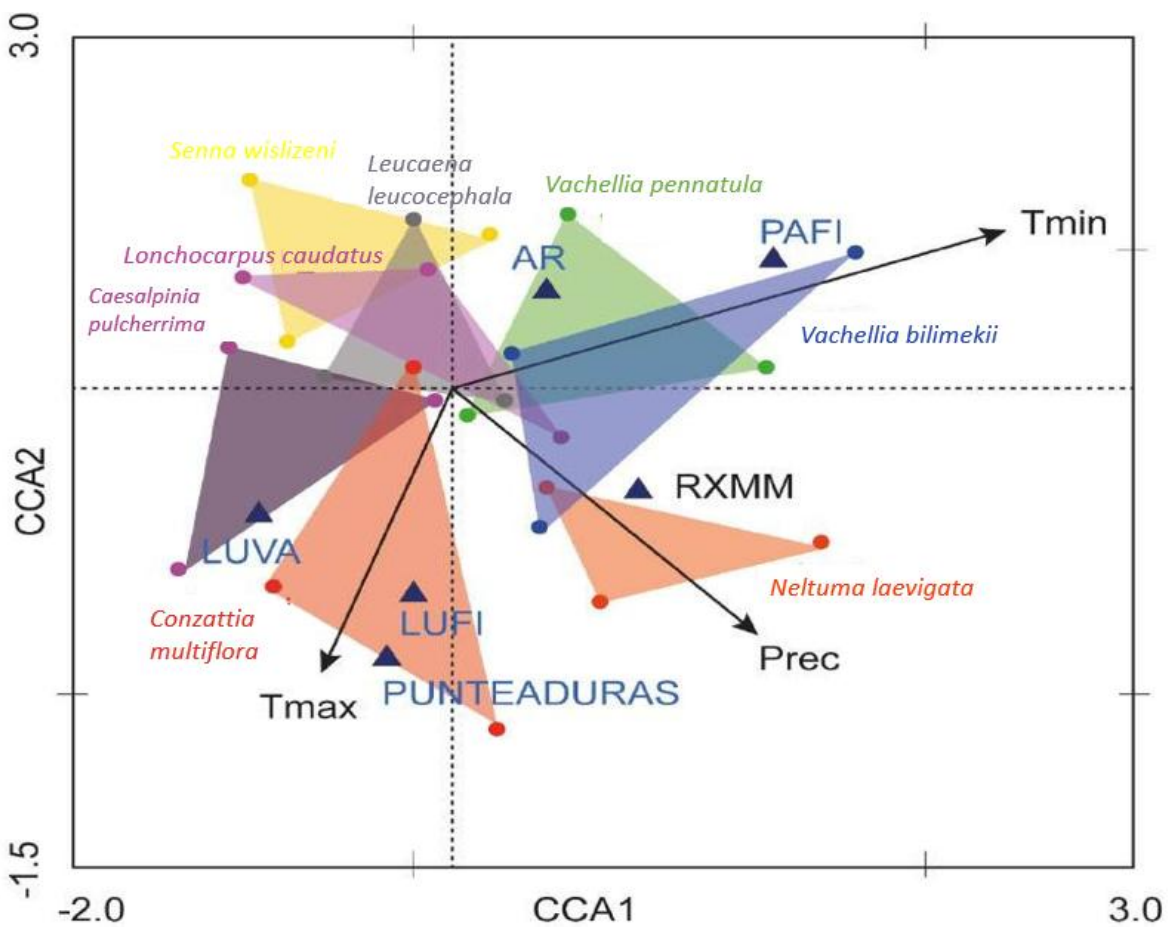


Figura 14 Análisis canónico de correspondencia (ACC), para las variables ambientales, caracteres anatómicos y especies, Tmax: Temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima, Pre: precipitación, PAFI: pared de la fibra, RXMM: radios por milímetro lineal, LUVA: lumen de vaso, AR: ancho radio, PUNTEADURAS: lumen de las punteaduras.

## Discusión

**Caracteres anatómicos de la familia.** Las especies de la familia Fabaceae presentan fibras libriformes, placas de perforación simple, cristales en el parénquima, punteaduras intervasculares alternas, parénquima vasicéntrico, aliforme, aliforme-confluente, bandeado y difuso (Barajas-Morales y León, 1989; Silva *et al.*, 1989; Rebollar *et al.*, 1996; Camargo-Ricalde, 2000; Giménez *et al.*, 2000; Quintanar *et al.*, 2005; Interián-ku *et al.*, 2011; Aguilar-Alcántara *et al.*, 2014; Cardoso, 2009; Ramírez-Martínez *et al.*, 2017; Fontana *et al.*, 2019; Romero *et al.*, 2022; Nejapa y Pace, 2023). Estos caracteres se mantienen a pesar de que se encuentran en diferentes tipos de vegetación como bosque tropical caducifolio (Barajas-Morales y León 1989; Quintanar *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 1989; Ramírez-Martínez *et al.*, 2017), matorral espinoso (Camargo-Ricalde, 2000), bosque de *Acacias* (Cardoso, 2000), bosque mesófilo de montaña (Aguilar-Alcántara *et al.*, 2014), bosque de transición (Fontana *et al.*, 2019) y bosque tropical seco (Romero *et al.*, 2022). Por lo que las especies estudiadas la Sierra el Tentzo presentaron los caracteres previamente mencionados. Sin embargo, existen caracteres como el tipo de radios que son homogéneos de tipo I en las especies *Caesalpinia pulcherrima* y *Leucaena leucocephala*. También la disposición del parénquima apotraqueal difuso solo se observó en la especie *Senna wislizeni*.

Las especies de la Sierra del Tentzo presentan porosidad difusa al igual que la mayor parte de las especies del bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo (Abundiz *et al.*, 2004; Barajas-Morales y León, 1989). Además, Evans *et al.* (2006) describen que la mayoría de las especies de climas tropicales y subtropicales cuentan con esta porosidad al igual que las especies de la subfamilia Caesalpinioideae (Baretta-Kuipers, 1981; Gasson *et al.*, 2009; Evans *et al.*, 2006). Sin embargo, dentro de la familia Fabaceae hay una gran variación en la porosidad ya que se ha reportado porosidad anular en algunas especies del género *Mimosa*, esto se asocia principalmente a especies con estacionalidad marcada (Montaño-Arias *et al.*, 2017), mientras que fue de tipo semi-anular dentro del género *Neltuma* (Bolzón *et al.*, 2010).

Los elementos de vaso de las especies de la Sierra del Tentzo de los géneros *Conzattia*, *Neltuma*, *Senna* y *Vachellia* se observaron solitarios, al igual que lo reportado por diversos autores (Abundiz *et al.*, 2004; Aguilar-Alcántara *et al.*, 2014; Barajas-Morales y León, 1989; Cardoso, 1991; Cardoso, 2009; León, 2008; Quintanar *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 1989). Por el contrario, las especies *Caesalpinia pulcherrima*, *Lonchocarpus caudata* y *Leucaena leucocephala*, tuvieron los vasos

agrupados en hileras radiales. Este carácter según Bass (1973), es un carácter no relacionado con la situación taxonómica, pero si está relacionada con la seguridad de la conducción (Carlquist, 1984).

Las especies estudiadas presentaron una densidad moderada de vasos, que van de los 4 a 14 vasos/mm<sup>2</sup>, al igual que los observado en el trabajo de Quintanar *et al.*, (2005) en bosque tropical caducifolio. Las especies fueron similares en estos rangos, así como también ocho de las trece especies de la familia Fabaceae reportadas por Abundiz *et al.* (2004) de los géneros *Vachellia*, *Cercidium*, *Conzattia*, *Havardia*, *Leucaena*, *Senna*, *Neltuma*. Sin embargo, las especies restantes como *Bahaina divaricata*, *Cersidium praecox*, *Eysenhardtia polyantha* y *Harpalyce formosa*, contaron con una densidad mayor que lo reportado ya que se encontraron dentro de un rango de 34 a 68 vasos/mm<sup>2</sup>. La característica de presentar poca densidad de elementos de vasos, se reflejó también en el tamaño del diámetro de los elementos de vaso, que fue de 59 a 156  $\mu\text{m}$  lo cual es considerado como diámetro grande (Carquist, 1989) esta premisa se ha mencionado por (Bass, 1973; Carlquist, 1989), y se observó en las especies estudiadas.

Según Aguilar-Alcántara *et al.*, (2014), y Barreta-Kuipers (1981) mencionan que la familia se caracteriza por la presencia de vasos cortos, lo cual está asociado a climas áridos. Sin embargo, la familia es de amplia distribución por lo que por eso presenta esta característica. Montaña-Arias *et al.* (2013) mencionan que los vasos cortos proveen de seguridad en el proceso conductivo, además de que ayuda en climas áridos y da una mejor adaptación a las especies.

La recopilación bibliográfica mostró que las especies de matorral xerófilo y en bosque tropical caducifolio tienen un tamaño del lumen de las punteaduras que va de 5 a 13  $\mu\text{m}$  (Abundiz *et al.*, 2004; Bolzón *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2015), por lo que la mayor parte de las especies estudiadas entran dentro de este rango. Sin embargo, las especies *Neltuma laevigata* y *Vachellia pennatula* contaron con valores de 3.24 y 4.85  $\mu\text{m}$  respectivamente, siendo el reporte de menor longitud de punteaduras de las especies estudiadas.

Se ha reportado que el contenido más común en los elementos de vaso en Fabaceae son depósitos de gomas (Cardoso, 1991, 2009; Abundiz *et al.*, 2004; Evans *et al.*, 2006), solo en *Gliricida sepium* y *Lonchocarpus guatemalensis* (Barajas-Morales y León, 1989; Rebollar y Quintanar, 1998) se han encontrado tálides en los vasos,

aunque también se pueden encontrar gomas y taninos como la especie *Leucaena glauca* (Rebollar y Quintanar, 1998), así mismo se pueden encontrar inclusiones cristaloides en forma de grumos como en la especie *Apoplanesia paniculata* (Barajas-Morales y León, 1989). De las especies estudiadas, solo las especies *Lonchocarpus caudatus*, *Vachellia bilimekii* y *Caesalpinia pulcherrima*, contaron con presencia de tálides en los vasos y *Vachellia pennatula* y *Senna wizlisenii* presentaron gomas en los vasos. Los contenidos en los vasos suelen estar relacionados como una respuesta eficaz al estrés (De Micco *et al.*, 2016), además de que pueden verse afectados por la estacionalidad (Sun *et al.*, 2008).

El parénquima axial se ha reportado que es uno de los caracteres que tiene más variación dentro de la familia Fabaceae. Debido a esto, este no proporciona diferencias entre subfamilias y géneros (Baretta-kuippers, 1973, 1981; Evans *et al.*, 2006; Albundiz *et al.*, 2004; Lewandroski *et al.*, 2022). Sin embargo, se ha reconocido que en *Cesalpinia* todas las especies presentan parénquima axial, paratraqueal, con un patrón vasicéntrico, aliforme o confluyente (Gasson *et al.*, 2009). En las especies estudiadas se han identificado que tienen parénquima paratraqueal vasicéntrico, confluyente, en bandas, marginal, esto es similar a lo reportado para la familia, solo la especie *Senna wislizeni* contó con parénquima apotraqueal difuso, y la especie *Conzattia multiflora* presentó parénquima vasicéntrico aliforme similar a lo obtenido por Quintanar *et al.* (2005) para esta especie.

Los cristales en el parénquima es un carácter común en las especies de la subfamilia Mimosoideae, (Gasson *et al.*, 2009), también se ha encontrado en otros géneros como: *Caesalpinia*, *Acacia*, *Acaciella*, *Vachellia*, *Mimosa* (Gasson *et al.*, 2009; Montaña-Arias *et al.*, 2016; Lewandroski *et al.*, 2002), mientras que en este estudio se encontró en los géneros *Caesalpinia*, *Conzattia*, *Neltuma*, *Lonchocarpus*, *Senna* y *Vachellia*. Sin embargo, en especie *Leucaena leucocephala* no contó con este carácter, pero Silva, (1989), si encontró este carácter en el género *Leucaena*. En el estudio de Franceschi y Nakata (2005) mencionan que la formación de cristales puede ser influenciada por el estrés hídrico y la disponibilidad de nutrientes en el suelo. En condiciones de estrés, las plantas pueden acumular sales y minerales que se cristalizan en el parénquima. Dentro de la familia Fabaceae Baretta-Kuipers (1981), compara a las subfamilias por medio de la altura de los radios, dando a conocer que sí hay diferencias marcadas dentro de las subfamilias. La subfamilia Mimosoideae cuenta con menos del 25% de las especies con radios mayores a 500  $\mu\text{m}$ , en

Papilionoideae hay del 25% a menos del 50% de especies que cuentan con esta característica y en la subfamilia Caesalpinioideae igual o menor a 50%. Sin embargo, las especies estudiadas dentro de la subfamilia Caesalpinioideae cuentan con menos de 500  $\mu\text{m}$  de altura, las especies dentro de la subfamilia Mimosoideae todas cuentan con radios de menos de 500  $\mu\text{m}$  de altura y estos valores varían tanto en género como en especies. A pesar de esto, este carácter se ha visto relacionado al clima y resistencia mecánica (Kribs, 1935; Abundiz-Bonilla *et al.*, 2004).

La mayoría de las especies de la subfamilia (antes Mimosoideae) presentan radios homogéneos (Baretta-Kuipers, 1981; Evans *et al.*, 2006), por ejemplo, en la subfamilia Papilionoideae menos del 25% de las especies presentan radios heterogéneos, y en Caesalpinioideae menor o igual del 50% de las especies tienen radios heterogéneos (Baretta-Kuipers, 1981). A pesar de esto, las especies estudiadas no cuentan con estos patrones mencionados con anterioridad ya que la especie *Vachellia bilimekii* cuenta con radios heterogéneos y forma parte de la subfamilia Mimosoideae y la especie *Caesalpinia pulcherrima* cuenta con radios homogéneos a diferencia de lo reportado, no obstante este carácter no se ha relacionado a su taxonomía.

Barreta-Kuipers (1981) menciona que las especies de la familia Fabaceae tiene una gran diversidad en las fibras, ya que pueden tener fibras gelatinosas, septadas y no septadas. Otros autores han documentado dentro de la subfamilia Caesalpinioideae y Mimosoideae que la mayoría de especies cuentan con fibras libriformes (Evans *et al.*, 2006; Gasson *et al.*, 2009). Así mismo, las especies estudiadas también presentan fibras libriformes, aunque en géneros como *Caesalpinia s.l* la presencia de fibras septadas puede ser un carácter de importancia taxonómica (Gasson *et al.*, 2009); además otro carácter de importancia taxonómica, es que algunos géneros presenten cristales en las fibras como en el género *Cercidium* (Carlquist, 1989), sin embargo, las especies reportadas no presentaron este carácter.

Se ha reportado que las especies de la familia cuentan con una longitud de fibra que va de 270 a 1477  $\mu\text{m}$  (Abundiz *et al.*, 2004; Aguilar-Alcántara *et al.*, 2014; Barajas-Morales y León, 1989; Bolzón *et al.*, 2010; Bravo *et al.*, 2021; Cardoso, 1991, 2009; Carrillo-Parra *et al.*, 2013; Evans *et al.*, 2006; Giménez *et al.*, 2000; León, 2005, 2008, 2010; Lewandrowski *et al.*, 2022; Machuca-Velasco *et al.*, 2017; Quintanar *et al.*,

2005; Ramírez-Martínez *et al.*, 2017; Rodríguez *et al.*, 2016; Romero *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 1989), así mismo las especies de la Sierra del Tentzo cuentan con una longitud de fibra que va de 807 a 1025  $\mu\text{m}$  estando dentro del rango de la familia. A pesar de esto hay algunas variaciones entre las longitudes de la fibra de algunas especies. Por ejemplo, *Neltuma laevigata* presenta una longitud que va de 232 a 462  $\mu\text{m}$  (Abundiz *et al.*, 2004; Carrillo-Parra *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2015). Sin embargo, la especie reportada en este trabajo cuenta con 872  $\mu\text{m}$  de longitud de fibra, aunque Carrillo-Parra *et al.*, (2013) considera que puede existir variación dentro de la misma especie desde los 200 a 1400  $\mu\text{m}$ , con un promedio de 400  $\mu\text{m}$ . Estos cambios en la longitud de fibras se pueden ver relacionados con la disponibilidad hídrica, tipos de suelo y fenología (Hacke, 2005).

**Géneros.** El género *Conzattia* ha sido escasamente abordado desde el punto de vista anatómico, con registros limitados a una única especie: *Conzattia multiflora* (Quintanar *et al.*, 2005). Los resultados obtenidos en este estudio amplían el conocimiento anatómico de la especie, al evidenciar variaciones significativas en algunos caracteres cuantitativos entre los individuos evaluados y los previamente reportados. Una diferencia notable se observó en la frecuencia de vasos por milímetro cuadrado: mientras que Quintanar *et al.* (2005) documentaron dos vasos/ $\text{mm}^2$ , en los individuos analizados en este trabajo se registraron ocho vasos/ $\text{mm}^2$ , lo cual sugiere una posible variabilidad intraespecífica.

Asimismo, se detectó una marcada diferencia en el diámetro de las fibras, pasando de 35  $\mu\text{m}$  en el estudio previo a 12  $\mu\text{m}$  en los individuos actuales. Estas diferencias podrían atribuirse a factores ambientales, aun cuando los sitios de recolección presentaron condiciones ambientales similares. En contraste, el resto de los caracteres anatómicos evaluados mostró una concordancia general con lo previamente reportado.

Es importante señalar que ciertos caracteres relevantes, como el grosor de las paredes de los vasos, la frecuencia de radios por milímetro lineal y el lumen de las punteaduras intervasculares, no fueron descritos por Quintanar *et al.* (2005), lo que limita la posibilidad de comparación completa. La inclusión de estos caracteres en futuros estudios permitirá una caracterización más precisa de la especie. En cuanto a los caracteres cualitativos, los resultados coinciden con lo descrito anteriormente, incluyendo la presencia de parénquima en bandas, radios uni y biseriados, estructura homocelular con células procumbentes y depósitos en el parénquima. Esta

consistencia reafirma ciertas características diagnósticas del género, aunque se requiere mayor muestreo para confirmar su estabilidad y posible variación entre individuos o poblaciones.

El estudio anatómico de la madera del género *Caesalpinia* sigue siendo limitado, con apenas seis especies documentadas por Barajas-Morales y León (1989), Interián-Ku *et al.* (2011) y Ramírez-Martínez *et al.* (2017). A pesar de esto, los caracteres anatómicos observados en la especie analizada presentan notables coincidencias con los registros previos, particularmente en características cualitativas, como la presencia de fibras libriformes, cristales en el parénquima y punteaduras intervasculares alternas (Barajas-Morales y León, 1989; Gasson *et al.*, 2009; Interián-Ku *et al.*, 2011).

En cuanto a los caracteres cuantitativos, la especie analizada mostró una densidad de vasos de 8 a 16 vasos/mm<sup>2</sup>, congruente con lo reportado por Quintanar *et al.* (2005) para especies de bosque tropical caducifolio, y dentro del intervalo de baja densidad característico de la familia Fabaceae (Abundiz-Bonilla *et al.*, 2004). El diámetro del lumen de los vasos fue de 83–168  $\mu\text{m}$ , levemente mayor al promedio reportado por Interián-Ku *et al.* (2011), quien documentó 69.27  $\mu\text{m}$  en *C. gaumeri*, y dentro del rango considerado como de gran diámetro según Carlquist (1989), lo cual ha sido asociado con estrategias de eficiencia hidráulica, pero también con una menor seguridad frente a embolismos (Hacke, 2005). Respecto a las fibras, la especie mostró un grosor de pared dentro del rango reportado para el género (3–7  $\mu\text{m}$ ), y un lumen reducido (5.26  $\mu\text{m}$ ), similar al observado en *C. gaumeri* (5.1  $\mu\text{m}$ ) (Interián-Ku *et al.*, 2011). Esta reducción en el lumen podría estar relacionada con condiciones de sequía o vegetación estacional, como lo sugiere la distribución de la especie en otro estado, pero en el mismo tipo de vegetación. Hacke (2005) destaca que fibras con lumen pequeño pueden conferir mayor resistencia mecánica e incluso estar influenciadas por condiciones climáticas extremas. Los elementos de vaso, las longitudes de fibras, longitud del radio, densidad de radios se alinean con lo documentado en otras especies del género. El ancho de los radios es un carácter poco documentado dentro de este género, en la especie analizada se encontró un valor de 31.10  $\mu\text{m}$ , mayor al de *C. mexicana* (20.43  $\mu\text{m}$ ), aunque no es posible establecer patrones claros por la escasez de datos. En cuanto al lumen de las punteaduras, la especie reportada presentó uno de los valores más bajos (4.7  $\mu\text{m}$ ), comparable únicamente con *C. gaumeri* (4.8  $\mu\text{m}$ ; Interián-Ku *et al.*, 2011), lo cual es

relevante dado que, punteaduras más pequeñas se asocian con mayor seguridad hidráulica en ambientes secos (Hacke, 2005).

Solo se ha abordado un artículo relacionado al género *Leucaena*, en el cual se reporta la especie *L. trichodes* (Silva *et al.*, 1989). Esta información tiene muchas limitantes, ya que en este estudio solo describen cinco caracteres cuantitativos como son los vasos por milímetro cuadrado, longitud del vaso, ancho y largo de radios y por milímetro lineal.

Los caracteres cualitativos de la especie reportada anteriormente por (Silva *et al.*, 1989) son similares a los descritos para la especie *Leucaena leucocephala*, por lo que no se podría inferir si estos caracteres anatómicos están dados por variación específica o por el género.

Diversos estudios han documentado la anatomía de la madera en especies del género *Lonchocarpus*; la especie *L. caudatus* analizada en este trabajo comparte varios de los caracteres anatómicos ya reportados para el género, confirmando su pertenencia y consistencia estructural. En términos cuantitativos, *L. caudatus* presentó una frecuencia de vasos de 8 por mm<sup>2</sup>, dentro del amplio rango conocido para el género (2–27 vasos/mm<sup>2</sup>). Asimismo, su lumen de vasos (83 µm), longitud de vasos (190 µm) y grosor de la pared del vaso (6.40 µm) se encuentran dentro o en el límite superior de los valores previamente documentados. El diámetro de las punteaduras intervasculares (5.66 µm) también coincide con el rango conocido (5–10 µm). Sin embargo, algunos caracteres anatómicos presentaron valores atípicos. La longitud de las fibras, por ejemplo, fue menor (909 µm) respecto a lo registrado en otras especies (1039–1174 µm), lo que representa un nuevo valor mínimo para el género.

Por otro lado, la frecuencia de radios por milímetro lineal fue de 17/mm, lo que supera el máximo previamente reportado (2–14/mm), destacando como uno de los valores más altos observados. En cuanto al grosor de la pared de las fibras, un carácter poco explorado en *Lonchocarpus*, se había reportado únicamente para *L. lanceolatus* 4.20 µm (Romero *et al.*, 2022). El valor obtenido en *L. caudatus* (3.5 µm) aporta información relevante para ampliar el conocimiento de esta característica dentro del género. Los caracteres cualitativos observados en *L. caudatus* también coinciden en su mayoría con lo previamente descrito. La porosidad difusa registrada en esta especie ha sido documentada en *L. violaceus* y *L. lanceolatus* (Barajas-Morales y León, 1989; Silva *et al.*, 1989; Romero *et al.*, 2022).

Asimismo, el parénquima axial paratraqueal en bandas y confluyente característico del

género, mostró en *L. caudatus* una variación particular al presentarse como semi marginal unilateral, lo cual sugiere diversidad estructural dentro del grupo. Por último, la presencia de fibras libriformes, radios homogéneos con células procumbentes y cristales en el parénquima también estuvo presente, reafirmando patrones comunes en *Lonchocarpus*. Estos resultados no solo confirman la afinidad anatómica de *L. caudatus* con otras especies del género.

Para el género *Neltuma* se han estudiado anatómicamente 13 especies (Abundiz *et al.*, 2004; Barajas-Morales y León, 1989; Bolzón *et al.*, 2010; Bravo *et al.*, 2021; Carrillo *et al.*, 2013; Cozzo, 1951 Evans *et al.*, 2006; Giménez *et al.*, 2000; León, 2008; Ramírez-Martines *et al.*, 2017; Rodríguez *et al.*, 2015). La especie estudiada en este trabajo, *Neltuma laevigata*, presenta características anatómicas que, en su mayoría, se encuentran dentro de los rangos previamente reportados para el género. En lo que respecta a los caracteres cuantitativos, *N. laevigata* mostró una frecuencia de 11 vasos/mm<sup>2</sup>, en concordancia con el intervalo conocido de 7 a 50 vasos/mm<sup>2</sup>. La longitud de los vasos también se encuentra dentro del rango del género (154–863 µm). Sin embargo, esta especie presentó un diámetro de vaso de 75 µm, valor ligeramente inferior al mínimo previamente registrado (80 µm), lo cual sugiere una posible variación dentro de la misma especie. La pared de los vasos ha sido escasamente documentada, reportándose únicamente para *N. juliflora* con un grosor de 4 µm (Barajas-Morales y León, 1989); en este estudio, *N. laevigata* presentó un valor mayor, lo que contribuye al conocimiento de este carácter en el género. Respecto a los radios, el ancho registrado para *N. laevigata* fue de 27 µm, valor bajo en comparación con el intervalo documentado de 18 a 241 µm. La altura de los radios fue de 152 µm, el valor más bajo reportado hasta el momento dentro del género (rango previo: 184–389 µm). En cuanto a las punteaduras intervasculares, este carácter ha sido poco abordado, con datos disponibles solo para cinco especies (Bolzón *et al.*, 2010; León, 2008; Barajas- Morales y León, 1989). En dichas especies, los diámetros oscilan entre 5 y 9 µm, mientras que en *N. laevigata* se registró un valor de 3.2 µm, representando una disminución notable y una contribución novedosa a la caracterización del género.

En los aspectos cualitativos, las especies del género *Neltuma* se han caracterizado por su porosidad difusa o semi-anular, presencia de radios homogéneos tipo I–II, radios bi y triseriados (con uniseriados ausentes o escasos), parénquima axial muy abundante, fibras gelatinosas y libriformes, punteaduras alternas, gomas y cristales

en el parénquima (Bolzón *et al.*, 2010; Cozzo, 1951; Evans *et al.*, 2006; Giménez *et al.*, 2000; León, 2008; Rodríguez *et al.*, 2000; Rodríguez *et al.*, 2015; Barajas-Morales y León, 1989; Ramírez- Martínez *et al.*, 2017; Bravo *et al.*, 2021; Carrillo *et al.*, 2013). Estos resultados sugieren que *N. laevigata* se ajusta en términos generales a las tendencias anatómicas descritas para *Neltuma*, aunque presenta ciertos valores extremos o poco frecuentes que amplían los rangos conocidos para varios caracteres. El conocimiento anatómico del género *Senna* sigue siendo limitado, ya que únicamente se ha documentado una especie en la literatura: *Senna nitida*, descrita por León (2010). En este trabajo se amplía la información del género mediante la evaluación anatómica de *Senna wislizenii*, permitiendo una primera comparación interespecífica. Una diferencia significativa entre ambas especies se observa en el diámetro de los vasos, siendo de 189  $\mu\text{m}$  en *S. nitida* y de 90  $\mu\text{m}$  en *S. wislizenii*, lo que podría sugerir variabilidad estructural entre especies. No obstante, comparten valores similares en otros caracteres como la frecuencia de vasos (18 vasos/ $\text{mm}^2$ ), la frecuencia de radios (6 radios/ $\text{mm}$ ) y el diámetro del lumen de las punteaduras intervasculares (5–6  $\mu\text{m}$ ). Sin embargo, la caracterización anatómica de *S. nitida* por León (2010) fue parcial, ya que no incluyó parámetros como el grosor de la pared de los vasos, el lumen y grosor de las fibras, ni las dimensiones de los radios, lo que limita la posibilidad de una comparación integral entre especies. Ambas especies comparten características cualitativas comunes del género, tales como porosidad difusa, placas de perforación simples, punteaduras intervasculares alternas, fibras libriformes, radios homogéneos tipo I con células procumbentes y cristales en el parénquima. Sin embargo, presentan diferencias en el tipo de parénquima axial: *S. wislizenii* muestra parénquima paratraqueal vasicéntrico en bandas, mientras que *S. nitida* presenta parénquima paratraqueal aliforme de ala corta, confluyente y en bandas, además de depósitos de gomas en los vasos (León, 2010). Estas variaciones podrían tener implicaciones taxonómicas o ecológicas, y resaltan la necesidad de realizar estudios más amplios que incluyan otras especies del género.

El género *Vachellia* ha sido uno de los más estudiados en cuanto a su anatomía de la madera dentro de Fabaceae, con una considerable documentación sobre la variabilidad de sus caracteres cuantitativos y cualitativos. En general, las especies analizadas en el presente estudio se encuentran dentro de los rangos previamente reportados para diversos atributos anatómicos. Por ejemplo, se ha documentado una

frecuencia de vasos de 4 a 26 vasos/mm<sup>2</sup>, un diámetro de vaso de 66–182 µm, lumen de fibras de 10–17 µm, grosor de pared de fibras de 2–5 µm, longitud de vasos de 128–374 µm, longitud de fibras de 415–1254 µm, y frecuencia de radios de 2 a 8/mm (Quintanar *et al.*, 2005; Aguilar-Alcántara *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2016; Romero *et al.*, 2022). Las especies estudiadas se ajustan en su mayoría a estos valores, lo cual respalda la correspondencia morfo-anatómica dentro del género. No obstante, se observaron variaciones importantes en algunos caracteres, como el grosor de la pared de los vasos, donde las especies *Vachellia pennatula* y *V. bilimekii* presentaron valores de 6.11 µm y 9.21 µm respectivamente, superando ampliamente el rango reportado de 3–4 µm.

Asimismo, el lumen de las punteaduras intervasculares en ambas especies fue de 4.84 µm y 4.99 µm, por debajo del intervalo previamente registrado de 6–9 µm. En cuanto al ancho de los radios, *V. bilimekii* mostró un valor de 17 µm, ligeramente inferior al mínimo documentado de 20 µm; también presentó un valor de 171 µm para el largo de los radios, menor al mínimo reportado de 212 µm (Quintanar *et al.*, 2005). Estas diferencias pueden estar relacionadas con factores ecológicos. Solo se han reportado dos estudios anatómicos sobre *V. bilimekii* (Abundiz *et al.*, 2004; Quintanar *et al.*, 2005), donde se documentaron variaciones intraespecíficas en caracteres como el lumen de las fibras, el ancho y largo de los radios. Sin embargo, dicho estudio no incluyó datos sobre la frecuencia de radios por milímetro lineal, el lumen de las punteaduras intervasculares, ni el grosor de la pared de los vasos.

Respecto a los caracteres cualitativos, todas las especies estudiadas presentaron los rasgos típicos ya registrados para el género, como porosidad difusa, parénquima paratraqueal vasicéntrico, aliforme y confluyente, punteaduras intervasculares alternas, fibras libriformes, radios homogéneos y presencia de cristales en el parénquima (Cutler, 1969; Barajas-Morales y León, 1989; Cardoso, 1991, 2009; León, 2008; Quintanar *et al.*, 2005; Ramírez-Martínez *et al.*, 2017; Machuca-Velasco *et al.*, 2017; Rodríguez *et al.*, 2016; Romero *et al.*, 2022; Lewandrowski *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 1989). La coincidencia de estos caracteres con estudios previos refuerza la estabilidad diagnóstica de estos rasgos dentro del género. En conjunto, los resultados obtenidos confirman la utilidad de los caracteres anatómicos para la caracterización de especies dentro del género *Vachellia*, pero también evidencian la necesidad de estudios más amplios y sistemáticos que consideren un mayor número

de ejemplares e incluyan tanto caracteres tradicionales como aquellos poco explorados. Esto permitirá una mejor comprensión de la variabilidad intra e interespecífica, así como una interpretación más robusta de su valor taxonómico y ecológico.

**Relación entre las especies del Tentzo y sus congéneres.** Los agrupamientos obtenidos mediante análisis UPGMA reflejan una baja similitud anatómica entre especies de Fabaceae, lo que confirma una marcada variación de los caracteres dentro de la familia.

En el grupo A, las tres especies de *Neltuma* provenientes de matorrales xerófilos compartieron características como fibras gelatinosas y radios homogéneos, rasgos típicamente relacionados con la tolerancia al estrés hídrico (Carlquist, 1984). La exclusión de *N. laevigata*, que carece de fibras gelatinosas, y *N. vetulina*, con porosidad difusa, subraya la importancia de ciertos caracteres anatómicos en la determinación de los agrupamientos. Por otro lado, el subgrupo formado por *Mimosa aculeaticarpa* y *M. luisiana* mostró una coincidencia en vasos solitarios y radios homogéneos, a pesar de ocupar ambientes contrastantes (bosque mesófilo de montaña vs. matorral xerófilo), lo que sugiere la conservación de ciertos rasgos bajo diferentes condiciones ambientales.

El subgrupo D, integrado por *Vachellia*, *Senegalia* y *Conzattia*, compartió una similitud del 30% basada en radios homogéneos y parénquima paratraqueal, lo cual coincide con estudios previos (Gasson *et al.*, 2009). Sin embargo, la inclusión de *Conzattia multiflora*, recolectada en localidades geográficamente distantes (Morelos vs. Tentzo), indica que factores climáticos similares a los del BTC pueden inducir patrones anatómicos convergentes.

La separación de *Acaciella angustissima* entre localidades de Tentzo y bosque mesófilo sugiere que se requiere un mayor esfuerzo de muestreo y una heterogeneidad considerable en los caracteres utilizados. Además, se observó una notable variabilidad intraespecífica: en algunos ejemplares los autores omitieron rasgos relevantes como el grosor de las paredes de los vasos (*Conzattia*), la frecuencia de radios (*Vachellia*) o el lumen de punteaduras (*Senna*), dificultando comparaciones precisas (Quintanar *et al.*, 2005); de *Conzattia multiflora* mostraron hasta 400% de diferencia en densidad de vasos y 192% en diámetro de fibras en comparación con datos de la literatura, lo cual podría deberse a plasticidad fenotípica inducida por el ambiente.

Otro punto para destacar es el sesgo debido a la limitación de muestreo, este se acentuó más por la poca representación anatómica de ciertos géneros, por ejemplo: *Senna*, del cual solo cuenta con estudios anatómicos en *S. nitida* (León, 2010), mientras que *Conzattia* se limita a *C. multiflora* (Quintanar *et al.*, 2005). Esto impide detectar si diferencias como el parénquima apotraqueal en *S. wislizeni* son excepciones o patrones del género específico, también en el género *Lonchocarpus* a pesar de que se han documentado nueve especies de este género (Barajas-Morales y León, 1989; Silva *et al.*, 1989; León, 2005; Romero *et al.*, 2022). En estos trabajos se omitieron caracteres claves para su integración al análisis los cuales fueron: pared de los vasos, pared de las fibras y ancho de los radios, así también con el género *Caesalpinia* en el que se describen siete especies de las cuales, Barajas-Morales y León, 1989 no describen el ancho de los radios y Ramírez-Martínez *et al.*, 2017 no reportan el lumen de las punteaduras intervasculares. Por lo que al ser estos caracteres claves en el estudio de las plantas en general, se requiere un muestreo mayor y tomar en cuenta otros caracteres para complementar la información de los congéneres.

**Respuesta al déficit hídrico.** El patrón de adaptación a condiciones de sequía observado en Fabaceae coincide con lo reportado en otras familias (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2019, 2020, 2022, 2023; Hacke *et al.*, 2023), donde se documenta un ajuste funcional del xilema mediante la reducción del diámetro de los vasos, el incremento en su frecuencia o agrupación, y modificaciones en la estructura radial. En nuestro análisis, el largo de los radios presentó correlaciones negativas con variables climáticas como la precipitación, la temperatura media y la temperatura máxima, lo que sugiere que radios más cortos podrían representar una estrategia para optimizar la resistencia mecánica y reducir el riesgo de colapso bajo estrés hídrico o térmico (Kribs, 1935; Baretta-Kuipers, 1981; Abundiz *et al.*, 2004). La plasticidad observada en especies como *Conzattia multiflora*, con mayor variabilidad en el lumen de vasos y punteaduras, así como en *Vachellia bilimekii* y *V. pennatula*, con ajuste del ancho de radios y grosor de fibras ante temperaturas mínimas, refleja la capacidad de ciertas especies para responder a condiciones microclimáticas específicas.

El análisis Fourth-Corner evidenció asociaciones débiles entre la anatomía de la madera y las variables climáticas evaluadas, lo cual podría explicarse por la alta variabilidad dentro de la familia y también por la influencia de factores no

estrictamente climáticos. Además, la correlación canónica y la alta varianza explicada por los dos primeros ejes de ordenación (>83%) indican que, de manera integrada, los rasgos anatómicos sí responden a gradientes climáticos. Por otro lado, la temperatura máxima, la precipitación y la evapotranspiración mostraron influencia sobre el ancho y la longitud de radios, la densidad de vasos y el grosor de fibras, en concordancia con lo observado en otros estudios de anatomía ecológica en ambientes áridos y semiáridos (Martínez-Cabrera *et al.*, 2009; Montaña-Arias *et al.*, 2017; Andrés-Hernández *et al.*, 2023). Asimismo, el impacto de fenómenos climáticos, como se ha reportado en otros estudios, sobre la densidad y agrupación de vasos, confirma que la anatomía del xilema puede responder a variaciones interanuales en la disponibilidad hídrica.

**Posibles implicaciones para la conservación y el cambio climático.** La variabilidad interespecífica y la plasticidad anatómica observadas en estas especies de Fabaceae, sugieren que algunas poseen un mayor potencial adaptativo frente a escenarios de cambio climático. Aquellas con rasgos menos dependientes de la temperatura y la precipitación, como *Lonchocarpus caudatus*, *Leucaena leucocephala*, *Senna wislizeni* y *Caesalpinia pulcherrima*, podrían tener ventajas frente a condiciones climáticas más variables o extremas. Sin embargo, la tendencia general a reducir el largo y ancho de los radios en ambientes más secos podría implicar una pérdida de eficiencia hidráulica, lo que afectaría el crecimiento y la productividad en escenarios de sequías recurrentes. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de integrar la anatomía funcional de la madera en los planes de manejo y conservación, priorizando aquellas especies con mayor capacidad de ajuste hidráulico. Asimismo, considerar estos caracteres en la selección de especies para la restauración ecológica en zonas áridas y semiáridas podría aumentar la resistencia de las comunidades vegetales frente a la creciente variabilidad climática.

### **Conclusión**

Las especies analizadas en este estudio presentaron los caracteres anatómicos típicos de la familia Fabaceae, en concordancia con lo registrado previamente para el grupo. No obstante, se identificaron diferencias cualitativas y cuantitativas significativas entre ellas, que permiten refinar su caracterización anatómica. Estas variables posibilitaron, además, agrupar parcialmente las especies estudiadas con sus congéneres descritos en la literatura.

En las especies de Fabaceae del bosque tropical caducifolio (BTC) se reconocieron

adaptaciones morfoanatómicas en el xilema asociadas a condiciones de déficit hídrico, particularmente en el largo y ancho del parénquima radial, los cuales mostraron influencia de variables ambientales como temperatura y precipitación. Dichas características evidencian estrategias adaptativas que han evolucionado en respuesta a las condiciones particulares de su entorno.

Los resultados obtenidos enriquecen el conocimiento sobre la diversidad anatómica y la ecología funcional de Fabaceae, y aportan información relevante para la conservación, el manejo forestal y la selección de especies con mayor resiliencia frente a escenarios de cambio climático.

### **Literatura citada.**

Abundiz-Bonilla, L. A. M., Barajas-Morales, J., & Tenorio-Lezama, P. (2004). *Anatomía de maderas de México: Árboles y arbustos del matorral xerófilo de Tehuacán, Puebla* (Publicaciones especiales del Instituto de Biología (UNAM), 19, 1-97).

Aguilar-Alcántara, M., Aguilar-Rodríguez, S., & Terrazas, T. (2014). Anatomía de la madera de doce especies de un bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas, México. *Revista Madera y Bosques*, 20(3), 69-86. <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/153/204>

Andrade, G. M., Calderón de Rzedowski, G., Camargo-Ricalde, S. L., Grether, R., Hernández, H. M., Martines-Bernal, A., Rico, L., Rzedowski, J., & Sousa, M. S. (2007). Familia: Leguminosea: Subfamilia Mimosideae. *Flora del bajío y regiones adyacentes*, 150, 1-80. <https://doi.org/10.21829/fb.98.2007.150>

Andrés-Hernández, A. R., Luna-Vega, I., & Rodríguez-Ramírez, E. C. (2023). Functional traits and adaptive capacity of cloud forest *Ternstroemia* species in response to climatic variation. *Flora*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152383>

Andrés-Hernández, A. R., & Rodríguez-Ramírez, E. C. (2025). Does climatic variation drive the adjustment of functional traits? An assessment of Tropical Montane Cloud Forest tree species. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1555607. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1555607>

- Azani, N., Babineau, C. D., Baoley, H., Banks, A., Barbosa, R., Barbosa, J. S., & Boatwright, L. M. (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. *Taxon*, 66(1), 44-77.
- Baas, P. (1973). The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance. *Blumea: Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 21(2), 193–260.
- Barajas-Morales, J., & León Gómez, C. (1989). *Anatomía de maderas de México: especies de una selva baja caducifolia* (Publicaciones Especiales del Instituto de Biología). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Baretta-Kuipers, T. (1973). Some aspects of wood-anatomical research in the genus *Inga* (Mimosaceae) from the Guianas and especially Suriname. *Acta Botanica Neerlandica*, 22, 193-205. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1973.tb00832.x>
- Barretta-Kuipers, T. (1981). Wood anatomy of Leguminosae: its relevance to taxonomy. In R. M. Polhill & P. H. Raven (Eds.), *Advances in Legume Systematics* (pp. 677-707). Royal Botanic Gardens, Kew.
- Berlyn, G. P., & Miksche, J. P. (1976). *Botanical microtechnique and cytochemistry*. Iowa State University Press.
- Bolzón de Muniz, G. I., Nisgoski, S., & Lomelí-Ramírez, M. G. (2010). Anatomía y ultraestructura de la madera de tres especies de *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae) del Parque Chaqueño seco, Argentina. *Revista Madera y Bosques*, 16(4), 21-38. <https://doi.org/10.21829/myb.2010.1641158>
- Bravo, S., Bogino, S., Leiva, M., Lepiscopo, M., Cendoya, M. A., Kunst, C., & Biurrun, F. (2021). Wood anatomy, fire wounds and dendrochronological potential of *Prosopis pugionata* Burkar (Fabaceae) in arid Argentine Chaco. *IAWA Journal*, 42(2), 101–110. <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10031>
- Brown, S. L., Warwick, N. W. M., & Prychid, J. C. (2013). Does aridity influence the morphology, distribution and accumulation of calcium oxalate crystals in *Acacia* (Leguminosae: Mimosoideae)? *Plant Physiology and Biochemistry*, 73, 219-228. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.10.006>

- Brown, A., Warton, D., Andrew, N., Binns, M., & Cassis, G. (2014). The fourth-corner solution – using predictive models to understand how species traits interact with the environment. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 344–352. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12163>
- Camargo-Ricalde, S. L. (2000). Descripción, distribución, anatomía, composición química y usos de *Mimosa tenuiflora* (Fabaceae-Mimosoideae) en México. *Revista De Biología Tropical*, 48(4), 939–954. <https://doi.org/10.15517/rbt.v48i4.18985>
- Calderón de Rzedowski, G., & Rzedowski, J. (2001). Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Cardoso, M. J. N. (2009). Anatomía da madeira de *Acacia melanoxylon* R. Br. *Balduinia*, (18), 26–32. <https://doi.org/10.5902/2358198014084>
- Carlquist, S. (1984). Vessel grouping in dicotyledon wood: significance and relationship to imperforate tracheary elements. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*, 10(4), 505-525. <https://doi.org/10.5642/aliso.19841004.03>
- Carlquist, S. (1989). Adaptive wood anatomy of chaparral shrubs. *Natural History Museum of Los Angeles County Science Series*, 34, 25-35.
- Carlquist, S. (1989). Wood anatomy of *Cercidium* (Fabaceae), with emphasis on vessels wall sculpture. *Aliso*, 1(2). <https://doi.org/10.5642/aliso.19891202.02>
- Carrillo-Parra, A., Foroughbakhch-Pournavab, R., Bustamante-García, V., Sandoval-Torres, S., Garza-Ocañas, F., & Moreno-Limón, S. (2013). Differences of wood elements of *Prosopis laevigata* from two areas of northeast Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 56–60. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.45A009>
- Chehaibar, T., & Grether, R. (1990). Anatomía de la madera de algunas especies del género *Mimosa* (Leguminosae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 50, 3-17. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1374>
- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2024). Red de estaciones climatológicas. Puebla, México; Servicio meteorológico nacional (21045 Huehuetlán el grande). [https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales\\_Climatologicas/Normales\\_9120/pue/nor9120\\_21045.txt](https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Normales_9120/pue/nor9120_21045.txt)

CONABIO. (2024). Fabaceae. EncicloVida. <https://enciclovida.mx/especies/Fabaceae>

Cozzo, D. (1951). Anatomía del leño secundario de las leguminosas Mimosoideas y Caesalpinioideas Argentinas silvestres y cultivadas (Tomo II (2)). Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias Naturales.

Cutler, D. F. (1969). The vegetative anatomy of *Acacia albida* Del. *Kew Bulletin*, 23(2), 203-208. <http://www.jstor.org/stable/4108949>

De Micco, V., Wheeler, E., & Baas, P. (2016). Tyloses and gums: A review of structure, function and occurrence of vessel occlusions. *IAWA Journal*, 37(2), 186-205. <https://doi.org/10.1163/22941932-20160130>

Evans, J. A., Gasson, P. E., & Lewis, G. P. (2006). Wood anatomy of the Mimosoideae (Leguminosae). *IAWA Journal*. [http://www.iawa-website.org/uploads/soft/download/iawa\\_j\\_supplements/IAWA%20J.%20Suppl.5.%20Wood%20Anatomy%20Mimosoideae.pdf](http://www.iawa-website.org/uploads/soft/download/iawa_j_supplements/IAWA%20J.%20Suppl.5.%20Wood%20Anatomy%20Mimosoideae.pdf)

Fontana, C., Santini Junior, L., Américo da Silva, C., Morales Oliveira, J., Tomazello-Filho, J., & Cesar Botosso, P. (2019). Wood anatomy of the rare species *Dinizia jueiranafacao* (Fabaceae), "Tabuleiros" Atlantic Forest, Brazil. *Brazilian Journal of Botany*, 42, 521-528. <https://doi.org/10.1007/s40415-019-00553-y>

Franceschi, V. R., & Nakata, P. A. (2005). Calcium oxalate in plants: Formation and function. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 41-71. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144106>

Gasson, P., Warner, K., & Lewis, G. (2009). Wood anatomy of *Caesalpinia* s.s., *Coulteria*, *Erythrostemon*, *Guilandia*, *Libidibia*, *Mezoneuron*, *Poincianella*, *Pomaria* and *Tara* (Leguminosae, Caesalpinioideae, Caesalpinieae). *IAWA Journal*, 30(3), 247-276. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000218>

Giménez, A. M., Moglia, G., Hernández, P., & Bravo, S. (2000). Leño y corteza de *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. (Mimosaceae) en relación a algunas magnitudes dendrométricas. *Revista Forestal Venezolana*, 44(2), 29-37. <https://www.monografias.com/trabajos904/leno-corteza-dendrometricas/leno-corteza-dendrometricas>

Grether, R., Martínez-Bernal, A., Luckow, M., & Zarate, S. (2006). Mimosaceae en: Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Fascículo 44. Departamento de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. [http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras\\_tehuacan/F44.pdf](http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras_tehuacan/F44.pdf)

Gower, J. C. (1971). A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 27(4), 857–871. <https://www.jstor.org/stable/2528823>

Hacke, U. G., Jacobsen, A. L., & Pratt, B. R. (2023). Vessel diameter and vulnerability to drought-induced embolism: within-tissue and across-species patterns and the issue of survivorship bias. *IAWA Journal*, 44(3-4). <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10107>

IAWA Committee. (1989). List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, 10(3), 219-332. <https://www.iawawebsite.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20hardwood%20identification.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250000: serie IV. México. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#descargas>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal, Huehuetlán el Grande Puebla. <http://www.3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos>

Interián-Ku, V. M., Borja de la Rosa, M. A., Valdez-Hernández, J. I., García-Moya, E., Romero-Manzanares, A., & Vaquera-Huerta, H. (2011). Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en Dzan, Yucatán. *Madera y Bosques*, 17(1), 23-36. <https://doi.org/10.21829/myb.2011.1711152>

Jacobsen, A. L., & Brandon, P. (2023). Vessel diameter polymorphism determines vulnerability to embolism curve shape. *IAWA Journal*, 44(3-4). <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10115>

Johansen, D. A. (1940). Plant microtechniques. McGraw–Hill.

- Kribs, D. A. (1935). Salient lines of structural specialization in the wood rays in dicotyledons. *Botanical Gazette*, 96(3), 547-557. <https://www.jstor.org/stable/2471507>
- León, W. J. (2005). Anatomía ecológica del xilema secundario de un bosque seco tropical de Venezuela. *Acta Botánica Venezolana*, 28(2), 257-273.
- León, W. J. (2008). Anatomía de madera en 31 especies de la subfamilia Mimosoideae (Leguminosae) en Venezuela. *Colombia Forestal*, 11, 113-135. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2008.1.a08>
- León, W. J. (2010). Anatomía de la madera en 24 especies de lianas de la Reserva Forestal Imataca, Estado Bolívar, Venezuela. *Pittieria*, 36, 39-70.
- Lewandrowski, T., Koch, G., & Haag, V. (2022). Anatomical and topochemical features of the genera *Acacia*, *Acaciella*, *Senegalia* and *Vachellia*. *IAWA Journal*, 43(4), 353–371. <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10093>
- Lewis, G., Schrire, B., Mackinder, B., & Lock, M. (Eds.). (2005). Legumes of the world. *Royal Botanic Gardens, Kew*.
- Lewis, G. P., Schrire, B. D., Mackinder, B. A., Rico, L., & Clark, R. (2013). A 2013 linear sequence of legume genera set in a phylogenetic context: A tool for collections management and taxon sampling. *South African Journal of Botany*, 89, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.06.005>
- Machuca-Velasco, R., Borja de la Rosa, A., Corona-Ambriz, A., Zaragoza-Hernández, I., Arreola-Avila, J. G., & Jiménez-Machorro, J. (2017). Xylotecnica of the wood of *Acacia schaffneri* from the state of Hidalgo, México. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 19(3), 293-308. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000025>
- Maiti, R., & González-Rodríguez, H. (2016). A comparative wood anatomy of 15 woody species in north-eastern Mexico. *Forest Research*. <http://dx.doi.org/10.4172/2168-9776.1000166>
- Martínez-Cabrera, H. I., Jones, C. S., Espino, S., & Schenks, J. H. (2009). Wood anatomy and wood density in shrubs: responses to varying aridity along transcontinental transects. *American Journal of Botany*, 96(8), 1388-1398. <https://www.jstor.org/stable/27733473>

- Montaño-Arias, S. A., Camargo-Ricalde, S. L., & De La Paz Pérez-Olvera, C. (2013). Eco-anatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences*, 91(1), 1-10. <https://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v91n1/v91n1a1.pdf>
- Montaño-Arias, S. A., Camargo-Ricalde, S. L., & Grether, R. (2016). Anatomía de tres especies de *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae) distribuidas en México. *Maderas y Bosques*, 22, 191-202. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221486>
- Montaño-Arias, S. A., Camargo-Ricalde, S. L., Grether, R., & Díaz-Pontones, D. (2017). Eco-anatomía de la madera de dos taxa mexicanas del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Acta Botánica Mexicana*, 105-120. <https://doi.org/10.21829/abm118.2017.1203>
- Morón, M. A., Aragón, A., Tapia-Rojas, A. M., & Rojas-García, R. (2000). Coleoptera lamellicornia de la Sierra del Tentzo, Puebla, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 79, 77-102. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0065-17372000000100007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372000000100007&lng=es&tlng=es)
- Moyotl, A. A. (2014). Uso y determinación de siete especies arbóreas maderables, de uso energético, en Santo Domingo Huehuetlán El Grande, Puebla, México (Tesis de licenciatura). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://hdl.handle.net/20500.12371/6763>
- Mundotiya, A. (2016). Anatomy of family Mimosoideae from different geographical areas. *International Research Journal of Biological Sciences*, 5(3), 1-10.
- Nejapa, R., & Pace, M. R. (2023). Wood and bark anatomy of the charismatic *Wisteria vines* (Leguminosae). *IAWA Journal*, 44(2), 253-265. <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10117>
- Palacio, F., Apodaca, M., & Crisci, J. (2020). Análisis multivariado para datos biológicos: Teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R (ed. 268). <https://fundacionazara.org.ar/img/libros/analisis-multivariado-para-datos-biologicos/analisis-multivariado-para-datos-biologicos.pdf>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*

Discussions, *European Geosciences Union*, 4(2), 439-473.  
<https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

Periódico Oficial del Estado (POE). (2011). Declaratoria del Tentzo, 12(432), 2.  
[https://conahcyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema\\_nacional/documentos/ANPL/Pue/POE-Declaratoria-Tentzo.pdf](https://conahcyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema_nacional/documentos/ANPL/Pue/POE-Declaratoria-Tentzo.pdf)

Pulido-Rodríguez, E. N., Durley, M., & Lozano, D. I. (2011). Anatomía xilemática de Caesalpiniaceae registradas en la xiloteca de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Colombia Forestal*, 14(2).  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-07392011000200003&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392011000200003&lng=en&tlng=es)

Quintanar-Isaías, A., Velázquez, N. M., Solares, I. A. F., Pérez-Olvera, C., & Torre-Blanco, A. (2005). Secondary stem anatomy and uses of four drought-deciduous species of tropical dry forest in México. *Biología Tropical*, 53(1-2).  
<https://doi.org/10.15517/rbt.v53i1-2.14297>

Ramanantsialonina, R. N., Cramer, S., Sandratriniaina, N. A., Wiemann, M. C., Hermanson, J. C., Rakouth, B., & Ravaomanalina, B. H. (2022). Comparative wood anatomy of 16 Malagasy *Dalbergia* species (Fabaceae) using multivariate techniques. *IAWA Journal*, 44(2), 225-252. <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10105>

Ramírez-Martínez, M., Terrazas, T., & Aguilar-Rodríguez, J. G. (2017). Anatomía de la madera de especies de la selva baja caducifolia de Tamaulipas, México. *Revista Maderas y Bosques*, 23(2), 21-41. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321126>

Rebollar-Domínguez, S., & Quintanar-Isaías, A. (1998). Anatomía y usos de la madera de ocho especies tropicales de Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical*, 46(4), 1047-1057.

Rebollar-Domínguez, S., Pérez-Olvera, C., & Quintanar-Isaías, A. (1996). Anatomía de la madera de ocho especies de la selva mediana subperennifolia de Quintana Roo, México. *Biología Tropical*, 44(3), 67-77.  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/21836>

Rodríguez-Acosta, A. M., Villaseñor, J. L., Coombes, A. J., & Cerón, A. B. (2014). Flora del estado de Puebla, México. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Rodríguez, H., Maiti, R., Kumari, A., & Sarkar, N. (2016). Variability in wood density and wood fibre characterization of woody species and their possible utility in northeastern Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 7, 1139-1150. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.77109>

Rodríguez Anda, R., Ramírez Arango, A. M., Palacios Juárez, H., Fuentes Talavera, F. J., Silva Guzmán, J. A., & Saucedo Corona, A. R. (2015). Características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera de mezquite (*Prosopis velutina* Wooton). *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 6(28), 156–173. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i28.257>

Rodríguez-Ramírez, E. C., Terrazas, T., & Luna-Vega, I. (2019). The influence of climate on the masting behavior of Mexican beech: growth rings and xylem anatomy. *Trees*, 33, 23–35. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1755-3>

Rodríguez-Ramírez, E. C., Vázquez-García, J. A., García-González, I., Alcántara-Ayala, O., & Luna-Vega, I. (2020). Drought effects on the plasticity in vessel traits of two endemic Magnolia species in the tropical montane cloud forests of eastern Mexico. *Journal of Plant Ecology*, 13, 331-340. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtaa019>

Rodríguez-Ramírez, E. C., Ferrero, M. E., Acevedo-Vega, I., et al. (2022). Plastic adjustments in xylem vessel traits to drought events in three *Cedrela* species from Peruvian Tropical Andean forests. *Scientific Reports*, 12, 21112. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25645-w>

Rodríguez-Ramírez, E. C., Crispín-DelaCruz, D. B., Morales, M. S., Ticse-Otarola, G. A., Ames-Martínez, F. N., Guerra, A., Alves-Ferreira, C., & Requena-Rojas, E. J. (2023). Exploring monsoon precipitation signal in the Peruvian tropical montane cloud forest: Andean Walnut wood anatomy plasticity. *IAWA Journal*, 0, 1-19. <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10132>

Romero, E., Terrazas, T., González, E. J., & Meave, J. A. (2022). Wood anatomy of 13 species from a successional tropical dry forest: description and ecological implications. *IAWA Journal*, 43(4), 372-402. <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10104>

Ruiz-Valencia, J. A., Andrés-Hernández, A. R., & Terrazas, T. (2022). Anatomía de la madera de especies de la Sierra del Tentzo, Puebla. *Acta Botánica Mexicana*, 129. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2076>

Rzedowski, J. (2006). Bosque tropical caducifolio. En *Vegetación de México* (Vol. 1, p. 504). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxC12.pdf>

Sass, J. E. (1958). *Botanical microtechnique*. Iowa State College Press.

SEINet. (2024). SEINet Arizona – New Mexico Chapter. Recuperado el 5 de enero de 2024, de <https://swbiodiversity.org/seinet/index.php>

SMADOTs. (2011). Estudio previo justificativo para la declaratoria de la Reserva Estatal “Sierra Del Tentzo”. Secretaría de Sustentabilidad Ambiental y Ordenamiento Territorial.

[https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Estudio\\_Previo\\_Justificativo\\_Tentzo.pdf](https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Estudio_Previo_Justificativo_Tentzo.pdf)

Šmilauer, P., & Lepš, J. (2014). Multivariate analysis of ecological data using CANOCO 5 (2nd ed.). *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139627061>

Silva, A., Blanco, C., & Lindorf, H. (1989). Anatomía de la madera de nueve leguminosas de Venezuela. *Acta Botanica Brasileña*, 2(1), 115-134. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061988000300011>

Sun, Q., Rost, T. L., & Matthews, M. A. (2008). Wound-induced vascular occlusions in *Vitis vinifera* (Vitaceae): tyloses in summer and gels in winter. *American Journal of Botany*, 95(12), 1498–1505. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800061>

Vazquez-Morales, C. S. (2018). Anatomía de la madera de Fabaceae de la Sierra del Tentzo (Tesis de licenciatura). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/4b544c5e-c56b-48f1-a95e-ddd57a3eea>

Villaseñor, J. L. (2003). Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*, 28(3), 160-167. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33907806>

Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559–902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

Villaseñor, J. L., & Ortiz, E. (2025). Comparación de la riqueza florística entre los estados de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 96, enero. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2025.96.5505>

Warwick, N. W., Hailey, L., Clarke, K. L., & Gasson, P. E. (2017). Climate trends in the wood anatomy of *Acacia sensu stricto* (Leguminosae: Mimosoideae). *Annals of Botany*, 119, 1249–1266. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx019>

Whinder, F., Clark, K. L., Warwick, N. W. M., & Gasson, P. E. (2013). Structural diversity of the wood of temperate species of *Acacia* s.s. (Leguminosae: Mimosoideae). *Australian Journal of Botany*, 61, 291-301. <http://dx.doi.org/10.1071/BT13053>

**Anexo 1.** Caracteres cuantitativos y cualitativos de las especies y congéneres. Vxmm<sup>2</sup>=Vasos por milímetro cuadrado, LuVa=Lumen del vaso, LuFi=Lumen de fibra, PaFi=Pared de fibra, AR=Ancho del radio, LR= Largo radio, PUN=Lumen de Punteaduras, PUN=Lumen de las punteaduras, Ag=Arreglo de los vasos, TAN= hileras tangenciales, SOL=Solitarios, Pun=Punteaduras intervasculares, ALT= Alternas, ALTOR=Alternas ornamentadas, Rad= radios, HET=heterogéneos, Celrad=células de radio, P=procumbentes, PYC=procumbentes y cuadráticas, Fib=fibras, SEP=septadas, LIB=libriformes, LIBGEL=libriformes y gelatinosas, Cont=Contenidos, NO=no hay, CRIS=cristales, GOM=gomas, TIL\_CRIS=tíldes y cristales, GOM\_CRIS=gomas y cristales, Parban=Parénquima en banda, B=en bandas, NB=sin bandas, Parax=parénquima axial, PAR=paratraqueal, PAR\_AP=paratraqueal y apotraqueal, Paren=Parénquima, ALCON=aliforme y confluyente, CON=confluyente, VAC=vacicéntrico, SEM=semi marginal y VACAL=vacicéntrico y aliforme

Especie	Porosidad	Vxm m2	LuVa	LuFi	PaFi	Anc ho	Larg o	Pun t	Ag	Pun	Rad	Celrad	Fib	Carfif	Parban	Parax	Paren
<i>Leucaena leucocephala</i>	D	10.9	69.27	5.26	3.03	31.1	263.92	4.73	TAN	ALT	HO M	P	LIB	NO	B	PAR	CON
<i>Senna wizliseni</i>	D	18.51	90.19	5.33	2.33	22.39	211.6	5.92	TAN	ALT	HET	PYC	LIB	GOM_CRIS	NB	PAR_AP	VAC
<i>Vachellia bilimeki 1</i>	D	11.44	91.85	5.89	3.17	17.68	171.33	5	TAN	ALT	HET	PYC	LIB	CRIS	B	PAR	CON
<i>Lonchocarpus caudatus</i>	D	8.72	83.5	5.92	3.59	23.35	123.06	5.66	TAN	ALT	HET	PYC	LIB	TIL_CRIS	B	PAR	SEM
<i>Vachellia pennatula</i>	D	9.69	105.28	5.96	5.03	41.49	334.18	4.85	SOL	ALT	HO M	P	LIB	TIL_CRIS	NB	PAR	VAC
<i>Neltuma laevigata</i>	SA	11.51	74.48	6	2.46	27.78	152.23	3.24	SOL	ALT	HET	PYC	LIB	CRIS	NB	PAR	CON
<i>Senegalia subangulata</i>	SA	15	58.91	7.03	3.8	39.25	281.42	6.19	TAN	ALT	HO M	P	LIB	CRIS	NB	PAR	VAC
<i>Neltumanigra</i>	SA	4.43	149.7	7.63	2.74	63.17	389.34	5.47	SOL	ALT	HO M	P	LIBGEL	NO	NB	PAR_AP	ALCON
<i>Neltuma alba</i>	SA	6	120.5	7.74	2.57	47.1	346.33	6.71	SOL	ALT	HO M	P	LIBGEL	NO	B	PAR	CON
<i>Neltuma vinallilo</i>	SA	8.2	98.08	8.91	2.25	45	239.23	5.92	SOL	ALTOR	HO M	P	LIBGEL	GOM_CRIS	B	PAR	ALCON
<i>Conzattia multiflora 1</i>	D	8.4	131.32	12.36	2.56	22.52	196.88	11.21	SOL	ALT	HO M	P	LIB	CRIS	NB	PAR	VACAL
<i>Neltuma vetunia</i>	D	11	188	12.8	4.3	63	346	6.24	TAN	ALT	HO M	P	LIB	NO	B	PAR_AP	ALCON

<i>Senegalia nitidifolia</i>	D	26.8	130.5	13.5	3.5	39.25	281.42	8.8	SOLYTAN	ALTOR	HOM	P	SEP	NO	NB	PAR	ALCON
<i>Vachellia schaffneri</i>	D	21	124	15.03	5	48.2	284	6.24	SOLYTAN	ALT	HOM	P	LIB	GOM_CRIS	B	PAR	ALCON
<i>Acaciella angustisima</i>	SA	7.23	128	16	3	39.25	524	7	SOL	ALT	HET	PYC	SEP	NO	B	PAR	ALCON
<i>Vachellia melanoxylon</i>	D	5	115	17	2.3	20	212	7	SOL	ALTOR	HOM	P	LIB	NO	B	PAR_AP	VAC
<i>Vachellia bilimeki</i>	D	5	144	17	5	88	431	6.24	SOLYTAN	ALT	HOM	P	LIB	NO	NB	PAR	VAC
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	D	2.2	156.81	20.13	2.93	20.32	156.6	6.46	TAN	ALT	HOM	P	LIB	CRIS	B	PAR	CON
<i>Conzattia multiflora</i>	D	2	230	35	4	18	278	6.24	SOL	ALT	HOM	P	LIB	GOM	NB	PAR	VAC
<i>Acaciella angustisima 1</i>	SA	4.65	40.20	6.40	3.66	20.40	153.93	2.93	TAN	OPU	HOM	p	LIB	TAN_CRIS	NB	PAR	VAC
<i>Eysenhardtia punctata</i>	SA	35.00	34.35	3.11	2.64	12.00	98.36	4.10	TAN	ALTOR	HOM	P	LIB	GOM	NB	PAR	VAC
<i>Mimosa lacerata 1</i>	SA	18.70	74.86	4.85	3.33	20.10	84.25	4.89	TAN	ALT	HOM	P	LIB	GOM_CRIS	NB	PAR	VACON
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	A	19.00	106.00	7.83	5.83	17.87	236.67	2.76	SOL	ALT	HOM	P	LIB	CRIS	B	PAR_AP	ALCON
<i>Mimosa luisiana</i>	D	35.50	50.30	6.00	5.00	19.20	107.67	3.73	SOL	ALT	HOM	P	LIB	CRIS	B	PAR_AP	VALCON
<i>Mimosa arenosa</i>	D	36.50	69.03	6.70	5.13	20.87	133.67	3.40	TAN	ALTOR	HOM	P	LIB	CRIS	NB	PAR	ALCON
<i>Mimosa lacerata</i>	A	9.98	82.63	7.00	5.30	24.33	145.80	3.43	TAN	ALTOR	HOM	P	LIB	CRIS	NB	PAR_AP	VAC
<i>Mimosa polyantha</i>	D	32.12	67.40	7.77	5.00	17.40	84.53	3.63	TAN	ALTOR	HOM	P	LIB	CRIS	NB	PAR	VACAL

**Anexo 2.** Caracteres cuantitativos de las especies y congéneres. Vxmm<sup>2</sup> =Vasos por milímetro cuadrado, DV=Diametro del vaso, LV=Lumen de la fibra, Pi=Punteaduras intervasculares, PV= pared Vaso, Long F= Longitud de las fibras, Lufi= Lumen de la fibra, Pafi=Pared de la fibra, AR=Altura del radio, LR= largo radio, PUN=Lumen de Punteaduras.

Autor y año	Especie	Vxmm2	LuVa	LuFi	PaFi	Ancho	Largo	Punt	temp °C	prec mm	TempMAX	TempMIN
Aguilar-Alcántara et al. (2014)	<i>Acaciella angustissima</i>	7.23	128.0 0	16.0 0	3.0 0	39.25	524.0 0	7.00	17.5 0	2187.2 0	22.80	13.80
Quintanar et al. (2005)	<i>Conzattia multiflora</i>	2.00	230.0 0	35.0 0	4.0 0	18.00	278.0 0	6.24	26.0 0	55.00	33.20	14.60
Vázquez-Morales	<i>Conzattia multiflora 1</i>	8.47	131.3 2	12.3 6	2.5 6	22.52	196.8 8	11.2 1	22.5 0	681.90	30.00	14.40
Vázquez-Morales	<i>Lonchocarpus caudatus</i>	8.72	83.50	5.92	3.5 9	23.35	123.0 6	5.66	22.5 0	681.90	30.00	14.40
Bolzón et al. (2010)	<i>Neltuma alba</i>	6.00	120.5 0	7.74	2.5 7	47.10	346.3 3	6.71	22.0 0	600.00	40.00	0.00
Vazquez-Morales	<i>Neltuma laevigata</i>	11.51	74.48	6.00	2.4 6	27.78	152.2 3	3.24	22.5 0	681.90	30.00	14.40
Rodríguez et al. (2015)	<i>Neltuma vetunia</i>	11.00	188.0 0	12.8 0	4.3 0	63.00	346.0 0	6.24	23.0 0	300.00	32.10	11.70
Bolzón et al. (2010)	<i>Neltuma vinalillo</i>	8.20	98.08	8.91	2.2 5	45.00	239.2 3	5.92	22.0 0	600.00	40.00	0.00
Bolzón et al. (2010)	<i>Neltumanigra</i>	4.43	149.7 0	7.63	2.7 4	63.17	389.3 4	5.47	22.0 0	600.00	40.00	0.00
Vazquez-Morales (2018)	<i>Senegalia subangulata</i>	15.00	58.91	7.03	3.8 0	39.25	281.4 2	6.19	22.5 0	681.90	30.00	14.40
Vazquez-Morales	<i>Senna wizliseni</i>	18.51	90.19	5.33	2.3 3	22.39	211.6 0	5.92	22.5 0	681.90	30.00	14.40
Quintanar et al. (2005)	<i>Vachellia bilimeki</i>	5.00	144.0 0	17.0 0	5.0 0	88.00	431.0 0	6.24	26.0 0	55.00	33.20	14.60

Vazquez-Morales	<i>Vachellia bilimeki</i>	11.44	91.85	5.89	3.1 7	17.68	171.3 3	5.00	22.5 0	681.90	30.00	14.40
Cardoso (2009)	<i>Vachellia melanoxyton</i>	5.00	115.0 0	17.0 0	2.3 0	20.00	212.0 0	7.00	21.1 0	400.60	27.00	11.00
Cardoso (1991)	<i>Senegalia nitidifolia</i>	26.80	130.5 0	13.5 0	3.5 0	39.25	281.4 2	8.80	21.1 0	400.60	27.00	11.00
Vazquez-Morales	<i>Vachellia pennatula</i>	9.69	105.2 8	5.96	5.0 3	41.49	334.1 8	4.85	22.5 0	681.90	30.00	14.40
Machuca-Velasco et al. (2017)	<i>Vachellia schaffnari</i>	21.00	124.0 0	15.0 3	5.0 0	48.20	284.0 0	6.24	16.0 0	557.00	24.60	7.60
Vazquez Morales	<i>Leucaena leucocephala</i>	10.90	69.27	5.26	3.0 3	31.10	263.9 2	4.73	22.5 0	681.90	30.00	14.40
Vazquez Morales	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	2.20	156.8 1	20.1 3	2.9 3	20.32	156.6 0	6.46	22.5 0	681.90	30.00	14.40
Vazquez Morales	<i>Acaciella angustissima</i> 1	4.65	40.20	6.40	3.6 6	20.40	153.9 3	2.93	22.4 0	681.90	30.00	14.40
Vazquez Morales	<i>Eysenhardtia punctata</i>	35.00	34.35	3.11	2.6 4	12.00	98.36	4.10	22.4 0	681.90	30.00	14.40
Vazquez Morales	<i>Mimosa lacerata</i> 1	18.70	74.86	4.85	3.3 3	20.10	84.25	4.89	22.4 0	681.90	30.00	14.40
Montaño-Arias (2017)	<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	19.00	106.0 0	7.83	5.8 3	17.87	236.6 7	2.76	17.9 0	955.00	28.90	15.00
Montaño-Arias (2017)	<i>Mimosa luisiana</i>	35.50	50.30	6.00	5.0 0	19.20	107.6 7	3.73	23.8 0	440.60	32.40	18.30
Montaño-Arias (2016)	<i>Mimosa arenosa</i>	36.50	69.03	6.70	5.1 3	20.87	133.6 7	3.40	27.8 0	910.00	33.40	22.30
Montaño-Arias (2016)	<i>Mimosa lacerata</i>	9.98	82.63	7.00	5.3 0	24.33	145.8 0	3.43	18.0 0	473.80	26.00	9.90

Montaño-Arias (2016)	<i>Mimosa polyantha</i>	32.12	67.40	7.77	5.0	17.40	84.53	3.63	18.0	473.80	26.00	9.90
-------------------------	-----------------------------	-------	-------	------	-----	-------	-------	------	------	--------	-------	------