

ANATOMÍA DE LA MADERA DE 32 ESPECIES DE UN MATORRAL EN LA SIERRA DE JUÁREZ, CHIHUAHUA, MÉXICO Y SU COMPARACIÓN CON DOS MATORRALES XERÓFILOS

SHEILA DE LA TORRE¹, MONSERRAT VÁZQUEZ-SÁNCHEZ¹,
 COYOLXAUHQUI FIGUEROA², TERESA TERRAZAS^{3*}

¹ Colegio de Postgraduados, Programa de Posgrado en Botánica. Montecillo, Estado de México, México.

² Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Herbario UACJ, Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Instituto de Ciencias Biomédicas. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

³ Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Ciudad de México, México.

*Autor de correspondencia: terrazas@ib.unam.mx

Resumen

Antecedentes: La madera de especies de zonas áridas se caracteriza por la porosidad anular, vasos agrupados, traqueidas y fibras de paredes gruesas que permiten a las especies responder a las presiones ambientales.

Hipótesis: Las especies del matorral presentarán características anatómicas de la madera asociadas con el ambiente árido, como se ha descrito para otros matorrales similares.

Especies de estudio: Treinta y dos especies pertenecientes a 23 familias.

Sitio y años de estudio: Sierra de Juárez, Chihuahua, México. 2020-2024.

Métodos: Se recolectaron muestras de tres individuos por especie y procesaron con la microtecnia convencional para madera. Un análisis de conglomerado permitió reconocer grupos por su similitud.

Resultados: Se describe por primera vez la madera de 15 especies. Predominaron la presencia anillos de crecimiento, porosidad anular, fibras de paredes gruesas y radios heterocelulares. El análisis de conglomerado indicó que los caracteres cuantitativos de los radios son relevantes para agrupar a las especies y probablemente estos radios compensan la escasa presencia de parénquima axial. *Juniperus osteosperma* fue la única gimnosperma que se distingue por su madera con traqueidas y radios uniseriados cortos.

Conclusiones: A pesar de la diversidad taxonómica, las características anatómicas de la madera que se comparten entre especies, se interpretan como convergencias anatómicas asociadas con el ambiente o el hábito. Las maderas de la Sierra de Juárez muestran mayor similitud con los matorrales de California en Estados Unidos que con los de Tehuacán, Puebla, México.

Palabras clave: Arbustos, fibrotraqueidas, porosidad anular, xilema secundario.

Abstract

Background: The wood of species that grow in arid zones is characterized by ring porosity, grouped vessels, tracheids, and thick-walled fibers that allow species to respond to environmental pressures.

Hypotheses: The woody species of the shrubland in Sierra de Juárez will exhibit anatomical wood characteristics associated with the xeromorphic environment. Thus, we described their wood traits and compared with those reported in two other shrublands.

Studied species: Thirty-two species belonging to 23 families.

Study site and dates: Sierra de Juárez, Chihuahua, Mexico. 2020-2024

Methods: Samples were collected from three individuals per species and processed using conventional wood microtechnique. A cluster analysis allowed for the identification of groups based on their similarity.

Results: Fifteen species were described in their wood for the first time. The presence of growth rings, ring porosity, thick-walled fibers, and heterocellular rays predominated. The cluster analysis indicated that the quantitative characteristics of the rays are important to group species and probably these rays compensate the scarce axial parenchyma. *Juniperus osteosperma* was the only gymnosperm that distinguished itself by its wood with tracheids and short uniseriate rays.

Conclusions: The anatomical characteristics of the wood shared by the species despite their taxonomic diversity are interpreted as anatomical convergences associated with the environment or habit. The woods of the Sierra de Juárez show greater similarity to the California shrublands in the United States than to those of Tehuacán, Puebla, Mexico.

Keywords: Fibertracheids, ring-porosity, secondary xylem, shrubs.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



El Desierto Chihuahuense es considerado como la región árida con mayor diversidad florística en el norte de México (Balleza & Villaseñor 2011). Rzedowski (1978) lo describió como un centro valioso para la comprensión de la flora mexicana, debido a los diversos factores que lo conforman, considerando que en las plantas que lo habitan se han registrado modificaciones anatómicas como succulencia, cubiertas protectoras con diversos tricomas o ceras y estomas hundidos, así como reducción foliar y cambios estacionales en la inclinación de la hoja, entre otras; que se han interpretado como soluciones evolutivas (Rzedowski 1968, Whittaker 1975, Nobel 1977, Gibson 2012). En las áreas desérticas se registran floras taxonómicamente diversas, que podría indicar que cada una se derivó de antepasados diferentes. Las características mencionadas anteriormente podrían considerarse convergencias evolutivas por adaptación a ambientes similares (Terrazas 1999, Fichtler & Worbes 2012, Gibson 2012, Oskolski & Akinlabi 2023). Por ello, el estudio de la madera en zonas desérticas permite comprender como las especies responden a las presiones hidráulicas negativas y altas temperaturas (Webber 1936, Carlquist 1975, Olson & Rosell 2013).

Algunos autores han asociado caracteres anatómicos de la madera como respuesta a la aridez; por ejemplo, anillos de crecimiento marcados, vasos agrupados con diámetros reducidos, elementos de vaso con engrosamientos helicoidales, presencia de traqueidas vasculares (Carlquist & Hoekman 1985), fibras medianas (900 a 1,600 μm) y radios bajos (Abundiz *et al.* 2004). Baas & Carlquist (1985) compararon la anatomía de la madera de la flora del sur de California e Israel y encontraron ligeras similitudes en los diámetros de vaso e incidencia de traqueidas, que atribuyeron a las diferencias en la composición florística de cada sitio. La comparación de los rasgos de la anatomía de la madera de ambientes áridos en México con una flora diversa podría revelar convergencias a este ambiente.

El estudio de la anatomía de la madera de las especies en la Sierra de Juárez ubicada en el Desierto Chihuahuense (México), permitirá comprender la diversidad estructural y cómo dichos caracteres confieren a las especies la capacidad de prosperar en estos ambientes extremos a partir del uso eficiente de los recursos disponibles. Se espera que estas especies presenten todos o algunos de caracteres de la madera antes mencionados que han sido asociados con ambientes áridos. Por lo que el objetivo de este estudio fue describir la anatomía de la madera de 32 especies leñosas del matorral xerófilo de la Sierra de Juárez y comparar los rasgos anatómicos de la madera con los presentes en otros dos sitios con un tipo de vegetación similar.

Materiales y métodos

La Sierra de Juárez se localiza al poniente del municipio de Ciudad Juárez, Chihuahua (31° 42' 8.73" N, 106° 30' 19.48" O) en el Desierto Chihuahuense (Figura 1). La altitud oscila de 1,000 a 1,900 m snm y cuenta con una extensión de 12,930 hectáreas. El clima de la región es árido-cálido (BWh, Köppen) con una precipitación media anual de 250 mm concentrados en los meses de julio a septiembre y un ligero aporte de nieve (< 40 mm) en invierno; con temperaturas extremas que oscilan entre los -10 y los 46 °C (IMIP 2010).

Se seleccionaron únicamente especies leñosas en etapa reproductiva, de las cuales 30 fueron arbustos y dos sufrutices, *Castilleja lanata* A.Gray y *Physaria purpurea* (A.Gray) O'Kane & Al-Shehbaz (Tabla 1); ubicadas entre los 1,300 hasta los 1,700 m snm. Se registró la altura del individuo y la fenología de la hoja de acuerdo con Cavender-Bares *et al.* (2004) como caducifolia, siempre verde, semicaducifolia, se agregó la categoría de efimera. Se tomaron muestras de tres individuos por especie con una sierra manual. Para cada individuo se obtuvo un trozo de madera de 3 a 5 cm incluyendo la corteza, a una distancia de 5 a 8 cm del suelo para arbustos y para los sufrutices por arriba del cuello de la raíz. Todas las muestras se fijaron en formalina-ácido acético glacial-alcohol etílico (Ruzin 1999) de 24 a 72 hr y se ablandaron en glicerina-alcohol etílico-agua (1:1:1) hasta su procesamiento. Se obtuvieron secciones de 20 μm con un micrótopo de deslizamiento American Optical (Model 860) en los planos transversal, tangencial y radial. La mitad de los cortes se aclararon con hipoclorito de sodio comercial al 50 %. Todos los cortes se sometieron a una deshidratación gradual de alcoholes (50-100 %), se realizó tinción safranina/verde rápido y montaron con resina sintética. Los disociados se obtuvieron con solución de Jeffrey (Johansen 1940) a partir de astillas de madera que se removieron cercanas a cambium vascular. No se realizaron pruebas histoquímicas, los depósitos orgánicos se

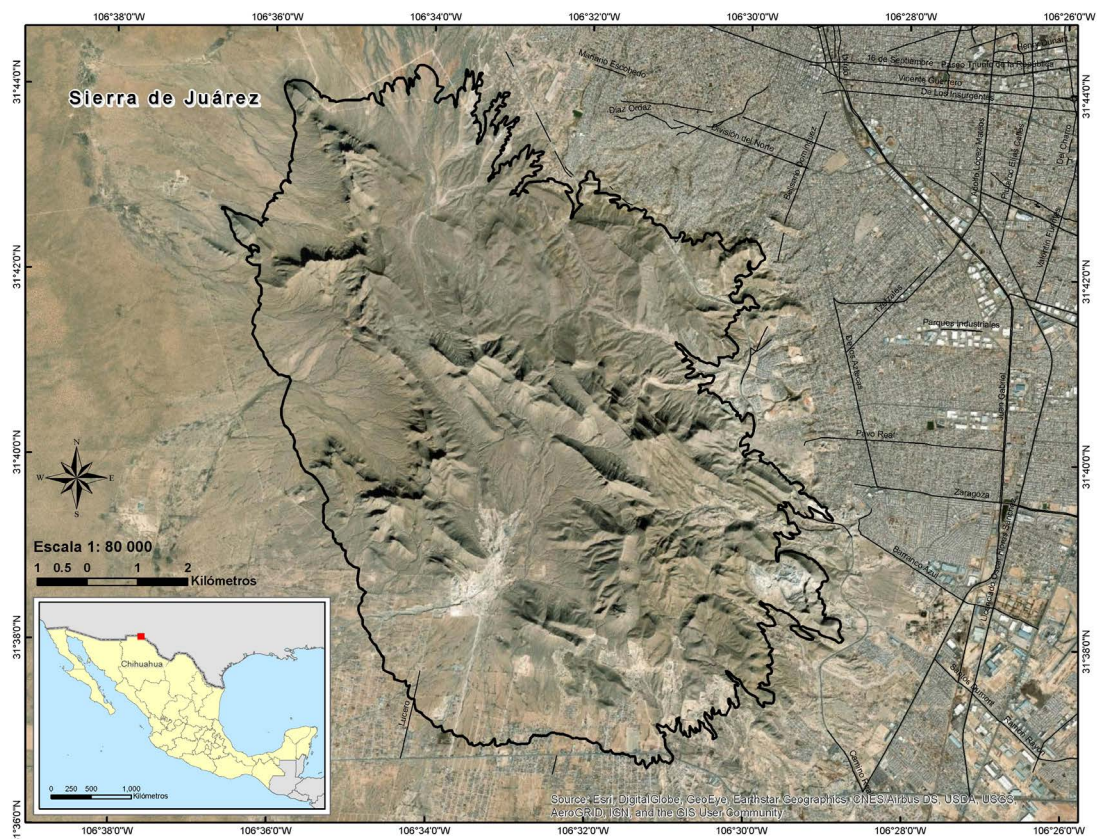


Figura 1. Mapa de la Sierra de Juárez. Carta topográfica 250,000 (INEGI 2023). Marco geoestadístico, INEGI 2021. Mapa elaborado en la Unidad de Cartografía Digital, ICB-UACJ.

Tabla 1. Se listan las especies recolectadas en la Sierra de Juárez, Chihuahua en orden alfabético por familia. Las especies descritas por primera vez se indican con + y las sufrútices con *. Se presentan el acrónimo (Acr), la fenología de la hoja (Feho) [ca = caducifolias, e = efímeras, sc = semicaducifolia, sv = siempre verde] y la altura promedio de los tres individuos colectados.

Especie	Acr	Feho	Altura cm	Especie	Acr	Feho	Altura cm
Cupressaceae				Fagaceae			
<i>Juniperus osteosperma</i> (Torr.)	Juos	sv	380	<i>Quercus pungens</i> Liebm.	Qupu+	ca	127
Ephedraceae				Fouquieriaceae			
<i>Ephedra aspera</i> Engelm. ex S.Watson	Epas	e	55	<i>Fouquieria splendens</i> Engelm.	Fosp	ca	227
<i>Ephedra trifurca</i> Torr. ex S.Watson	Eptr	e	65	Hydrangeaceae			
Anacardiaceae				<i>Fendlera rupicola</i> Engelm. & A.Gray	Feru	sv	115
<i>Rhus aromatica</i> Aiton	Rhar	ca	130	Koeberliniaceae			
<i>Rhus microphylla</i> Engelm.	Rhmi	ca	103	<i>Koeberlinia spinosa</i> Zucc.	Kosp	e	42
<i>Rhus virens</i> Lindh. ex A. Gray	Rhvi	sv	147	Krameriaceae			
Asteraceae				<i>Krameria erecta</i> Willd.	Krer	ca	30

Especie	Acr	Feho	Altura cm	Especie	Acr	Feho	Altura cm
<i>Ageratina wrightii</i> (A.Gray) R.M.King & H.Rob.	Agwr+	sc	40	Lamiaceae			
<i>Flourensia cernua</i> DC.	Ffce+	sc	90	<i>Salvia pinguifolia</i> (Fernald) Wooton & Standl.	Sapi+	sv	40
<i>Parthenium incanum</i> Kunth	Pain	sv	42	Malvaceae			
<i>Sidneya tenuifolia</i> (A.Gray) E.E.Schill. & Panero	Site+	sv	50	<i>Ayenia microphylla</i> A.Gray	Aymi+	ca	38
Bignoniaceae				Orobanchaceae			
<i>Chilopsis linearis</i> (Cav.) Sweet	Chli	ca	180	<i>Castilleja lanata</i> A.Gray	Cala+*	sv	25
Boraginaceae				Rosaceae			
<i>Tiquilia greggii</i> (Torr. & A.Gray) A.T.Richardson	Tigr+	ca	40	<i>Cercocarpus breviflorus</i> A.Gray	Cebr+	sc	85
Brassicaceae				<i>Fallugia paradoxa</i> (D.Don ex Tillich & Taylor) Endl. ex Torr.	Fapa	sc	83
<i>Physaria purpurea</i> (A. Gray) O’Kane & Al-Shehbaz	Phpu+*	sv	21	Rutaceae			
Cactaceae				<i>Ptelea trifoliata</i> L.	Pttr	ca	88
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i> (DC.) F.M.Knuth	Cyle+	e	34	Solanaceae			
Crossosomataceae				<i>Lycium berlandieri</i> Dunal	Lybe+	ca	72
<i>Glossopetalon spinescens</i> A.Gray	Glsp	sv	37	Verbenaceae			
Fabaceae				<i>Aloysia wrightii</i> A.Heller	Alwr+	ca	58
<i>Mimosa zygophylla</i> Benth.	Mizy+	ca	76	Zygophyllaceae			
<i>Neltuma glandulosa</i> (Torr.) Britton & Rose	Negl	ca	150	<i>Larrea tridentata</i> (DC.) Coville	Latr	sv	70
<i>Vachellia constricta</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Vaco+	ca	117				

asignaron de acuerdo con literatura previa para cada grupo taxonómico y por su color. Para los depósitos inorgánicos, cristales de oxalato de calcio, se asignaron sus formas al revisar con luz polarizada (IAWA Committee 1989). Las descripciones se basaron en las propuestas de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA Committee 1989, 2004) y de Carlquist (1989) para Ephedraceae. Se cuantificaron por individuo por especie 25 mediciones o conteos para los caracteres de vasos (frecuencia, diámetro de madera temprana y tardía, grosor de pared de madera temprana y tardía, longitud del elemento), traqueidas, fibras (diámetro, grosor de pared, longitud) y radios (alto y ancho). Las mediciones se realizaron utilizando el software libre ImageJ v. 1.45s, (Rasband 2012). Además, se determinó el índice de vulnerabilidad ($iv = \text{diámetro de vaso/frecuencia de vasos}$) y de mesomorfía ($im = iv \times \text{longitud de elemento de vaso}$) propuestos por Carlquist (1977) y se asignó el grosor de la fibra ($2 \text{ grosor de pared/diámetro total} \times 100$) de acuerdo Ramírez-Martínez *et al.* (2017). Para cada especie se calculó la media y desviación estándar. Se realizó un análisis de conglomerado basado en el coeficiente de distancia Euclidiana, una técnica multivariante, para evaluar que caracteres cuantitativos indican similitud entre las especies que permiten la formación de grupos. Los análisis se llevaron a cabo en R Core Team (2024).

Adicionalmente, se compararon los resultados cualitativos de este trabajo con los de Abundiz *et al.* (2004) para un matorral xerófilo en Tehuacán, Puebla y los de Carlquist & Hoekman (1985) para el matorral de California, USA.

También se llevó a cabo una comparación de los rasgos encontrados en las maderas de la Sierra de Juárez con lo registrado en la literatura para las especies, el género y la familia.

Resultados

A partir del análisis de la madera de las 32 especies estudiadas ([Tabla 1](#)) se presenta una síntesis de las características de la madera. En el material suplementario se dan las descripciones para cada especie ([Material suplementario 1](#)) y en la [tabla 1](#) se indica las 15 que se describen por primera vez (+). En el material suplementario [Tablas S1-S6](#) ([Material suplementario 2](#)) se presentan de manera sintética los caracteres cuantitativos y cualitativos por especie y en las [figuras 2-5](#) se muestran características de la madera.

De las especies estudiadas incluyendo a *Juniperus* ([Figura 2A](#)), el 81 % presentó anillos de crecimiento marcados y en el 19 % fueron inconspicuos. En Eudicotiledóneas y Ephedraceae predominó la porosidad anular (81 % spp., [Figura 2B, F, H-K, N-Q](#)), seguido por semi-anular (16 %, [Figura 2G, L, M](#)) y difusa solo en *Castilleja lanata* A.Gray ([Figura 2R](#)). Los anillos de crecimiento se reconocieron por diferencias en el diámetro de los vasos de la madera temprana y tardía o bien por las fibras de diámetro radial reducido; además por parénquima marginal en *Rhus aromatica* Aiton, *Chilopsis linearis* (Cav.) Sweet y *Larrea tridentata* (DC.) Coville.

En el 52 % de las especies los vasos se presentaron agrupados, mientras que en el 48 % solitarios ([Material suplementario 2, Tabla S1](#)). Solo en cinco especies los vasos tuvieron un arreglo distintivo; radial en *Rhus microphylla* Engelm., *Fouquieria splendens* Engelm. y *Castilleja lanata* y dendrítico en *Rhus aromatica* y *Lycium berlandieri* Dunal ([Figura 2U](#)). El 34 % de las especies presentaron depósitos en el lumen de los vasos como gomo-resinas en *Rhus virens* Lindh. ex A.Gray, *Neltuma glandulosa* (Torr.) Britton & Rose, *Fendlera rupicola* Engelm. & A.Gray ([Figura 5F](#)), *Ayenia microphylla* A.Gray y *Ageratina wrightii* A.Heller ([Figura 5B](#)), depósitos oscuros en *Juniperus ostenosperma* (Torr.) Little ([Figura 5A](#)), *Flourensia cernua* DC. y *Parthenium incanum* Kunth y tilides en *Aloysia wrightii*, *Chilopsis linearis* y *Quercus pungens* Liebm. ([Figura 5E](#)) ([Material suplementario 2, Tabla S1](#)).

La mayor frecuencia de vasos la tuvo *Physaria purpurea* (A.Gray) O’Kane & Al-Shehbaz (317 vasos/mm²) y la menor *Neltuma glandulosa* (70 vasos/mm²). El diámetro tangencial de los vasos de la madera temprana fluctuó de 68 µm en *Quercus pungens* hasta 13 µm en *Glossopetalon spinecens* A.Gray, con pared de 6 µm en *Sidneya tenuifolia* (A.Gray) E.E.Schill. & Panero a 1.5 µm en *Koeberlinia spinosa* Zucc. Para los vasos de la madera tardía el diámetro tangencial más amplio fue de *Chilopsis linearis* (40 µm) y el más angosto de *Glossopetalon spinecens* (8 µm), con pared de 5 µm en *Sidneya tenuifolia* a 1 µm en *Koeberlinia spinosa*. La longitud de los elementos de vaso varió en la media de 486 µm en *Ephedra aspera* Engelm. ex S.Watson a 63 µm en *Physaria purpurea* ([Material suplementario 2, Tabla S2](#)), con placas de perforación simple excepto en Ephedraceae con placa de tipo foraminada de 1 a 2 series y en *Fendlera rupicola* escalariforme ([Figura 4A-C](#)); las punteaduras intervasculares generalmente fueron alternas ([Figura 4D](#)), opuestas en *Aloysia wrightii*, *Fallugia paradoxa* (D.Don ex Tillich & Taylor) Endl. ex Torr ([Figura 4E](#)), *Glossopetalon spinecens* y *Neltuma glandulosa*, alternas a opuestas en *Lycium berlandieri* y *Larrea tridentata* y pseudoescalariformes en *Physaria purpurea* ([Figura 4F](#)); las punteaduras radio-vaso fueron simples en el 32 % de las especies, areoladas en el 46 % y en el 22 % semiareoladas ([Figura 4G-I](#)). El 58 % de las especies presentaron traqueidas vasculares o vasicéntricas ([Material suplementario 2, Tabla S3](#)). Se observaron engrosamientos helicoidales tanto en elementos de vaso como traqueidas vasculares y vasicéntricas en el 23 % de las especies. Solo en *Rhus virens*, *Flourensia cernua*, *Parthenium incanum* y *Sidneya tenuifolia* se observaron depósitos en traqueidas ([Material suplementario 2, Tabla S3](#)). El índice de vulnerabilidad fue menor a 1 en todas las especies analizadas, con una madera segura por redundancia de vasos, mientras que el índice de mesomorfia fue menor a 200 y se clasifican como especies xeromorfas.

Las fibras únicamente se presentaron en las Eudicotiledóneas y las dos especies de Ephedra; fueron predominantemente libriformes, seguidas de fibrotraqueidas. En *Physaria purpurea* las fibras libriformes se presentaron como parches en la matriz de parénquima y varias especies tuvieron gelatinosas ([Material suplementario 2, Tabla S3](#)). El 63 % de las especies presentó paredes gruesas y el resto muy gruesas ([Material suplementario 2, Tabla S4](#)). La longitud de fibras promedio fue de 770 µm en *Vachellia constricta* (Benth.) Seigler & Ebinger hasta 184 µm en *Aloysia wrightii* ([Material suplementario 2, Tabla S4](#)).

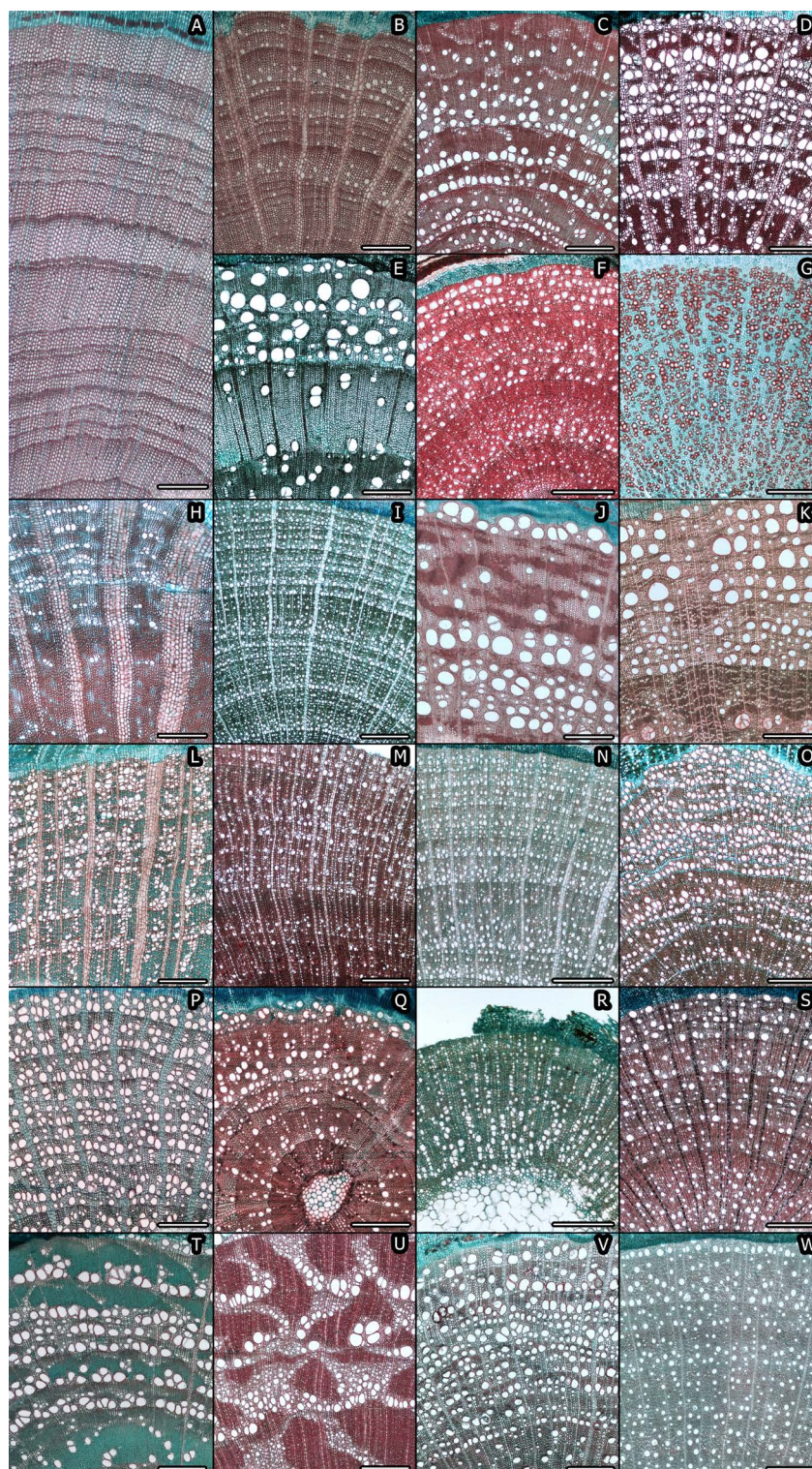


Figura 2. Característica de la madera, en sección transversal, mostrando anillos de crecimiento, tipo de porosidad y arreglo de los vasos. A. *Juniperus osteosperma*. B. *Ephedra trifurca*. C. *Rhus aromatica*. D. *Sidneya tenuifolia*. E. *Chilopsis linearis*. F. *Tiquilia greggi*. G. *Physaria purpurea*. H. *Cylindropuntia leptocaulis*. I. *Glossopetalon spinescens*. J. *Neltuma glandulosa*. K. *Quercus pungens*. L. *Fouquieria splendens*. M. *Fendlera rupicola*. N. *Koeberlinia spinosa*. O. *Krameria erecta*. P. *Salvia pinguifolia*. Q. *Ayenia microphylla*. R. *Castilleja lanata*. S. *Fallugia paradoxa*. T. *Ptelea trifoliata*. U. *Lycium berlandieri*. V. *Aloysia wrightii*. W. *Larrea tridentata*. La barra es 300 μ m en A-W.

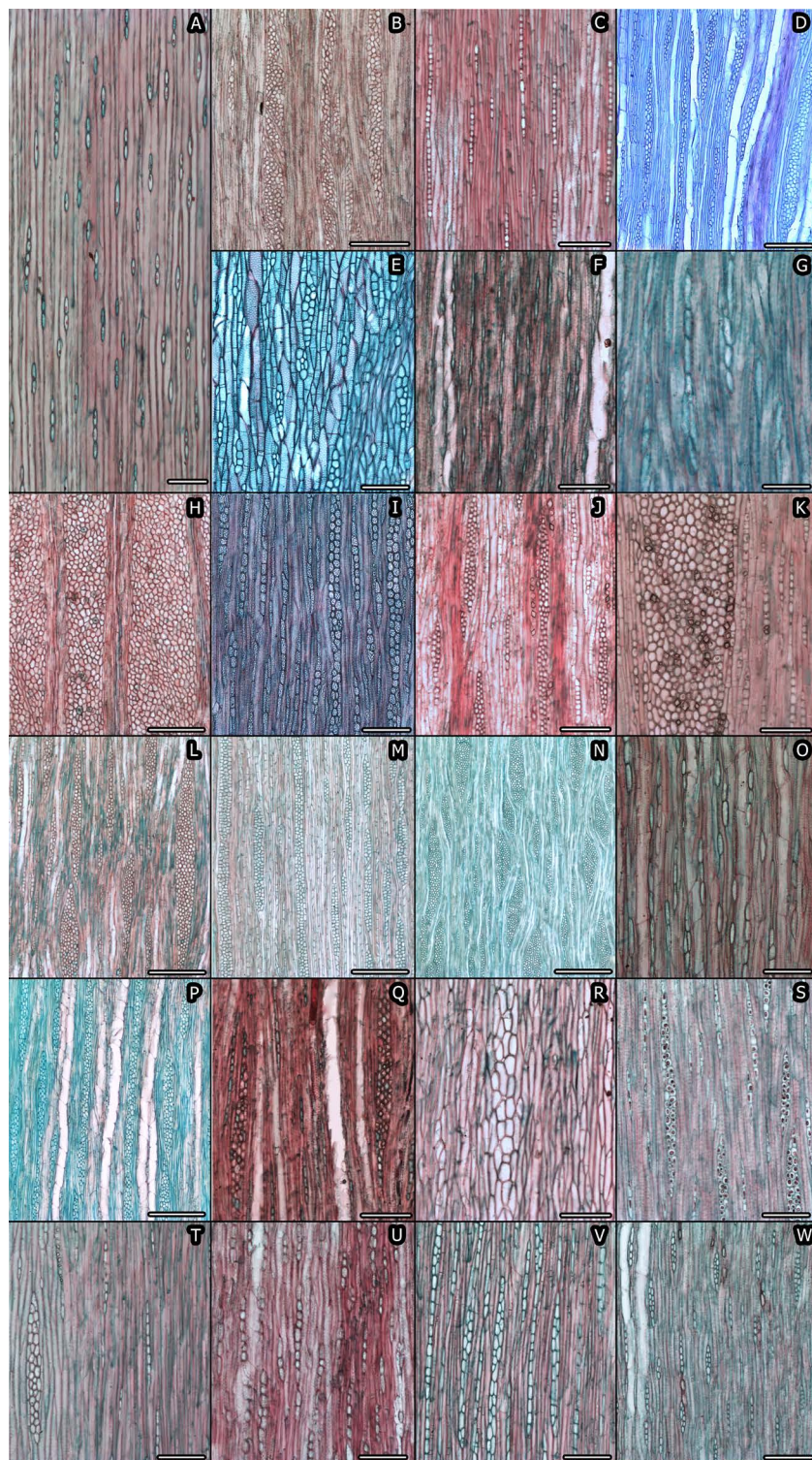


Figura 3. Característica de la madera, en sección tangencial, mostrando los radios. A. *Juniperus osteosperma*. B. *Ephedra trifurca*. C. *Rhus aromatica*. D. *Sidneya tenuifolia*. E. *Chilopsis linearis*. F. *Tiqulia greggi*. G. *Physaria purpurea*. H. *Cyindropuntia leptocaulis*. I. *Glossopetalon spinescens*. J. *Neluma glandulosa*. K. *Quercus pungens*. L. *Fouquieria splendens*. M. *Fendlera rupicola*. N. *Koeberlinia spinosa*. O. *Krameria erecta*. P. *Salvia pinguifolia*. Q. *Ayenia microphylla*. R. *Castilleja lanata*. S. *Fallugia paradoxa*. T. *Ptelea trifoliata*. U. *Lycium berlandieri*. V. *Aloysia wrightii*. W. *Larrea tridentata*. La barra es 300 µm en B, D, H, L-N, P; 100 µm en A, C, E, F, I-K, O, Q-W; 50 µm en G.

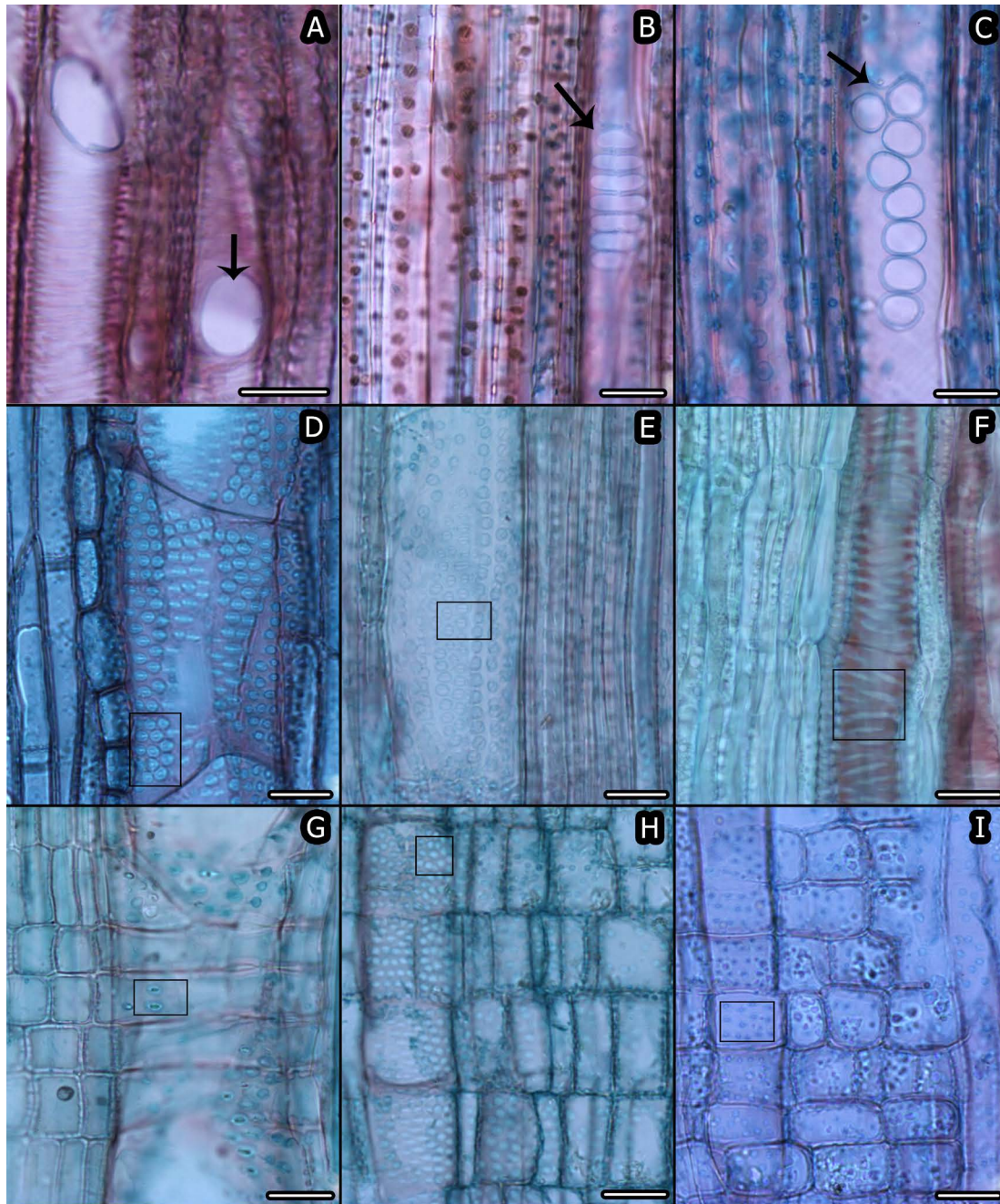


Figura 4. Detalles de las placas de perforación (pp), punteaduras intervasculares (pi) y punteaduras radio-vaso (pr-v) de la madera de algunas especies de la Sierra de Juárez. A. *Sidneya tenuifolia*, pp simple (flecha , CTa). B. *Fendlera rupicola*, pp escalariforme (flecha) y fibrotraqueidas, CTa. C. *Ephedra aspera*, pp foraminada de 1 a 2 series (flecha , CTa). D. *Chilopsis linearis*, pi alternas (recuadro), CR. E. *Fallugia paradoxa*, pi opuestas (recuadro), CTa. F. *Physaria purpurea*, pi pseudoescalariforme (recuadro), CTa. G. *Rhus aromatica*, pr-v semirebordeadas (recuadro), CR. H. *Salvia pinguifolia*, pr-v rebordeadas (recuadro), CR. I. *Glossopetalon spinecens*, pr-v simples (recuadro), CR. Barra es 20 µm en A-I. CTa = sección tangencial, CR = sección radial.

El parénquima axial fue variable en términos de abundancia y posición. Por ejemplo, en *Juniperus* solo hubo parénquima difuso; ausente en *Cylindropuntia leptocaulis* (DC.) F.M.Knuth o bien formó más del 90 % de la madera en *Physaria purpurea*. El paratraqueal escaso y vasicéntrico predominó (69 %) seguido del apotraqueal difuso y en agregados (Tabla S5); únicamente *Krameria erecta* Willd. presentó parénquima no lignificado (Figura 5G) y *Larrea*

tridentata estratificado (Figura 5K). El 59 % de las especies presentaron depósitos inorgánicos como cristales (prismas, areniscas) y depósitos orgánicos oscuros y granos de almidón (Material suplementario 2, Tabla S5).

Los radios comúnmente fueron heterocelulares (84 %) y el resto homocelulares (Material suplementario 2, Tabla S6). Los radios exclusivamente uniseriados se registraron en *Juniperus* (Figura 3A), multiseriados como en *Cylindropuntia leptocaulis* (Figura 3H) o dimorfos como en *Quercus pungens* (Figura 3K). Los radios > 1,500 µm de alto estuvieron en *Fallugia paradoxa* y *Cylindropuntia leptocaulis* y hasta 48 µm de alto en *Juniperus*. La anchura de los radios varió de 8 µm en *Tiquilia greggi* (Torr. & A.Gray) A.T.Richardson hasta 175 µm en *Cylindropuntia leptocaulis* (Material suplementario 2, Tabla S6). El 72 % de las especies presentaron depósitos inorgánicos en los radios (Material suplementario 2, Tabla S5) y fueron cristales prismáticos en las especies de *Rhus*, *Ayenia microphylla*, *Koeberlinia spinosa*, *Larrea tridentata* (Figura 5J) y *Quercus pungens*; prismáticos tipo “cámara” en fabáceas (Figura 5D); drusas en *Cylindropuntia leptocaulis* (Figura 5C); areniscas en *Lycium berlandieri* (Figura 5I) y esferulitos *Krameria erecta*; además de depósitos oscuros en rosáceas (Figura 5H) y *Sidneya tenuifolia*.

Agrupación de especies. En el análisis de conglomerado, con base en los caracteres cuantitativos de la madera de las 32 especies analizadas, se recuperaron dos grupos (Figura 6). En el primero, con siete taxones, se encuentran las especies que presentaron la altura de radios mayor de 800 µm. El segundo grupo deja fuera a *Juniperus* por su anatomía única en el matorral. Este segundo grupo se subdivide en dos, excluyendo a *Fouquieria splendens* ya que el alto de sus radios fue mayor a 700 µm y menor a 800 µm y *Physaria purpurea* que presentó radios uniseriados exclusivamente con células erectas; el primer subgrupo tuvo una altura de radios intermedia, de 450 a 650 µm y el segundo subgrupo una altura de radios menor, de 150 a 300 µm. Con excepción de las dos especies de *Ephedra*, las otras especies que pertenecen a la misma familia como Anacardiaceae, Asteraceae, Fabaceae y Rosaceae no se agruparon.

Discusión

Todas las especies mostraron las características típicas de la familia a la cual pertenecen (Metcalf & Chalk 1950, Henrickson 1972, Gibson 1977, Michener 1983, Zhang 1992, Carlquist 1989, 2000, 2005, Pace *et al.* 2022), que se discuten más adelante. A pesar de la diversidad taxonómica analizada, las especies comparten en este matorral y con otros dos matorrales, anillos de crecimiento marcados, porosidad anular, fibras de paredes gruesas a muy gruesas y radios heterocelulares, mientras que la altura de los radios resultó ser el carácter cuantitativo más relevante para la agrupación de especies en la Sierra de Juárez. No hay caracteres cuantitativos que separen a las especies de la misma familia como grupos definidos.

Comparaciones de la madera por grupo taxonómico. *Juniperus osteosperma* (Cupressaceae) compartió la transición abrupta entre madera temprana y tardía, radios homocelulares exclusivamente uniseriados y campos de cruce tipo crupresoide con otras especies de *Juniperus* y específicamente el parénquima axial abundante con *J. cedrus* Webb & Berthel y *J. brevifolia* (Seub.) Antoine (De Palacios *et al.* 2014).

Ambas especies de *Ephedra* (Ephedraceae) tuvieron porosidad anular, placas de perforación foraminada, presencia de fibrotraqueidas, traqueidas y radios multiseriados, pero no presentaron engrosamientos helicoidales como señala Carlquist (1989) para *E. trifurca* Torr. ex S.Watson y *E. aspera*. Tampoco se observaron cristales registrados por Carlquist (1989) en los radios de *E. trifurca*. Ese mismo autor indica que los caracteres cuantitativos delimitan mejor las especies de *Ephedra*; sin embargo, *E. aspera* y *E. trifurca* no mostraron diferencias cuantitativas marcadas, pero se separaron por presentar parénquima paratraqueal escaso y unilateral respectivamente.

Las tres especies de *Rhus* (Anacardiaceae) compartieron la porosidad anular, vasos agrupados, engrosamientos helicoidales en madera tardía, fibras libriformes no septadas, presencia de traqueidas vasculares y cristales prismáticos en radios. Se considera que la porosidad anular es un carácter que distingue al género *Rhus*, mientras que la presencia de canales resiníferos en radios puede ser variable (Young 1974). Gupta & Agarwal (2008) asocian especies deciduas de *Rhus* con la presencia de estos canales. Sin embargo, se trata de un carácter plesiomórfico, al igual

que las fibras septadas en la familia, por lo que su ausencia debe interpretarse como un carácter derivado (Terrazas 1999). Las características cuantitativas de la madera de *Rhus* difieren de lo reportado por Abundiz *et al.* (2004) y se encuentran entre los intervalos registrados por Terrazas (1999) para la longitud de elementos de vaso y fibras. El índice de mesomorfia para las especies de *Rhus* fue menor a 200, indicando que se trata de especies xeromórficas a diferencia de las siete especies de *Rhus* con distribución en India, clasificadas como maderas mésicas (Gupta & Agarwal 2008).

Las cuatro especies de Asteraceae presentaron porosidad anular, traqueidas vasculares, fibras libriformes y depósitos en el parénquima axial. Estos caracteres pueden o no estar presentes en otros miembros de la familia (Carlquist 1966). Solo *Flourensia cernua* presentó engrosamientos helicoidales y *Sidneya tenuifolia* fue la única con fibrotraqueidas. *Nahuatlea purpusii* (Brandege) V.A.Funk comparte la porosidad anular, vasos agrupados, parénquima paratraqueal escaso, radios heterocelulares y fibras libriformes (Abundiz *et al.* 2004, Sandoval-García *et al.* 2023) con las especies aquí estudiadas. Delbón *et al.* (2021) incluyen en su estudio a *F. thurifera* DC. y la anatomía de su madera es muy similar a *F. cernua* excepto en el diámetro de las fibras. Mehta (1982) reporta para *Parthenium incanum* diámetro de vasos ligeramente mayor, además de la presencia de engrosamientos helicoidales, fibrotraqueidas y depósitos en radios, ausentes en los individuos de esta especie muestreados en la Sierra de Juárez.

Chilopsis linearis es un género monotípico de Bignoniaceae que presentó porosidad anular, vasos solitarios y radios heterocelulares. Pace *et al.* (2015) reportan para *C. linearis* menor frecuencia de vasos, valores mayores en diámetros de vasos, alto y ancho de radios; porosidad semi-anular, presencia de engrosamientos helicoidales, fibras septadas y radios tanto homocelulares como heterocelulares que contrasta con las observaciones de este trabajo. Algunas de las sinapomorfias (parénquima paratraqueal escaso, presencia de tílides y punteaduras radio-vaso semi-rebordeadas) encontradas por estos autores para *C. linearis* fueron confirmadas en este trabajo. Las tílides también se han registrado en otros géneros de Bignoniaceae (Metcalf & Chalk 1950).

Tiquilia greggii compartió con otros miembros de Boraginaceae la porosidad anular, vasos agrupados, placas de perforación simple y punteaduras intervasculares alternas (Metcalf & Chalk 1950, Riedl 1997); así como los radios homocelulares con *Antrophora williamsii* I.J. Johnston y *Lepidocordia punctata* Ducke (Gottwald 1982) y las traqueidas vasculares con *Bourreria purpusii* Brandege (Barajas-Morales 1981).

Physaria purpurea (Brassicaceae) presentó caracteres distintivos al resto de las especies analizadas en este matorral, como fueron las punteaduras intervasculares pseudoescalariformes y el parénquima que forma la matriz donde los vasos y algunos grupos de fibras se encuentran inmersos. Dickison (1990) menciona que en algunas especies las punteaduras pseudoescalariformes podrían representar un carácter ancestral conservado. Otros autores señalan que es difícil encontrarlo en plantas del desierto (Giménez *et al.* 2005), por lo que este carácter resalta en el matorral de la Sierra de Juárez. Adicionalmente, los radios por estar constituidos exclusivamente por células erectas, se interpretaron como paedomórficos, uno de los rasgos que Carlquist (1962) toma en cuenta para denominar a una madera paedomórfica. Lens *et al.* (2012) han sugerido que diversos factores en *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh como el recorte de flores o cambios en el fotoperiodo pueden estimular la inactivación de los genes SOC1 y FUL, que podrían desencadenar la formación de madera, como podría estar ocurriendo en *Physaria purpurea*. También asocian un mutante de esta misma especie con la ausencia de radios y concluyen que en Brassicaceae las características paedomórficas son comunes.

Cylindropuntia leptocaulis (Cactaceae) mostró porosidad anular como se ha registrado para otras especies de *Cylindropuntia* (Gibson 1977). No se observó una transición de madera no fibrosa a madera fibrosa reportada en algunas especies de *Opuntia* (Gibson 1997, 1978). Los radios altos y anchos con regiones no lignificadas también se han reportado para otros géneros de la familia (Metcalf & Chalk 1950, Gibson 1973, 1977, Vázquez-Sánchez *et al.* 2017) y posiblemente favorecen el almacenamiento de fotosintatos y agua en compensación por la ausencia del parénquima axial. Las drusas en los radios de *C. leptocaulis* también se han registrado en los géneros de la familia (Metcalf & Chalk 1950).

Glossopetalon spinescens (Crossosomataceae) presentó vasos solitarios, placas de perforación simple, parénquima paratraqueal escaso y fibrotraqueidas, distintivos de la familia (Metcalf & Chalk 1950). Para otros géneros

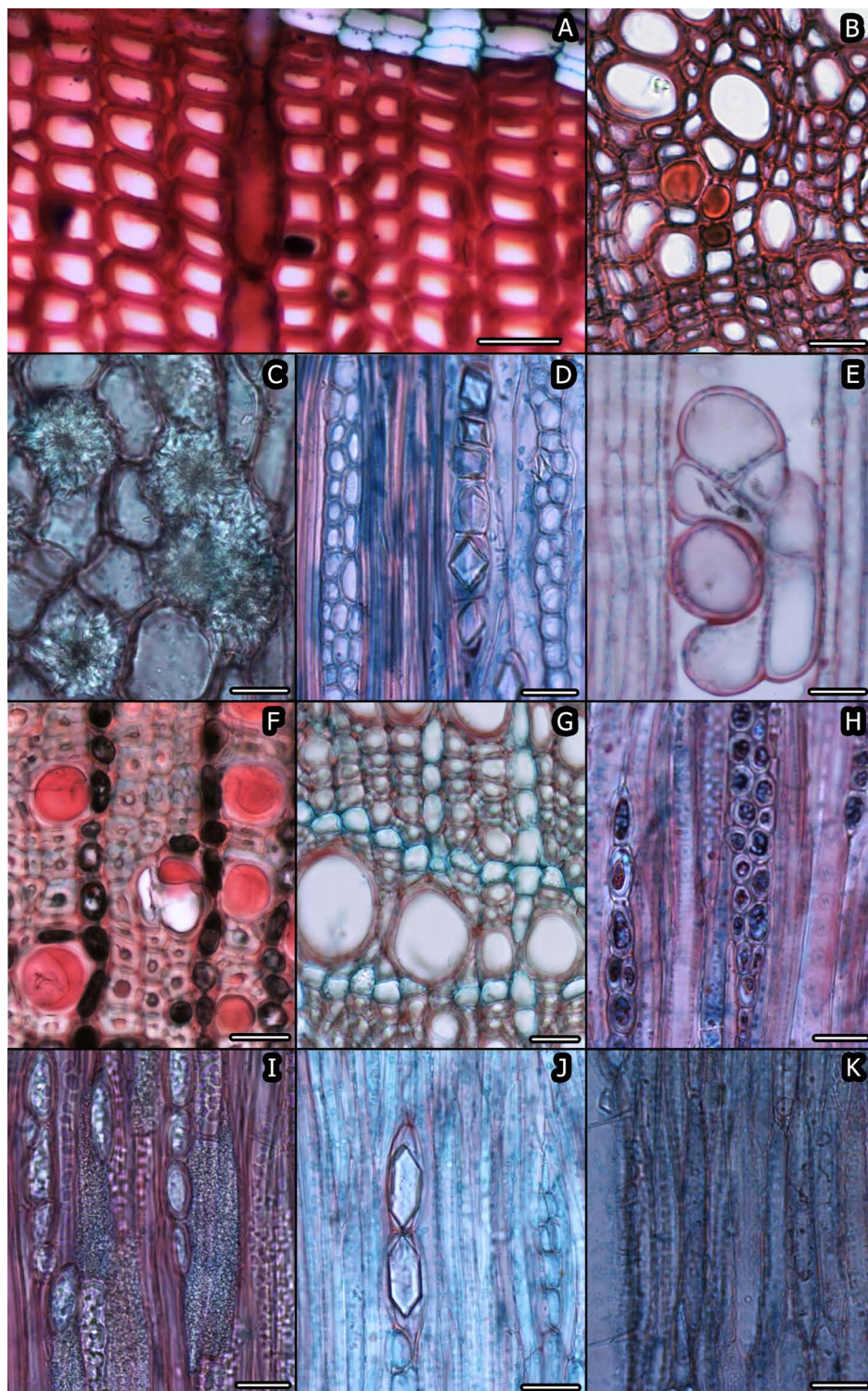


Figura 5. Depósitos orgánicos e inorgánicos de la madera de algunas especies de la Sierra de Juárez. A. *Juniperus osteosperma*, depósitos rojo-oscuro, CT. B. *Ageratina wrightii*, gomo-resinas, CT. C. *Cyllindropuntia leptocaulis*, drusas, CTa. D. *Neltuma glandulosa*, cristal tipo “cámara”, CTa. E. *Quercus pungens*, tílido, CR. F. *Fendlera rupicola*, depósitos gomo-resinas. CT. G. *Krameria erecta*, parénquima no lignificado, CT. H. *Cercocarpus breviflorus*, depósitos oscuros, CTa. I. *Lycium berlandieri*, areniscas, CTa. J. *Larrea tridentata*, cristal prismático elongado, CTa. K. *Larrea tridentata*, parénquima estratificado, CTa. Barra es 20 μm en A-K. CT = sección transversal, CTa = sección tangencial, CR = sección radial.

de Crossosomataceae como *Crossosoma* se reportan punteaduras intervasculares alternas (Metcalf & Chalk 1950); pero en este estudio, *G. spinescens* presentó punteaduras intervasculares opuestas. Carlquist (2007) registra placas de perforación escalariformes en *G. stipuliferum* H.St.John (= *G. spinescens* var. *aridum*), pero tampoco fueron observadas en este estudio. DeBuhr (1978) reporta además para la madera de *Forsellesia nevadensis* (= *G. spinescens* var. *aridum*) características cualitativas y cuantitativas muy similares a las registradas aquí, excepto por las punteaduras intervasculares alternas y la presencia de traqueidas que en las muestras de *G. spinescens* no se observaron. Por lo que se sugiere que la especie estudiada podría tratarse de una variedad distinta.

Las tres especies de Fabaceae (Mimosoide) compartieron la presencia de fibras gelatinosas y cristales prismáticos tipo “cámara” con otras especies de *Mimosa* y *Vachellia*, así como la porosidad anular con *M. aculeaticarpa* Ortega y el parénquima axial en bandas confluentes con en *V. tortuosa* (L.) Seigler & Ebinger y *V. farnesiana* (L.) Wight & Arn (Metcalf & Chalk 1950, Montaña-Arias *et al.* 2017).

Quercus pungens (Fagaceae) al igual que sus congéneres tuvo vasos solitarios, traqueidas vasicéntricas, parénquima apotraqueal difuso en agregados, formando bandas delgadas y radios dimorfos (Metcalf & Chalk 1950, Pérez-Olvera & Dávalos-Sotelo 2008). La presencia de tílides en vasos y cristales prismáticos en parénquima también es común para *Quercus* (Metcalf & Chalk 1950, Arenas-Navarro *et al.* 2023). Tillson & Muller (1942) reportan para *Q. falcata* Michx. y *Q. alba* L. porosidad anular y señalan que especies caducifolias del género tienen porosidad anular y especies siempre verdes porosidad difusa, pero en *Q. pungens* no se cumple este supuesto. En este género se han registrado especies con porosidad variable y esto se ha relacionado a la estacionalidad de los sitios (Pérez-Olvera & Dávalos-Sotelo 2008, Arenas-Navarro *et al.* 2023). Cuantitativamente *Q. pungens* difiere a lo reportado por Arenas-Navarro *et al.* (2023) para otros robles, posiblemente asociado a que *Q. pungens* es un arbusto del matorral versus los árboles de los bosques pino-encino de la Sierra Madre del Sur.

Fouquieria splendens compartió con las otras especies de este género en Fouquieriaceae, la porosidad semi-anular, vasos en hileras radiales y placa de perforación simple (Metcalf & Chalk 1950, Henrickson 1972, Carlquist 2000); la presencia de fibrotraqueidas se comparte con *F. columnaris*, *F. fasciculata*, *F. leonilae* Miranda, *F. purpusii* Brandegey y *F. shrevei* I.M.Johnst; las fibras gelatinosas con *F. columnaris* y la ausencia de cristales con *F. macdougalii* Nash (Carlquist 2000, Abundiz *et al.* 2004). Carlquist (2000) incluye en su trabajo a *F. splendens* y los datos cuantitativos son similares a los reportados en este estudio.

Fendlera rupicola mostró en su madera placas de perforación escalariforme, presencia de fibrotraqueidas y radios heterocelulares características distintivas de Hydrangeaceae (Metcalf & Chalk 1950). Se había reportado la madera con porosidad anular a semi-anular (Stern *et al.* 1969) como en el material estudiado, las punteaduras intervasculares opuestas son comunes en *Fendlera*; sin embargo, *F. rupicola* presentó punteaduras alternas como *Deutzia glabrata* Kom., especie de Hydrangeaceae (Metcalf & Chalk 1950). Stern *et al.* (1969) señala que *F. rupicola* tiene vasos exclusivamente solitarios, con tenues engrosamientos helicoidales, traqueidas y ausencia de parénquima axial caracteres no encontrados en los individuos analizados.

Koeberlinia spinosa presentó en su madera porosidad anular, vasos solitarios, punteaduras intervasculares alternas y fibrotraqueidas, características distintivas de Koeberliniaceae (Metcalf & Chalk 1950). Para *Koeberlinia* se han registrado vasos con engrosamientos helicoidales y depósitos de gomo-resinas, radios homocelulares y ausencia de cristales (Metcalf & Chalk 1950, Gibson 1979), caracteres que difieren a lo encontrado, con excepción de los cristales que son raros en los radios de los individuos de la Sierra de Juárez. Gibson (1979) analiza la madera de *K. spinosa* y las amplitudes de variación en los caracteres cuantitativos que registra concuerdan con nuestros datos, con excepción del diámetro de vasos (de 43 a 149 µm) que es mucho mayor al de los individuos analizados (de 9 a 16 µm).

Carlquist (2005) reporta para *Krameria erecta* y *K. bicolor* S.Watson (Krameriaceae) vasos solitarios, como ocurre en la especie estudiada y lo relaciona con la presencia de traqueidas como apoyo para la conducción del agua. Además, reporta engrosamientos helicoidales en traqueidas, carácter que no se observó y parénquima axial en bandas angostas con paredes primarias no lignificadas con depósitos inorgánicos. Estos depósitos inorgánicos los asignamos como esferulitos. Carlquist (2005) menciona que la madera de *Krameria* se distingue por la presencia de radios pae-domórficos y podría corresponder a los radios homocelulares exclusivamente de células erectas que se reportan aquí.

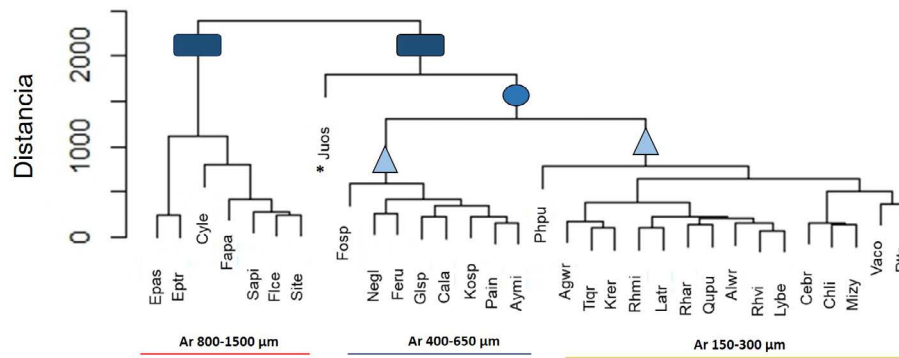


Figura 6. Agrupación de las 32 especies con base en sus caracteres cuantitativos de la madera. Las especies se dividen en dos grupos (rectángulos), el mayor (círculo) excluye a *Juniperus osteosperma* (Juos) y forma dos subgrupos (triángulos) que excluyen cada uno a su vez a *Fouquieria splendens* (Fosp) y *Physaria purpurea* (Phpu). Ar = Altura de radios, * = única especie que no presenta vasos. Los acrónimos de las especies se encuentran en la [Tabla 1](#).

Notoriamente, Abundiz *et al.* (2004) describen la madera de *K. cytisoides* Cav. y mencionan caracteres cualitativos que no observamos como el parénquima apotraqueal difuso y los radios heterocelulares con células procumbentes y erectas con depósitos oscuros, además de diferencias contrastantes en las dimensiones de la mayoría de los caracteres cuantitativos.

Salvia pinguifolia (Fernald) Wooton & Standl. al igual que otros miembros de Lamiaceae tuvo en su madera vasos agrupados, placa de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas, fibras con punteaduras simples y radios heterocelulares (Metcalfe & Chalk 1950). Otros autores registran para *S. canariensis* L., *S. lanceolata* Brouss y *S. pubescens* Benth. porosidad anular, elementos de vaso con engrosamientos helicoidales, traqueidas vasculares y fibras septadas, caracteres que también compartió la especie presente en la Sierra de Juárez, excepto por los engrosamientos helicoidales que se observaron en las traqueidas y no en los elementos de vaso. En *S. pinguifolia* no se observaron cristales, estos contenidos inorgánicos de acuerdo con Carlquist (1992a) y Ceja-Romero *et al.* (2005), pueden ocurrir o no en el género. Abundiz *et al.* (2004) describen la madera de *S. candicans* M. Martens & Galeotti y reportan caracteres cualitativos distintos a los encontrados aquí, como son el arreglo de vasos en hileras radiales o en diagonal, punteaduras intervasculares coalescentes, elementos de vasos con engrosamientos helicoidales y depósitos gomosos, parénquima paratraqueal escaso y fibras también con depósitos oscuros, así como valores ligeramente mayores y solo menor para la frecuencia de vasos (54/mm²).

Ayenia microphylla mostró en su madera las características distintivas de algunas Malvaceae como son placas de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas, fibras libriformes y depósitos oscuros (Metcalfe & Chalk 1950, Rojas & León 2019). *A. microphylla* presentó traqueidas vasculares, igual que en los géneros *Malvastrum* A. Gray; *Plagianthus* J.R. Forst. & G. Forst. y *Wissadula* Medik. (Metcalfe & Chalk 1950); el parénquima paratraqueal fue escaso como en *Dombeya* Cav; *Ruizia cordata* Cav. y *Trochetia blackburniana* Bojer ex Baker, así como radios heterocelulares como en *Dombeya* (Boura *et al.* 2011).

Castilleja lanata presentó en su madera porosidad difusa, vasos agrupados en patrón radial, placa de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas, parénquima paratraqueal escaso, fibras libriformes y radios homocelulares, características distintivas de Orobanchaceae (Metcalfe & Chalk 1950, Michener 1983). Michener (1983) además menciona la presencia de engrosamientos helicoidales y placas de perforación escalariformes, traqueidas vasculares ocasionales y depósitos cristalinos en algunas especies de *Castilleja*, así como la ausencia de radios, caracteres no encontrados en este estudio. Para otras especies de *Castilleja* se han reportado radios homocelulares en *C. arctica* Krylov & Serg. y *C. nubigena* Kunth, esta última también con parénquima paratraqueal escaso (Schwein-gruber *et al.* 2020), que coincidió con lo aquí observado para *C. lanata*.

Las dos especies de Rosaceae de la Sierra de Juárez mostraron en su madera porosidad anular, placas de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas, parénquima apotraqueal y fibrotraqueidas, caracteres distintivos de la familia (Metcalf & Chalk 1950, Zhang 1992). Se difiere con estos autores en los caracteres reportados para *Cercocarpus* como elementos de vaso con engrosamientos helicoidales y presencia de cristales en parénquima axial. Ambas especies comparten vasos solitarios y radios heterocelulares con depósitos oscuros. Con respecto a los caracteres cuantitativos que reporta Zhang (1992) para *Cercocarpus* y *Fallugia*, se concuerda con lo aquí encontrado. La madera de *C. fothergilloides* Kunth analizada por Abundiz *et al.* (2004), difiere en los caracteres cualitativos (porosidad difusa, presencia de traqueidas y depósitos); así como con valores menores en los caracteres cuantitativos de vasos, fibrotraqueidas y radios de *C. breviflorus* A.Gray. Futuros estudios que incluyan las otras especies del género serán de gran relevancia para entender su variación.

Ptelea trifoliata L. mostró en su madera las características distintivas de Rutaceae, que de acuerdo con Metcalf & Chalk (1950), corresponden a placas de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas, parénquima paratraqueal vasicéntrico y fibras libriformes. Esos autores reportan engrosamientos helicoidales en elementos de vaso, pero estos solo los registramos en traqueidas. La presencia de traqueidas es rara en la familia, aunque se han descrito en los géneros *Acradenia* Kippist, *Choisya* Kunth y *Skimmia* Thunb. Abundiz *et al.* (2004) incluyen a *P. trifoliata* en su investigación y reportan vasos con depósitos gomosos, engrosamientos helicoidales en elementos de vasos y fibras; así como radios homocelulares, caracteres que no observamos.

Lycium berlandieri compartió la porosidad anular, placa de perforación simple y punteaduras intervasculares alternas con otras Solanaceae (Metcalf & Chalk 1950); así como el arreglo dendrítico de los vasos, los engrosamientos helicoidales en los elementos de vaso, el parénquima apotraqueal difuso y los radios uni y biseriados con otras especies de *Lycium* L. (Metcalf & Chalk 1950). Los engrosamientos helicoidales también se han reportado para la madera de *L. brevipes* Benth, *L. carolinianum* Walter, *L. cestroides* Schltdl. y *L. europaeum* L.; las traqueidas vasculares en *L. brevipes*, *L. cestroides*, *L. elongatum* Miers, *L. europaeum* y *L. fremontii* A.Gray. Las areniscas se observaron en *L. elongatum* en fibrotraqueidas y se consideran comunes en el género (Fahn *et al.* 1986), en este estudio únicamente se encontraron en el parénquima axial. Con respecto a los caracteres cuantitativos son similares a los registrados por Carlquist (1992b) para Solanaceae.

Como otros representantes de Verbenaceae, *Aloysia wrightii* presentó en su madera porosidad anular, placa de perforación simple y parénquima paratraqueal (Metcalf & Chalk 1950). Las fibras septadas son comunes en Verbenaceae, pero la ausencia de septos en *A. wrightii* aquí estudiada también se ha registrado en *Petrea* L. (Metcalf & Chalk 1950). *A. wrightii* compartió con *Citharexylum tetramerum* Brandegees el parénquima paratraqueal escaso, los radios heterocelulares y las fibras libriformes (Abundiz *et al.* 2004). Siegloch *et al.* (2013) analizan la anatomía de la madera de dos especies de *Aloysia*, *A. chamaedryfolia* Cham sudamericana y *A. gratissima* (Gillies & Hook.) Tronc que se distribuye desde Arizona hasta Argentina. La madera de ambas especies difiere de la de *A. wrightii*, por la presencia de engrosamientos helicoidales en elementos de vaso, punteaduras intervasculares alternas, fibras septadas, presencia de fibras gelatinosas y ausencia de traqueidas; así como en los caracteres cuantitativos, que son mayores a los aquí registrados.

Los resultados de este trabajo son similares tanto cualitativa y cuantitativamente a lo presentado por Carlquist (2005) para *Larrea tridentata* (Zygophyllaceae), excepto por la porosidad anular y el índice de mesomorfía que es mayor (41). En *Plectrocarpa* Gillies ex Hook. & Arn. también se ha registrado parénquima axial estratificado (Metcalf & Chalk 1950).

Comparación de matorrales xerófilos. En la [Tabla 2](#) se sintetizan algunos caracteres de la madera que se comparan con los obtenidos en este trabajo y los trabajos previos para el matorral de California y el de Tehuacán. En los tres estudios la precipitación es menor a 600 mm anuales, de 350 a 600 mm en California y casi 500 mm en Tehuacán, observándose el valor más bajo para la Sierra de Juárez (~250 mm). Hay diferencias no solo en la composición florística sino también en el tipo de porosidad; en California la porosidad anular y semi-anular mantuvieron casi la misma proporción (44 y 46 % respectivamente), en la Sierra de Juárez dominó la porosidad anular (81 %) y en

Tabla 2. Comparación de caracteres de la madera de matorral xerófilo en la Sierra de Juárez con los matorrales xerófilo de California y Tehuacán.

Variables	Matorrales xerófilo		
	California	Sierra de Juárez	Tehuacán
Promedio de lluvia (mm)	350-600	249	478
Porosidad anular (%)	44	81	12
Porosidad semianular (%)	46	16	29
Porosidad difusa (%)	10	3	59
Vasos agrupados (%)	70	52	71
Engrosamientos helicoidales (%)	39	22	24
Traqueidas (%)	77	47	59
Parénquima axial paratraqueal		escaso	abundante

Tehuacán la difusa (59 %), esto posiblemente asociado a las precipitaciones de cada sitio. Los vasos agrupados dominaron en los tres sitios, este rasgo se confirma como una estrategia adaptativa xeromórfica, al aumentar y asegurar la conducción hidráulica (Carlquist & Hoekman 1985, Fahn *et al.* 1986, Wheeler & Baas 1991). La presencia de engrosamientos helicoidales y traqueidas fue mayor en California sugiriendo que los eventos estresantes en este matorral son más severos que en la Sierra de Juárez y que en Tehuacán.

Aunque estas comunidades se consideran como matorrales xerófilos, las diferencias encontradas para los vasos entre los tres matorrales podrían asociarse a las variables ambientales como precipitación y temperatura, sugiriendo que el grado de aridez influye directamente en la estructura anatómica de la madera. Estudios adicionales donde se evalúen las variables ambientales con los atributos de los vasos son necesarios para confirmar estas aseveraciones.

Compensaciones en la madera. De acuerdo con Carlquist & Hoekman (1985) cuando la madera muestra caracteres como vasos amplios y solitarios, las especies tienen otros rasgos que compensan el patrón de arreglo y tamaño de los vasos como son presencia de traqueidas o bien raíces profundas, muerte parcial de algunas ramas, capas resinosas en hojas, caída de hojas por sequía o frío o formación de hojas anchas o angostas según la disponibilidad de agua. En la Sierra de Juárez se observaron algunos de estos rasgos en dos de las fabáceas analizadas, *Neltuma glandulosa* y *Vachellia constricta*; con diámetro de vasos amplio ($> 50 \mu\text{m}$) y baja frecuencia de vasos/ mm^2 (< 80); estas especies se reconocen como freatófitas (Nilsen *et al.* 1987) porque desarrollan raíces profundas en busca de agua y son caducifolias. Otro ejemplo es *Quercus pungens*, que presentó un diámetro de vaso amplio ($> 60 \mu\text{m}$), compensado por la presencia de traqueidas vasicéntricas que mantienen el flujo de agua como se indica para otras especies de este género (Percolla *et al.* 2021, Arenas-Navarro *et al.* 2023).

Los anillos de crecimiento inconspicuos caracterizó a seis especies. Las dos primeras, *Castilleja lanata* y *Physaria purpurea* son las únicas sufrútices incluidas, ambas con una alta frecuencia de vasos (180 y 317/ mm^2), agrupados y de diámetro reducido (13 y 19 μm); esta combinación de rasgos anatómicos podría favorecer su presencia en esta comunidad desértica. *Fendlera rupicola*, que es un arbusto, presentó placas de perforación escalariformes que podrían contribuir a evitar la cavitación a temperaturas bajo cero (Zimmermann 1983), las cuales se presentan en el invierno e inicio de la primavera en la Sierra de Juárez, compensando la porosidad semi-anular. Mientras que *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata* son especies bien conocidas por sus mecanismos frente a la sequía que les proporcionan sus hojas (Gibson 2012, Saldívar 2003). Finalmente, *Krameria erecta*, así como *Castilleja lanata* son consideradas en la literatura como especies hemiparásitas; sin embargo, son necesarios trabajos más exhaustivos en esta comunidad para comprender si la condición de hemiparásita podría estar influyendo en la anatomía de la madera.

No se encontró una relación evidente entre la porosidad y la fenología foliar como también lo reportaron Aguilar-Rodríguez & Barajas-Morales (2005) para el bosque húmedo de montaña. Tampoco se cumple la asociación que estas autoras proponen entre la presencia de anillos de crecimiento con el origen de las especies; considerando que en algunas especies estudiadas donde los anillos son inconspicuos su origen es boreal, como en *Physaria purpurea* (Fuentes-Soriano & Al-Shehbaz 2013), en *Flendera rupicola* (Soltis *et al.* 1995) o en *Castilleja lanata* (Méndez-Larios & Villaseñor 2001). Otra posible interpretación es que la porosidad podría estar asociado a la marcada estacionalidad en la zona de estudio.

Las distintas combinaciones de los elementos celulares de la madera se han descrito como el “triángulo de compensación” (Baas *et al.* 2004), que confiere propiedades como resistencia a embolismos, resistencia mecánica y eficiencia en la conducción y se interpretó como presente en las especies de la Sierra de Juárez. Por ejemplo, en las maderas analizadas, el triángulo se reconoce por los caracteres vasos abundantes (150/mm²) y agrupados; así como por la porosidad anular que aumentan la conductividad hidráulica cuando las lluvias llegan a presentarse. Además de elementos de vaso cortos (191 µm) y de diámetro angosto (36 µm) que pueden reducir la propagación de embolias por sequía, congelación y descongelación. Las fibras de paredes gruesas a muy gruesas que fueron distintivas en todas las especies estudiadas, le confieren resistencia mecánica frente a la formación de embolias (Martínez-Cabrera *et al.* 2009).

Se concluye que para este matorral las especies presentan caracteres cuantitativos con valores más bajos a lo registrado en otros trabajos, asociado a que las especies incluidas son arbustos menores a los 2 m de altura en la Sierra de Juárez y a la precipitación escasa menor a 250 mm anuales. No encontramos registros previos sobre las punteaduras intervasculares pseudoscalariformes y el parénquima formando la matriz de la madera en Brassicaceae, las punteaduras intervasculares opuestas en Crossosomataceae y los esferulitos en parénquima apotraqueal en Krameriaceae. El alto de los radios permite reconocer grupos de especies y seguramente compensa que el parénquima axial es ausente o escaso en la madera de las especies de este matorral xerófilo de la Sierra de Juárez. Se considera que las especies convergen en la porosidad anular y la presencia fibras con paredes gruesas a muy gruesas.

Material suplementario

El material suplementario de este trabajo puede ser consultado aquí: <https://doi.org/10.17129/botsci.3655>

Agradecimientos

Agradecemos a Alicia Rojas-Leal por el apoyo en el procesamiento de las muestras, a nuestras respectivas instituciones por las facilidades logísticas para desarrollar esta investigación y a dos revisores anónimos y la editora de sección por sus comentarios que ayudaron robustecer el manuscrito.

Literatura citada

- Abundiz BL, Barajas-Morales J, Lezama TP. 2004. Árboles y arbustos del matorral xerófilo de Tehuacán Puebla. Publicaciones Especiales 19, México, DF: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 970-322094-0
- Aguilar-Rodríguez S, Barajas-Morales J. 2005. Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: un enfoque ecológico evolutivo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 77: 51-58. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1712>
- Arenas-Navarro M, Oyama K, García-Oliva F, Torres-Miranda A, Terrazas T. 2023. Seasonal temperature and precipitation regimes drive variation in the wood of oak species (*Quercus*) along a climatic gradient in western Mexico. *IAWA Journal* 44: 140-155. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10110>
- Baas P, Carlquist S. 1985. A comparison of the ecological wood anatomy of the floras of southern California and Israel. *IAWA Journal* 6: 349-353. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000961>

- Baas P, Ewers FW, Davis SD, Wheeler EA. 2004. *Evolution of xylem physiology*. The Evolution of Plant Physiology. London: Elsevier Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-012339552-8/50016-0>
- Balleza JJ, Villaseñor JL. 2011. Contribución del estado de Zacatecas (México) a la conservación de la riqueza florística del Desierto Chihuahuense. *Acta Botanica Mexicana* **94**: 61-89. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm94.2011.271>
- Barajas-Morales J. 1981. Descriptions and notes on the wood anatomy of Boraginaceae from western Mexico. *IAWA Bulletin new series* **2**: 61-67. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000813>
- Boura A, Le Péchon T, Thomas R. 2011. Wood anatomy of the Mascarene Dombeyoideae: systematic and ecological implications. *IAWA Journal* **32**: 493-519. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000073>
- Carlquist S. 1962. Wood anatomy of Senecioneae (Compositae). *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*, **5**: 123-146.
- Carlquist S. 1966. Wood anatomy of Compositae: a summary, with comments on factors controlling wood evolution. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany* **6**: 25-44.
- Carlquist S. 1975. *Ecological strategies of xylem evolution*. Berkeley: University of California Press. ISBN: 0-520-02730-2
- Carlquist S. 1977. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *American Journal of Botany* **64**: 887-896. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1977.tb11932.x>
- Carlquist S. 1989. Wood and bark anatomy of the New World species of *Ephedra*. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany* **12**: 441-483. DOI: <https://doi.org/10.5642/aliso.19891203.04>
- Carlquist S. 1992a. Wood anatomy of Lamiaceae. A survey, with comments on vascular and vasicentric tracheids. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany* **13**: 309-338. DOI: <https://doi.org/10.5642/aliso.19921302.04>
- Carlquist S. 1992b. Wood anatomy of Solanaceae: a survey. *Allertonia* **6**: 279-326.
- Carlquist S. 2000. Wood anatomy of Fouquieriaceae in relation to habit, ecology, and systematics; nature of meristems in wood and bark. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany* **19**: 137-163. DOI: <https://doi.org/10.5642/aliso.20001902.03>
- Carlquist S. 2005. Wood anatomy of Krameriaceae with comparisons with Zygophyllaceae: phylogeny, ecology and systematics. *Botanical Journal of the Linnean Society* **149**: 257-270. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2005.00451.x>
- Carlquist S. 2007. Wood anatomy of Crossosomatales: patterns of wood evolution with relation to phylogeny and ecology. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany* **24**: 1-18. DOI: <https://doi.org/10.5642/aliso.20072401.02>
- Carlquist S, Hoekman DA. 1985. Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora. *IAWA Bulletin new series* **6**: 319-347. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000960>
- Cavender-Bares J, Kitajima K, Bazzaz FA. 2004. Multiple trait associations in relation to habitat differentiation among 17 floridian oak species. *Ecological Monographs* **74**: 635-662. DOI: <https://doi.org/10.1890/03-4007>
- Ceja-Romero J, Pérez-Olvera C de la P, Rivera-Tapia J. 2005. Anatomía de la madera de las especies mexicanas de *Salvia* sección *Erythrostachys* Epl. (Lamiaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **76**: 53-59. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsoci.1704>
- De Palacios P, Esteban LG, Fernández FG, García-Iruela A, Conde M, Román-Jordán E. 2014. Comparative wood anatomy of *Juniperus* from Macaronesia. *IAWA Journal*, **35**: 186-198. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-00000059>
- DeBuhr L. 1978. Wood anatomy of *Forsellesia* (*Glossopetalon*) and *Crossosoma* (Crossosomataceae, Rosales). *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany* **9**: 179-184. DOI: <https://doi.org/10.5642/aliso.19780902.04>
- Delbón N, Castello LV, Rios-Villamil A, Cosa MT, Stiefkens L. 2021. Surviving in semi-arid environments: functional coordination and trade-offs in shrubs from Argentina. *IAWA Journal* **42**: 172-190. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10026>
- Dickison WC. 1990. Steps toward the natural system of the dicotyledons. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany* **12**: 555-566. DOI: <https://doi.org/10.5642/aliso.19891203.10>
- Fahn A, Werker E, Baas PP. 1986. *Wood anatomy and identification of trees and shrubs from Israel and adjacent region*. Jerusalem: Israel Academy of Sciences and Humanities. ISBN: 965208073X

- Fuentes-Soriano S, Al-Shehbaz I. 2013. Phylogenetic relationships of mustards with multiaperturate pollen (Physarieae, Brassicaceae) based on the plastid *ndhF* gene: Implications for morphological diversification. *Systematic Botany* **38**: 178-191. DOI: <https://doi.org/10.1600/036364413x661854>
- Fichtler E, Worbes M. 2012. Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. *IAWA Journal* **33**: 119-140. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000084>
- Gibson AC. 1973. Comparative anatomy of secondary xylem in Cactoideae (Cactaceae). *Biotropica* **5**: 29-65. DOI: <https://doi.org/10.2307/2989678>
- Gibson AC. 1977. Wood anatomy of opuntias with cylindrical to globular stems. *Botanical Gazette* **138**: 334-351. DOI: <https://doi.org/10.1086/336933>
- Gibson AC. 1978. Architectural designs of wood skeletons in cacti. *The Cactus and Succulent Journal of Great Britain* **40**: 73-80.
- Gibson AC. 1979. Anatomy of *Koeberlinia* and *Canotia* revisited. *Madroño* **26**: 1-12.
- Gibson AC. 2012. *Structure-function relations of warm desert plants*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin. ISBN: 978-3-642-64638-6
- Giménez A, Moglia G, Hernandez P, Gerez R. 2005. *Anatomía de madera*. Argentina: Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales. ISBN: 978-987-1676-08-8
- Gottwald H. 1982. First description of the wood anatomy of *Antrophora*, *Lepidocordia* and *Pteleocarpa* (Boraginaceae). *IAWA Journal* **3**: 161-165. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000831>
- Gupta S, Agarwal M. 2008. Wood anatomy of Anacardiaceae from India with special reference to systematic position of *Rhus*. *IAWA Journal* **29**: 79-106. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000172>
- Henrickson J. 1972. A taxonomic revision of the Fouquieriaceae, *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany* **7**: 439-537. DOI: <https://doi.org/10.5642/aliso.19720704.08>
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin new series* **10**: 219-332. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000496>
- IAWA Committee. 2004. IAWA list of microscopic features for softwood identification. *IAWA Journal* **25**: 1-70. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000349>
- IMIP [Instituto Municipal de Investigación y Planeación]. 2010. *Vegetación*. Plan de Desarrollo Urbano, del Instituto Municipal de Investigación y Planeación. Juárez: IMIP y Ayuntamiento de Ciudad Juárez, Chihuahua, pp 89-84. <https://www.imip.org.mx/imip/files/planes/PPPONIENTE.pdf> (accessed, March 20, 2023)
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. 2021. Marco geoestadístico. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#mapas> (accessed, April 02, 2025)
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. 2023. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Carta topográfica. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/> (accessed, April 02, 2025)
- Johansen J. 1940. *Plant microtechnique*. Nueva York: McGraw-Hill Book Company.
- Lens F, Smets E, Melzer S. 2012. Stem anatomy supports *Arabidopsis thaliana* as a model for insular woodiness. *New Phytologist* **193**: 12-17. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03888.x>
- Martínez-Cabrera HI, Jones CS, Espino S, Schenk HJ. 2009. Wood anatomy and wood density in shrubs: responses to varying aridity along transcontinental transects. *American Journal of Botany* **96**: 1388-1398. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.0800237>
- Mehta IJ. 1982. Stem anatomy of *Parthenium argentatum*, *P. incanum* and their natural hybrids. *American Journal of Botany* **69**: 502-512. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1982.tb13285.x>
- Méndez-Larios I, Villaseñor JL. 2001. La familia Scrophulariaceae en México: diversidad y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **69**: 101-121. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsoci.1649>
- Metcalf CR, Chalk L. 1950. *Anatomy of the dicotyledons*. Vols. I and II. Oxford: Clarendon Press.
- Michener DC. 1983. Systematic and ecological wood anatomy of Californian Scrophulariaceae. I. *Antirrhinum*, *Castilleja*, *Galvezia*, and *Mimulus* Sect. *Diplacus*. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany* **10**: 471-487. DOI: <https://doi.org/10.5642/ALISO.19831003.09>

- Montaño-Arias SA, Camargo-Ricalde SL, Grether R, Díaz-Pontones D. 2017. Ecoanatomía de la madera de dos taxa mexicanos del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Acta Botanica Mexicana* **118**: 105-120. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm118.2017.1203>
- Nilsen ET, Sharifi MR, Virginia RA, Rundel PW. 1987. Phenology of warm desert phreatophytes: seasonal growth and herbivory in *Prosopis glandulosa* var. *torreyana* (honey mesquite). *Journal of Arid Environments* **13**: 217-229. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)31110-8](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)31110-8)
- Nobel P. 1977. Water relations and photosynthesis of a barrel cactus, *Ferocactus acanthodes*, in the Colorado desert. *Oecologia* **27**: 117-133. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00345817>
- Olson ME, Rosell JA. 2013. Vessel diameter-stem diameter scaling across woody angiosperms and the ecological causes of xylem vessel diameter variation. *New Phytologist* **197**: 1204-1213. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.12097>
- Oskolski A, Akinlabi F. 2023. Wood structural diversity in fynbos, chaparral, and maquis: a preliminary estimation. *IWA Journal* **45**: 284-296. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10147>
- Pace M, Gerolamo CS, Onyenedum JG, Terrazas T, Victorio MP, Cunha Neto IL, Angyalossy V. 2022. The wood anatomy of Sapindales: diversity and evolution of wood characters. *Brazilian Journal of Botany* **45**: 283-340. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-021-00764-2>
- Pace M, Lohmann L, Olmstead R, Angyalossy V. 2015. Wood anatomy of major Bignoniaceae clades. *Plant Systematics and Evolution* **301**: 967-995. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-014-1129-2>
- Percolla MI, Fickle JC, Rodríguez-Zaccaro FD, Pratt RB, Jacobsen AL. 2021. Hydraulic function and conduit structure in the xylem of five oak species. *IWA Journal* **42**: 279-298. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10059>
- Pérez-Olvera CP, Dávalos-Sotelo R. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* **14**: 43-80. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1431206>
- R Core Team. 2024. R: A Language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ramírez-Martínez M, Terrazas T, Aguilar-Rodríguez S, Martínez-Ávalos JG. 2017. Anatomía de la madera de especies de la selva baja caducifolia de Tamaulipas, México. *Madera y Bosques* **23**: 21-41. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321126>
- Riedl H. 1997. Boraginaceae. Flora Malesiana-Serie 1, *Spermatophyta*, **13**: 43-144. DOI: <https://repository.naturalis.nl/pub/532653/>
- Rojas L, León W. 2019. Anatomía de la madera de 25 especies de *Malvaceae* en Venezuela. *Revista Científica Pittieria* **43**: 8-33.
- Ruzin SE. 1999. *Plant microtechnique and microscopy*. New York: Oxford University Press. ISBN: 0 19 508956 1.
- Rzedowski J. 1968. Las principales zonas áridas de México y su vegetación. Bios. *Revista del Seminario de Estudios Biológicos* **1**: 4-24.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. México, DF: Limusa.
- Saldivar R. 2003. Estado actual del conocimiento sobre las propiedades biocidas de la gobernadora [*Larrea tridentata* (DC) Coville]. *Revista Mexicana de Fitopatología*, **21**: 214-222.
- Sandoval-García LB, Terrazas T, Redonda-Martínez R, Villaseñor JL. 2023. Anatomía de la madera y hoja de las especies de *Nahuatlea* y *Tehuasca* (Gochnatieae, Asteraceae). *Acta Botanica Mexicana* **130**: e2160. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2160>
- Schweingruber FH, Dvorský M, Börner A, Doležal J. 2020. Orobanchaceae. In *Atlas of Stem Anatomy of Arctic and Alpine Plants Around the Globe*. Switzerland: Springer pp. 223-233. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-53976-4_31
- Siegloch AM, Marchiori JNC, dos Santos SR. 2013 Anatomía de la madera de dos especies de *Aloysia* (Verbenaceae). *Balduinia* **41**: 27-33. DOI: <https://doi.org/10.5902/2358198013992>
- Soltis DE, Xiang QY, Hufford L. 1995. Relationships and evolution of Hydrangeaceae based on *rbcL* sequence data. *American Journal of Botany* **82**: 504-514. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1995.tb15671.x>

- Stern WL, Brizicky GK, Eyde RH. 1969. Comparative anatomy and relationships of Columelliaceae. *Journal of the Arnold Arboretum* **50**: 36-75. DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.part.24687>
- Terrazas T. 1999. Anatomía de la madera de Anacardiaceae con énfasis en los géneros americanos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **64**: 103-109. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1587>
- Tillson A, Muller C. 1942. Anatomical and taxonomic approaches to subgeneric segregation in American *Quercus*. *American Journal of Botany* **29**: 523-529. DOI: <https://doi.org/10.2307/2437100>
- Vázquez-Sánchez M, Terrazas T, Grego-Valencia D, Arias S. 2017. Growth form and wood evolution in the tribe Cacteeae (Cactaceae). *Willdenowia* **47**: 49-67. DOI: <https://doi.org/10.3372/wi.47.47106>
- Webber IE. 1936. The woods of sclerophyllous and desert shrubs of California. *American Journal of Botany* **23**: 181-188. DOI: <https://doi.org/10.2307/2436015>
- Wheeler EA, Baas P. 1991. A survey of the fossil record for Dicotyledonous wood and its significance for evolutionary and ecological wood anatomy. *IAWA Journal* **12**: 275-318. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90001256>
- Whittaker R. 1975. *Communities and ecosystems*. New York: MacMillan Publishing Co.
- Young D. 1974. Comparative wood anatomy of *Malosma* and related genera (Anacardiaceae). *Aliso* **8**: 133-146. DOI: <https://doi.org/10.5642/ALISO.19740802.05>
- Zhang SY. 1992. Systematic wood anatomy of the Rosaceae. *Blumea: Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants* **37**: 81-158.
- Zimmermann M. 1983. *Xylem structure and the ascent of sap*. New York: Springer. ISBN: 978-3-662-22629-2

Editor de sección: Silvia Aguilar Rodríguez

Contribución de los autores: SD recolecta del material biológico, generación y análisis de datos, escritura del manuscrito; MVS revisión del manuscrito; CF recolecta de material biológico, revisión del manuscrito; TT conceptualización de la investigación, generación y análisis de datos y revisión del manuscrito.

Supporting agencies: Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e innovación por la beca para cursar estudios de posgrado 1191230 a SDT.

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses, económicos o personales en la información, presentación de datos y resultados de este artículo.