



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y

RECURSOS NATURALES

ANATOMÍA RADICULAR, CAULINAR Y FOLIAR EN *Malpighia mexicana* A. JUSS.

EN EL ESTADO DE MÉXICO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A:

LORENA YERALDI BÁRCENAS LÓPEZ



CAMPUS UNIVERSITARIO EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS, TOLUCA,

MÉXICO

NOVIEMBRE DEL 2018

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece al CONACYT por la beca otorgada (501290) para estudios de posgrado. Se agradece también al Proyecto titulado “Plantas vasculares del estado de México: importancia económica, alimenticia, medicinal y ornamental” apoyado y financiado por el fondo de investigación de la UAEM/3765/2014/CID.

A los informantes clave de los municipios de Malinalco y Zumpahuacán en el Estado de México y Coatlán del Río en el Estado de Morelos.

Al Dr. Martín Rubí Arriaga por permitirme formar parte de su equipo de trabajo.

A la Dra. Susana Adriana Montaña Arias ya que sus aportaciones fueron de gran interés en la realización de este trabajo.

A los Drs. Georgina Vargas Simón y José Antonio López Sandoval por la confianza y apoyo brindado en la realización de este trabajo, su amistad y apoyo son invaluable.

Al Laboratorio No. 3 y al Dr. Antonio Laguna Cerda de la Facultad de Ciencias Agrícolas por las facilidades otorgadas para el uso del microscopio.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y permitirme dar un paso más en ella.

No sé cuándo dejaste de ser aquel del que me enamore para convertirte en el amor de mi vida este sueño es gracias a tu apoyo **TE AMO CANAYA.**

A mis pequeños monstros Fer y Yeyita porque su felicidad es una de mis razones para seguir adelante; mamá una palabra tan dulce y tierna los amo.

A mi Mamá por fin tus sacrificios empiezan a retoñar sin tu apoyo jamás hubiera pensado en llegar hasta aquí.

A las hermanitas calavera e hijas, siempre que necesite su apoyo o buen consejo han estado conmigo gracias.

CON TODO MI CARIÑO

YEYITA LÓPEZ

La presente tesis titulada: **ANATOMÍA RADICULAR, CAULINAR Y FOLIAR EN *Malpighia mexicana* A. JUSS. EN EL ESTADO DE MÉXICO**, realizada por la alumna **LORENA YERALDI BÁRCENAS LÓPEZ**, bajo la dirección del Consejo particular indicado, ha sido aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de

DOCOTORA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

DR. MARTÍN RUBÍ ARRIAGA

ASESOR

DR. JOSÉ ANTONIO LÓPEZ SANDOVAL

ASESOR

DR. ANDRÉS GONZÁLEZ HUERTA

ÍNDICE

Página

AGRADECIMIENTOS	ii	
DEDICATORIA	iii	
ÍNDICE	v	
LISTA DE FIGURAS	vi	
LISTA DE CUADROS	vii	
RESUMEN	viii	
ABSTRACT	ix	
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1	
Literatura citada	6	
CAPÍTULO 1. ANATOMÍA FOLIAR DE <i>Malpighia mexicana</i> (MALPIGHIACEAE)		10
Resumen	13	
Abstract.....	14	
Introducción	16	
Materiales y Métodos.....	19	
Resultados	21	
Discusión	23	
Conclusiones	27	
Contribución de autores	28	
Financiamiento	28	
Agradecimientos.....	28	
Literatura citada.....	29	
CAPÍTULO 2. ECOANATOMÍA DE LOS ELEMENTOS DEL VASO DE <i>Malpighia mexicana</i> (MALPIGHIACEAE)		43
Resumen	44	
Introducción	46	
Materiales y métodos	47	
Resultados y Discusión.....	49	
Conclusiones	54	
3. ANATOMÍA RADICULAR DE <i>Malpighia mexicana</i> (MALPIGHIACEAE)		59
Introducción	59	
Materiales y Métodos.....	60	
Resultados y Discusión.....	62	
Conclusión.....	65	
Literatura citada	66	
VI. CONCLUSIONES GENERALES	67	
Literatura citada	69	

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Página

- Figura 1.** Epidermis en vista superficial en *Malpighia mexicana* A. Juss.: A. y B. epidermis adaxial; C. y D. epidermis abaxial. Barra=100 µm, E y F. tricomas. Barra=50 µm. 40
- Figura 2.** Corte trasversal en hoja de *Malpighia mexicana* A. Juss.: A. Malinalco (S1); B. Zumpahuacán (S2); C. Morelos (S3): e=epidermis, d=drusas, pe=parénquima de empalizada, ps=parénquima esponjoso, ce=cámara estomática, ei=espacios intercelulares, n=nervadura. Barra=100 µm. 41
- Figura 3.** Corte trasversal de la vena media de la hoja de *Malpighia mexicana* A. Juss.: A. Malinalco (S1); B. Zumpahuacán (S2); C. Morelos (S3): x=xilema, ce=células epidérmicas, f=floema, vs=vena secundaria. Barra=200 µm. 42

CAPÍTULO 2

Página

- Figura 1.** Corte trasversal con detalle de la corteza del tallo en crecimiento secundario. F=floema; X=xilema; Fb=fibras; va=vaso; E=epidermis; Fe=felema; Fd=felodermis; C=corteza. 50
- Figura 2.** Corte trasversal del tallo de *M. mexicana* en crecimiento secundario. F=floema; X=xilema; Fb=fibras; va=vaso; Ac=anillo de crecimiento y Me=médula. 52

CAPÍTULO 3

Página

- Figura 1.** Cortes transversales de las raíces de *Malpighia mexicana* en los tres sitios estudiados ... 63
- Figura 2.** Cortes longitudinales de las raíces de *Malpighia mexicana* en los tres sitios estudiados . 64

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO 1

Página

- Cuadro 1.** Estado, sitio de colecta, tipo de vegetación, clima, coordenadas, altitud, colector y número de colecta, altura, temperatura y precipitación de los ejemplares de *Malpighia mexicana* A. Juss. utilizados para este estudio. LYBL: Lorena Yeraldi Bárcenas-López.38
- Cuadro 2.** Caracteres anatómicos mensurables de la hoja de *Malpighia mexicana* A. Juss. Provenientes de tres sitios diferentes: S1: Malinalco, Estado de México, México; S2: Zumpahuacán, Estado de México, México y S3: Coatlán del Río, Morelos, México. Para cada carácter, los valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente; mientras que los valores seguidos por letras diferentes, muestran diferencias significativas ($p < 0.05$). F=significancia estadística y DE=desviación estándar.....39

CAPÍTULO 2

Página

- Cuadro 1.** Comparación cuantitativa de caracteres anatómicos del xilema de *Malpighia mexicana* A. Juss. proveniente de tres localidades.....53

CAPÍTULO 3

Página

- Cuadro 1.** Localización, hábitat, forma de crecimiento y números de colecta en estudio anatómico de *Malpighia mexicana* A. Juss.....61
- Cuadro 2.** Datos generales y edafológicos de las localidades muestreadas. P.H=Potencial de Hidrógeno; MO%=Porcentaje de materia orgánica; N=Nitrógeno (mg/Kg); P=Fósforo (mg/Kg); CC %= Porcentaje de Capacidad de Campo y D.A.=Densidad Aparente.....61

RESUMEN

Malpighia mexicana A. Juss., árbol nativo ampliamente distribuido en México, produce bayas ricas en vitamina C y antioxidantes, el fruto representa una alternativa económica, alimenticia y medicinal para los pobladores. El objetivo de este estudio fue comparar las características anatómicas del tallo, hoja y raíz entre individuos de *M. mexicana* con la finalidad de evaluar su adaptación a ambientes xéricos en tres sitios de recolecta. El estudio se realizó en tres localidades de la faja neovolcánica transversal ubicadas en los estados de México y Morelos. Las muestras se fijaron y prepararon en campo en una solución FAA y se analizaron con base en técnicas convencionales de anatomía vegetal. Se evaluaron 20 variables en hoja, 10 en raíz y 5 para tallo en cortes paradermal, longitudinal y transversal. Los índices de mesomorfía y de vulnerabilidad se estimaron considerando el diámetro de los vasos, el número de vasos/mm² y la longitud de los elementos de vaso. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza o en su caso pruebas no paramétricas y comparación de medias por Tukey ($p < 0.05$). Los resultados mostraron hojas hipoestomáticas, con estomas paracíticos, el mesófilo con un arreglo bifacial, tricomas simples y abundancia de cristales de oxalato calcio. El parénquima de empalizada presentó de 4 a 6 estratos de células. Todos los individuos presentan vasos numerosos (93-146), elementos de vaso largos (142–1207 μm) y de diámetro pequeño (21-117 μm). El índice de mesomorfía del tallo >200 corresponde a xilema mesofítico y el índice de vulnerabilidad >1 sugiere que la especie es resistente al estrés hídrico. El valor más alto del índice de vulnerabilidad corresponde a Morelos con (0.88) y el más bajo al Estado de México con (0.76). La raíz demuestra que la especie es capaz de generar estrategias de adaptación en ambientes xéricos. Este tipo de estudios son importantes para la selección de especies vegetales con fines de restauración ambiental y alimenticia.

ABSTRACT

Malpighia mexicana A. Juss., native tree widely distributed in Mexico, produces berries rich in vitamin C and antioxidants, the fruit represents an economic, nutritional and medicinal alternative for the inhabitants. The objective of this study was to compare the anatomical characteristics of the stem, leaf and root among individuals of *M. mexicana* to evaluate their adaptation to xeric environments in three collection sites. The study was carried out in three localities of the transversal neovolcanic belt located in the states of Mexico and Morelos. The samples were fixed and prepared in the field in an FAA solution and analyzed based on conventional techniques of plant anatomy. Twenty variables were evaluated in leaf, 10 in root and 5 for stem in paradermal, longitudinal and transversal cuts. The mesomorphy and vulnerability indexes were estimated considering the diameter of the vessels, the number of vessels/mm² and the length of the vessel elements. The data obtained were analyzed by variance or, where appropriate, nonparametric tests and comparison of means by Tukey ($p < 0.05$). The results showed hypostomatic leaves, with paracytic stomata, the mesophyll with a bifacial arrangement, simple trichomes and abundance of calcium oxalate crystals. The stockade parenchyma presented 4 to 6 strata of cells. All individuals have numerous vessels (93-146), long vessel elements (142-1207 μm) and small diameter (21-117 μm). The stem mesomorphy index > 200 corresponds to mesophytic xylem and the vulnerability index > 1 suggests that the species is resistant to water stress. The highest value of the vulnerability index corresponds to Morelos with (0.88) and the lowest to the State of Mexico with (0.76). The root shows that the species can generate adaptive strategies in xeric environments. This type of studies is important for the selection of plant species for environmental and food restoration purposes.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El género *Malpighia* (Malpighiaceae) comprende alrededor de 50 especies de árboles y arbustos nativos de América tropical y subtropical (Davis y Anderson, 2010). En México, se distribuyen 19 especies, 12 de ellas son endémicas (Anderson, 2013; Villaseñor, 2016). Entre ellas está *Malpighia mexicana* A. Juss. comúnmente conocida como nanche rojo, guejocote o guachocote, esta especie es una fuente de alimentación para los pobladores locales, por lo que se cultiva en los huertos o traspatios de zonas rurales, pero sin ningún manejo agronómico (Morton, 1987; Castañeda-Vildózola et al., 2014). Así mismo, *M. mexicana* es fuente de recursos maderables, ornamentales, y medicinales (Maldonado-Peralta et al., 2016). Cabe señalar que como especie arbórea brinda protección y sombra a otras especies tanto vegetales como animales, por lo que desempeña un rol importante dentro del ecosistema (Arambarri et al., 2011); además, es una fuente de fijación de bióxido de carbono y, por ende, es parte de los reguladores del clima (Villaseñor, 2010).

Dado que el clima es un factor que puede influir en las características anatómicas de las especies, se han realizado diversos estudios enfocados en la hoja (Fank-de-Carvalho et al., 2010; Zamora-Natera y Terrazas, 2012; Jiménez-Noriega et al., 2015), en el tallo (Rebollar et al., 1994; Herrera-Cárdenas et al., 2000) y en la raíz (Laskowski y Bautista, 1999; Espinoza-Velázquez et al., 2012; Martín-Montiel et al., 2012) pero independientemente del órgano estudiado, el análisis indica que las especies tienen estrategias de adaptación al clima desde nivel morfológico, fisiológico y anatómico.

Uno de los órganos vegetales más importantes es la hoja, ya que en ella se realizan funciones vitales para la planta, por ello, se ha estudiado la estructura foliar con enfoques

taxonómicos y ecológicos. Al respecto, Milan et al. (2006) compararon la anatomía de la hoja de tres especies de la familia Asteraceae, mostraron diferencias; por ejemplo, *Mikania glomerata* Spreng. presentó estomas en ambas superficies, tricomas glandulares uniseriados y conductos secretores, por su parte, *Porophyllum ruderale* Cass. tiene hidátodos y cavidades secretoras y *Vernonia condensata* Baker. mostró idioblastos y tricomas glandulares uni y biseriados; cabe señalar que las estructuras secretoras son caracteres con relevancia taxonómica para esta familia (Castro et al., 1997).

Para el caso de la familia Leguminosae se ha descrito la anatomía foliar de cuatro especies de *Lupinus* (*L. aschenbornii* S. Schauer, *L. exaltatus* Zucc., *L. montanus* Kunth y *L. reflexus* Rose), las cuales comparten epidermis papilosa con paredes anticlinales, estomas anomocíticos, tricomas simples y mesofilo bifacial. Y se observó que éstos difieren en la disposición, tamaño y número de haces vasculares, los cuales permiten su identificación. Por ejemplo, *L. exaltatus* tiene haces dispuestos en un cilindro vascular continuo y compacto; mientras que en *L. aschenbornii* forman un anillo y en *L. reflexus* y *L. montanus*, se presentan de forma discontinua (Zamora y Terrazas, 2012).

Otra familia estudiada es Solanaceae, Liscovsky y Cosa (2005) describen 13 especies de los géneros *Cestrum* L. y *Sessea* Ruiz & Pav., donde reportan que, el tipo de estomas y tricomas, así como la arquitectura de la vena secundaria son los caracteres anatómicos más importantes en la taxonomía de estos géneros, observaron que *Cestrum* se caracteriza por tener una venación broquidódroma, en cambio en *Sessea* es semicraspedódroma.

Para el caso de la familia Malpighiaceae, se han estudiado 16 especies pertenecientes a los géneros *Banisteriopsis* (ejemplo, *Banisteriopsis anisandra* (Juss.) B. Gates, *B. argyrophylla* (Juss.) B. Gates., *B. campestris* (Juss.) Little.), *Byrsonima* (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth., *B. basiloba*

A. Juss., *B. lancifolia* A. Juss) y *Heteropterys* (ejemplo *Heteropterys anoptera* A. Juss., *H. byrsonimifolia* A. Juss., *H. tomentosa* A. Juss.), las cuales comparten la disposición del haz vascular en forma de arco, estomas paracíticos y tricomas glandulares y, difieren en el tipo de mesofilo, floema, tipo de glándulas y disposición de los tricomas; para el género *Byrsonima* la disposición del floema en el nervio medio es un carácter anatómico con relevancia taxonómica (Araújo-Silva et al., 2010).

Cabe resaltar que los estudios anteriores, además de proveer información taxonómica, también aportan conocimiento ecoanatómico, el cual toma relevancia ante los actuales escenarios de cambio climático, ya que su entendimiento permite la toma de decisiones sobre restauración y conservación de especies *in situ* o *ex situ* (Torres y Sanabria, 2011; Montaña-Arias et al., 2013).

Al respecto, Chapolagh-Paridari et al. (2013) sugieren que los caracteres como la densidad estomática, tamaño de la planta y espesor de la lámina, están relacionados con factores ambientales, tales como la altitud, temperatura y precipitación. En este sentido, en *Ribes ciliatum* Humb. & Bonpl. ex Roem. & Schult, *Lupinus meridanus* Moritz ex C.P. Sm. y *L. eremonomos* C.P. Sm., se observó una correlación negativa entre la altura de la planta y el tamaño de la hoja con respecto a la altitud, y positiva con la densidad estomática (Briceño et al., 2000; Jiménez-Noriega et al., 2015).

Ely et al. (2005) estudiaron la estructura foliar de *Monochaetum meridense* (H. Karst.) con relación a su hábitat, observaron hojas glabras, con cutícula delgada y parénquima esponjoso, atributos que caracterizan a la planta como una especie mesomórfica (Laskoswki, 2000). Torres y Sanabria (2011) reportan cambios en el desarrollo de *Cattleya jenmanii* Rolfe y *C. lueddemanniana* Rchb. f. originados por el ambiente como la reducción en el espesor de la lámina, epidermis y cutícula y un mesofilo con ausencia de fibras y haces vasculares, dichos cambios son estrategias

para distribuirse sobre gradientes altitudinales y condiciones climáticas adversas (Molina-Montenegro y Cavieres, 2010).

A pesar de que existen estudios anatómicos foliares para la familia Malpigiaceae éstos son escasos, en específico para el género *Malpighia*, ya que solo se registra un estudio en *Malpighia emarginata* DC., indicando que tiene adaptaciones xeromórficas, por presentar epidermis uniestratificada, hojas hipoestomáticas y estomas paracíticos (Siddique y Ahmad, 1997). En el caso de *M. mexicana* no existen estudios sobre la anatomía de la hoja; aunado a esto, presenta problemas taxonómicos. Maldonado-Peralta et al. (2016), reportan a esta especie como sinónimo de *Malpighia glabra* L. y de *Malpighia puniceifolia* L. antes llamada *Malpighia emarginata* DC., sin embargo, morfológicamente existen caracteres como: altura del tronco, forma y tamaño de hojas, color de los pétalos, así como la disposición del estilo, tamaño del peciolo y tamaño del fruto, lo cual indica que podría tratarse de especies diferentes.

El nanche rojo o guejocote, es un árbol o arbusto con potencial frutícola, ornamental y medicinal, utilizado como cerca viva y consumido en nieves, raspados o conservas. El estudio de poblaciones a nivel anatómico ayudaría a explicar las diferencias a nivel de raíz, tallo y hoja y poder relacionarla con la producción y características de los frutos. Este tipo de estudios se ha implementado para la mejora de los rendimientos.

El conocimiento anatómico de las plantas es importante porque sus funciones están relacionadas con su estructura y permite tener una mejor capacidad para evaluar su funcionamiento, con base en la estructura de la planta a partir de la caracterización de células y tejidos se pueden buscar diferencias que expliquen los mecanismos de adaptación que contribuyen al incremento de la producción de frutos y/o rendimiento, así como en las características del fruto en arboles con potencial frutícola.

Debido a lo anterior se propusieron el siguiente objetivo general: estudiar los cambios anatómicos cualitativos y cuantitativos en los órganos de la planta de *Malpighia mexicana* A. Juss. en tres ambientes y como objetivos específicos: a) describir y comparar caracteres histológicos de raíz, tallo y hoja de *Malpighia mexicana* A. Juss. en tres ambientes mediante las siguientes variables: grosor de cutícula (mm), grosor de la epidermis (mm), densidad estomática, índice estomático, número de capas en la epidermis (uniestratificada y pluriestratificada), grosor del parénquima de empalizada y parénquima esponjoso (mm), número y tamaño de rafidios, número de células en los diferentes tejidos (mm^2), el área promedio de cada vaso (mm^2) y el área de vasos en los diferentes órganos (mm^2) y b) analizar y comparar estadísticamente las variables medidas de los tres ambientes a través de comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

Literatura citada

Anderson, W. R. 2013. Origins of Mexican Malpighiaceae. *Acta Botanica Mexicana* 104: 107-156.

DOI: <https://doi.org/10.21829/abm104.2013.60>

Arambarri, A. M., M. C. Novoa, N. D. Bayón, M. P. Hernández, M. N. Colares y C. Monti. 2011.

Ecoanatomía foliar de árboles y arbustos de los distritos chaqueños occidental y serrano (Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 46(3-4): 251-270.

Araújo-Silva, J., A. A. Azevedo, L. C. Silva y R. M. Meira. 2010. Leaf anatomy as an additional

taxonomy tool for 16 species of Malpighiaceae found in the Cerrado area (Brazil). *Plant Systematics and Evolution* 286(1-2): 117-131. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-010-0268-3>

Briceño, B., A. Azócar, M. Fariñas y F. Rada. 2000. Características anatómicas de dos especies de

Lupinus L. de los Andes venezolanos. *Pittieria* 1: 21-35.

Castañeda-Vildózola, A., O. Franco-Mora, J. C. R. Alemán, C. Ruiz-Montiel, J. Valdez-Carrasco

y A. Equihua-Martínez. 2014. New distribution records of the small avocado seed weevil, *Conotrachelus perseae* Barber (Coleóptera: Curculionidae), in Mexico and notes on its biology. *The Coleopterists Bulletin* 69(2): 267-271. DOI: <https://doi.org/10.1649/0010-065X-69.2.267>

Castro, M. M., H. F. Leitão-Filho y W. R. Monteiro. 1997. Utilização de estruturas secretoras na

identificação dos gêneros de Asteraceae de uma vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 20: 163-174.

Chapolagh-Paridari, I., S. Gholamali-Jalali, A. Sonboli, M. Zarafshar y P. Bruschi. 2013. Leaf

macro and micro-morphological altitudinal variability of *Carpinus betulus* in the Hyrcanian

- forest (Iran). *Journal of Forestry Research* 24(2): 301-307. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-013-0353-x>
- Davis, C. C y W. R. Anderson. 2010. A complete generic phylogeny of Malpighiaceae inferred from nucleotide sequence data and morphology. *American Journal of Botany* 97(12): 2031-2048. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.1000146>
- Ely, F., F. Torres y J. Gaviria. 2005. Morfología y anatomía foliar de *Monochaetum meridense* (Melastomataceae). *Acta Botanica Venezuelica* 28(2): 197-212.
- Espinoza-Velázquez, J., J. Valdés-Reyna y J. Alcalá-Rodríguez. 2012. Morfología y anatomía de radículas múltiples en plántulas de maíz derivadas de cariopsis con poliembrionía. *Polibotánica* 33: 207-221.
- Fank-de-Carvalho, S., M. Salete Marchioretto y S. Nair Bão. 2010. Anatomía foliar, morfología e aspectos ecológicos das especies da familia Amaranthaceae da Reserva Particular do Patrimônio Natural Cara Preta, em Alto Paraíso, Brasil. *Biota Neotropica* 10(4): 77-86. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1676-06032010000400011>
- Herrera-Cárdenas, R., T. Terrazas y S. Loza-Cornejo. 2000. Anatomía comparada del tallo y de la raíz de las especies del género *Neoevansia* Marshall (Cactaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67: 5-16.
- Jiménez-Noriega, M. S., T. Terrazas y L. López-Mata. 2015. Variación morfo-anatómica de *Ribes ciliatum* a lo largo de un gradiente altitudinal en el norte de la Sierra Nevada, México. *Botanical Sciences* 93(1): 23-32. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.131>
- Laskowski, L. y D. Bautista. 1999. Secuencia de aparición y características anatómicas de las raíces adventicias del semeruco bajo dos tratamientos de AIB. *Bioagro* 11(3): 88-96.

- Laskowski, L. 2000. Características anatómicas de la hoja y el tallo del semeruco (*Malpighia emarginata* DC.) cultivado en dos localidades del Estado Lara. *Bioagro* 12(2): 33-40.
- Liscovsky, I. J y M. T. Cosa. 2005. Comparative anatomy of leaf and stem in species of *Cestreeae*. *Gayana Botánica* 62(1): 33-43. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432005000100006>
- Maldonado-Peralta, M. A., G. García de los Santos, J. R. García Nava, T. Corona Torres, V. M. Cetina Alcalá y C. Ramírez Herrera. 2016. Calidad morfológica de frutos y endocarpios del nanche rojo (*Malpighia mexicana*), Malpighiaceae. *Acta Botanica Mexicana* 117: 37-46. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm117.2016.1166>
- Martín-Montiel, D. C., S. M. Pérez de Bianchi¹, A. Etcheverry, C. Camardelli, M. Alemán y T. Figueroa. 2012. Hábito de crecimiento y anatomía de la raíz en *Macroptilium erythroloma* y *Macroptilium bracteatum* (Fabaceae). *Phyton* 81: 215-220.
- Milan, P., A. H. Hayashi y B. Appezzato-da-Glória. 2006. Comparative leaf morphology and anatomy of three Asteraceae species. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49(1): 135-144. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132006000100016>
- Molina-Montenegro, M. A y L. A Cavieres. 2010. Variación altitudinal de los atributos morfo-fisiológicos en dos especies de plantas alto-andinas y sus implicancias contra la fotoinhibición. *Gayana Botánica* 67(1): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0717-66432010000100001>
- Montaño-Arias, S. A., S. L. Camargo-Ricalde y C. P. Pérez-Olvera. 2013. Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences* 91(1): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.398>
- Morton, J. F. 1987. Barbados Cherry In: *Fruits of warm climates*. Creative Resource Systems. Miami, USA. Pp. 204-207.

- Rebollar, S., A. Quintanar y C. P. Pérez-Olvera. 1994. Estudio anatómico de la madera de *Psidium sartorianum* (Myrtaceae) y *Cordia gerascanthus* (Boraginaceae). *Acta Botanica Mexicana* 27: 89-97. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm27.1994.712>
- Siddique, S. A. y R. Ahmad. 1977. Epidermal studies of some Malpighiaceae. *Plant Science* 9: 37-39.
- Torres, A. J. y M. Ch. Sanabria. 2011. Efecto del ambiente de desarrollo sobre la anatomía foliar de *Cattleya jenmanii* Rolfe y *C. lueddemanniana* Rchb. f. (Orchidaceae). *Acta Botanica Venezuelica* 34(1): 199-214.
- Villaseñor, J. L. 2010. El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. Pp. 28-40.
- Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 559-902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Zamora-Natera, J. F. y T. Terrazas. 2012. Anatomía foliar y del pecíolo de cuatro especies de *Lupinus* (Fabaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83(3): 687-697. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.27264>

CAPÍTULO 1. ANATOMÍA FOLIAR DE *Malpighia mexicana* (MALPIGHIACEAE) FOLIAR ANATOMY OF *Malpighia mexicana* (MALPIGHIACEAE)

Lorena Yeraldi Bárcenas-López; Susana Adriana Montaña-Arias; José Antonio López-Sandoval;
Andrés González Huerta; Martín Rubí-Arriaga; Georgina Vargas Simón

Inicio > Usuario/a > Autor/a > Envíos > #1404 > Edición

#1404 Edición

> RESUMEN > REVISIÓN > **EDICIÓN**

Envío

Autores/as LORENA YERALDI BARCENAS LOPEZ, SUSANA ADRIANA MONTAÑO ARIAS, JOSE ANTONIO LOPEZ SANDOVAL, ANDRES GONZALEZ HUERTA, GEORGINA VARGAS SIMON, MARTIN RUBI ARRIAGA 

Título ANATOMÍA FOLIAR DE *Malpighia mexicana* (MALPIGHIACEAE)

Sección Artículo de investigación

Editor/a Marie-Stéphanie Samain 

Corrección de originales

INSTRUCCIONES DE CORRECCIÓN DE ORIGINALES

Corrector/a de originales Biól. Patricia Mayoral Loera

METADATOS DE REVISIÓN		SOLICITUD(ES)	EN PROCESO	COMPLETADO
1.	Corrección inicial Archivo: Ninguno	2018-09-21	2018-09-21	—
2.	Corrección del autor/a Archivo: Ninguno <input type="button" value="Examinar..."/> No se ha seleccionado ningún archivo. <input type="button" value="Cargar"/>	—	—	
3.	Corrección final Archivo: Ninguno	—	—	—

Comentarios de corrección de originales  Ningún comentario

Artículo de investigación

Título corto: Bárcenas-López et al.: Anatomía foliar de *Malpighia mexicana* (Malpighiaceae)

Recibido: 11 de junio de 2018.

Revisado: 20 de agosto de 2018.

Aceptado por Marie-Stéphanie Samain: 21 de septiembre de 2018.

Publicado Primero en línea: octubre de 2018.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 126: 2019.

Citar como: Bárcenas-López, L. Y., S. A. Montaña-Arias, J. A. López-Sandoval, A. González

Huerta, A. Rubí-Arriaga y G. Vargas -Simón. 2018(2019). Anatomía foliar de *Malpighia*

mexicana (Malpighiaceae). Acta Botanica Mexicana 126: e1404. DOI.

ANATOMÍA FOLIAR DE *Malpighia mexicana* (MALPIGHIACEAE)

FOLIAR ANATOMY OF *Malpighia mexicana* (MALPIGHIACEAE)

Lorena Yeraldi Bárcenas-López¹ orcid.org/0000-0002-7691-6061

Susana Adriana Montaña-Arias² orcid.org/0000-0002-1350-0536

José Antonio López-Sandoval³ orcid.org/0000-0001-5708-7344

Andrés González Huerta³ orcid.org/0000-0001-6055-7597

Martín Rubí-Arriaga^{3,5} orcid.org/0000-0001-7547-5017

Georgina Vargas Simón⁴ orcid.org/0000-0002-2142-4334

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (PCARN), Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50200 Toluca, Estado de México, México.

²Colegio de Posgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Programa de Botánica, 56230 Montecillo, México.

³Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50200 Toluca, Estado de México, México.

⁴Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, km 0.5 carretera Villahermosa-Cárdenas, Centro, 86039 Villahermosa, Tabasco, México.

⁵Autor para la correspondencia: m_rubi65@yahoo.com.mx

Resumen

Antecedentes y Objetivos: *Malpighia mexicana* es un árbol nativo de México y ampliamente distribuido en el país. Se cultiva en huertos o traspatios de zonas rurales, es fuente de recursos económicos, maderables, ornamentales y medicinales. Los estudios sobre la anatomía foliar del género *Malpighia* son escasos; caracteres como la forma, longitud, ancho y pubescencia de la hoja se usan para clasificar sus especies. Debido a lo anterior, los objetivos de este estudio fueron describir las características anatómicas de la hoja de *M. mexicana* y determinar los caracteres estructurales que están influenciados por el ambiente, como una forma de contribuir al conocimiento taxonómico y ecoanatómico del género *Malpighia* en México.

Métodos: Se seleccionaron tres individuos con altura y cobertura similar en tres sitios; se obtuvo una muestra compuesta de 20 hojas; las hojas se fijaron en FAA, se lavaron con agua corriente y se procesaron mediante técnicas de anatomía convencional, terminando con una inclusión e infiltración en parafina. Se realizaron cortes paradermales y transversales (15-20 μm), se tomaron fotografías y se registraron mediciones con el analizador de imágenes Leica LV 40.

Resultados clave: Las hojas de *M. mexicana* en corte paradermal presentan células poligonales y rectangulares, en algunos casos ovado-rectangulares, paredes anticlinales lineales y gruesas, son hipoestomáticas con complejos estomáticos paracíticos y presentan apéndices epidérmicos con tricomas unicelulares simples y ramificados. Transversalmente, las hojas constan de una epidermis simple uniestratificada y mesófilo bifacial. Se observó el desarrollo de estrategias de adaptación tanto en ambientes méxicos como en ambientes xéricos.

Conclusiones: Los caracteres anatómicos que distinguen a *M. mexicana* de otras especies de su género son la disposición y tipo de tricomas y estomas. La anatomía foliar presentó rasgos correlacionados tanto con ambientes méxicos (hoja dorsiventral, espacios intercelulares en el

mesófilo, ausencia de esclerénquima) como con ambientes xéricos (epidermis de células grandes, mayor concentración de estomas en la superficie abaxial).

Palabras clave: adaptación, ecoanatomía, taxonomía.

Abstract

Background and Aims: *Malpighia mexicana* is a native tree widely distributed in Mexico, which is cultivated in orchards or backyards of rural areas, and source of economic, timber, ornamental and medicinal resources. Studies on foliar anatomy of the genus *Malpighia* are scarce, characters such as the shape, length, width and pubescence of the leaf are used to classify its species. As a consequence, the objectives of this study were to describe the anatomical characteristics of the leaf of *M. mexicana* and to determine the structural characters that are influenced by the environment, in order to contribute to the taxonomic and ecoanatomical knowledge of the genus *Malpighia* in Mexico.

Methods: Three individuals with similar height and coverage were selected in three sites; a sample composed of 20 leaves was obtained; the leaves were fixed in FAA, washed with water and processed by conventional anatomy techniques, ending with inclusion and infiltration in paraffin. Paradermal and transverse cuts were made (15-20 μm), photographs were taken, and measurements were recorded with the image analyzer Leica LV 40.

Key results: The leaves of *M. mexicana* in paradermal section present polygonal and rectangular cells, in some cases ovate-rectangular, linear and thick anticlinal walls are hypostomatic with paracitic stomatal complexes and present epidermal appendages with single and branched unicellular trichomes. Transversely the leaves consist of a simple unistratified epidermis and bifacial mesophyll. The development of adaptation strategies was observed in both mesic and xeric environments.

Conclusions: The anatomical characters that allow to differentiate *M. mexicana* are the disposition and type of trichomes and type of stomata. Foliar anatomy presented correlated traits both with mesic (dorsiventral leaf, intercellular spaces in the mesophyll, absence of sclerenchyma) and xeric environments (epidermis of large cells, higher concentration of stomata in the abaxial surface).

Key words: adaptation, ecoanatomy, taxonomy.

Introducción

El género *Malpighia* L. (Malpighiaceae) comprende ca. 50 especies de árboles y arbustos nativos de América tropical y subtropical (Davis y Anderson, 2010). En México, se distribuyen 19 especies, 12 de ellas son endémicas (Anderson, 2013; Villaseñor, 2016). Entre éstas se encuentra *Malpighia mexicana* A. Juss., comúnmente conocida como nanche rojo, guejocote o guachocote (Maldonado-Peralta et al., 2016). Esta especie es una fuente de alimentación para los pobladores locales, por lo que se cultiva en los huertos familiares de zonas rurales, aunque sin ningún manejo agronómico (Morton, 1987; Castañeda-Vildózola et al., 2014). Así mismo, *M. mexicana* es fuente de recursos económicos, maderables, ornamentales y medicinales (Maldonado-Peralta et al., 2016). Cabe señalar que como especie arbórea brinda protección y sombra a otras especies, tanto vegetales como animales, desempeñando un papel importante dentro del ecosistema como productor de oxígeno (Arambarri et al., 2011). Además, es una fuente de fijación de bióxido de carbono y, por ende, es parte de los reguladores del clima (Villaseñor, 2010).

Dado que el ambiente es un factor que puede influir en las características anatómicas de las especies vegetales, se han realizado diversos estudios enfocados en las hojas (Fank-de-Carvalho et al., 2010; Zamora-Natera y Terrazas, 2012; Jiménez-Noriega et al., 2015), tallos (Rebollar et al., 1994; Herrera-Cárdenas et al., 2000) y raíces (Laskowski y Bautista, 1999; Espinoza-Velázquez et al., 2012; Martín-Montiel et al., 2012). Independientemente del órgano estudiado el análisis indica que las especies tienen estrategias de adaptación a nivel morfológico, fisiológico y anatómico.

Uno de los órganos vegetales más importantes es la hoja ya que en ella se efectúan funciones vitales para la planta, por ello, se ha estudiado la estructura foliar con enfoques taxonómicos y ecológicos. Al respecto, Milan et al. (2006) compararon la anatomía de la hoja de especies de la familia Asteraceae. Todas ellas mostraron diferencias; por ejemplo, *Mikania glomerata* Spreng. presentó estomas en ambas superficies, tricomas glandulares uniseriados y conductos secretores;

por su parte, *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. tiene hidátodos y cavidades secretoras; mientras que *Vernonia condensata* Baker mostró idioblastos y tricomas glandulares uni y biseriados. Cabe señalar que las estructuras secretoras son caracteres con relevancia taxonómica para esta familia (Castro et al., 1997).

Para el caso de la familia Leguminosae se ha descrito la anatomía foliar de cuatro especies de *Lupinus* L. (*L. aschenbornii* S. Schauer, *L. exaltatus* Zucc., *L. montanus* Kunth y *L. reflexus* Rose), las cuales comparten epidermis papilosa con paredes anticlinales, estomas anomocíticos, tricomas simples y mesófilo bifacial (Zamora-Natera y Terrazas, 2012). Se observó que estas especies difieren en la disposición, tamaño y número de haces vasculares, los cuales permiten su identificación. Por ejemplo, *Lupinus exaltatus* tiene haces dispuestos en un cilindro vascular continuo y compacto, mientras que en *L. aschenbornii* forman un anillo y en *L. reflexus* y *L. montanus* se presentan de forma discontinua (Zamora-Natera y Terrazas, 2012).

Otra familia estudiada es Solanaceae; Liscovsky y Cosa (2005) describen la anatomía foliar de 13 especies de los géneros *Cestrum* L. y *Sessea* Ruiz & Pav., donde reportan que el tipo de estomas y tricomas, así como la arquitectura de la vena secundaria, son los caracteres anatómicos más importantes en la taxonomía de estos géneros. Además, observaron que *Cestrum* se caracteriza por tener una venación broquidódroma; en cambio en *Sessea* es semicraspedódroma.

En la familia Malpighiaceae, mediante la descripción de la anatomía de la hoja, se ha reportado la presencia de laticíferos en los géneros *Galpimia* Cav. y *Verrucularia* A. Juss. (Vega et al., 2002). En el mismo sentido, se han estudiado 16 especies de los siguientes géneros: *Banisteriopsis* C.B. Rob. (p. ej., *B. anisandra* (A. Juss.) B. Gates, *B. argyrophylla* (A. Juss.) B. Gates. y *B. campestris* (A. Juss.) Little), *Byrsonima* Rich. ex Kunth. (p. ej., *B. basiloba* A. Juss., *B. crassifolia* (L.) Kunth y *B. lancifolia* A. Juss.) y *Heteropterys* Kunth (p. ej. *H. anoptera* A. Juss.,

H. byrsonimifolia A. Juss. y *H. tomentosa* A. Juss.), las cuales comparten la disposición del haz vascular en forma de arco, estomas paracíticos y tricomas glandulares y difieren en el tipo de mesófilo, floema, tipo de glándulas y disposición de los tricomas (Araújo-Silva et al., 2010).

Cabe resaltar que los estudios anteriores, además de proveer información taxonómica, también aportan conocimiento ecoanatómico, el cual toma relevancia ante los actuales escenarios de cambio climático, ya que su entendimiento permite la toma de decisiones sobre restauración y conservación de especies *in situ* o *ex situ* (Torres y Sanabria, 2011; Montaña-Arias et al., 2013).

Chapolagh-Paridari et al. (2013) sugieren que caracteres, como la densidad estomática, tamaño de la planta y espesor de la lámina, están relacionados con factores ambientales, tales como la altitud, temperatura y precipitación. En este sentido, en *Ribes ciliatum* Humb. & Bonpl. ex Roem. & Schult., *Lupinus meridanus* Moritz ex C.P. Sm. y *L. eremonomus* C.P. Sm., se observó una correlación negativa entre la altura de la planta y el tamaño de la hoja con respecto a la altitud, y una positiva con la densidad estomática (Briceño et al., 2000; Jiménez-Noriega et al., 2015).

Ely et al. (2005) estudiaron la estructura foliar de *Monochaetum meridense* Naudin con relación a su hábitat, observando hojas glabras, con cutícula delgada y parénquima esponjoso, atributos que la caracterizan como una especie mesomórfica (Laskoswki, 2000). Por otra parte, Torres y Sanabria (2011) reportan cambios en el desarrollo de *Cattleya jenmanii* Rolfe y *C. lueddemanniana* Rchb. f. originados por el ambiente como la reducción en el espesor de la lámina, epidermis y cutícula, y un mesófilo con ausencia de fibras y haces vasculares. Dichos cambios son estrategias para distribuirse sobre gradientes altitudinales y condiciones climáticas adversas (Molina-Montenegro y Cavieres, 2010).

A pesar de que existen estudios anatómicos foliares para la familia Malpighiaceae, éstos son escasos, en específico para el género *Malpighia*, ya que solo se registra un estudio en *M.*

emarginata DC., indicando que tiene adaptaciones xeromórficas, por presentar epidermis uniestratificada, hojas hipoestomáticas y estomas paracíticos (Siddique y Ahmad, 1977). En el caso de *M. mexicana* no existen estudios sobre la anatomía de la hoja; esta especie ha sido reportada como sinónimo de *M. glabra* L. y de *M. puniceifolia* L., antes llamada *M. emarginata* (Maldonado-Peralta et al., 2016). Sin embargo, existen caracteres morfológicos como altura del tronco, forma y tamaño de hojas, color de los pétalos, así como la disposición del estilo, tamaño del pecíolo y tamaño del fruto, que deben estudiarse para definir dicha sinonimia. Por lo anterior, los objetivos de este estudio son: 1) describir las características anatómicas de la hoja de *Malpighia mexicana* y 2) determinar los caracteres anatómicos que pueden estar influenciados por el ambiente, como una forma de contribuir al conocimiento taxonómico y ecoanatómico del género *Malpighia* en México.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la Faja Volcánica Transmexicana. Se seleccionaron tres sitios, dos en el Estado de México (Malinalco (S1) y Zumpahuacán (S2)), y el tercero en el estado de Morelos (Coatlán del Río (S3)). Para cada sitio de muestreo se revisó la temperatura, la precipitación (CONAGUA, 2017), el tipo de vegetación (Rzedowski, 2006) y clima (García, 1988) (Cuadro 1).

En cada sitio se seleccionaron tres individuos, con alturas (3-4 m) y coberturas (4.70 y 6.20 m) similares. La copa de los individuos se dividió en cuadrantes (Montaño-Arias et al., 2018), se colectaron cinco hojas por cuadrante; éstas se mezclaron para obtener una muestra compuesta (20 hojas/individuo). Las hojas se fijaron con FAA (1:1:1) y se mantuvieron a temperatura ambiente (18 °C). Los ejemplares de referencia correspondientes están depositados en el Herbario Eizi Matuda (CODAGEM), de la Universidad Autónoma del Estado de México (Cuadro 1).

En el laboratorio, las hojas se lavaron con agua corriente y se colocaron en dietilamina concentrada durante 24 h para su ablandamiento. Enseguida se deshidrataron en series ascendentes

de alcoholes (30-100%), alcohol y xileno 50:50 y xileno (100%) por 6 h en cada concentración, terminando con una inclusión en parafina (50% de histoparafina y 50% de aceite vegetal) con punto de fusión de 60-65 °C (Ruzin, 1999). Se realizaron cortes paradermales y transversales (15-20 μm) en un micrótopo de deslizamiento (American Optical 860, Nueva York, EUA). Se tiñeron con safranina-verde rápido y se montaron en resina sintética (Johansen, 1940).

La descripción anatómica de la hoja se realizó siguiendo la nomenclatura de Metcalfe y Chalk (1979). Las observaciones se efectuaron en un fotomicroscopio Leica DM 300 (Leica Microsystems, Heerbrugg, Suiza); se tomaron fotografías y se registraron mediciones lineales y de área con el analizador de imágenes Leica LV 40 (Leica Microsystems, Heerbrugg, Suiza). Se evaluaron 18 caracteres; para cada variable se tomaron 20 mediciones. Las variables evaluadas fueron: espesor de la lámina (μm , de cutícula adaxial a cutícula abaxial), espesor de la cutícula adaxial y abaxial (μm), largo y ancho de las células epidérmicas adaxiales y abaxiales (μm), espesor del parénquima en empalizada y del esponjoso (μm), tamaño de las células oclusivas (μm , largo y ancho) y la densidad de cristales (número de cristales/ mm^2).

En la vena media se registró el ancho y largo de las células epidérmicas (μm), el diámetro tangencial de los elementos de vaso (μm); la orientación de la medición de los vasos fue hacia la epidermis adaxial; así como el espesor del floema. De forma adicional, se calculó la densidad estomática (número de estomas/ mm^2) e índice estomático (IE). El índice estomático se calculó mediante la fórmula: Índice Estomático=(número de estomas/número de estomas+número de células epidérmicas) \times 100; se realizaron cinco repeticiones de 1 mm^2 /individuo (Cañizares et al., 2003).

Por último, los datos obtenidos se examinaron con un análisis de varianza (ANOVA, $p \leq 0.05$), seguido por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el paquete estadístico INFOSTAT (2017).

Resultados

Las hojas de *Malpighia mexicana* midieron 3 a 16 cm de largo y 2 a 8 cm de ancho, son ovadas, gruesas, pubescentes, de color verde brillante, con vena media sobresaliente. Anatómicamente, las hojas de los tres sitios presentaron características similares, en corte paradormal, se observó epidermis en ambas caras de la lámina, la cual consta de células poligonales y ovadas-rectangulares, con paredes anticlinales lineales y gruesas (Figs. 1A-F), sin arreglo definido, las hojas hipoestomáticas con estomas de tipo paracítico (Figs. 1C-D), y ambas superficies con apéndices epidérmicos con abundantes tricomas unicelulares caedizos de tipo malpighiáceo.

El espesor de la lámina fue mayor en hojas del sitio S2 (205.12 μm), en tanto que, en las de S3 fue menor con 155.07 μm . En cuanto al espesor de la cutícula, éste mostró diferencias en ambas superficies, la cutícula adaxial más gruesa la presentaron las hojas de S1, mientras que las hojas de S2 presentan la cutícula delgada. Sin embargo, la cutícula abaxial en las hojas de S2 fue la más gruesa y en las de S1 la más delgada (Cuadro 2).

Las hojas de los tres sitios presentaron apéndices epidérmicos en ambas superficies de la lámina, éstos fueron simples y ramificados (Figs. 1E-F). Con relación al tamaño de las células epidérmicas adaxiales, las hojas del sitio S1 presentaron células pequeñas y las células epidérmicas abaxiales fueron más grandes en el S2. Cabe señalar que en S3 las células son más angostas, en tanto que el largo de las células se mantuvo constante en las hojas de los tres sitios (Cuadro 2).

Con relación a las células oclusivas de los complejos estomáticos, se observó que las hojas provenientes de S2 tienen en promedio el mayor tamaño ($16.42 \times 28.95 \mu\text{m}$) y, las de S3 son las más pequeñas ($11.32 \times 12.16 \mu\text{m}$; Cuadro 2).

En corte transversal, la epidermis es uniestratificada con cutícula lisa y gruesa y células rectangulares ocasionalmente introducidas en el mesófilo, éste presentó un arreglo bifacial (Figs. 2A-C). Además, el mesófilo de la superficie adaxial tiene cristales clasificados como drusas, con una densidad de 6-10 drusas/ mm^2 ; los cuales se observaron tanto solitarios como agrupados. El mesófilo está compuesto de 2 a 4 estratos de parénquima en empalizada con cloroplastos. El parénquima esponjoso estuvo constituido de 6 a 8 estratos de células con presencia de espacios intercelulares. El parénquima en empalizada de las hojas del sitio S3 registró un mayor espesor ($78.37 \mu\text{m}$), mientras que en las de S1 y S2 el tamaño fue similar (Cuadro 2). Respecto al espesor del parénquima esponjoso, en las hojas de S2 tuvo mayor espesor ($76.90 \mu\text{m}$), mientras que el de menor se registró en las hojas de S1.

La vena media está conformada por un haz colateral en forma de arco hacia la superficie adaxial. La epidermis tiene una capa de células rectangulares a ovadas de tamaño variable con cutícula lisa (Figs. 3A-C). Cabe resaltar que, independientemente del sitio de colecta, no se observó parénquima en empalizada ni parénquima esponjoso. En las hojas de S3, por debajo de la epidermis, se observaron de 3 a 5 estratos de células de colénquima angular (Fig. 3C). El xilema se encontró dispuesto radialmente formado de 3 a 8 estratos de células, alternando una hilera de vasos con una de parénquima xilemático. Los sitios S1 y S2 presentaron los vasos con el mayor diámetro tangencial (20.72 y $21.56 \mu\text{m}$, respectivamente) (Cuadro 2). El floema se encuentra en forma de arco, hacia la superficie adaxial, conformado por 10 a 14 estratos de células, cabe resaltar que en las hojas de S3 se registró el mayor espesor.

De forma adicional, se calculó el índice estomático, éste no presentó diferencias significativas entre sitios; sin embargo, la densidad estomática fue diferente en los tres sitios. Las hojas del sitio S3 exhibieron la mayor cantidad de estomas con 143 mm^2 , mientras que las de los sitios S1 (76 mm^2) y S2 (92 mm^2) tienen la menor densidad, aunque éstos son más grandes (Cuadro 2).

Discusión

Interpretación taxonómica

La familia Malpighiaceae resulta difícil de estudiar debido a la variabilidad morfológica y sinonimia de sus especies (Gates, 1982; Anderson, 2001a, b). Por ejemplo, *Malpighia emarginata* tiene ocho sinónimos y *M. mexicana* tiene tres subespecies y una forma (TROPICOS, 2017). Los caracteres como la forma, longitud, ancho y pubescencia de la hoja se utilizan para identificar taxonómicamente las especies de la familia Malpighiaceae (Anderson, 1979).

De acuerdo con los resultados obtenidos, *M. mexicana* presenta hojas hipostomáticas con abundancia de tricomas en ambas superficies de la lámina, células epidérmicas alargadas y grandes, vena media en forma de arco y el mesófilo con un arreglo bifacial. Los caracteres con relevancia taxonómica son la presencia de tricomas unicelulares simples y ramificados en ambas superficies de la lámina, aunque la presencia de tricomas unicelulares simples se ha reportado en *M. emarginata* pero éstos solo están presentes en la parte abaxial (Laskowski, 2000).

La epidermis uniestratificada presente en *M. mexicana* también ha sido observada en especies de los géneros *Banisteriopsis*, *Byrsonima* y *Heteropterys* (Araújo-Silva et al., 2010), por lo que ésta no presenta relevancia taxonómica. En cuanto al mesófilo dorsiventral, éste es propio de las eudicotiledóneas (Arambarri et al., 2011), dato que concuerda con lo reportado por Attala (1997); Laskowski (2000) y Pereira (2002) para la familia Malpighiaceae.

En este estudio se encontraron complejos estomáticos de tipo paracítico, al igual que lo reportado por Araújo-Silva et al. (2010), en 16 especies de la familia Malpighiaceae, lo que coincide con Metcalfe y Chalk (1979), quienes señalan que estos predominan en las malpigiáceas. Sin embargo, éstos no son exclusivos de las malpigiáceas, ya que han sido reportados en integrantes de otras familias, como Cactaceae (Eggli, 1984), Gesneriaceae (Ramírez-Roa y Varela-Hernández (2011) y Fabaceae (Montaño-Arias et al., 2018), entre otras.

El índice estomático obtenido en *M. emarginata* es de 16% y los valores encontrados en este estudio para *M. mexicana* son de 18%. Schoch et al. (1980) señalan que el índice estomático es una función del total de la radiación recibida y de las variaciones que ésta experimenta durante el desarrollo de la hoja. De acuerdo con Leegod (1993), existe un rango de 40 a 300 estomas/mm² en la parte abaxial de las hojas de plantas C₃; en consecuencia, esta característica no puede ser considerada con valor taxonómico por la amplitud del rango mencionado.

El haz vascular en forma de arco, el xilema dispuesto radialmente y la posición del floema en la vena media presentes en *M. mexicana* son caracteres considerados constantes en el género *Malpighia* por Metcalfe y Chalk (1979) y Laskoswki (2000). Estos caracteres han sido reportados también en especies de *Lupinus* de la familia Leguminosae (Zamora-Natera y Terrazas, 2012), por su parte; Araújo-Silva et al. (2010) registraron la presencia de tejido vascular en forma de arco y presencia de floema en la médula de *Byrsonima*, excepto *B. coccolobifolia* Kunth. En este estudio, el xilema y el floema se encuentran en forma de arco pero no se observó floema en la región medular de la vena media.

Interpretación ecoanatómica

Las hojas de los tres sitios presentaron características que corresponden con la estructura de tipo de hoja mesomórfica como mesófilo dorsiventral, abundancia de espacios intercelulares y

estomas restringidos a la superficie abaxial. Además, se observaron caracteres xeromorfos como células del parénquima en empalizada largas y estrechas, presencia de cutícula gruesa en epidermis superior y estomas restringidos a la superficie abaxial (Lindorf, 1994; Araque et al., 2009).

El análisis de los resultados muestra que *M. mexicana* conserva su estructura anatómica en las hojas de los tres sitios. No obstante, se observaron diferencias en algunos caracteres cuantitativos, como en el espesor de la lámina, cutícula y largo y ancho de las células epidérmicas, estas diferencias podrían deberse al sitio donde se desarrolla la especie, a un déficit hídrico y a altas temperaturas (Laskowski, 2000).

Las hojas de S3 presentaron mayor abundancia de tricomas; el sitio presenta la temperatura más alta 22.2 °C (CONAGUA, 2017), lo que podría sugerir que la pubescencia surge como estrategia para mitigar las ondas de calor (Molina-Montenegro y Cavieres, 2010). En los S1 y S2 que presentan menor temperatura (20 °C y 18.2 °C, respectivamente), la densidad de tricomas de las hojas disminuyó, dato que concuerda con lo reportado por Jiménez-Noriega et al. (2015), quienes observaron un incremento en la densidad de tricomas en hojas de *Ribes ciliatum* conforme aumenta la temperatura del sitio donde se desarrollan.

De acuerdo con Granada-Chacón y Benítez de Rojas (2004), la presencia de una cutícula gruesa y células grandes con posible función de almacenamiento de agua son caracteres propios de especies caducifolias. *Malpighia mexicana* concuerda con estas características y es una especie caducifolia. Sin embargo, existe variación en el espesor de la cutícula de la hoja entre sitios, lo cual podría ser el resultado de la diferencia de humedad entre ellos. Por ejemplo, el S1 presenta una precipitación de 1375 mm y cutícula gruesa, mientras que en los S2 y S3 es más delgada con 1000 mm y 964 mm respectivamente (CONAGUA, 2017), lo que podría explicar el engrosamiento de la cutícula. Datos similares fueron reportados por Araújo-Silva et al. (2010), en especies que

habitan climas secos (*Banisteriopsis anisandra*, *B. campestris*, *Byrsonima coccolobifolia*, *B. basiloba*, *Heteropterys byrsonimifolia* y *H. anoptera*), donde observaron variación en el grosor de la cutícula. Según Yeats y Rose (2013) esta característica ejerce algún efecto sobre la resistencia estructural de las plantas; además, la cutícula es la línea de defensa de los vegetales ante los ataques de patógenos (Agrios, 2010).

La conformación del mesófilo bifacial y la combinación de características meso y xeromórficas es típica de plantas adaptadas a altas condiciones de luz y alta disponibilidad de agua (Smith et al., 1997), lo que indica que *M. mexicana* puede estar adaptada a esas condiciones. Las hojas de los sitios S1 y S2 mostraron una disminución en el espesor de la lámina a diferencia del otro sitio, esto puede deberse a que se localizan a mayor altitud y cuenta con una precipitación anual mayor (Cuadro 1), lo que coincide con lo señalado por Zamora-Natera y Terrazas (2012), quienes reportan que las especies de *Lupinus* que conviven y crecen a mayor altitud mostraron menor espesor de la lámina y del mesófilo, que las especies que crecen a menor altitud.

La presencia de parénquima esponjoso laxo observado en especies de las familias Asteraceae, Solanaceae y Malpighiaceae (Ragonese, 1990; Milan et al., 2006; Araújo-Silva et al., 2010) se ha sugerido como un amortiguador en cambios bruscos de temperatura en el ciclo diario, además de proporcionar rigidez a la lámina foliar (Ely et al., 2005). *Malpighia mexicana* se caracteriza por tener varios estratos de células parenquimáticas en empalizada, condición que favorece la mayor producción de fotoasimilados y polisacáridos, que se puede reflejar en un mejor crecimiento vegetativo y reproductivo que ayude a la producción de un mayor número de frutos y de mayor calidad (Terashima et al., 2011; Rodríguez et al., 2016).

Por otro lado, Sack y Scoffoni (2013) reportan que el diámetro de los vasos del xilema podría ser crucial para aumentar la eficiencia hidráulica con relación a la altura del árbol y, por lo

tanto, permitir un equilibrio en el suministro de agua. Las hojas provenientes del S3 fueron las que presentaron diámetros menores; además, fue el sitio con temperatura más baja lo que podría significar menores tasas de transpiración en la planta.

Por otro lado, Engelbrecht et al. (2000) mencionan que las especies maderables que habitan regiones más húmedas registran diámetros y longitudes de los vasos mayores, en comparación con las que habitan ambientes secos. Esto coincide con lo observado en las hojas de *Malpighia mexicana*, donde los individuos provenientes de sitios con mayor precipitación presentan vasos con diámetros mayores en la hoja, lo cual facilita un adecuado flujo de agua y nutrientes (Roth et al., 1986).

La presencia de cristales tipo drusas en los individuos de los tres sitios favorece el desarrollo de la planta. Según Nitta et al. (2006) las drusas ayudan a la reabsorción de calcio en condiciones de deficiencia, previenen toxicidad y dan soporte estructural. Finley (1999) señaló que estas sustancias son tóxicas y su acumulación es una forma de excreción que es aprovechada por la planta para prevenir el consumo por parte de los herbívoros, pues los cristales provocan irritación de las mucosas bucales en estos animales.

Conclusiones

La hoja de *Malpighia mexicana* conserva su estructura anatómica independientemente del sitio de colecta. Los caracteres taxonómicos que permiten identificarla son la disposición bifacial de los tricomas de tipo simple y ramificado y la posición de floema en el nervio medio. Se registraron diferencias cuantitativas con respecto al espesor de la lámina y el mesófilo entre los sitios estudiados, diferencias que se deben a la altitud, precipitación y temperatura de los sitios.

Malpighia mexicana presenta una epidermis con células grandes y una mayor concentración de estomas en la superficie abaxial que la definen como una especie xeromórfica; sin embargo,

muestra hojas dorsiventrales, espacios intercelulares en el mesófilo y ausencia de esclerénquima, que la caracterizan como mesomórfica. Por lo anterior, se puede concluir que *M. mexicana* es una especie mesomórfica, con caracteres xeromórficos que le ayudan adaptarse a variaciones en la precipitación y temperatura, por lo que podría ser una especie que tolere el cambio climático.

Contribución de autores

LYBL concibió y diseñó el estudio, realizó el trabajo de campo y el desarrollo experimental. SAMA, MRA, AGH y JALS realizaron los análisis e interpretación de los datos. LYBL redactó el manuscrito con ayuda de SAMA y GVS. Todos los autores contribuyeron con la discusión, revisión y aprobación del manuscrito final.

Financiamiento

El primer autor agradece al CONACYT por la beca otorgada (501290) para realizar estudios de Doctorado, este estudio fue financiado por el fondo de investigación de la UAEM/3765/2014/CID de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), a través del proyecto titulado “Plantas vasculares del estado de México: importancia económica, alimenticia, medicinal y ornamental”.

AgradecimientoS

Al Laboratorio-orquidario de la Facultad de Ciencias Agrícolas por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

Literatura citada

- Agrios, G. N. 2010. Fitopatología: Plant pathology. Ed. Limusa. México, D.F., México. 838 pp.
- Anderson, C. 2001a. The identity of two water-dispersed species of *Heteropterys* (Malpighiaceae): *H. leona* and *H. platyptera*. Contributions from the University of Michigan Herbarium 23: 35-47.
- Anderson, W. R. 1979. Floral conservatism in neotropical Malpighiaceae. Biotropica 11(3): 219-223. DOI: <https://doi.org/10.2307/2388042>
- Anderson, W. R. 2001b. Malpighiaceae. Flora of the Venezuelan Guayana 6: 82-185.
- Anderson, W. R. 2013. Origins of Mexican Malpighiaceae. Acta Botanica Mexicana 104: 107-156. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm104.2013.60>
- Arambarri, A. M., M. C. Novoa, N. D. Bayón, M. P. Hernández, M. N. Colares y C. Monti. 2011. Ecoanatomía foliar de árboles y arbustos de los distritos chaqueños occidental y serrano (Argentina). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 46(3-4): 251-270.
- Araque, O., R. E. Jaimez, C. Azócar, W. Espinoza y W. Tezara. 2009. Relaciones entre anatomía foliar, intercambio de gases y crecimiento en juveniles de cuatro especies forestales. Interciencia 34(10): 725-729.
- Araújo-Silva, J., A. A. Azevedo, L. C. Silva y R. M. Meira. 2010. Leaf anatomy as an additional taxonomy tool for 16 species of Malpighiaceae found in the Cerrado area (Brazil). Plant Systematics and Evolution 286(1-2): 117-131. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-010-0268-3>
- Attala, N. C. 1997. Fitografía e morfoanatomia de *Banisteriopsis anisandra* e *B. gardneriana* (Malpighiaceae): Estudio comparativo. Instituto de Ciencias Biológicas, Universidade de Brasilia. Brasilia, Brasil. Pp. 100-135.

- Briceño, B., A. Azócar, M. Fariñas y F. Rada. 2000. Características anatómicas de dos especies de *Lupinus* L. de los Andes venezolanos. *Pittieria* 1: 21-35.
- Cañizares, A., M. E. Sanabria, D. A. Rodríguez y Y. Perozo. 2003. Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre ocho patrones cítricos. *Revista Científica UDO Agrícola* 3(1): 59-64.
- Castañeda-Vildózola, A., O. Franco-Mora, J. C. R. Alemán, C. Ruiz-Montiel, J. Valdez-Carrasco y A. Equihua-Martínez. 2014. New distribution records of the small avocado seed weevil, *Conotrachelus perseae* Barber (Coleóptera: Curculionidae), in Mexico and notes on its biology. *The Coleopterists Bulletin* 69(2): 267-271. DOI: <https://doi.org/10.1649/0010-065X-69.2.267>
- Castro, M. M., H. F. Leitão-Filho y W. R. Monteiro. 1997. Utilização de estruturas secretoras na identificação dos gêneros de Asteraceae de uma vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 20: 163-174.
- Chapolagh-Paridari, I., S. Gholamali-Jalali, A. Sonboli, M. Zarafshar y P. Bruschi. 2013. Leaf macro and micro-morphological altitudinal variability of *Carpinus betulus* in the Hyrcanian forest (Iran). *Journal of Forestry Research* 24(2): 301-307. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-013-0353-x>
- CONAGUA. 2017. Datos contenidos en la base de datos climatológica. Comisión Nacional del Agua. www.smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/20191.txt (consultado agosto de 2017).
- Davis, C. C y W. R. Anderson. 2010. A complete generic phylogeny of Malpighiaceae inferred from nucleotide sequence data and morphology. *American Journal of Botany* 97(12): 2031-2048. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.1000146>

- Eggl, U. 1984. Stomatal types of Cactaceae. *Plant Systematics and Evolution* 146(3-4): 197-214.
DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00989546>
- Ely, F., F. Torres y J. Gaviria. 2005. Morfología y anatomía foliar de *Monochaetum meridense* (Melastomataceae). *Acta Botanica Venezuelica* 28(2): 197-212.
- Engelbrecht, B. M. J., V. Velez y M. Tyree. 2000. Hydraulic conductance of two co-occurring Neotropical understory shrubs with different habitat preferences. *Annals of Forest Science* 57(3): 201-208. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2000111>
- Espinoza-Velázquez, J., J. Valdés-Reyna y J. Alcalá-Rodríguez. 2012. Morfología y anatomía de radículas múltiples en plántulas de maíz derivadas de cariopsis con poliembrionía. *Polibotánica* 33: 207-221.
- Fank-de-Carvalho, S., M. Salete Marchioretto y S. Nair Bão. 2010. Anatomía foliar, morfología e aspectos ecológicos das especies da familia Amaranthaceae da Reserva Particular do Patrimônio Natural Cara Preta, em Alto Paraíso, Brasil. *Biota Neotropica* 10(4): 77-86.
DOI: <https://doi.org/10.1590/s1676-06032010000400011>
- Finley, D. S. 1999. Patterns of calcium oxalate crystals in young tropical leaves: a possible role as an anti-herbivory defense. *Revista de Biología Tropical* 47: 27-31.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Ed. Offset Larios. México, D.F., México. 217 pp.
- Gates, B. 1982. *Banisteriopsis, Diplopterys* (Malpighiaceae). *Flora Neotropica Monograph* 30: 1-237.
- Granada-Chacón, W. A. y C. E. Benítez de Rojas. 2004. Anatomía foliar de cuatro especies de *Solanum* L. sección. *Acanthopora* Dunal de Venezuela. *Acta Científica Venezolana* 55: 13-26.

- Herrera-Cárdenas, R., T. Terrazas y S. Loza-Cornejo. 2000. Anatomía comparada del tallo y de la raíz de las especies del género *Neoevansia* Marshall (Cactaceae). Boletín de la Sociedad Botánica de México 67: 5-16.
- INFOSTAT. 2017. Grupo InfoStat, versión 2017. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Jiménez-Noriega, M. S., T. Terrazas y L. López-Mata. 2015. Variación morfo-anatómica de *Ribes ciliatum* a lo largo de un gradiente altitudinal en el norte de la Sierra Nevada, México. Botanical Sciences 93(1): 23-32. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.131>
- Johansen, D. A. 1940. Plant Microtechnique. McGraw Hill. New York, USA. 523 pp.
- Laskowski, L. 2000. Características anatómicas de la hoja y el tallo del semeruco (*Malpighia emarginata* DC.) cultivado en dos localidades del Estado Lara. Bioagro 12(2): 33-40.
- Laskowski, L. y D. Bautista. 1999. Secuencia de aparición y características anatómicas de las raíces adventicias del semeruco bajo dos tratamientos de AIB. Bioagro 11(3): 88-96.
- Leegod, R. C. 1993. Carbon dioxide concentrating mechanisms. In: Lea, P. J., R. C. Leegod, J. Wiley y S. Chichester (eds.). Plant Biochemistry and Molecular Biology. Chichester, UK. Pp. 47-72.
- Lindorf, H. 1994. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. IAWA Journal 15(4): 361-376.
- Liscovsky, I. J y M. T. Cosa. 2005. Comparative anatomy of leaf and stem in species of *Cestreeae*. Gayana Botánica 62(1): 33-43. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432005000100006>
- Maldonado-Peralta, M. A., G. García de los Santos, J. R. García Nava, T. Corona Torres, V. M. Cetina Alcalá y C. Ramírez Herrera. 2016. Calidad morfológica de frutos y endocarpios

- del nanche rojo (*Malpighia mexicana*), Malpighiaceae. *Acta Botanica Mexicana* 117: 37-46. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm117.2016.1166>
- Martín-Montiel, D. C., S. M. Pérez de Bianchi¹, A. Etcheverry, C. Camardelli, M. Alemán y T. Figueroa. 2012. Hábito de crecimiento y anatomía de la raíz en *Macroptilium erythroloma* y *Macroptilium bracteatum* (Fabaceae). *Phyton* 81: 215-220.
- Metcalf C. R. y L. Chalk. 1979. *Anatomy of the Dicotyledons: Systematic Anatomy of Leaf and Stem*. Vol I. 2a ed. Clarendon Press, Oxford. London, UK. 1459 pp.
- Milan, P., A. H. Hayashi y B. Appezzato-da-Glória. 2006. Comparative leaf morphology and anatomy of three Asteraceae species. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49(1): 135-144. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132006000100016>
- Molina-Montenegro, M. A y L. A Cavieres. 2010. Variación altitudinal de los atributos morfo-fisiológicos en dos especies de plantas alto-andinas y sus implicancias contra la fotoinhibición. *Gayana Botánica* 67(1): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0717-66432010000100001>
- Montaño-Arias, S. A., S. L. Camargo-Ricalde y C. P. Pérez-Olvera. 2013. Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences* 91(1): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.398>
- Montaño-Arias, S. A., S. L. Camargo-Ricalde y R. Grether. 2018. Complejos estomáticos de veinticuatro taxa de *Mimosa* (Leguminosae) presentes en México. *Acta Botanica Mexicana* 122: 97-107. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm122.2018.1260>
- Morton, J. F. 1987. *Barbados Cherry In: Fruits of warm climates*. Creative Resource Systems. Miami, USA. Pp. 204-207.

- Nitta, I., A. Kida, Y. Fujibayashi, H. Katayama y Y. Sugimura. 2006. Calcium carbonate deposition in a cell wall sac formed in mulberry idioblasts. *Protoplasma* 228(4): 201-208. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00709-006-0182-2>
- Pereira, K. B. D. 2002. Micropropagación e estudo morfo-anatômico do endocarpo, semente e plântula de *Byrsonima basiloba* Juss. Dissertacao (Mestrado). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 103 pp.
- Ragonese, A. 1990. Caracteres xeromorfos foliares de *Nassauvia lagascae* (Compositae). *Darwiniana* 30(1/4): 1-10.
- Ramírez-Roa, A. y G. Varela-Hernández. 2011. Características anatómicas de hoja y flor con importancia taxonómica para la delimitación de cuatro especies en el género *Moussonia* (Gesneriaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 98: 413-429. DOI: <https://doi.org/10.3417/2005150>
- Rebollar, S., A. Quintanar y C. P. Pérez-Olvera. 1994. Estudio anatómico de la madera de *Psidium sartorianum* (Myrtaceae) y *Cordia gerascanthus* (Boraginaceae). *Acta Botanica Mexicana* 27: 89-97. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm27.1994.712>
- Rodríguez, L. A., F. Guevara, H. Gómez y M. Fonseca. 2016. Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agronómica* 65(3): 248-254. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.46731>
- Roth, I., T. Merida y H. Lindorf. 1986. Morfología y anatomía foliar de plantas de la Selva Nublada de Rancho Grande. Parque Nacional Henry Pittier. El ambiente físico, ecología general y anatomía vegetal. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana. Caracas, Venezuela. Pp. 205-240.

- Ruzin, S. E. 1999. Plant Microtechnique and microscopy. University Oxford. Vol. 1. New York, USA. 332 pp.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Limusa. México, D.F., México. 417 pp.
- Sack, L. y C. Scoffoni. 2013. Leaf venation: Structure, function, development, evolution, ecology and applications in the past, present and future. *New Phytologist* 198(4): 983-1000. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.12253>
- Schoch, P. G., C. Zinsou y M. Sibi. 1980. Dependence of the stomatal index on environmental factors during stomatal differentiation in leaves of *Vigna sinensis* L. *Journal of Experimental Botany* 31(124): 1211-1216.
- Siddique, S. A. y R. Ahmad. 1977. Epidermal studies of some Malpighiaceae. *Plant Science* 9: 37-39.
- Smith, W. K., T. C. Vogelmann, E. H. De Lucia, D. T. Bell y A. Shepherd. 1997. Leaf form and photosynthesis. *BioScience* 47(11): 785-793.
- Terashima, I., Y. T. Hanba, D. Tholen y Ü. Niinemets. 2011. Leaf functional anatomy in relation to photosynthesis. *Plant Physiology* 155(1): 108-116. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.110.165472>
- Torres, A. J. y M. Ch. Sanabria. 2011. Efecto del ambiente de desarrollo sobre la anatomía foliar de *Cattleya jenmanii* Rolfe y *C. lueddemanniana* Rchb. f. (Orchidaceae). *Acta Botanica Venezuelica* 34(1): 199-214.
- TROPICOS. 2017. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org> (consultado agosto de 2017).
- Vega, A. S., M. A. Castro y W. R. Anderson. 2002. Occurrence and phylogenetic significance of latex in the Malpighiaceae. *American Journal of Botany* 89(11): 1725-1729.

- Villaseñor, J. L. 2010. El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. Pp. 28-40.
- Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 559-902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Yeats, T. H. y J. K. C Rose. 2013. The formation and function of plant cuticles. *Plant Physiology* 163(1): 5-20. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.222737>
- Zamora-Natera, J. F. y T. Terrazas. 2012. Anatomía foliar y del pecíolo de cuatro especies de *Lupinus* (Fabaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83(3): 687-697. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.27264>

Cuadro 1. Estado, sitio de colecta, tipo de vegetación, clima, coordenadas, altitud, colector y número de colecta, altura, temperatura y precipitación de los ejemplares de *Malpighia mexicana* A. Juss. utilizados para este estudio. LYBL: Lorena Yeraldi Bárcenas-López.

Estado	Sitio de colecta	Tipo de vegetación (Rzedowski, 2006)	Clima (García, 1988)	Coordenadas/ Altitud (m)	Colector No. de colecta	Altura (m)	Temperatura media anual (°C)	Precipitación anual (mm)
Estado de México	S1*Malinalco (Barrio de San Sebastián)	Bosque de pino-encino	Semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano	18°58.23'N 99°29.43'O 2450	LYBL 2 (CODAGEM), 4 (CODAGEM), 5 (CODAGEM)	3.5, 4, 6	20	1375
Estado de México	S2*Zumpahuacán (San Pedro Guadalupe)	Bosque tropical subcaducifolio	Semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano	18°50.1'N 99°34.43'O 1706	LYBL 5 (CODAGEM), 6 (CODAGEM), 8 (CODAGEM)	3.5, 4.2, 5	18.2	1000
Morelos	S3*Morelos (Coatlán del río)	Bosque tropical caducifolio	Cálido con lluvias en verano	18°45.5'N 99°26.8'O 1073	LYBL 10 (CODAGEM), 18 (CODAGEM), 20 (CODAGEM)	5.1, 4.3, 4.5	22.2	964

Cuadro 2. Caracteres anatómicos mensurables de la hoja de *Malpighia mexicana* A. Juss. Provenientes de tres sitios diferentes: S1: Malinalco, Estado de México, México; S2: Zumpahuacán, Estado de México, México y S3: Coatlán del Río, Morelos, México. Para cada carácter, los valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente; mientras que los valores seguidos por letras diferentes, muestran diferencias significativas ($p < 0.05$). F=significancia estadística y DE=desviación estándar.

Variable	S1	S2	S3	F
	Media \pm DE			
Espesor de la lámina (μm)	156.09 \pm 0.77 ^a	205.12 \pm 1.45 ^b	155.07 \pm 9.02 ^a	1754.50
Espesor cutícula adaxial (μm)	5.36 \pm 0.23 ^c	3.53 \pm 0.27 ^a	4.49 \pm 0.25 ^b	793.74
Espesor cutícula abaxial (μm)	2.51 \pm 0.28 ^a	4.45 \pm 0.28 ^c	3.51 \pm 0.19 ^b	855.87
Largo célula epidérmica adaxial (μm)	27.79 \pm 9.65 ^a	35.62 \pm 14.73 ^b	38.36 \pm 13.35 ^b	11.09
Ancho célula epidérmica adaxial (μm)	20.27 \pm 2.68 ^a	24.74 \pm 5.92 ^b	22.92 \pm 9.15 ^a	7.23
Largo célula epidérmica abaxial (μm)	22.12 \pm 5.95 ^a	23.26 \pm 9.16 ^a	22.83 \pm 11.86 ^a	0.23
Ancho célula epidérmica abaxial (μm)	13.67 \pm 2.24 ^b	17.56 \pm 2.74 ^c	10.23 \pm 1.64 ^a	158.77
Espesor del parénquima en empalizada (μm)	55.68 \pm 0.82 ^a	56.25 \pm 2.60 ^a	78.37 \pm 6.07 ^b	679.15
Espesor del parénquima esponjoso (μm)	29.59 \pm 3.55 ^a	76.90 \pm 1.47 ^c	46.53 \pm 1.55 ^b	6034.72
Largo de las células oclusivas (μm)	13.21 \pm 2.9 ^b	16.42 \pm 0.05 ^c	11.32 \pm 5.0 ^a	426397.06
Ancho de las células oclusivas (μm)	15.12 \pm 3.4 ^b	28.95 \pm 0.01 ^c	12.16 \pm 4.9 ^a	232349025
Densidad de cristales	6-10	8-10	10	0.24
Largo células epidérmicas vena media (μm)	31.88 \pm 0.54 ^c	24.48 \pm 7.73 ^b	21.36 \pm 4.57 ^a	64.95
Ancho células epidérmicas vena media (μm)	23.17 \pm 0.49 ^b	23.66 \pm 7.77 ^b	18.56 \pm 3.66 ^c	19.26
Diámetro tangencial de los vasos (μm)	20.72 \pm 7.35 ^b	21.56 \pm 0.23 ^b	18.58 \pm 0.20 ^a	7.86
Espesor del floema (μm)	105.49 \pm 0.23 ^a	106.36 \pm 0.24 ^b	133.40 \pm 0.24 ^c	269743.04
Densidad estomática	76 ^a	92 ^b	143 ^c	738.56
Índice estomático	18.14 ^a	18 ^b	18.32 ^c	0.13

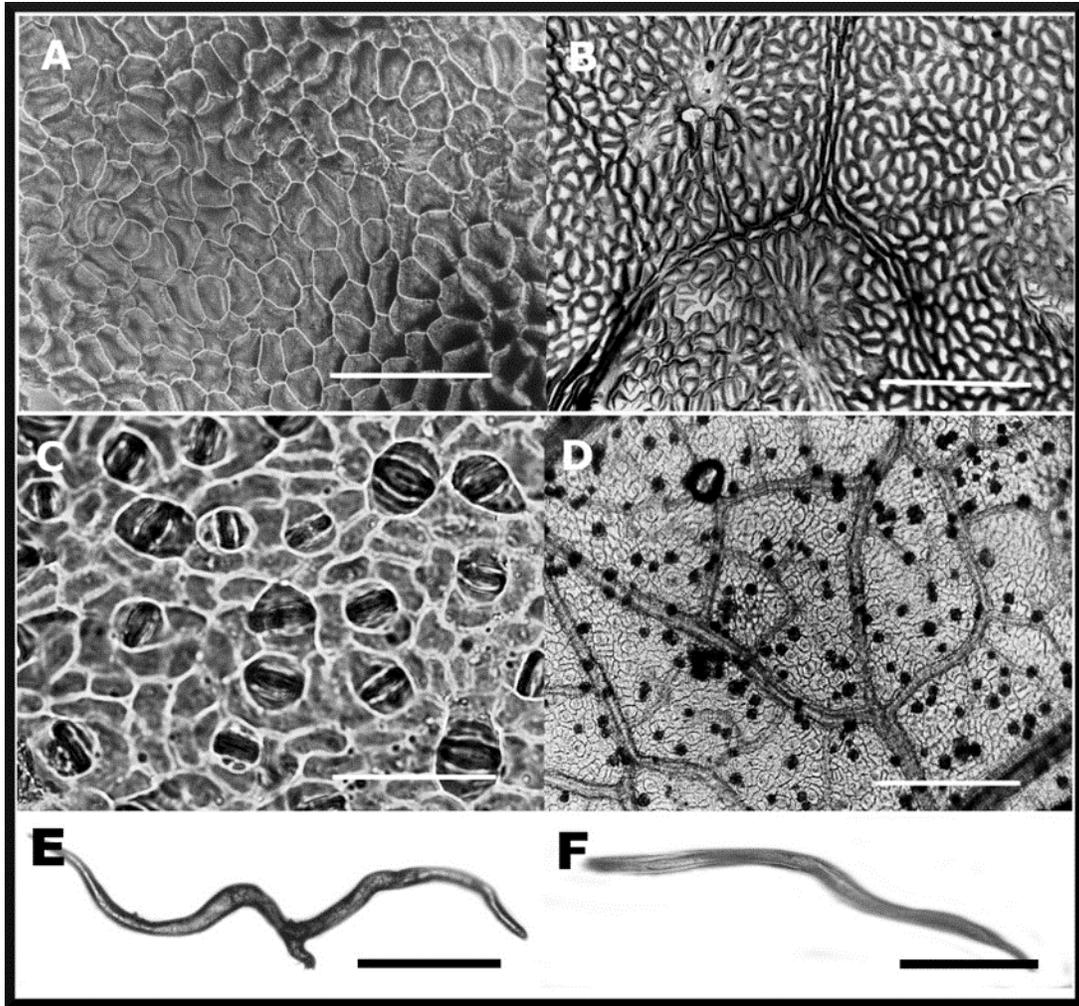


Figura 1. Epidermis en vista superficial en *Malpighia mexicana* A. Juss.: A. y B. epidermis adaxial; C. y D. epidermis abaxial. Barra=100 μm , E y F. tricomas. Barra=50 μm .

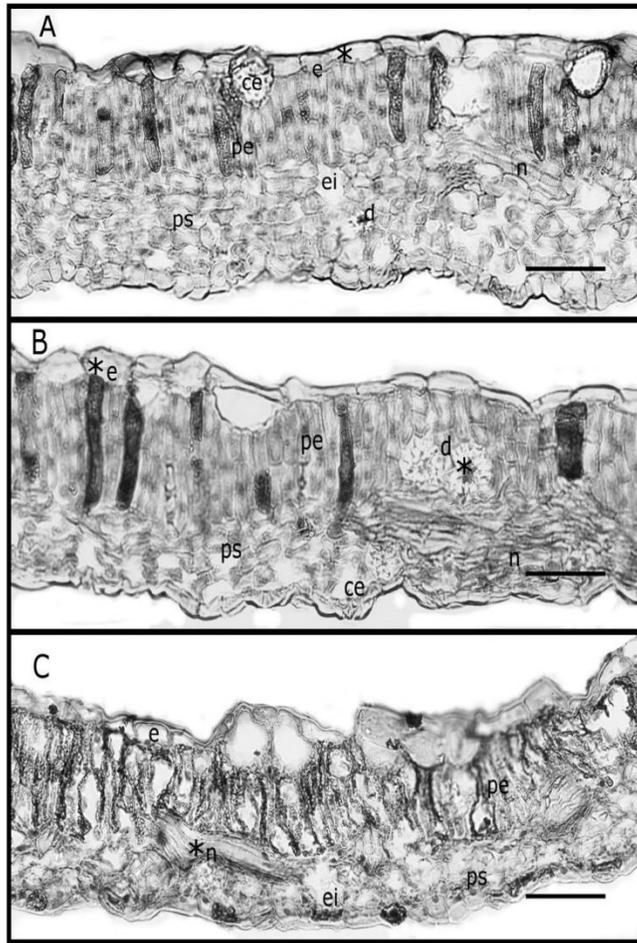


Figura 2. Corte trasversal en hoja de *Malpighia mexicana* A. Juss.: A. Malinalco (S1); B. Zumpahuacán (S2); C. Morelos (S3): e=epidermis, d=drusas, pe=parénquima de empalizada, ps=parénquima esponjoso, ce=cámara estomática, ei=espacios intercelulares, n=nervadura. Barra=100 μ m.

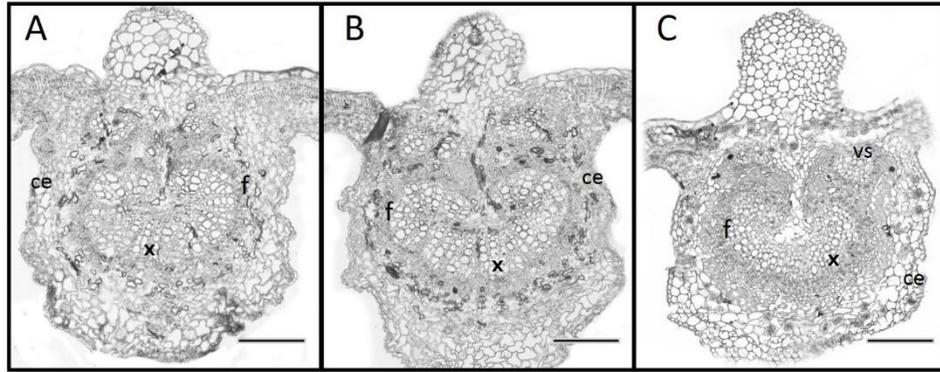


Figura 3. Corte transversal de la vena media de la hoja de *Malpighia mexicana* A. Juss: A. Malinalco (S1); B. Zumpahuacán (S2); C. Morelos (S3): x=xilema, ce=células epidérmicas, f=floema, vs=vena secundaria. Barra=200 μ m.

CAPÍTULO 2. ECOANATOMÍA DE LOS ELEMENTOS DEL VASO DE *Malpighia mexicana* (MALPIGHIACEAE)

ECOANATOMY OF THE ELEMENTS OF THE VESSEL OF *Malpighia mexicana* (MALPIGHIACEAE)

Lorena Yeraldi Bárcenas-López; Susana Adriana Montaña-Arias; José Antonio López-Sandoval;

Martín Rubí-Arriaga; Georgina Vargas Simón



Texcoco, Estado de México, 23 de octubre de 2018
Núm. Ref.: 1704-18

Dr. Martín Rubí Arriaga
Facultad de Ciencias Agrícolas,
Campus Experimental El Cerrillo
Presente

Por este medio le agradezco y acuso de recibido su manuscrito intitulado "**Ecoanatomía de los elementos del vaso de *Malpighia mexicana* (*malpighiaceae*)**" cuyos autores (as) Lorena Yeraldi Bárcenas López, José Antonio López Sandoval, Martín Rubí Arriaga, Georgina Vargas Simón y Susana Adriana Montaña Arias, que fue enviado para su posible publicación a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Le notificamos que el texto inicial del manuscrito, autores(as) principal y los coautores(as), autor(a) para correspondencia no podrán alterarse y quedaran como se envía en esta versión.

Asimismo, me permito informarle que su contribución será sometida a revisión técnica por los árbitros que se designen en caso de ser aceptado, se le notificará sobre las observaciones correspondientes.

Agradezco su colaboración y le envío un cordial saludo.

Atentamente

DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN
EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA
MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

c.c.p. * Archivo
DMSJ/dmmm

Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5. Coatlincán, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56250
E-mail: revista_atm@yahoo.com.mx. Tel. 55-38-71-87-00 Ext. 85353

Resumen

Con base en características morfológicas de la madera se evaluó el patrón geográfico de variación anatómica comparando algunas características anatómicas de los elementos de vaso del xilema secundario y se estimaron los índices de mesomorfía y vulnerabilidad de la madera en poblaciones de *M. mexicana* en México. Las muestras de órganos vegetativos se recolectaron en tres localidades: Malinalco y Zumpahuacán en el Estado de México y Coacatlán del Río en Morelos. Se analizaron los caracteres útiles para esclarecer los límites de los taxa de este género. Se realizaron cortes transversales y preparaciones de material disociado de tres individuos por localidad. Los índices de mesomorfía y de vulnerabilidad se estimaron considerando el diámetro de los vasos, el número de vasos/mm² y la longitud de los elementos de vaso. El análisis de varianza mostró que todos los individuos presentaron vasos numerosos (93-146), elementos de vaso largos (142–1207 µm) y de diámetro pequeño (21-117 µm). El índice de mesomorfía del tallo >200 corresponde a xilema mesofítico y el índice de vulnerabilidad >1 sugiere que la especie es resistente al estrés hídrico. El valor más alto del índice de vulnerabilidad corresponde a Morelos con (0.88) y el más bajo al Estado de México con (0.76). Este tipo de estudios son importantes para la selección de especies vegetales con fines de restauración ambiental y alimenticia.

Palabras clave: ecoanatomía, madera, índices de mesomorfía y de vulnerabilidad.

Abstract

Based on the morphological characteristics of the wood, the geographic pattern of anatomical variation in natural populations of *M. mexicana* in Mexico was evaluated. The samples of vegetative organs were collected in three localities of the different geographical regions in which they are distributed as follows: Malinalco y Zumpahuacán in the State of Mexico and Coacatlán del Río in Morelos. Were analyzed the characters useful to clarify the limits of the taxa of this genus. Cross sections and preparations of dissociated material were made from three individuals per location. The mesomorphy and vulnerability indexes were estimated considering the diameter of the vessels, the number of vessels / mm² and the length of the vessel elements. The analysis of variance showed that all individuals had numerous vessels (93-146), long vessel elements (142-1207 µm) and small diameter (21-117 µm). The stem mesomorphy index > 200 corresponds to mesophytic xylem and the vulnerability index > 1 suggests that the species is resistant to water stress. The highest value of the vulnerability index corresponds to Morelos with (0.88) and the lowest to the State of Mexico with (0.76). This type of studies are important for the selection of plant species for environmental and food restoration purposes.

Keywords: ecoanatomy, wood, mesomorphy and vulnerability indices

Introducción

Las plantas están expuestas a factores ambientales cuya variación provoca cambios anatómicos al adaptarse a condiciones externas, estos cambios se pueden reflejar en el tallo y la hoja (Jiménez-Noriega et al., 2015). Las variaciones anatómicas reflejadas en las plantas dependen totalmente de factores externos, desde el punto de vista ecológico factores ambientales son considerados importantes para ubicar a las plantas en tres grandes grupos: hidróphytas, mesóphytas y xeróphytas (Kirkham, 2005).

Las xeróphytas han desarrollado caracteres fisiológicos, morfológicos y anatómicos estructurales relevantes para establecerse en hábitats áridos o xeróphytos (Dickison, 2000). Estudios de esta índole se han efectuado comparando entre especies o entre individuos de una misma especie (León-H., 2005). Existen trabajos que registran la relación estructural de la madera con factores edáficos (Villagra y Roig-Juñent, 1997), sin embargo, son más numerosos los que reportan variaciones de la madera en función del clima (Arias y Terrazas, 2001; Aguilar-Rodríguez et al., 2006; Chávez-Romero et al., 2010; de Lima et al., 2009; Moya y Tomazello, 2008).

Con respecto a los elementos de vaso, se han propuesto índices para evaluar la vulnerabilidad a la sequía; Carlquist (1977) estimó estos índices en plantas de sitios con diferente precipitación, estableciendo que una planta con un índice de vulnerabilidad (IV) >1 es vulnerable al estrés hídrico y si presenta un índice de mesomorfía (IM) >200 tendrá un xilema mesofítico y por debajo de los 75 es considerado xerófito. Este tipo de estudios permite conocer la resistencia de las especies a una baja precipitación, principalmente en plantas que habitan en zonas secas.

En especies xeróphytas se han efectuado trabajos descriptivos sobre la anatomía de la madera de algunas especies donde se indica la tolerancia de éstas al estrés hídrico mediante el índice de vulnerabilidad (Moglia y Giménez, 1998; Camargo-Ricalde, 2000; Giménez, 2004; Quintanar-Isaías et al., 2009; Montañó-Arias, 2013) o mediante el conteo de vasos por milímetro

cuadrado (Wilkins y Papassotiropoulos, 1989). Las especies de regiones húmedas se caracterizan por presentar un xilema con elementos de vasos largos, diámetros medianos a grandes y poco numerosos para conducir grandes volúmenes de agua en poco tiempo. No obstante, existen otros caracteres que dan información acerca de la tolerancia de las especies a la sequía, como es el caso de los vasos agrupados que confieren una mayor seguridad en la conducción de agua (Mogliani y Giménez, 1998). Dependiendo del hábitat de las especies, serán las estrategias que desarrollen las plantas para optimizar y asegurar la conducción de agua (Mogliani y Giménez, 1998). En México, se han realizado trabajos descriptivos sobre la anatomía de la madera de varias especies de *Mimosa* (Barajas-Morales y León-Gómez, 1989; Chehaibar y Grether, 1990; Camargo-Ricalde, 2000). Montaña-Arias (2010) determinó los caracteres anatómicos con valor taxonómico que permiten separar o agrupar a las especies de *Mimosa* sección *Batocaulon*.

De acuerdo con los escenarios del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (Christensen et al., 2007), la temperatura aumentará de 0.3 a 5 °C en los próximos cien años, lo que alterará los regímenes de precipitación y, en consecuencia, la humedad del suelo, lo que repercutirá en la composición y diversidad de los ecosistemas secos de México. El objetivo de este estudio fue comparar algunas características morfológicas de los elementos de vaso y estimar el IV e IM de *M. mexicana*, con la finalidad de evaluar su tolerancia a la sequía.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Faja Volcánica Transmexicana. Se seleccionaron tres sitios, dos en el Estado de México (Malinalco (S1) y Zumpahuacán (S2)), y el tercero en el estado de Morelos (Coatlán del Río (S3)).

En cada sitio se seleccionaron tres árboles similares en altura (3-4 m) y cobertura (4.70 y 6.20 m). La copa se dividió en cuadrantes (Montaño-Arias et al., 2018), se tomaron muestras del fuste a 80 cm y 1 m del suelo. Con un micrótopo de deslizamiento (American Optical, modelo 860), se cortaron secciones transversales y longitudinales con grosor de 20 μm ; se tiñeron con safranina-verde rápido y se montaron con resina sintética (Johansen, 1940). Se colocaron astillas de la sección radial en un tubo de ensayo con una mezcla, a partes iguales, de ácido acético, láctico y nítrico, y glicerina, dejándolos reposar por 1-2 semanas. Una vez disociado el material, éste se lavó y se realizaron preparaciones temporales para cuantificar la longitud de los elementos de vaso. Se evaluaron tres variables y dos índices. Las observaciones se basaron en cortes transversales y longitudinales de 10 láminas por muestras. El diámetro de los vasos se consideró grande cuando éste midió (mayor a 200 μm), mediano (100-200 μm) y pequeño (mayor a 25 μm y menor que 100 μm).

Además, el diámetro de los vasos (dv) y el número de vasos/ mm^2 (nv) se emplearon para calcular el Índice de Vulnerabilidad, $IV=dv/nv$; donde un valor inferior a 1 se interpreta como resistente a la sequía (Carlquist, 1977). La longitud del elemento de vaso (lv) y el IV se emplearon para calcular el Índice de Mesomorfía; el $IM=IV \times lv$, un IM mayor de 200 indica que el xilema es mesofítico y un IM menor o igual a 75 indica un xilema xerófito (Carlquist, 1977). Los rangos anatómicos observados fueron tipificados como xeromorfos o mesomorfos de acuerdo con lo señalado por Eames y Mac Daniels (1947), Esau (1976), Cutler (1978) y Lindorf (1994). El diámetro de los vasos se consideró grande cuando midió ($> 200 \mu\text{m}$), mediano (100-200 μm) y pequeño ($< 25 \mu\text{m}$ a $< 100 \mu\text{m}$, IAWA Committee, 1989). Además, el diámetro de los vasos (dv) y el número de vasos/ mm^2 (nv) se emplearon para calcular el Índice de Vulnerabilidad, $IV=dv/nv$; donde un valor inferior a 1 se interpreta como resistente a la sequía (Carlquist, 1977). La longitud

del elemento de vaso (lv) y el IV se emplearon para calcular el Índice de Mesomorfía; el $IM=IV \times lv$, un IM mayor de 200 indica que el xilema es mesofítico y un IM menor o igual a 75 indica un xilema xerófito (Carlquist, 1977).

Los valores de IV e IM no se ajustaron a la normal, por lo que se realizó un análisis de varianza de Kruskal-Wallis, seguido por la prueba de Mann-Whitney ($p \leq 0.05$) con el fin de evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre especies (Sokal y Rohlf, 1995). Además, se analizó la asociación entre cuatro caracteres cuantitativos de los elementos de vaso y la altitud mediante un análisis de correlación lineal simple de Pearson (Cuadro 2).

Se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) de los datos obtenidos y se compararon las medias mediante una prueba de Tukey ($p < 0.05$) con el objeto de evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los caracteres evaluados (Sokal y Rohlf, 1995). Además, se analizó la asociación entre cuatro caracteres cuantitativos de los elementos de vaso y la altitud mediante un análisis de correlación lineal simple de Pearson. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el paquete estadístico INFOSTAT (2017).

Resultados y Discusión

En corte transversal la madera mostró, de afuera hacia adentro, una epidermis unistrata de células pequeñas. El felema constituido por dos a cuatro estratos de células poco suberizadas y dispuestas en filas anticlinales interrumpidas por la presencia de lenticelas. La felodermis presentó de seis a ocho estratos de células parenquimáticas isodiamétricas y cloroplastos con espacios intercelulares. El floema dispuesto radialmente, con gran proporción de metafloema y células parenquimáticas que presentaron cristales en forma de drusa en su interior. El floema formado de tres a cinco estratos de tejido con abundancia de cristales, tanto en células conductoras como en el parénquima (Figura 1).

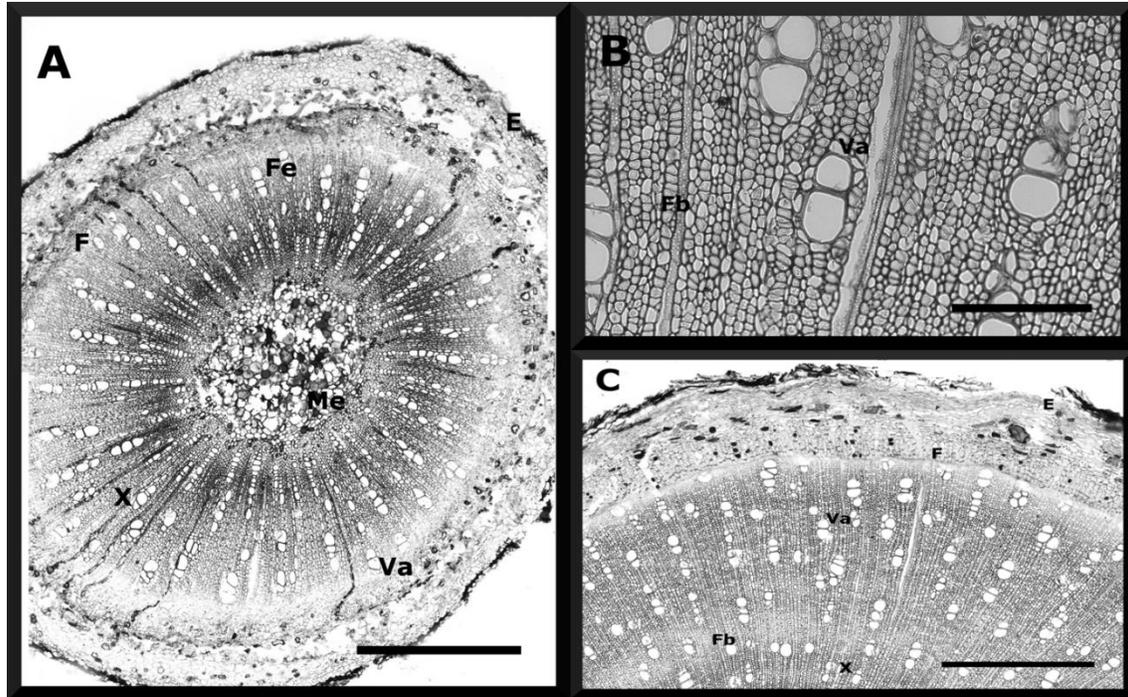


Figura 4. Corte transversal con detalle de la corteza del tallo en crecimiento secundario. F=floema; X=xilema; Fb=fibras; va=vaso; E=epidermis; Fe=felema; Fd=felodermis; C=corteza.

El xilema con disposición radial, alternando de una a tres hileras de vasos con una a 10 filas de fibras y una o dos de parénquima radial. El xilema se observó formado por filas radiales de vasos múltiples rara vez solitarios (dos-10), las cuales alternan con una a 10 hileras de fibras y una a dos hileras de parénquima radial. Los vasos poseen diámetro promedio de 47.12-75.68 μm , longitud promedio de 360.60-612.40 μm y abundancia de 96.56-143.04 vasos/ mm^2 . Las paredes terminales de los vasos se presentan inclinadas, puntiagudas y con placa de perforación simple. La médula está compuesta de células parenquimáticas isodiamétricas con paredes gruesas, drusas y espacios intercelulares entre ellas (Figura 2).

El parénquima axial no presente, en cambio el parénquima radial presentó de una a dos células de ancho y 80 o más células de alto, con una frecuencia promedio de ocho radios/ mm^2 . La estructura anatómica caulinar de *M. mexicana* en los tres ambientes mostró adaptación a ambientes xéricos ya que presentó una abundancia de fibras, agrupamiento de vasos, médula con posible función de reserva de agua y vasos abundantes; además del índice de vulnerabilidad menor a 1. De acuerdo con León-H. (2001), un mayor número de vasos estaría relacionado con un incremento de la sequía o una disminución de la temperatura del sitio donde éstas se desarrollan. La presencia de numerosos vasos y diámetro estrecho es una respuesta ante el déficit hídrico, evitando los problemas de embolismo que bloquean la conducción de agua y confiriéndole una mayor seguridad a la columna de agua (Polanco-Tapia y Grande-Pulido, 2009; Montañó-Arias et al., 2013). La presencia de diámetros tangenciales pequeños y medianos sugiere que su xilema presenta resistencia al estrés hídrico. En forma adicional, el hecho de que las plantas presenten

vasos agrupados ha sido considerado una ventaja, ya que permite una mayor seguridad en la conducción de agua, disminuyendo el riesgo por embolia (Moglia y Giménez, 1998).

A su vez, en los cortes transversales se observaron fibras de tipo libriformes, son el estrato más abundante del xilema, con paredes gruesas y punteagudas simples. Las células del parénquima presentaron cristales en forma de rombo en su interior. Se observó la presencia de anillos de crecimiento en el xilema, marcados por la presencia de una menor proporción de vasos de menor diámetro y una mayor abundancia de fibras (Figura 2).

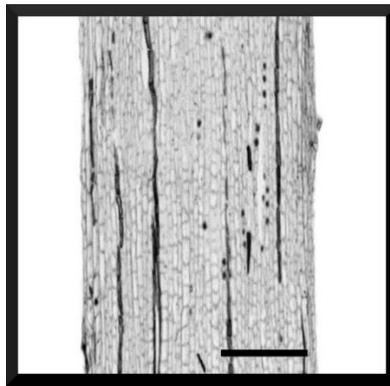


Figura 5. Corte transversal del tallo de *M. mexicana* en crecimiento secundario. F=floema; X=xilema; Fb=fibras; va=vaso; Ac=anillo de crecimiento y Me=médula.

La madera presentó algunas diferencias significativas en cuanto a la composición del xilema entre los sitios de recolecta, estas son referencia del grado de variación morfológica probable para estos elementos (Cuadro1) En este cuadro se puede apreciar que las muestras del Estado de México (Sitio 1 con 96.56 y Sitio 2 con 108.88) presentaron en promedio una menor abundancia de vasos y mayor cantidad de parénquima radial que las muestras provenientes de

Morelos. El índice de vulnerabilidad calculado fue menor a 1, con una mayor abundancia de vasos en las muestras provenientes de Morelos.

Cuadro 3. Comparación cuantitativa de caracteres anatómicos del xilema de *M. mexicana* proveniente de tres localidades.

Variable	Localidad	Media \pm desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	ANOVA	
					F	P
Corte transversal						
Vasos/mm ²	1	96.56 \pm 1.66a	93	99	4928.80	0.0001
	2	108.88 \pm 2.01b	104	111		
	3	143.04 \pm 1.43c	140	146		
Ø tangencial del vaso (μ m)	1	50.12 \pm 17.90a	21	78	11.54	0.0016
	2	47.12 \pm 15.32a	104	111		
	3	75.68 \pm 32.35b	21	127		
Corte longitudinal						
Longitud de los elementos vaso (μ m)	1	374.08 \pm 204.50a	142	994	12.26	0.0001
	2	360.60 \pm 162.52a	156	780		
	3	612.40 \pm 233.57b	192	1207		
Índice de vulnerabilidad (IV)	1	0.51 \pm 0.18a	0.21	0.79	1.95	0.1351
	2	0.43 \pm 0.14a	0.18	0.73		
	3	0.52 \pm 0.23a	0.14	0.88		
Índice de mesomorfía (IM)	1	195.41 \pm 148.82a	29.82	715.68	9.12	0.0014
	2	150.96 \pm 81.06a	54.60	399.75		
	3	336.30 \pm 219.65b	29.70	941.46		

* Letras diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$) por fila.

La anatomía caulinar longitudinal de *M. mexicana* en los tres ambientes indica la presencia de vasos largos (142 a 1207 μ m). La longitud de los elementos de vaso está relacionada con el grado de aridez, especies de ambientes húmedos presentan elementos de vaso largos ($> 350 \mu$ m) que otorgan una mayor eficacia conductora (Zimmerman, 1983 en: Carlquist, 2001). Los valores de IV y de IM revelan que *M. mexicana* es resistente al estrés hídrico por lo que podría considerarse que presenta madera de tipo xeromórfica; y resistente al estrés hídrico. Montañó et al. (2013) reporta que el índice de mesomorfía de la madera de las especies *Mimosa* corresponde a xilema mesofítico y el índice de vulnerabilidad sugiere que las especies son poco resistentes al estrés

hídrico. Concluye que este tipo de estudios son importantes para la selección de especies vegetales con fines de restauración ambiental.

Conclusiones

La anatomía caulinar presento rasgos de xeromorfos como adaptación a ambientes secos con estrés hídrico. El que *M. mexicana* presente, elementos de vaso de diámetro tangencial pequeño, de longitud larga y con placa de perforación simple, contribuye a la seguridad en la conducción de agua.

M. mexicana presentan características morfológicas de los elementos de vaso que les permiten vivir y adaptarse a los ambientes secos. Esto es relevante ante los escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (Christensen et al., 2007, Montaña et al, 2016), donde se pronostican cambios en los regímenes de temperatura y precipitación.

Literatura citada

- Aguilar-Rodríguez, S., T. Terrazas y L. López-Mata. 2006. Trees. 20: 248-253. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-005-0007-5>.
- Arias, S. y T. Terrazas. 2001. Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Cactaceae). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 72(2): 157-169.
- 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.
- Carlquist, S. 1977. Ecological Factors in Wood Evolution: A Floristic Approach. American Journal of Botany 64(7): 887 DOI: <https://doi.org/10.2307/2442382>
- Castro, M. M., H. F. Leitão-Filho y W. R. Monteiro. 1997. Utilização de estruturas secretoras na identificação dos gêneros de Asteraceae de uma vegetação de cerrado. Revista brasileira. Botânica 20: 163-174.
- Chávez-Romero, D. M., S. Aguilar-Rodríguez y T. Terrazas. 2010. Variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* (Fagaceae). Madera y Bosques 16(2): 69-87.
- Chapolagh-Paridari, I., S. Gholamali-Jalali, A. Sonboli., M. Zarafshar y P. Bruschi. 2013. Leaf macro- and micro-morphological altitudinal variability of *Carpinus betulus* in the Hyrcanian forest (Iran). Journal of Forestry Research 24(2): 301-307.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-013-0353-x>.
- CONAGUA. 2017. Comisión Nacional del Agua Datos contenidos en la base de datos climatológica. www.smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/20191.txt.

- Dickison, W. C. 2000. Plant growth, development, and cellular organization. In Integrative Plant Anatomy Harcourt Academy Press. USA. 533 pp.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-012215170-5/50002-9>
- Engelbrecht, B. M. J., V. Velez y M. Tyree. 2000. Hydraulic conductance of two co occurring Neotropical understory shrubs with different habitat preferences. *Annals of Forest Science* 57(3): 201-208. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2000111>.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Ed. Offset Larios. México. 217 pp.
- Giménez, A. M. 2004. Anatomía comparada de leño y corteza de *Geoffroea striata* y *Geoffroea decorticans*. *Madera y Bosques* 10(1): 55-68.
- Jiménez-Noriega, M. S., T. Terrazas y L. López-Mata. 2015. Variación morfo-anatómica de *Ribes ciliatum* a lo largo de un gradiente altitudinal en el norte de la Sierra Nevada, México. *Botanical Sciences* 93(1): 23-32. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.131>.
- Johansen, D. A. 1940. Plant Microtechnique. McGraw Hill, Nueva York. 523 pp.
- Kirkham, M.B. 2005. Principles of Soil and Plant Water Relations. Elsevier Academic Press. Kansas University. U.K.
- León Hernandez, W. J. 2001-2002. Anatomía xilemática del tronco de *Pereskia guamacho* (Cactaceae) procedente del estado de Mérida-Venezuela. *Pittieria* 31:41-49.
- León Hernández, W. J. 2005. Anatomía ecológica del xilema secundario de un bosque seco tropical de Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica* 28(2): 257-273.
- Lima, R. s. de, Oliveira, P. L. y Rodríguez, L. R. 2009. Anatomía do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae-Mimosoideae) ocorrente em dois

ambientes. *Revista Brasileira de Botânica* 32(2): 361-374. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000200015>

Lindorf, H. 1994. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. *IAWA Journal* 15(4): 361-376.

Martín-Montiel, D. C., S. M. Pérez de Bianchi¹, A. Etcheverry, C. Camardelli, M. Alemán y T. Figueroa. 2012. Hábito de crecimiento y anatomía de la raíz en *Macroptilium erythroloma* y *Macroptilium bracteatum* (Fabaceae). *Phyton* (81): 215-220.

Moglia G. y Giménez A.M. 1998. Rasgos anatómicos característicos del hidrosistema de las principales especies arbóreas de la Región Chaqueña Argentina. *Investigación Agraria* 7: 53-71.

Montaño-Arias, S. A., S. L. Camargo-Ricalde y C. P. Pérez-Olvera. 2013. Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences* 91(1): 1-10.

Montaño-Arias, S. A., S. L. Camargo-Ricalde y R. Grether. 2018. Complejos estomáticos de veinticuatro taxa de *Mimosa* (Leguminosae) presentes en México. *Acta Botanica Mexicana* (122): 97-107. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm122.2018.1260>.

Moya, R., y Tomazello, M. 2008. Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* (Verbenaceae) trees at different ecological conditions in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 56(2): 689-704.

Rebollar, S., A. Quintanar y P. C. Paz. 1994. Estudio anatómico de la madera de *Psidium sartorianum* (Myrtaceae) y *Cordia gerascanthus* (Boraginaceae). *Acta Botanica Mexicana* (27): 89-97.

- Ruzin, S. E. 1999. Plant Microtechnique And Microscopy (Oxford Uni, Vol. 1). New York. 332 pp.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Limusa. México, D.F. 417 pp.
- Smith, W. K., T. C. Vogelmann., E. H. De Lucia., D. T. Bell., A. Shepherd. 1997. Leaf form and photosynthesis. *BioScience* 47: 785-793.
- TROPICOS. 2017. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org> (consultado agosto de 2017).
- Vega, A. S., M. A. Castro y W. R. Anderson. 2002. Occurrence and phylogenetic significance of latex in the Malpighiaceae. *American Journal of Botany* 89(11): 1725-172.
- Villagra, P. E. y Juñent, F. A. R. 1997. Wood Structure of *Prosopis alpataco* and *P. argentina* Growing Under Different Edaphic Conditions. *IAWA Journal* 18(1): 37-51. <https://doi.org/https://doi.org/10.1163/22941932-90001458>.
- Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 559-902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017> CAPÍTULO

3. ANATOMÍA RADICULAR DE *Malpighia mexicana* (MALPIGHIACEAE)

RADICAL ANATOMY OF *Malpighia mexicana* (MALPIGHIACEAE)

Introducción

Conocer la anatomía y morfología del sistema radicular es importante para comprender el desarrollo, la capacidad de regeneración y la dinámica de las plantas en el ecosistema. Los estudios anatómicos muestran, que con el aumento de la altitud las plantas adquieren hábitos xeromorficos. En cuanto a la raíz y el tallo a mayores altitudes, los vasos son más pequeños y aumentan los vasos con placas de perforación escaleriformes y puntaciones en espiral (Briceño et al., 2000).

También los estudios en la anatomía de la raíz, se han empleado con otros propósitos. En el género *Nymphoides* se hizo un estudio en México para diferenciar a *N. indica* de *N. fallax*. La raíz tiene la superficie cubierta por una exodermis de varias capas de células con una sustancia mucilaginosa, con un córtex primario compuesto de células redondeadas sin espacios intercelulares en *N. fallax* y escasos en *N. indica*, con abundante inulina como material de reserva; el sistema vascular tiene de 9 a 10 cordones de xilema poliarco que alternan con el floema, hay una endodermis bien definida (Martínez y Gómez-Sánchez, 2006).

Para el caso de una especie de papa también sirvió para su reconocimiento taxonómico. Las raíces de *Solanum sisymbriifolium* Lam. (Solanaceae) son utilizadas en medicina popular, como depurativo orgánico y para aliviar afecciones hepáticas y renales. Se describen las características anatómicas, a fin de contribuir a la identificación de sus fragmentos en análisis de control de calidad. Los resultados son de importancia para el reconocimiento de la especie: la corteza contiene grupos de macrosclereidas y en el parénquima, areniscas cristalinas y granos de almidón; el xilema presenta fibras libriformes y fibrotraqueidas abundantes, porosidad circular, poros solitarios o

agrupados de a 2 ó 3, frecuencia $\pm 34 \text{ mm}^2$, radios homogéneos uni a triseriados, longitud de miembros de vasos 40 a 360 μm , diámetro en los miembros largos de 33 a 96 μm y en los cortos de 25 a 100 μm , placas perforadas simples, terminales, a veces subterminales, contorno circular, rara vez cuadrado y generalmente prolongadas en un apéndice (Hadid et al., 2006)

La salinidad afecta la estructura anatómica de las plantas. Para el caso de piña, la respuesta de los tejidos de la raíz a la salinidad fue variable. Los resultados evidenciaron el efecto de la salinidad sobre la anatomía de las raíces de plantas de piña ‘Española Roja’ (Quintana et al., 2012). Existen diversos factores que pueden afectar la anatomía interna de las plantas. Los diferentes ambientes también pueden modificar su estructura interna. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron 1) describir las características anatómicas de la raíz de *Malpighia mexicana* A. Juss. y 2) determinar los caracteres anatómicos que pueden estar influenciados por el ambiente, como una forma de contribuir al conocimiento taxonómico y ecoanatómico del género *Malpighia* en México.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la Faja Volcánica Transmexicana. Se seleccionaron tres sitios: Malinalco (S1) y Zumpahuacán (S2) en el Estado de México y Coatlán del Río (S3) en el estado de Morelos (para cada sitio de muestreo se revisó temperatura, precipitación (CONAGUA, 2017), tipo de vegetación (Rzedowski, 2006) y clima (García, 1988)) (Cuadro 1).

Cuadro 4. Localización, hábitat, forma de crecimiento y números de colecta en estudio anatómico de *Malpighia mexicana* A. Juss.

Estado	Sitio de Colecta	Tipo de vegetación (Rzedowski, 2006)	Clima (García, 1993)	Coordenadas/ Altitud (m.s.n.m)	Herbario Eizi Matuda No. de registro	Altura (m)	Temperatura media anual (°C)	Precipitación anual (mm)
México	S1*Malinalco (Barrio de San Sebastián)	Bosque de pino- encino (BPE)	Semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano A(C)w ₂	18°58.23'N 99°29.43'O 2450	20 000	3.5, 4, 6	20	1 375
México	S2*Zumpahuacán (San Pedro Guadalupe)	Bosque tropical subcaducifolio (BTSC)	Semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano A(C)w ₁	18°50.1'N 99°34.43'O 1706	20 001	3.5,4.2, 5	18.2	1 706
Morelos	S3*Morelos (Coatlán del río)	Bosque tropical caducifolio (BTC)	Cálido con lluvias en verano (A)Cw ₁	18°45.5'N 99°26.8'O 1073	20 002	5.1,4.3, 4.5	22.2	964

*Recolectora: Bárcenas-López, L.Y. Los ejemplares se encuentran depositados en el herbario de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Diagnóstico edafológico

Las muestras analizadas de los tres sitios de colecta arrojaron los siguientes resultados:

Cuadro 5. Datos generales y edafológicos de las localidades muestreadas. P.H.=Potencial de Hidrógeno; MO%=Porcentaje de materia orgánica; N=Nitrógeno (mg/Kg); P=Fósforo (mg/Kg); CC %= Porcentaje de Capacidad de Campo y D.A.=Densidad Aparente.

LOCALIDAD	PH	C.E	% MO	N	P	D.A	TEXTURA
MALINALCO	6.72	0.21	3.1	0.364	0.22	0.7692	Franco-arcilloso
MORELOS	5.64	0.06	6.5	0.186	0.051	0.909	Franco-arenoso
ZUMPAHUACA	6.04	0.01	6.7	0.24	0.079	0.9375	Franco-arcilloso
N							

En cada sitio se seleccionaron tres árboles similares en altura (3-4 m) y cobertura (4.70 y 6.20 m). Se recolectaron cinco raíces por árbol. Las raíces se fijaron con FAA (1:1:1) y se mantuvieron a temperatura ambiente (18 °C). Los ejemplares de referencia correspondientes están depositados en el Herbario Eizi Matuda (CODAGEM) de la Universidad Autónoma del Estado de México (Cuadro 1).

En el laboratorio, las raíces se lavaron con agua corriente y se colocaron en dietilamina concentrada durante 24 h para su ablandamiento. Enseguida se deshidrataron en series ascendentes de alcoholes (30-100%), alcohol y xileno 50:50 y xileno (100%) por 6 h en cada concentración, terminando con una inclusión en parafina (50% de histoparafina y 50% de aceite vegetal) con punto de fusión de 60-65 °C (Ruzin, 1999). Se realizaron cortes transversales (15-20 µm) en un micrótopo de deslizamiento (American Optical 860, New York, EUA). Se tiñeron con safranina-verde rápido y se montaron en resina sintética (Johansen, 1940).

La descripción anatómica de la raíz se efectuó siguiendo la nomenclatura de Metcalfe y Chalk (1979). Las observaciones se efectuaron en un fotomicroscopio Leica Microsystems, DM 300, Suiza; se tomaron fotografías y se registraron mediciones lineales y de área con el analizador de imágenes Leica Microsystems, LV 40, Suiza.

Resultados y Discusión

La anatomía interna de la raíz en los tres ambientes en corte transversal muestra una peridermis de varias capas, después un conjunto de ocho estratos de células que forman al parénquima cortical. A continuación en la parte interna se observó floema secundario y después el xilema secundario con radios de parénquima radial. No se encontraron diferencias en los tres ambientes muestreados (Figura 1). En el corte longitudinal se distingue una peridermis y

parénquima de mayor cantidad de estratos celulares. En la parte central también se ubica floema y xilema secundarios. Tampoco existen diferencias en los tres sitios estudiados (Figura 2). En una investigación donde estudiaron las raíces adventicias, que surgen de las estacas de *Malpighia emarginata* DC., en corte transversal y longitudinal, encontraron semejanza en las partes internas que conforman las raíces. Se indicó la presencia de felodermis y felema (peridermis) y floema y xilema secundario. Se reportó la presencia de drusas que en esta investigación no se localizaron en ninguno de los tres sitios evaluados (Lawskoski y Bautista, 1999).

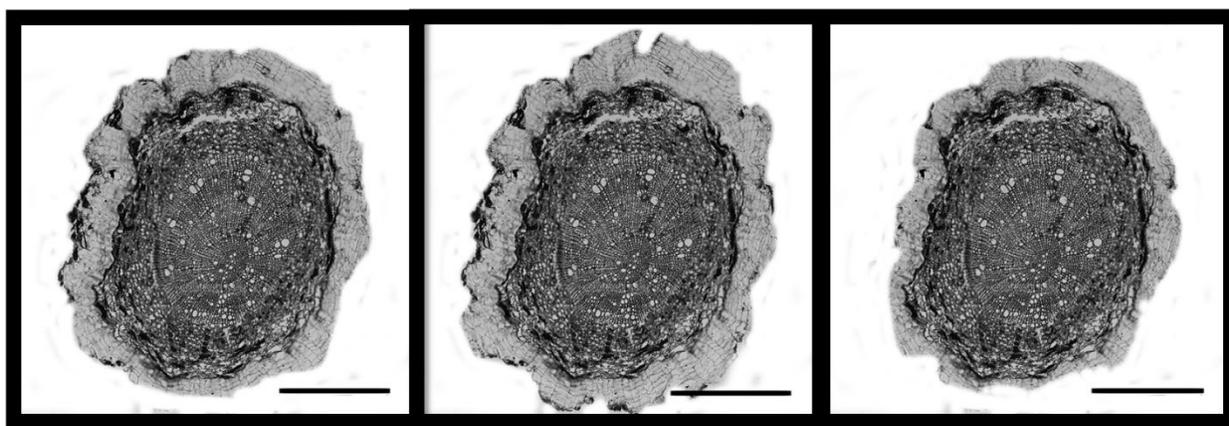


Figura 6. Cortes transversales de las raíces de *Malpighia mexicana* en los tres sitios estudiados

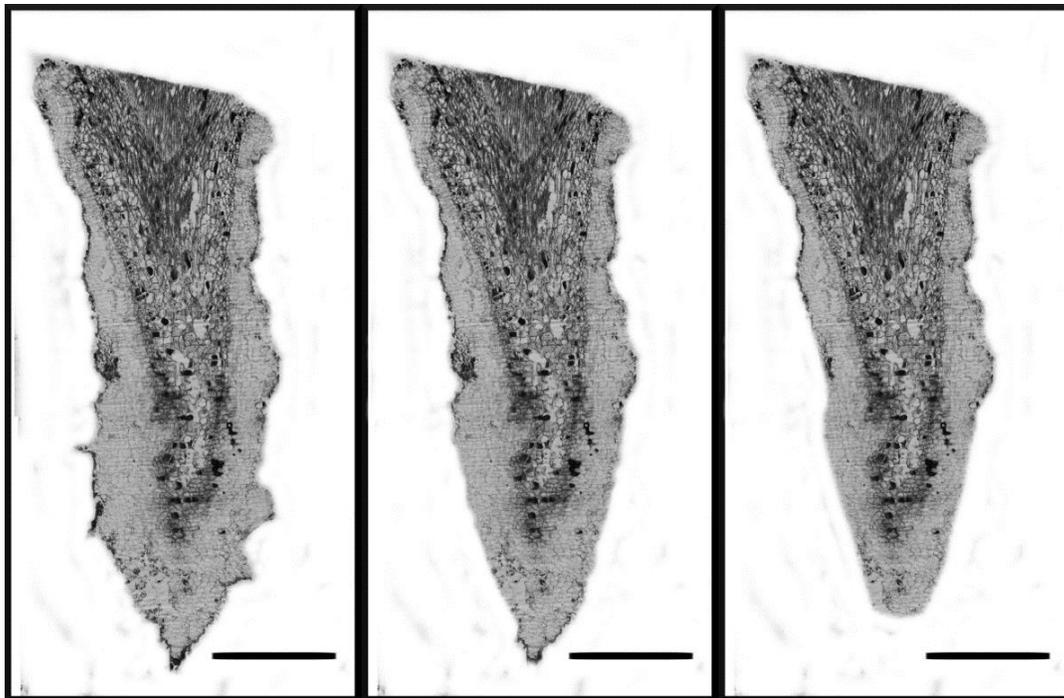


Figura 7. Cortes longitudinales de las raíces de *Malpighia mexicana* en los tres sitios estudiados

Conclusión

Se encontraron similitudes en las partes internas que conforman las raíces de *Malpighia mexicana* y *M. emarginata*. Se indicó la presencia de felodermis y felema (peridermis) y floema y xilema secundario. Se reporta la presencia de drusas en *M. emarginata*, que en esta investigación no se localizaron en ninguno de los tres sitios evaluados.

Literatura citada

- Briceño, B., Azocar, A., Fariñas, M. y Rada F. Características anatómicas de dos especies de *Lupinus* de los Andes Venezolanos. *Pitteria* (29): 21-35.
- CONAGUA. 2017. Datos contenidos en la base de datos climatológica. Comisión Nacional del Agua. www.smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/20191.txt (consultado agosto del 2017).
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Ed. Ofset Larios. D.F. México. 217 pp.
- Hadid, M., Cosa, M-T., Dottori, N. y Liscovsky, I. J. Anatomía de la raíz de *Solanum sisymbriifolium* (Solanaceae). *Latin American Journal of Pharmacy* 26 (1): 4-10.
- Johansen, D. A. 1940. *Plant Microtechnique*. McGraw Hill. New York, USA. 523 pp.
- Lawkoski, L. y Bautista, D. 1999. Características anatómicas de las raíces adventicias en estacas de semoruco (*Malpighia emarginata* DC. tratadas con ácido indolbutírico. *Biagro* 11(3): 88-96.
- Martínez, M. y Gómez-Sánchez, M. 2006. Descripción anatómica vegetativa de dos especies de *Nymphoides* (Menyanthaceae) *Revista Mexicana de Biodiversidad* (77): 81-87.
- Quintana, C. G., Sanabria, M. E., Ojeda, G. M., Valera, E. R. 2012. Efecto de la salinidad sobre la anatomía foliar y radical de la piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) ‘Española Roja’ *Pittieria* 36: 87-108.
- Ramos, J., Perreta, M., Tivano, J. y Vegetti A. 2004. Variaciones anatómicas en la raíz de *Pappophorum philippianum* inducidas por salinidad. *AGRIS*: 8-17.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. Limusa. México, D.F., México. 417 pp.
- Ruzin, S. E. 1999. *Plant Microtechnique and microscopy*. University Oxford. Vol. 1. New York, USA. 332 pp.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

La hoja de *Malpighia mexicana* conserva su estructura anatómica independientemente del sitio de recolecta. Los caracteres taxonómicos que permiten identificarla son la disposición bifacial de los tricomas, de tipo simple y ramificado y la presencia de floema en el nervio medio. Se registraron diferencias cuantitativas con respecto al espesor de la lámina y el mesófilo entre los sitios estudiados, estas diferencias se deben a las características ambientales (temperatura, precipitación y altitud) de los sitios.

Malpighia mexicana presenta una epidermis con células grandes y una mayor concentración de estomas en la superficie abaxial que la definen como una especie xeromórfica; sin embargo, presenta hojas dorsiventrales, espacios intercelulares en el mesófilo, ausencia de esclerénquima, que la caracterizan como mesomórfica. Por lo anterior, se puede concluir que *M. Mexicana* es una especie mesomórfica, con caracteres xeromórficos que le ayudan adaptarse a variaciones en la precipitación y temperatura, por lo que podría ser una especie que tolere el cambio climático.

La anatomía caulinar presento rasgos de xeromorfos como adaptación a ambientes secos con estrés hídrico. El que *M. mexicana* presente elementos de vaso de diámetro tangencial pequeño, de longitud larga y con placa de perforación simple, contribuye a la seguridad en la conducción de agua.

Malpighia mexicana presenta características morfológicas de los elementos de vaso que le permiten vivir y adaptarse a los ambientes secos. Esto es relevante ante los escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (Christensen et al., 2007, Montaña et al, 2016), donde se pronostican cambios en los regímenes de temperatura y precipitación.

Se encontraron similitudes en las partes internas que conforman las raíces de *Malpighia mexicana* y *M. emarginata*. Se indicó la presencia de felodermis y felema (peridermis) y floema y xilema secundario. Se reportan la presencia de drusas en *M. emarginata*, que en esta investigación no se localizaron en ninguno de los tres sitios evaluados.

Literatura citada

- Agrios, G. N. 2010. Fitopatología: Plant pathology. Ed. Limusa. México, D.F., México. 838 pp.
- Aguiar-Rodríguez, S., T. Terrazas y L. López-Mata. 2006. Trees 20: 253 <https://doi.org/10.1007/s00468-005-0007-5>
- Anderson, A. y P. Albersheim. 1975. Host pathogen interaction. Plant Physiology. 56: 286-291.
- Anderson, C. 2001a. The identity of two water-dispersed species of *Heteropterys* (Malpighiaceae): *H. leona* and *H. platyptera*. Contributions from the University of Michigan Herbarium 23: 35-47.
- Anderson, W. R. 1979. Floral conservatism in neotropical Malpighiaceae. Biotropica 11(3): 219-223. DOI: <https://doi.org/10.2307/2388042>
- Anderson, W. R. 2001b. Malpighiaceae. Flora of the Venezuelan Guayana 6: 82-185.
- Anderson, W. R. 2013. Origins of Mexican Malpighiaceae. Acta Botanica Mexicana 104: 107-156. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm104.2013.60>
- Aparecida de Assis, S., F. P. Fernandez, A. B. G. Martins, and O. M. Mascarenhas de Faria Oliveira. 2008. Acerola, importance, culture conditions, production and biochemical aspects. Fruits 68: 93-101.
- Arambarri, A. M., M. C. Novoa, N. D. Bayón, M. P. Hernández, M. N. Colares y C. Monti. 2011. Ecoanatomía foliar de árboles y arbustos de los distritos chaqueños occidental y serrano (Argentina). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 46(3-4): 251-270.
- Araque, O., R. E. Jaimez., C. Azócar., W. Espinoza y W. Tezara. 2009. Relaciones entre anatomía foliar, intercambio de gases y crecimiento en juveniles de cuatro especies forestales. Interciencia 34(10): 725-729.
- Araújo-Silva, J., A. A. Azevedo, L. C. Silva y R. M. Meira. 2010. Leaf anatomy as an additional taxonomy tool for 16 species of Malpighiaceae found in the Cerrado area (Brazil). Plant Systematics and Evolution 286(1-2): 117-131. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-010-0268-3>.

- Arévalo, R., Figueroa, J., y Madriñan, S. 2011. Anatomía foliar de ocho especies de Orquídeas epífitas. *Lankesteriana* 11(1): 39-54.
- Arias, D., O. Dorado y B. Maldonado. 2002. Biodiversidad e importancia de la selva baja caducifolia: La reserva de la biosfera sierra de Huautla. *Biodiversitas* 45: 7-12.
- Arias, S., y T. Terrazas. 2001. Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Cactaceae). *Anales Del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 72(2): 157-169.
- Attala, N. C. 1997. Fitografía e morfoanatomía de *Banisteriopsis anisandra* e *B. gardneriana* (Malpighiaceae): Estudio comparativo. Instituto de Ciencia Biológicas, Universidad de Brasilia. Brasilia, Brasil. Pp. 100-135.
- Briceño, B., A. Azócar, M. Fariñas y F. Rada. 2000. Características anatómicas de dos especies de *Lupinus* L. de los Andes venezolanos. *Pittieria* 1: 21-35.
- 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.
- Cañizares, A., M. E. Sanabria, D. A. Rodríguez y Y. Perozo. 2003. Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre ocho patrones cítricos. *Revista Científica UDO Agrícola* 3(1): 59-64.
- Carlquist, S. 1977. Ecological Factors in Wood Evolution: A Floristic Approach. *American Journal of Botany* 64(7), 887-896. <https://doi.org/10.2307/2442382>
- Carquist, S. 2001. Comparative Wood Anatomy Systematic, Ecological, and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04931-0>

- Castañeda-Vildózola, A., O. Franco-Mora, J. C. R. Alemán, C. Ruiz-Montiel, J. Valdez-Carrasco y A. Equihua-Martínez. 2014. New distribution records of the small avocado seed weevil, *Conotrachelus perseae* Barber (Coleóptera: Curculionidae), in México and notes on its biology. *The Coleopterists Bulletin* 69(2): 267-271. DOI: <https://doi.org/10.1649/0010-065X-69.2.267>
- Castro, M. M., H. F. Leitão-Filho y W. R. Monteiro. 1997. Utilização de estruturas secretoras na identificação dos gêneros de Asteraceae de uma vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 20: 163-174.
- Chapolagh-Paridari, I., S. Gholamali-Jalali, A. Sonboli., M. Zarafshar y P. Bruschi. 2013. Leaf macro and micro-morphological altitudinal variability of *Carpinus betulus* in the Hyrcanian forest (Iran). *Journal of Forestry Research* 24(2): 301-307. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-013-0353-x>
- Chaves, M.M. 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal Experiment Botany* 42:1-16.
- Chávez-Romero, D. M., S. Aguilar-Rodríguez y T. Terrazas. 2010. Variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* (Fagaceae). *Madera y Bosques* 16(2): 69-87.
- Christensen, J.H., T.R. Carter, M. Rummukainen y G. Amanatidis, 2007: Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. *Clim. Change*, doi:10.1007/s10584-006-9211-6.
- CONAGUA. 2017. Datos contenidos en la base de datos climatológica. Comisión Nacional del Agua. www.smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/20191.txt (consultado agosto del 2017).
- Cutler, D. 1978. *Anatomía Vegetal Aplicada*. Longman, Londres.
- Davis, C. C y W. R. Anderson. 2010. A complete generic phylogeny of Malpighiaceae inferred from nucleotide sequence data and morphology. *American Journal of Botany* 97(12): 2031-2048. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.1000146>

- Dickison, W. C. 2000. Plant growth, development, and cellular organization. In: Integrative Plant Anatomy
Harcourt Academy Press. USA. 533 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-012215170-5/50002-9>.
- Eames, A.J., y L.H. McDaniels, 1947. An Introduction to Plant Anatomy. 2a ed. Ed. McGraw-Hill Book
Company, INC. New York, EU. pp. 380-396.
- Eggl, U. 1984. Stomatal types of Cactaceae. *Plant Systematics and Evolution* 146(3-4): 197-214. DOI:
<https://doi.org/10.1007/BF00989546>
- Ely, F., F. Torres y J. Gaviria. 2005. Morfología y anatomía foliar de *Monochaetum meridense*
(Melastomataceae). *Acta Botanica Venezuelica* 28(2): 197-212.
- Engelbrecht, B. M. J., V. Velez y M. Tyree. 2000. Hydraulic conductance of two co-occurring Neotropical
understory shrubs with different habitat preferences. *Annals of Forest Science* 57(3): 201-208.
DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2000111>
- Espinoza-Velázquez, J., J. Valdés-Reyna y J. Alcalá-Rodríguez. 2012. Morfología y anatomía de radículas
múltiples en plántulas de maíz derivadas de cariopsis con poliembrionía. *Polibotánica* 33: 207-221.
- Fank-de-Carvalho, S., M. Salete Marchioretto y S. Nair Bão. 2010. Anatomía foliar, morfología e aspectos
ecológicos das especies da familia Amaranthaceae da Reserva Particular do Patrimônio Natural
Cara Preta, em Alto Paraíso, Brasil. *Biota Neotropica* 10(4): 77-86. DOI:
<https://doi.org/10.1590/s1676-06032010000400011>
- Finley, D. S. 1999. Patterns of calcium oxalate crystals in young tropical leaves: a possible role as an anti-
herbivory defense. *Revista de Biología Tropical* 47: 27-31.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Ed. Ofset Larios. D.F.
México. 217 pp.
- Gates, B. 1982. *Banisteriopsis, Diplopterys* (Malpighiaceae). *Flora Neotropica Monograph* 30: 1-237.

- Giménez, A. M. 2004. Anatomía comparada de leño y corteza de *Geoffroea striata* y *Geoffroea decorticans*. *Madera Y Bosques* 10(1): 55–68.
- Granada-Chacón, W. A. y C. E. Benítez de Rojas. 2004. Anatomía foliar de cuatro especies de *Solanum* L. sección. *Acanthopora* Dunal de Venezuela. *Acta Científica Venezolana* 55: 13-26.
- Herrera-Cárdenas, R., T. Terrazas y S. Loza-Cornejo. 2000. Anatomía comparada del tallo y de la raíz de las especies del género *Neoevansia* Marshall (Cactaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67: 5-16.
- Ichie, T., Inoue, Y., Takahashi, N., Kamiya, K., y Kenzo, T. 2016. Ecological distribution of leaf stomata and trichomes among tree species in a Malaysian lowland tropical rain forest. *Journal of Plant Research* 129(4), 625-635. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0795-2>
- INFOSTAT. 2017. Grupo InfoStat, versión 2017. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Janick J., and R. E. Paull. 2008. *The Encyclopedia of Fruit and Nuts*. CAB Publishing, Cambridge, UK. 328 pp.
- Jaramillo-Pérez, A. T., Quintanar-Isaías, A., Fraile-Ortega, M. E., Martínez-Bernal, A., & Sepúlveda-Sánchez, J. D. 2015. Morfo-anatomía foliar de *Alvaradoa amorphoides* Liebm. del estado de Morelos (México). *Polibotánica* 40: 79-98. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.5>
- Jarquín López, R. 2007. “Parasitoides asociados a insectos en frutos de nanche rojo (*Malpighia mexicana*) en Oaxaca”. 85 pp.
- Jarquín-López, R., L. Martínez-Martínez, J. A. Sánchez-García, and J. I. Figueroa. 2011. Parasitoides asociados a *Anthonomus sisyphus* Clarck (Coleoptera: Curculionidae) en frutos de nanche rojo (*Malpighia mexicana*) en Oaxaca, México. *Southwest. Entomol.* 36: 351-361.

- Jiménez-Noriega, M. S., T. Terrazas y L. López-Mata. 2015. Variación morfo-anatómica de *Ribes ciliatum* a lo largo de un gradiente altitudinal en el norte de la Sierra Nevada, México. *Botanical Sciences* 93(1): 23-32. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.131>
- Johansen, D. A. 1940. *Plant Microtechnique*. McGraw Hill. New York, USA. 523 pp.
- Kirkham, M.B. 2005. *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Elsevier Academic Press. Kansas University. U.K.
- Lake, J. A., y Woodward, F. I. 2008. Response of stomatal numbers to CO² and humidity: Control by transpiration rate and abscisic acid. *New Phytologist* 179(2): 397-404. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02485.x>.
- Laskowski, L. y D. Bautista. 1999. Secuencia de aparición y características anatómicas de las raíces adventicias del semeruco bajo dos tratamientos de AIB. *Bioagro* 11(3): 88-96.
- Laskowski, L. 2000. Características anatómicas de la hoja y el tallo del semeruco (*Malpighia emarginata* DC.) cultivado en dos localidades del Estado Lara. *Bioagro* 12(2): 33-40.
- Leegod, R. C. 1993. Carbon dioxide concentrating mechanisms. In: Lea, P. J., R. C. Leegod, J. Wiley y S. Chichester (eds.). *Plant Biochemistry and Molecular Biology*. Chichester, UK. Pp. 47-72.
- León Hernández, W. J. 2001-2002. Anatomía xilemática del tronco de *Pereskia guamacho* (Cactaceae) procedente del estado de Mérida-Venezuela. *Pittieria* 31: 41-49.
- León Hernández, W. J. 2005. Anatomía ecológica del xilema secundario de un bosque seco tropical de Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica* 28(2): 257-273.
- Lima, R. s. de, Oliveira, P. L. de, & Rodríguez, L. R. 2009. Anatomía do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae-Mimosoideae) ocorrente em dois ambientes. *Revista Brasileira de Botânica* 32(2): 361-374. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000200015>.

- Lindorf, H. 1994. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. *IAWA Journal* 15(4): 361-376.
- Liscovsky, I. J y M. T. Cosa. 2005. Comparative anatomy of leaf and stem in species of *Cestreae*. *Gayana Botánica* 62(1): 33-43. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432005000100006>
- Lucas, W. J., Groover, A., Lichtenberger, R., Furuta, K., Yadav, S. R., Helariutta, Y., Kachroo, P. 2013. The Plant Vascular System: Evolution, Development and *Functions*. *Journal of Integrative Plant Biology* 55(4): 294-388. <https://doi.org/10.1111/jipb.12041>.
- Lyford, W. 1980. Development of the root system of northern red oak (*Quercus rubra* L.). *Harvard Forest Paper* 21; 30 pp.
- Maldonado-Peralta, M. A., G. García de los Santos, J. R. García Nava, T. Corona Torres, V. M. Cetina Alcalá y C. Ramírez Herrera. 2016. Calidad morfológica de frutos y endocarpios del nanche rojo (*Malpighia mexicana*), Malpighiaceae. *Acta Botanica Mexicana* 117: 37-46. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm117.2016.1166>
- Martín-Montiel, D. C., S. M. Pérez de Bianchi¹, A. Etcheverry, C. Camardelli, M. Alemán y T. Figueroa. 2012. Hábito de crecimiento y anatomía de la raíz en *Macroptilium erythroloma* y *Macroptilium bracteatum* (Fabaceae). *Phyton* 81: 215-220.
- Medina, C. I., Sánchez, D., Camayo, G., Lobo, M y Martínez, E. 2008. Anatomía Foliar Comparativa De Materiales De Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) con y sin Espinas. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 9: 1-16.
- Metcalf C. R. y L. Chalk. 1979. *Anatomy of the Dicotyledons: Systematic Anatomy of Leaf and Stem*. Vol I. 2a ed. Clarendon Press, Oxford. London, UK. 1459 pp.

- Milan, P., A. H. Hayashi y B. Appezzato-da-Glória. 2006. Comparative leaf morphology and anatomy of three Asteraceae species. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49(1): 135-144. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132006000100016>
- Moglia G. y Giménez A.M. 1998. Rasgos anatómicos característicos del hidrosistema de las principales especies arbóreas de la Región Chaqueña Argentina. *Investigación Agraria* 7: 53-71.
- Molina-Montenegro, M. A y L. A Cavieres. 2010. Variación altitudinal de los atributos morfo-fisiológicos en dos especies de plantas alto-andinas y sus implicancias contra la fotoinhibición. *Gayana Botánica* 67(1): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0717-66432010000100001>
- Montaño-Arias, S. A., S. L. Camargo-Ricalde y C. P. Pérez-Olvera. 2013. Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences* 91(1): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.398>
- Montaño-Arias, S. A., S. L. Camargo- Ricalde y R. Grether. 2018. Complejos estomáticos de veinticuatro taxa de *Mimosa* (Leguminosae) presentes en México. *Acta Botanica Mexicana* 122: 97-107. DOI: <https://doi.org/10.21829/ abm122.2018.1260>
- Morton, J. F. 1987. Barbados Cherry In: *Fruits of warm climates*. Creative Resource Systems. Miami, Florida, USA. Pp. 204-207.
- Moya, R., y Tomazello, M. 2008. Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* (Verbenaceae) trees at different ecological conditions in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 56(2): 689-704.
- Muller, C.H. 1951 The significance of vegetative reproduction in *Quercus*. *Madroño* 11: 129-137.
- Nitta, I., A. Kida., Y. Fujibayashi, H. Katayama y Y. Sugimura. 2006. Calcium carbonate deposition in a cell wall sac formed in mulberry idioblasts. *Protoplasma* 228(4): 201-208. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00709-006-0182-2>

- Nitta, I., Kida, A., Fujibayashi, Y., Katayama, H., y Sugimura, Y. 2006. Calcium carbonate deposition in a cell wall sac formed in mulberry idioblasts. *Protoplasma* 228(4): 201-208. <https://doi.org/10.1007/s00709-006-0182-2>.
- Oliveira, C., y Sajo, G. 2001. Morfo-anatomía caulinar de nove especies de Orchidaceae. *Acta Botánica Brasileña* 15(2): 176-188.
- Pereira, K. B. D. 2002. Micropropagación e estudo morfo-anatômico do endocarpo, semente e plântula de *Byrsonima basiloba* Juss. Dissertacao (Mestrado). Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Brasilia. Brasilia, Brasil. 103 pp.
- Phillips, F. 1912. US Dept Agriculture. Forest Semice Circular 201. Emory oak in southern Arizona.
- Polanco-Tapia, C., y Grande-Pulido, C. 2008. Ecoanatómico, Evolutivo Y Comparativo De La Madera De 40 Especies De Dos Asociaciones Del Bosque Altoandino Colombiano. *Colombia Forestal* 12: 183-203. <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3042>
- Quintanar-Isaias, A., Angeles, G., y Zavala-Hurtado, J. A. 2009. Anatomy, hydraulic and physical indexes of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. wood. *Madera y Bosques* 15(2): 71-91.
- Ragonese, A. 1990. Caracteres xeromorfos foliares de *Nassauvia lagascae* (Compositae). *Darwiniana* 30(1/4): 1-10.
- Ramírez-Roa, A. y G. Varela-Hernández. 2011. Características anatómicas de hoja y flor con importancia taxonómica para la delimitación de cuatro especies en el género *Moussonia* (Gesneriaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 98: 413-429. DOI: <https://doi.org/10.3417/2005150>
- Rebollar, S., A. Quintanar y C. P. Pérez-Olvera. 1994. Estudio anatómico de la madera de *Psidium sartorianum* (Myrtaceae) y *Cordia gerascanthus* (Boraginaceae). *Acta Botanica Mexicana* 27: 89-97. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm27.1994.712>

- Reyes-Santamaría, I., Terrazas, T., Barrientos-Priego, A. F., y Trejo, C. 2002. Xylem conductivity and vulnerability in cultivars and races of avocado. *Scientia Horticulturae* 92(2): 97-105. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00284-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00284-9).
- Rodríguez, L. A., F. Guevara, H. Gómez y M. Fonseca. 2016. Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agronómica* 65(3): 248-254. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.46731>
- Roth, I., T. Merida y H. Lindorf. 1986. Morfología y anatomía foliar de plantas de la Selva Nublada de Rancho Grande. Parque Nacional Henry Pittier. El ambiente físico, ecología general y anatomía vegetal. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana. Caracas, Venezuela. Pp. 205-240.
- Ruzin, S. E. 1999. Plant Microtechnique and microscopy. University Oxford. Vol. 1. New York, USA. 332 pp.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México D.F. 125 Pp. DOI: <https://doi.org/10.2307/1219727>.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Limusa. México, D.F., México. 417 pp.
- Sack, L. y C. Scoffoni. 2013. Leaf venation: Structure, function, development, evolution, ecology and applications in the past, present and future. *New Phytologist* 198(4): 983-1000. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.12253>
- Sánchez, M. y J. Aguirreolea. 1996. Relaciones hídricas. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talon (eds). Fisiología y bioquímica vegetal. Edigrafos. Madrid. España.
- Schoch, P. G., C. Zinsou y M. Sibi. 1980. Dependence of the stomatal index on environmental factors during stomatal differentiation in leaves of *Vigna sinensis* L. *Journal of Experimental Botany* 31(124): 1211-1216.

- Siddique, S. A. y R. Ahmad. 1977. Epidermal studies of some Malpighiaceae. *Plant Science* 9: 37-39.
- Smith, W. K., T. C. Vogelmann, E. H. De Lucia, D. T. Bell y A. Shepherd. 1997. Leaf form and photosynthesis. *BioScience* 47(11): 785-793.
- Sokal, R.R. and Rohlf, F.J. 1995 *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. 3rd Edition, W.H. Freeman and Co., New York.
- Terashima, I., Y. T. Hanba, D. Tholen y Ü. Niinemets. 2011. Leaf functional anatomy in relation to photosynthesis. *Plant Physiology* 155(1): 108-116. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.110.165472>
- Tholen, D., Ethier, G., Genty, B., Pepin, S., y Zhu, X. G. 2012. Variable mesophyll conductance revisited: Theoretical background and experimental implications. *Plant, Cell and Environment*, 35(12): 2087-2103. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02538.x>.
- Torres, A. J. y M. Ch. Sanabria. 2011. Efecto del ambiente de desarrollo sobre la anatomía foliar de *Cattleya jenmanii* Rolfe y *C. lueddemanniana* Rchb. f. (Orchidaceae). *Acta Botanica Venezuelica* 34(1): 199-214.
- Trewavas, A. 2003. Aspects of plant intelligence. *Annals of Botany* 92: 1-20.
- TROPICOS. 2017. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org> (consultado agosto de 2017).
- Valerio, R., H. Lindorf y E. García. 2002. Relación entre la anatomía foliar de variedades de *Musa* sp. y su comportamiento frente a la Sigatoka (amarilla y negra). En: ACORBAT. Memorias XV Reunión. Cartagena de Indias, Colombia, 27 octubre-2 de noviembre. p. 249-254.
- Vega, A. S., M. A. Castro y W. R. Anderson. 2002. Occurrence and phylogenetic significance of latex in the Malpighiaceae. *American Journal of Botany* 89(11): 1725-172.
- Vélez, I. 2015. Notes on the Ecology of West Indian Species of *Malpighia*. *American Association for the Advancement of Science*. Vol. 124, p. 317.

- Villagra, P. E., y Juñent, F. A. R. 1997. Wood Structure of *Prosopis alpataco* and *P. argentina* Growing Under Different Edaphic Conditions. IAWA Journal 18(1): 37-51. <https://doi.org/https://doi.org/10.1163/22941932-90001458>.
- Villaseñor, J. L. 2010. El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. Pp. 28-40.
- Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. Revista Mexicana de Biodiversidad 87(3): 559-902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Wilkins, A. P., y Papassotiriou, S. 1989. Wood Anatomical Variation of *Acacia melanoxylon* in Relation to Latitude. IAWA Journal 10(2): 201-207 DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1163/22941932-90000490>.
- Wodzicki, T. J. 2001. Natural factors affecting wood structure. Wood Science and Technology 35(1): 5-26. <https://doi.org/10.1007/s002260100085>.
- Yeats, T. H. y J. K. C Rose. 2013. The formation and function of plant cuticles. Plant Physiology 163(1): 5-20. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.222737>
- Zamora-Natera, J. F. y T. Terrazas. 2012. Anatomía foliar y del pecíolo de cuatro especies de *Lupinus* (Fabaceae). Revista Mexicana de Biodiversidad 83(3): 687-697. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.27264>.