

# Wood anatomy of *Magnolia rzedowskiana* Vázquez, Domínguez & Pedraza, endemic species of the Sierra Madre Oriental, Mexico

## Anatomía de la madera de *Magnolia rzedowskiana* Vázquez, Domínguez & Pedraza, especie endémica de la Sierra Madre Oriental, México

Liliana Cuapio-Hernández<sup>1</sup>; Arturo Sánchez-González<sup>1</sup>; Numa P. Pavón-Hernández<sup>1</sup>;  
Maritza López-Herrera<sup>1</sup>; Ma. Amparo Borja-de la Rosa<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Biológicas. Ciudad del Conocimiento, carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5. C. P. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, Laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera. Carretera México-Texcoco km 38.5. C. P. 56230. Texcoco de Mora, Estado de México, México.

\*Corresponding author: [aborja@correo.chapingo.mx](mailto:aborja@correo.chapingo.mx); tel.: +52 595 116 9387.

### Abstract

**Introduction:** *Magnolia rzedowskiana* Vázquez, Domínguez & Pedraza is a tree species endemic to the cloud forest of the Sierra Madre Oriental; its scanty distributed and isolated populations are considered at danger of extinction.

**Objective:** To describe the microscopic anatomical characteristics of *M. rzedowskiana* wood to contribute to the biological knowledge of this species.

**Materials and methods:** Wood samples were determined by a non-destructive method, extracting two growth cores from five adult trees in each of the four sampling sites located in Chilijapa and Zotictla in Hidalgo, La Yesca in Querétaro and ejido La Trinidad in San Luis Potosí. Cores were sectioned into subsamples to elaborate fixed preparations from tangential, transversal and radial cuts. Characteristics were identified using an optical microscopy and described according to IAWA (International Association of Wood Anatomists) criteria.

**Results and discussion:** Growth zones, diffuse porosity, solitary and multiple radial pores in intermediate arrangement between radial and tangential; scalariform perforation plate and libriform fibers; diffuse and scanty paratracheal and apotracheal axial parenchyma; biseriate rays combined with triseriate, uniseriate and heterocellular rays composed of procumbent cells with a row above and below of marginal square cells with oil bodies. The wood is distinguished by mesomorphism and resistance to drought.

**Conclusion:** The anatomical description of *M. rzedowskiana* is a contribution to biological knowledge. From an economic point of view, this wood has potential use to produce pulp for paper.

### Resumen

**Introducción:** *Magnolia rzedowskiana* Vázquez, Domínguez & Pedraza es una especie arbórea endémica del bosque mesófilo de montaña de la Sierra Madre Oriental; sus poblaciones, poco densas y aisladas entre sí, se consideran en riesgo de extinción.

**Objetivo:** Describir las características anatómicas microscópicas de la madera de *M. rzedowskiana*, para contribuir al conocimiento biológico de esta especie.

**Materiales y métodos:** Las muestras de madera se obtuvieron por un método no destructivo, extrayendo dos núcleos de crecimiento de cinco árboles adultos en cada uno de los cuatro sitios de muestreo ubicados en las localidades Chilijapa y Zotictla en Hidalgo, La Yesca en Querétaro y ejido La Trinidad en San Luis Potosí. Los núcleos se seccionaron en submuestras, para elaborar preparaciones fijas a partir de cortes en sentido tangencial, transversal y radial. Las características se identificaron con microscopio óptico y se describieron de acuerdo con los criterios de la IAWA (International Association of Wood Anatomists).

**Resultados y discusión:** Se diferenciaron zonas de crecimiento, porosidad difusa, poros solitarios y múltiples radiales en arreglo intermedio entre radial y tangencial; placa de perforación escaleriforme y fibras libriformes; parénquima axial paratraqueal y apotraqueal difuso y escaso; rayos biseriados combinados con triseriados y heterocelulares compuestos de células procumbentes con una hilera arriba y debajo de células cuadradas marginales con cuerpos de aceite. La madera se distingue por su mesomorfía y resistencia a la sequía.

**Conclusión:** La descripción anatómica de *M. rzedowskiana* es un aporte al conocimiento biológico. En el sentido económico, la madera tiene potencial de uso para la producción de pulpa para papel.

**Keywords:** diffuse porosity;  
vessel elements; rays;  
libriform fibers; tylosis.

**Palabras clave:** porosidad  
difusa; elementos de  
vaso; rayos; fibras  
libriformes; tilosis.

## Introduction

Wood anatomy study is applied both technologically and in basic science (Beeckman, 2016), because it facilitates the elaboration of regional keys for species identification (Araya-Montero & Moya-Roque, 2013), reconstruction of climatic scenarios on life in pre-Hispanic cultures, and generation of models for the prediction of adaptive responses of plants under environmental conditions (Dickison, 2000). Anatomical characters along with morphological characters can be used to establish evolutionary relationships or trends, determine plant families, genera and species, and determine homologies in different structures (Dickison, 2000; Wróblewska, 2015). From the wood industrialization approach, knowing its anatomy leads to conclusions about physical and mechanical properties, processing techniques, and potential use (Interián-Ku et al., 2011).

Trees and shrubs of the genus *Magnolia* L. are widely distributed in both temperate and tropical regions, where species are valued for medicinal, ornamental and timber properties (Rico & Gutiérrez, 2019). Subgenus *Magnolia* is integrated by 10 sections of the Tropical and Neotropical clade. The sections of the Neotropical clade are *Macrophylla*, *Manglietia*, *Magnolia*, *Oyama*, *Rytidospermum* and *Tuliparia*, according to phylogeny proposed by Wang et al. (2020) based on chloroplast genome. Phylogenetic tree shows direct relationship between the *Macrophylla* clade and the *Tuliparia* clade; the latter includes the *M. fraseri* Walter species and varieties endemic to the southeastern United States (Wang et al., 2020). Species of section *Macrophylla* (*M. alejandrae* García-Morales & Iamónico, *M. ashei* Weatherby, *M. dealbata* Zuccarini, *M. macrophylla* Michaux, *M. nuevoleonensis* Vázquez & Domínguez-Yescas, *Magnolia rzedowskiana* Vázquez, Domínguez & Pedraza and *M. vovidesii* Vázquez, Domínguez-Yescas & Carvajal) are distributed in several regions between the southeastern United States and southeastern Mexico (Figlar & Nooteboom, 2004).

*M. rzedowskiana* (section *Macrophylla*) is a species described in 2015, considered endemic and of restricted distribution; its populations survive as relicts and are confined to the central region of the Sierra Madre Oriental, specifically in the convergence between the states of Querétaro (Sierra Gorda), San Luis Potosí (Sierra de Xilitla) and Hidalgo (Vázquez-García, Domínguez-Yescas, Pedraza-Ruiz, Sánchez-González, & Muñiz-Castro, 2015).

Studies on wood anatomy in *Magnolia* species are scarce, especially in *M. fraseri* of section *Tuliparia* (InsideWood, 2004), the analysis of secondary xylem in *M. schiedeana* Schltdl. (Aguilar-Alcántara, Aguilar-Rodríguez, & Terrazas, 2014) and the study on plasticity

## Introducción

El estudio de la anatomía de la madera se aplica tanto a nivel tecnológico como en ciencia básica (Beeckman, 2016), ya que permite la elaboración de claves regionales para la identificación de especies (Araya-Montero & Moya-Roque, 2013), la reconstrucción de escenarios climáticos sobre la vida en las culturas prehispánicas y la generación de modelos para la predicción de las respuestas adaptativas de las plantas en las condiciones ambientales (Dickison, 2000). Los caracteres anatómicos en conjunto con los morfológicos pueden utilizarse para establecer relaciones o tendencias evolutivas, determinar familias, géneros y especies de plantas, y aclarar homologías en varias estructuras (Dickison, 2000; Wróblewska, 2015). Desde el enfoque de industrialización de la madera, el conocimiento de su anatomía permite hacer inferencias sobre las propiedades físicas y mecánicas, técnicas de procesamiento y uso potencial (Interián-Ku et al., 2011).

Los árboles y arbustos del género *Magnolia* L. se distribuyen ampliamente tanto en regiones templadas como en las tropicales, donde las especies son apreciadas por sus propiedades medicinales, ornamentales y maderables (Rico & Gutiérrez, 2019). El subgénero *Magnolia* se integra por 10 secciones del clado Tropical y Neotropical. Las secciones del clado Neotropical son *Macrophylla*, *Manglietia*, *Magnolia*, *Oyama*, *Rytidospermum* y *Tuliparia*, de acuerdo con la filogenia propuesta por Wang et al. (2020) con base en el genoma del cloroplasto. El árbol filogenético muestra relación directa entre el clado *Macrophylla* y el clado *Tuliparia*; este último incluye a la especie *M. fraseri* Walter y sus variedades endémicas del sureste de Estados Unidos (Wang et al., 2020). Las especies de la sección *Macrophylla* (*M. alejandrae* García-Morales & Iamónico, *M. ashei* Weatherby, *M. dealbata* Zuccarini, *M. macrophylla* Michaux, *M. nuevoleonensis* Vázquez & Domínguez-Yescas, *Magnolia rzedowskiana* Vázquez, Domínguez & Pedraza y *M. vovidesii* Vázquez, Domínguez-Yescas & Carvajal) se distribuyen en varias regiones entre el sureste de Estados Unidos y el sureste de México (Figlar & Nooteboom, 2004).

*M. rzedowskiana* (sección *Macrophylla*) es una especie descrita en el año 2015, considerada endémica y de distribución restringida; sus poblaciones sobreviven como relictos y están confinadas a la región central de la Sierra Madre Oriental, específicamente en la convergencia entre los estados de Querétaro (Sierra Gorda), San Luis Potosí (Sierra de Xilitla) e Hidalgo (Vázquez-García, Domínguez-Yescas, Pedraza-Ruiz, Sánchez-González, & Muñiz-Castro, 2015).

Los estudios sobre anatomía de la madera en especies de *Magnolia* son escasos, destaca el realizado en *M. fraseri* de la sección *Tuliparia* (InsideWood, 2004), el

of vessel elements during drought conditions in *M. schiedeana* and *M. vovidesii* (Rodríguez-Ramírez, Vázquez-García, García-González, Alcántara-Ayala, & Luna-Vega, 2020). In this context, the objective of the present study was to describe wood anatomical characteristics of *M. rzedowskiana* populations in its distribution area in the Sierra Madre Oriental in Mexico, to provide biological information on the species currently at risk of extinction because of the degree of habitat deterioration.

## Materials and Methods

### Study area

*M. rzedowskiana* populations here studied are distributed in the states of Hidalgo, Querétaro and San Luis Potosí, in the Sierra Madre Oriental. The location of these populations was defined in a previous study on morphological variation of this species (Gutiérrez-Lozano, Sánchez-González, Vázquez-García, López-Mata, & Octavio-Aguilar, 2020). The vegetation type with the most extensive coverage in the study area is cloud forests, the predominant climate is humid temperate (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2008), total annual precipitation ranges between 1 048 and 2 385 mm, with an average annual temperature between 17.1 and 20.7 °C (Ruiz-Jiménez, Téllez-Valdés, & Luna-Vega, 2012).

### Wood collection

A total of four sampling sites, located in Chilijapa and Zotictla in Hidalgo, La Yesca in Querétaro and ejido La Trinidad in San Luis Potosí (Figure 1) were selected. Five healthy, straight-stemmed, adult trees were selected at each sampling site. Two growth cores were collected from each tree using a Pressler borer. Samples were extracted at 1.3 m height from the trunk and holes were filled with wooden plugs previously immersed in formalin and sealed with wood filler. In addition, altitude and geographic coordinates were recorded for each individual at each site (Table 1).

### Fixed preparations

Cores were sectioned into 1 cm pieces (subsample) and numbered consecutively in the cortex-medulla direction. A softening process was induced in distilled water at 60 °C for five days. Subsequently, cores were placed in a solution consisting of equal proportions of glycerin, alcohol and water (Borja-de la Rosa et al., 2010; Gärtner & Schweingruber, 2013). Wood cuts of 30 µm thickness were made, from each subsample, in the transverse, tangential and radial planes using a sliding microtome. To stabilize the tissue structure between cuts, a corn starch solution

análisis del xilema secundario en *M. schiedeana* Schldtl. (Aguilar-Alcántara, Aguilar-Rodríguez, & Terrazas, 2014) y el trabajo sobre la plasticidad de los elementos de vaso ante la ocurrencia de sequías en *M. schiedeana* y *M. vovidesii* (Rodríguez-Ramírez, Vázquez-García, García-González, Alcántara-Ayala, & Luna-Vega, 2020). En este contexto, el objetivo del presente estudio fue describir las características anatómicas de la madera de las poblaciones de *M. rzedowskiana* en su área de distribución en la Sierra Madre Oriental en México, para aportar información biológica de la especie que actualmente se encuentra en riesgo de extinción por el grado de deterioro de su hábitat.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

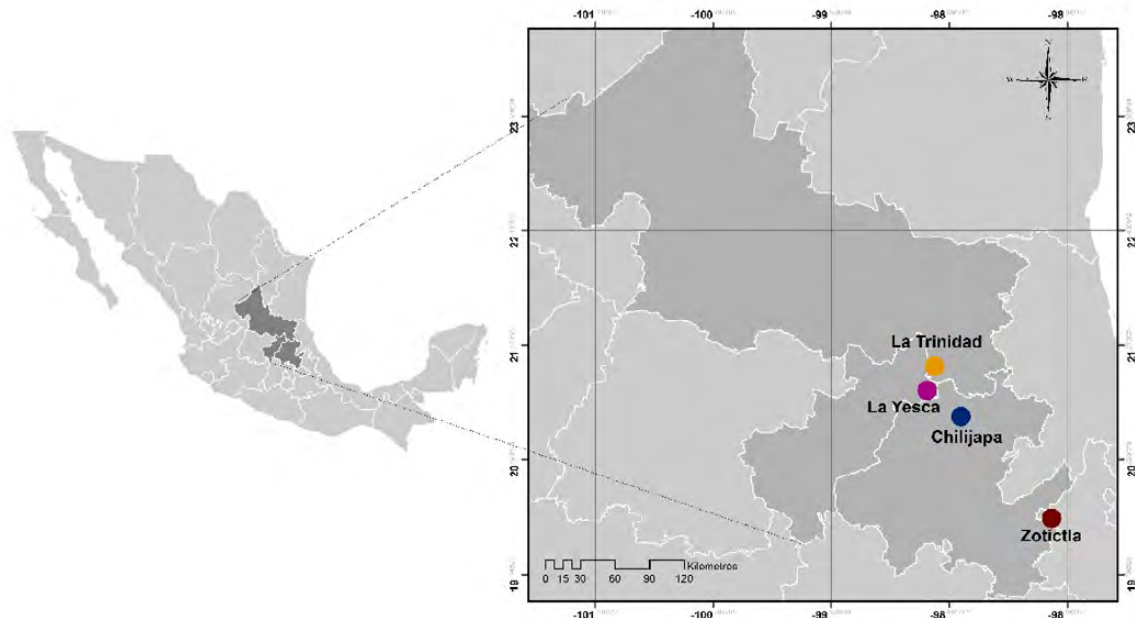
Las poblaciones analizadas de *M. rzedowskiana* se distribuyen en los estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí, dentro de la Sierra Madre Oriental. La ubicación de estas poblaciones fue definida en un estudio previo sobre variación morfológica de la especie (Gutiérrez-Lozano, Sánchez-González, Vázquez-García, López-Mata, & Octavio-Aguilar, 2020). El tipo de vegetación con mayor cobertura en el área de estudio es bosque mesófilo de montaña, el clima predominante es templado húmedo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2008), la precipitación total anual oscila entre 1 048 y 2 385 mm, y la temperatura promedio anual fluctúa entre 17.1 y 20.7 °C (Ruiz-Jiménez, Téllez-Valdés, & Luna-Vega, 2012).

### Colecta de madera

Se eligieron cuatro sitios de muestreo ubicados en las localidades Chilijapa y Zotictla en Hidalgo, La Yesca en Querétaro y ejido La Trinidad en San Luis Potosí (Figura 1). En cada sitio de muestreo se seleccionaron cinco árboles adultos, sanos, de fuste recto. De cada árbol se obtuvieron dos núcleos de crecimiento con taladro de Pressler. Las muestras se extrajeron a 1.3 m de altura del tronco y los orificios se rellenaron con taquetes de madera previamente sumergidos en formol y se sellaron con resonador para madera. Adicionalmente, en cada sitio se registró la altitud y coordenadas geográficas para cada individuo (Cuadro 1).

### Preparaciones fijas

Los núcleos fueron seccionados en trozos de 1 cm (submuestra) y numerados de manera consecutiva en dirección corteza-médula. Se indujo un proceso de ablandamiento en agua destilada a 60 °C durante cinco días. Posteriormente, los núcleos se colocaron en una solución de glicerina, alcohol y agua en partes iguales



**Figure 1. Sampling sites of *Magnolia rzedowskiana* populations on the central slope of the Sierra Madre Oriental.**  
**Figura 1. Localización de los sitios de muestreo de las poblaciones de *Magnolia rzedowskiana* en la vertiente central de la Sierra Madre Oriental.**

**Table 1. Geographic location and altitude of *Magnolia rzedowskiana* sampling sites. Including diameter (at 1.30 m height) data of trees used to harvest wood samples.**

**Cuadro 1. Localización geográfica y altitud de los sitios de muestreo de *Magnolia rzedowskiana*. Se incluyen datos del diámetro (a 1.30 m de altura) de los árboles utilizados para la extracción de las muestras de madera.**

Name of location / Nombre del sitio	Geographic coordinates / Coordenadas geográficas	Altitude (m) / Altitud (m)	Tree diameter (cm) / Diámetro de los árboles (cm)				
			1	2	3	4	5
Ejido La Trinidad, Xilitla San Luis Potosí	21° 24' 0.62" N 99° 03' 54.8" O	1914	33.5	27.5	24.8	34.0	15.0
La Yesca, Landa de Matamoros, Querétaro	21° 13' 2.9" N 99° 07' 52.6" O	1716	22.5	22.5	22.0	23.0	22.0
Chilijapa, Tepahuacán de Guerrero, Hidalgo	21° 00' 40.4" N 98° 52' 24.3" O	1397	24.0	23.0	35.0	19.0	15.5
Zotictla, Acaxochitlán, Hidalgo	20° 13' 20.4" N 98° 09' 40.6" O	1729	47.0	42.0	27.0	22.5	47.5

was applied (Gärtner et al., 2015). Sections were washed with a 3:7 solution of sodium hypochlorite and distilled water, stained with Bismarck brown for two hours and dehydrated with 96 % and absolute (100 %) alcohol; subsequently, the tissue was rinsed with xylol. Mounting was performed with Entellan® resin (Borja de la Rosa et al., 2010; Navarro-Martínez, Borja-de la Rosa, & Machuca-Velasco, 2005).

A small portion of growth cores was macerated according to the method of Gärtner and

(Borja-de la Rosa et al., 2010; Gärtner & Schweingruber, 2013). De cada submuestra se hicieron cortes de madera de 30 µm de grosor en los planos transversal, tangencial y radial con micrótopo de deslizamiento. Para estabilizar la estructura del tejido entre cortes se aplicó una solución de almidón de maíz (Gärtner et al., 2015). Los cortes se lavaron con una solución 3:7 de hipoclorito de sodio y agua destilada, se tiñeron con pardo de Bismarck durante dos horas y se deshidrataron con alcohol al 96 % y absoluto (100 %); posteriormente, el tejido se aclaró con xilol. El montaje se realizó con

Schweingruber (2013) to separate the cells (fibers and vessels). Once dissociated, the material was washed and stained with Bismarck brown for two hours, excess dye was washed off and fixed preparations were made to measure vessel and fiber elements.

### Anatomical description

Wood anatomy was described based on the document "List of microscopic features for hardwood identification" (Wheeler, Bass, & Gasson, 1989), using a Motic optical microscope. Constituent elements (rays, vessel elements and fibers) were measured and counted in each subsample using digital images taken with a Motic camera coupled to the microscope and Motic Images 2000 software (Motic®, 2000).

### Statistical analysis

Measures of central tendency (arithmetic mean) and dispersion (standard deviation, coefficient of variation, and range) of constituent elements (rays, vessel elements [VE], and fibers) were estimated; in addition, vulnerability (IV) and mesomorphic (MI) indices (Carlquist, 1977) were estimated using the following formulas:

$$IV = \text{tangential diameter } (\mu\text{m}) \text{ of VE} / \text{number of VE} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$MI = IV * \text{VE length } (\mu\text{m})$$

Pulp quality indexes for paper (PQI) were also calculated from average values of fibers in relation to diameter (D), length (L), lumen diameter (I) and cell wall thickness (w). In order to perform these calculations, the following formulas were used (Tamarit, 1996):

- Rigidity coefficient of index (RC) =  $2w (\mu\text{m}) / D (\mu\text{m})$
- Flexibility coefficient (FC) =  $I (\mu\text{m}) / D (\mu\text{m})$
- Peteri coefficient or Slenderness Index (SI) =  $L (\mu\text{m}) / D (\mu\text{m})$
- Runkel ratio (RR) =  $2w (\mu\text{m}) / I (\mu\text{m})$ .

### Results

*M. rzedowskiana* wood has well-defined growth zones (Figure 2a) because they are delimited by lines of radially flattened fiber cells (Figure 2b), diffuse apotracheal axial parenchyma cells (Figure 2c) and by ray widening (Figure 2c).

Porosity is diffuse (Figure 2a), with solitary vessels and in radial multiples of 2-9, sometimes clustered 2-7; the arrangement is intermediate between radial and tangential; and the predominant contour of the solitary vessel is angular, circular and oval contours are sporadically observed (Figure 2d).

resina Entellan® (Borja de la Rosa et al., 2010; Navarro-Martínez, Borja-de la Rosa, & Machuca-Velasco, 2005).

Una pequeña parte de los núcleos de crecimiento se maceró de acuerdo con el método de Gärtner y Schweingruber (2013) para separar las células (fibras y vasos). Una vez disociado, el material se lavó y tiñó con pardo de Bismarck durante dos horas, se lavó el exceso de colorante y se hicieron preparaciones fijas para medir los elementos de vaso y fibras.

### Descripción anatómica

La anatomía de la madera se describió con base en el documento "List of microscopic features for hardwood identification" (Wheeler, Bass, & Gasson, 1989), utilizando un microscopio óptico Motic. Los elementos constitutivos (rayos, elementos de vaso y fibras) se midieron y contaron en cada submuestra mediante imágenes digitales tomadas con una cámara Motic acoplada al microscopio y al software Motic Images 2000 (Motic®, 2000).

### Análisis estadístico

Se estimaron las medidas de tendencia central (promedio aritmético) y de dispersión (desviación estándar, coeficiente de variación y rango) de los elementos constitutivos (rayos, elementos de vaso [EV] y fibras); además, se calcularon los índices de vulnerabilidad (IV) y mesomorfía (IM) (Carlquist, 1977) mediante las fórmulas siguientes:

$$IV = \text{diámetro tangencial } (\mu\text{m}) \text{ de EV} / \text{número de EV} \cdot \text{mm}^{-2}$$

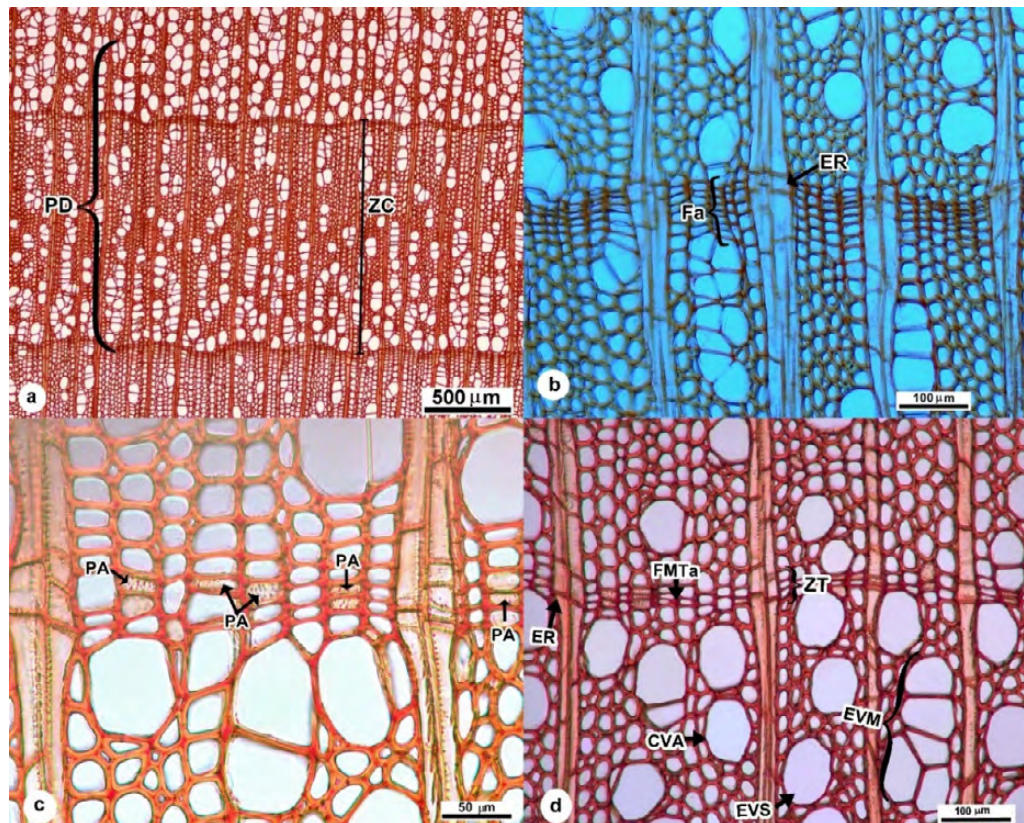
$$IM = IV * \text{longitud de los EV } (\mu\text{m})$$

También se calcularon los índices de calidad de pulpa para papel (ICP), a partir de los valores promedio de las fibras con respecto al diámetro (D), longitud (L), diámetro del lumen (I) y grosor de la pared celular (w). Las fórmulas para realizar los cálculos fueron las siguientes (Tamarit, 1996):

- Coficiente o índice de rigidez (CR) =  $2w (\mu\text{m}) / D (\mu\text{m})$
- Coficiente de flexibilidad (CF) =  $I (\mu\text{m}) / D (\mu\text{m})$
- Coficiente de Peteri o Índice de esbeltez (IE) =  $L (\mu\text{m}) / D (\mu\text{m})$
- Relación de Runkel (RR) =  $2w (\mu\text{m}) / I (\mu\text{m})$ .

### Resultados

La madera de *M. rzedowskiana* tiene bien definidas las zonas de crecimiento (Figura 2a), dado que están delimitadas por líneas de células de fibras aplanadas radialmente (Figura 2b), células de parénquima axial



**Figure 2.** Cross section of *Magnolia rzedowskiana* wood: (a) growth zone (GZ) defined by fiber rows and diffuse porosity (DP); (b) flattened fibers in growth zones (Ff) and ray widening (RW); (c) diffuse apotracheal axial parenchyma cells (AP); and (d) details of growth zones and pores (TZ = transition zone, WFTa = wood fibers in transition zones, RW = ray widening, ACV = angular contour of vessel element, SVE = solitary vessel element and MVE = multiple vessel elements).

**Figura 2.** Corte transversal de la madera de *Magnolia rzedowskiana*: a) zona de crecimiento (ZC) definida por hileras de fibras y porosidad difusa (PD); b) fibras aplanadas en las zonas de crecimiento (Fa) y ensanchamiento del rayo (ER); c) células de parénquima axial apotraqueal difuso (PA); y d) detalles de las zonas de crecimiento y poros (ZT = zona de transición, FMTa = fibras de madera en zonas de transición, ER = ensanchamiento del rayo, CVA = contorno angular del elemento de vaso, EVS = elemento de vaso solitario y EVM = elementos de vaso múltiples).

The perforation plate in VE is scalariform (with 1 to 15 bars) and simple (Figure 3a), with scalariform intervascular (Figure 3b) and scalariform horizontal radial vascular pits (Figure 4a) and with helical thickening at the base of the vessel (Figure 4b). VE are cylindrical, elongated, with different sizes with and without small tails at both ends (Figure 5a); average length is  $785.55 \pm 151.74 \mu\text{m}$  and diameter from very small to medium ( $\leq 50 \mu\text{m}$ ,  $50\text{-}100 \mu\text{m}$ ,  $100\text{-}200 \mu\text{m}$ ) with average of  $58.77 \pm 10.37 \mu\text{m}$ . In cross section,  $60.03 \pm 17.06$  vessels- $\text{mm}^2$  were counted. Table 2 shows the estimated measures of central tendency and dispersion. On the other hand, VE were observed with oil deposits towards the medulla area (Figure 6a) and rarely with presence of tyloses (Figure 6c).

Fibers were medium-sized (900 to 1600  $\mu\text{m}$ ), libriform (Figure 5b) and had elliptical areolate pits. Some fibers had septa (Figure 7a) with helical thickening with an

apotraqueal difuso (Figura 2c) y por el ensanchamiento de los rayos (Figura 2c).

La porosidad es difusa (Figura 2a); los vasos son solitarios y múltiples radiales de dos a nueve, en ocasiones arracimados de dos a siete; el arreglo es intermedio entre radial y tangencial; y el contorno predominante del vaso solitario es angular, esporádicamente se observan contornos circulares y ovalados (Figura 2d).

La placa de perforación en los EV es escaleriforme (con una a 15 barras) y simple (Figura 3a), con puntuaciones intervasculares escaleriformes (Figura 3b) y radiovasculares horizontales escaleriformes (Figura 4a) y con engrosamientos helicoidales en la base del vaso (Figura 4b). Los EV son cilíndricos, alargados, de varios tamaños con y sin colas pequeñas en ambos extremos (Figura 5a); la longitud promedio es de  $785.55 \pm 151.74 \mu\text{m}$  y diámetro de muy pequeño a mediano ( $\leq 50 \mu\text{m}$ ,

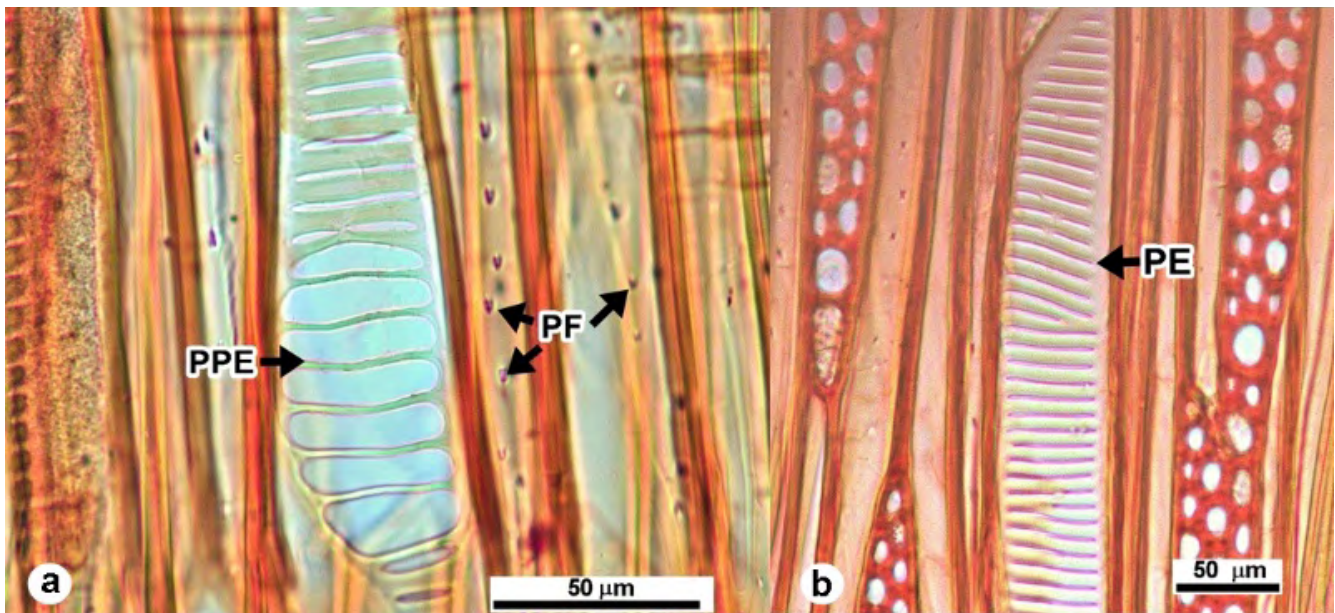


Figure 3. Vessel elements of *Magnolia rzedowskiana*: a) Scalariform perforation plate (PPE) and elliptical fiber pit (FP) in radial section; b) scalariform pit (SP) in tangential section.

Figura 3. Elementos de vaso de *Magnolia rzedowskiana*: a) Placa de perforación escaleriforme (PPE) y punteadura de la fibra areolada elíptica (PF) en la sección radial; b) punteadura escaleriforme (PE) en la sección tangencial.

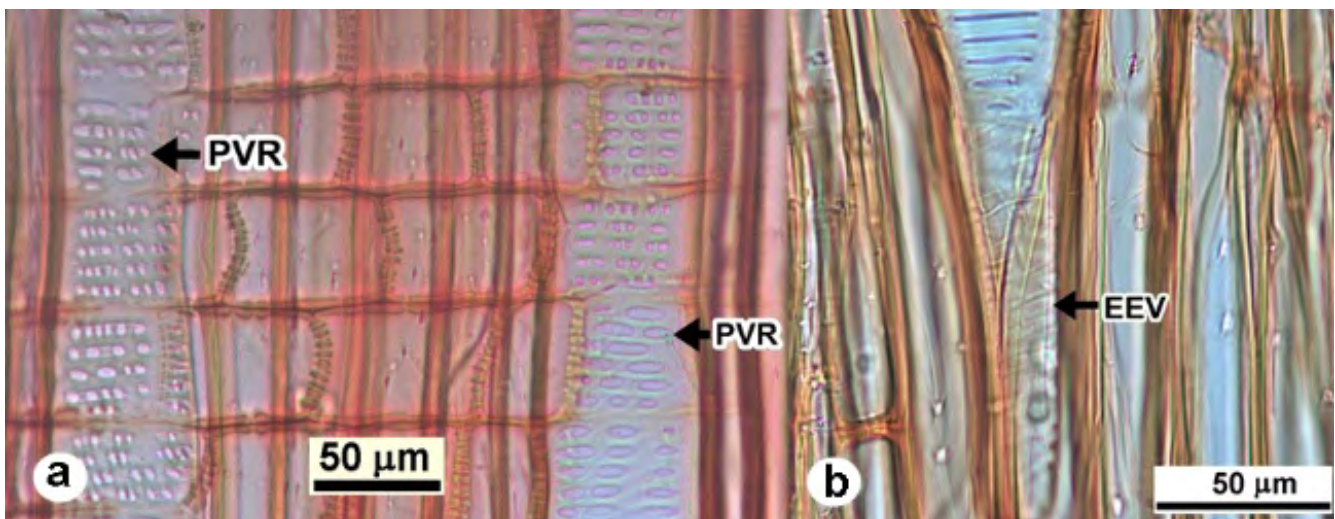


Figure 4. Radial section of *Magnolia rzedowskiana*: a) radial vascular-scalariform pit (RVP) and b) helical thickening in vessel element (TVE).

Figura 4. Sección radial de *Magnolia rzedowskiana*: a) Punteadura radio vascular-escaleriforme (PVR) y b) engrosamiento helicoidal en elemento del vaso (EEV).

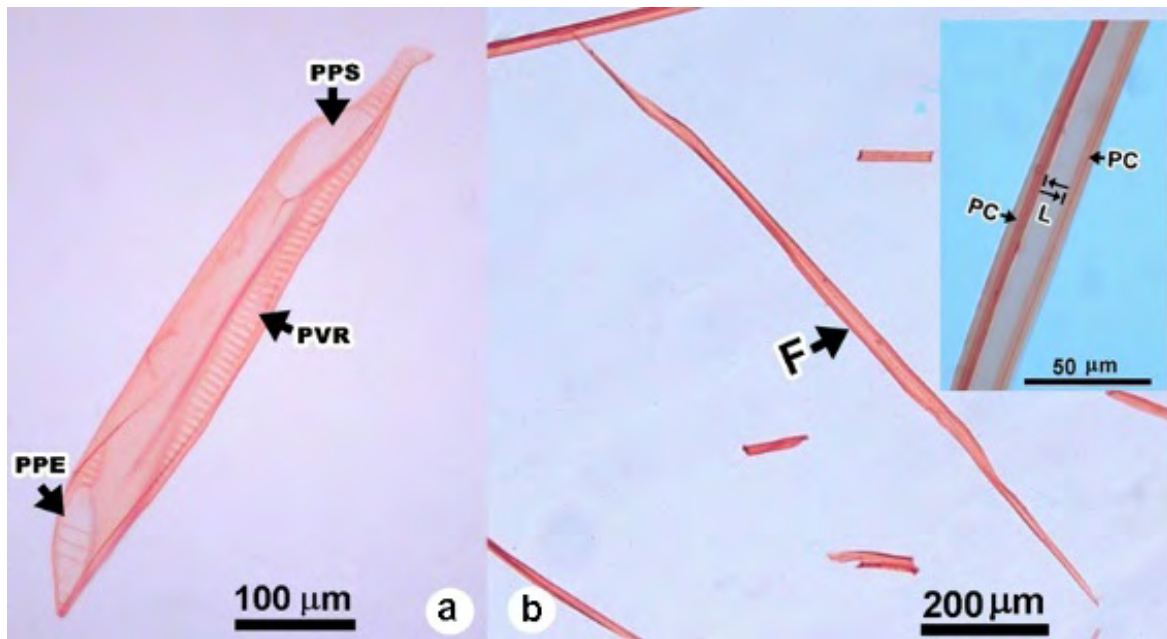


Figure 5. a) Vessel elements of *Magnolia rzedowskiana* (SPP = simple perforation plate, PVR = radial vascular-scalariform pit and PPE = scalariform perforation plate). b) Libiform fiber (F) and fiber detail (PC = cell wall and L = lumen).

Figura 5. a) Elementos de vaso de *Magnolia rzedowskiana* (PPS = placa de perforación simple, PVR = punteadura radio vascular-escaleriforme y PPE = placa de perforación escaleriforme). b) Fibra libiforme (F) y detalle de la fibra (PC = pared celular y L = lumen).

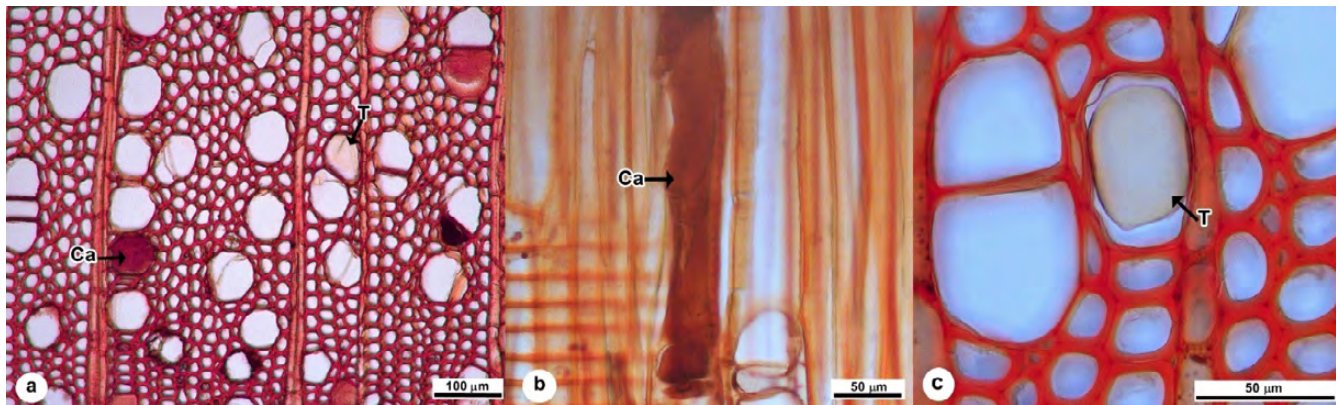


Figure 6. Vessel and ray elements of *Magnolia rzedowskiana*: a) Oil deposit (Ca) and tyloses (T) in transverse section, b) oil deposit (Ca) in radial section, and c) tyloses (T).

Figura 6. Elementos de vaso y rayo de *Magnolia rzedowskiana*: a) Depósito de aceite (Ca) y tilosis (T) en la sección transversal, b) depósito de aceite (Ca) en sección radial, y c) tilosis (T).



**Table 2. Average and dispersion values of cells composing *Magnolia rzedowskiana* wood.  
Cuadro 2. Valores promedio y de dispersión de las células que constituyen la madera de *Magnolia rzedowskiana*.**

Constituent element/ Elemento constitutivo	Statistical parameter/ Parámetro estadístico	n	Mean/ Media	ED/ DE	CV (%)	Range/ Rango	Maximum/ Máximo	Minimum/ Mínimo	Classification (Tortorelli, 1956)/ Clasificación (Tortorelli, 1956)
Vessel element/ Elemento de vaso	Diameter (mm)/ Diámetro (mm)	4 070	58.77	10.37	17.52	74.80	105.66	30.86	Small (<100 mm)/ Pequeños (<100 mm)
	Length (mm)/ Longitud (mm)	4 070	785.55	151.74	19.32	1 152.53	1 384.08	231.55	Medium (350-800 mm)/ Medianos (350-800 mm)
	Vessels-mm <sup>2</sup> / Vasos-mm <sup>2</sup>	411	60.03	17.06	28.42	142.00	167.00	25.00	Extremely numerous (>40)/ Extremadamente numerosos (>40)
Fibers/Fibras	Length (mm)/ Longitud (mm)	4 070	1337.07	197.69	14.79	1 486.06	2 090.46	604.34	Medium (900-1 600 mm)/ Medianas (900-1 600 mm)
	Diameter (mm)/ Diámetro (mm)	4 070	26.33	4.35	16.51	37.45	48.30	10.85	Medium (25-40 mm)/ Medianas (25-40 mm)
	Cell wall thickness (mm)/ Grosor pared celular (mm)	4 070	14.55	3.31	22.72	34.52	36.73	2.21	Thick (lumen of 1/2 to 1/3 of total diameter)/ Gruesa (lumen de 1/2 a 1/3 del diámetro total)
	Lumen (mm)	4 070	11.79	2.89	24.50	24.82	26.20	1.38	-
Rays/Rayos	Height (mm)/ Altura (mm)	2 207	641.57	150.90	23.52	1 394.60	1 619.30	224.70	Medium (500-800 mm)/ Medianos (500-800 mm)
	Width (mm)/ Ancho (mm)	2 207	54.67	14.86	27.17	101.50	124.40	22.90	Medium (50-100 mm)/ Medianos (50-100 mm)
	Rays-mm <sup>2</sup> / Rayos-mm <sup>2</sup>	410	6.13	1.20	19.51	8.00	11.00	3.00	Low number (5-7)/ Poco numerosos (5-7)

n: sample size, DE: standard deviation, CV: coefficient of variation.  
n: tamaño de la muestra, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

average length of  $1\,333.07 \pm 197.69 \mu\text{m}$  and average diameter of  $26.33 \pm 4.35 \mu\text{m}$ . Average lumen diameter of  $11.79 \pm 2.89 \mu\text{m}$  and average cell wall thickness of  $14.55 \pm 3.31 \mu\text{m}$  (Table 2).

Rays one to three cells wide are mostly two-series in combination with three-series and one-series rays (Figure 7b) and sometimes with aggregated rays (Figure 7c). The number of rays was  $6.13 \pm 1.2$  per linear mm with height of  $641.57 \pm 150.90 \mu\text{m}$  and width of  $54.67 \pm 14.86 \mu\text{m}$  (Table 2). Rays are heterocellular (Figure 8a) composed of procumbent cells, with a row of square marginal cells above and below, in radial section. The stratified structure of rays is low and due to height variation, no uniform horizontal rows of rays are formed (Figure 8b); in some it was possible to observe silica inclusions (composed of silicon dioxide) of spherical shape (Figure 8c) and oil deposits (Figure 6b).

The wood contains paratracheal axial parenchyma (PP) and apotracheal axial parenchyma (AP) (Figure 8d). PP cells are scanty because incomplete sheath of VE. AP cells are also scanty and scattered a throughout the growth zones without forming bands or rows; some AP cells are interspersed between transition fibers in growth zones (Figure 2c).

50-100  $\mu\text{m}$ , 100-200  $\mu\text{m}$ ) con promedio de  $58.77 \pm 10.37 \mu\text{m}$ . En la sección transversal se contabilizaron  $60.03 \pm 17.06$  vasos- $\text{mm}^2$ . El Cuadro 2 muestra las medidas de tendencia central y de dispersión estimadas. Por otra parte, se observaron EV con depósitos de aceite hacia la zona de la médula (Figura 6a) y en raras ocasiones con presencia de tilosis (Figura 6c).

Las fibras son medianas (900 a 1600  $\mu\text{m}$ ) de tipo libriforme (Figura 5b) y poseen punteaduras areoladas elípticas. Algunas fibras tienen septas (Figura 7a) con engrosamiento helicoidal de longitud promedio de  $1\,333.07 \pm 197.69 \mu\text{m}$  y diámetro promedio de  $26.33 \pm 4.35 \mu\text{m}$ . El diámetro promedio del lumen es de  $11.79 \pm 2.89 \mu\text{m}$  y el grosor promedio de la pared celular es  $14.55 \pm 3.31 \mu\text{m}$  (Cuadro 2).

Los rayos de una a tres células de ancho, en su mayoría, son de dos series en combinación con rayos de tres y una serie (Figura 7b) y en ocasiones con rayos agregados (Figura 7c). El número de rayos fue  $6.13 \pm 1.2$  por mm lineal con altura de  $641.57 \pm 150.90 \mu\text{m}$  y ancho de  $54.67 \pm 14.86 \mu\text{m}$  (Cuadro 2). En la sección radial, los rayos son heterocelulares (Figura 8a) compuestos de células procumbentes, con una hilera de células marginales cuadradas arriba y debajo. La estructura estratificada de los rayos es baja y, debido a su variación de altura,

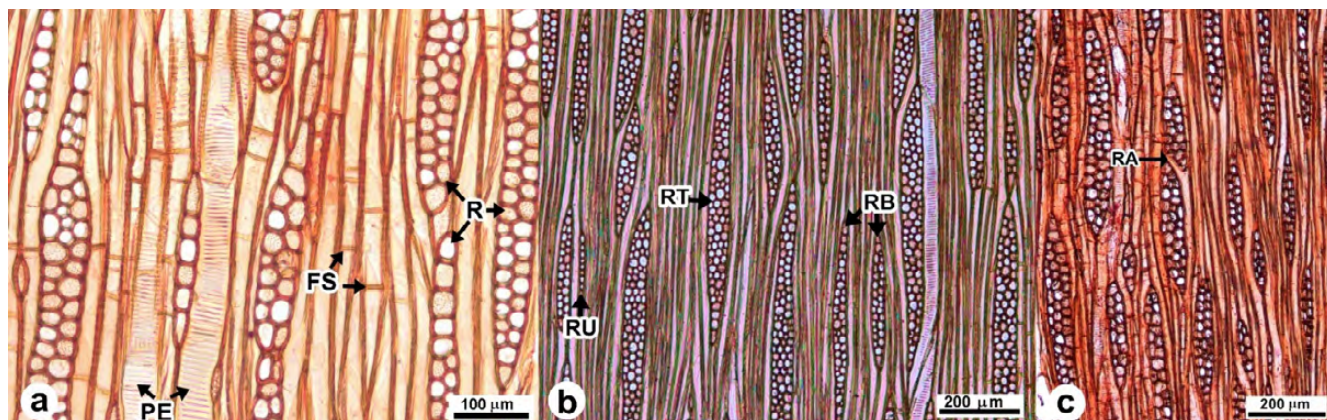
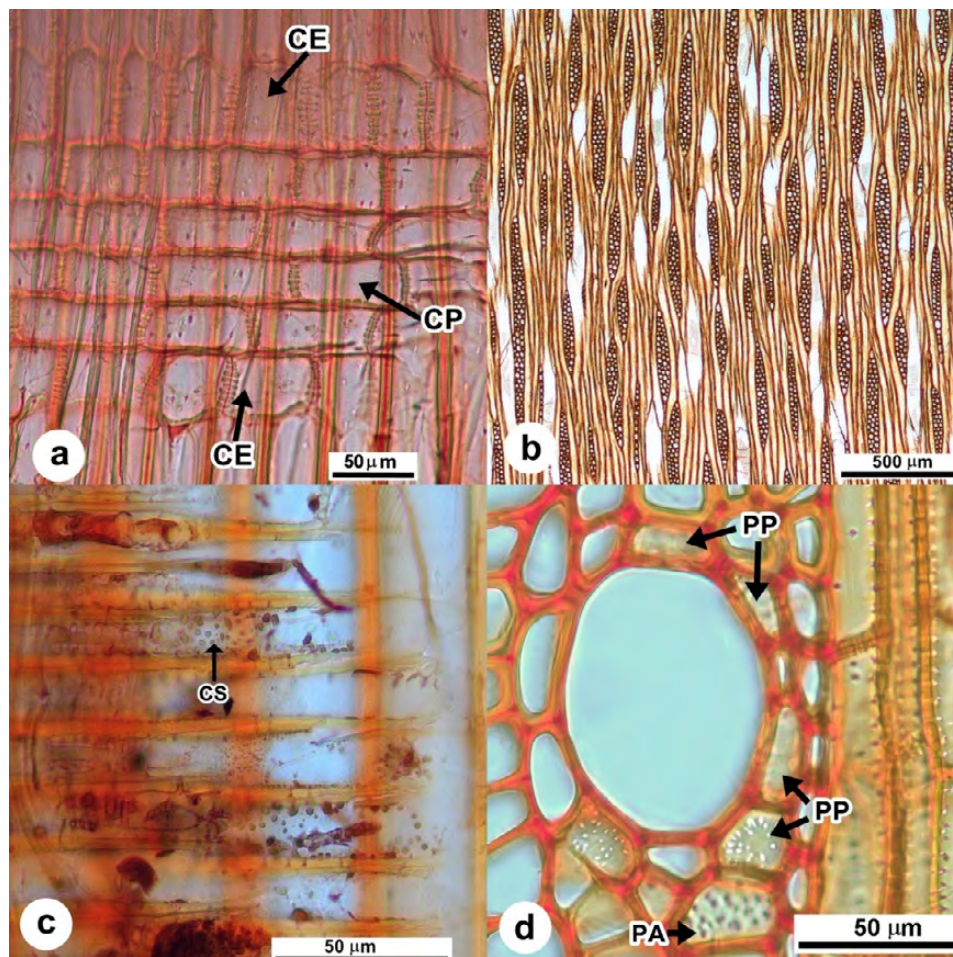


Figure 7. Fibers (FS) and rays (R) of *Magnolia rzedowskiana* wood: a) tangential section; b) type of rays (RU = one-series ray, RB = two-series ray, RT = three-series ray); c) aggregate ray (RA).

Figura 7. Fibras (FS) y rayos (R) de la madera de *Magnolia rzedowskiana*: a) sección tangencial; b) tipos de rayos (RU = rayos de una serie, RB = rayos de dos series, RT = rayos de tres series); c) rayo agregado (RA).



**Figure 8.** a) Heterocellular ray (erect cells [EC] and procumbent cells [PC]) in radial section of *Magnolia rzedowskiana*; b) low stratification in rays; c) silica inclusions (CS); and d) paratracheal (PP) and apotracheal (AP) axial parenchyma.

**Figura 8.** a) Rayo heterocelular (células erectas [CE] y células procumbentes [CP]) en la sección radial de *Magnolia rzedowskiana*; b) estratificación baja en los rayos; c) inclusiones de sílice (CS); y d) parénquima axial paratraqueal (PP) y apotraqueal (PA).

Table 3 shows the estimated values of vulnerability, mesomorphism and pulp quality indices for wood quality.

### Discussion

Wood of *M. rzedowskiana* has characters similar to those of *M. fordiana* (Oliv.) Hu, *M. fraseri*, *M. grandiflora* L., *M. obovata* Thunb., *M. schiedeana*, *M. virginiana* L., all from subgenus *Magnolia* (Figlar & Nooteboom, 2004; Wang et al., 2020). Common characteristics in these species are defined growth zones, diffuse porosity, angular outline of solitary vessel, scalariform perforation plates ( $\leq 10$  bars), scalariform intervessel pit, tangential diameter of medium vessels (100 to 200  $\mu\text{m}$ ), average length of medium vessels (350 to 800  $\mu\text{m}$ ), non-septate fibers, one-to three-celled rays (uniseriate, biseriate and triseriate) and heterocellular rays composed of procumbent cells

no se forman filas de rayos horizontales uniformes (Figura 8b); en algunos fue posible observar inclusiones de sílice (compuestas de dióxido de silicio) de forma esférica (Figura 8c) y depósitos de aceite (Figura 6b).

La madera contiene parénquima axial paratraqueal (PP) y parénquima axial apotraqueal (PA) (Figura 8d). Las células del PP son escasas puesto que no cubren totalmente el contorno del EV. Las células del PA también son escasas y están dispersas a lo ancho de las zonas de crecimiento sin formar bandas o hileras; algunas células de PA se intercalan entre las fibras de transición en las zonas de crecimiento (Figura 2c).

Con respecto a la calidad de la madera, los valores estimados de los índices de vulnerabilidad, mesomorfía y calidad de pulpa para papel se muestran en el Cuadro 3.

**Table 3. Indices used to estimate anatomical characteristics of *Magnolia rzedowskiana* wood.****Cuadro 3. Índices utilizados para estimar las características anatómicas de la madera de *Magnolia rzedowskiana*.**

Index/ Índice	Estimated value/ Valor estimado	Range/ Rango	Classification/ Clasificación
Vulnerability index/ Índice de vulnerabilidad	0.98	<1	Drought resistant (Carlquist, 1977)/ Resistente a sequía (Carlquist, 1977)
Mesomorphy index/ Índice de mesomorfía	769.10	<200	Mesophytic xylem (Carlquist, 1977)/ Xilema mesofítico (Carlquist, 1977)
Stiffness coefficient or index/Coeficiente o índice de rigidez	1.10	>0.70	Very thick (Villaseñor & Rutiaga, 2000)/ Muy gruesa (Villaseñor & Rutiaga, 2000)
Coefficient of flexibility/ Coeficiente de flexibilidad	0.45	0.30 – 0.50	Thick; fibers collapse very little; little contact surface; little fiber to fiber bonding (Villaseñor & Rutiaga, 2000)/ Gruesa; las fibras se colapsan muy poco; poca superficie de contacto; poca unión fibra con fibra (Villaseñor & Rutiaga, 2000)
Peteri coefficient or slenderness index/ Coeficiente de Peteri o índice de esbeltez	91.91	>75	Fibrous material tends to plastify and has good contact surface, i.e., has good fiber-to-fiber bonding (Tamarit, 1996; Zaragoza-Hernández, Borja-de la Rosa, Zamudio-Sanchez, Ordoñez- Candelaria, & Bárcenas-Pazos, 2014)/ El material fibroso tiende a plastificarse y tiene buena superficie de contacto; es decir, tiene buena adherencia entre fibras (Tamarit, 1996; Zaragoza- Hernández, Borja-de la Rosa, Zamudio-Sanchez, Ordoñez-Candelaria, & Bárcenas-Pazos, 2014)
Runkel ratio/ Relación de Runkel	2.47	Degree I, <0.25/ Grado I, <0.25	Excellent (Tamarit, 1996; Villaseñor & Rutiaga, 2000)/ Excelente (Tamarit, 1996; Villaseñor & Rutiaga, 2000)

with a row of square marginal cells above and below (InsideWood, 2004).

Earlywood in diffuse-porous species represents almost the entire growth ring which has been formed over several months, whereas latewood is represented by very narrow growth zones with flattened fibers (Schweingruber, 2007). *M. rzedowskiana* showed two to three rows of flattened fibers forming the transition between growth zones, which are well defined.

Diffuse porosity in *M. rzedowskiana* is a common feature in other magnolia species (InsideWood, 2004; Wróblewska, 2015). This type of porosity is characterized by the diameter of vessel elements, which is more or less similar throughout the growth ring (Wheeler et al., 1989). In diffuse porosity species, the diameter increase in the stem starts after leaf

## Discusión

La madera de *M. rzedowskiana* tiene caracteres semejantes a los de *M. fordiana* (Oliv.) Hu, *M. fraseri*, *M. grandiflora* L., *M. obovata* Thunb., *M. schiedeana*, *M. virginiana* L., todas del subgénero *Magnolia* (Figlar & Nooteboom, 2004; Wang et al., 2020). Las características comunes en estas especies son: zonas de crecimiento definidas, porosidad difusa, contorno angular del vaso solitario, placas de perforación escaleriforme ( $\leq 10$  barras), punteadura intervascular escaleriforme, diámetro tangencial de los vasos medianos (100 a 200  $\mu\text{m}$ ), longitud promedio de los vasos medianos (350 a 800  $\mu\text{m}$ ), fibras no septadas, rayos de una a tres células (uniseriados, biseriados y triseriados) y rayos heterocelulares compuestos de células procumbentes con una hilera de células marginales cuadradas arriba y debajo (InsideWood, 2004).

emergence, and vessel production is continuous and of lower intensity during the year, whereas, for circular and semicircular porosity species, functional vessels are produced intensively in a short period (Takahashi, Okada, & Nobuchi, 2013). Vessel size and density for diffuse porosity species are closely related to tree metabolism and reveal the consequences of climatic constraints on growth of individuals; under drought conditions, radial growth is reduced, vessel lumen area is smaller, and vessel density increases as an adaptive mechanism for hydraulic safety and to avoid the risk of embolism and cavitation (Islam, Rahman, & Bräuning, 2018).

EV in *M. rzedowskiana* are solitary, although radial multiple and clustered vessels were also found in smaller proportions, a characteristic shared with *M. ovata* and *M. grandiflora* (Ruffinato & Crivellaro, 2019). Radial multiple vessels offer an alternative for the conductive system to produce new elements, which can take over the function of previously formed vessels without altering conductive pathways (Carlquist, 2001).

The scalariform perforation plate in vessels with 10 to 20 bars is a common feature among *M. rzedowskiana*, *M. fraseri*, *M. grandiflora*, *M. obovata*, *M. virginiana* (InsideWood, 2004) and *M. wilsonii* (Finet & Gagnepain) Rehder; in the latter species, some bars of the scalariform plate are bifurcated (Wróblewska, 2015), a peculiarity also observed in *M. rzedowskiana*. It is important to note that single-perforate plates were rarely observed; according to Canright (1955), the presence of this type of plate in some EV is common in temperate species. *Magnolia* species are characterized by scalariform intervessel pits membranes (Carlquist, 1988; Takhtajan, 2009), which are common in species with angular (polygonal) vessels, also occur at the vascular ray interface, although they are not common in dicots (Carlquist, 2001). Helical thickening at the base of EV in *M. rzedowskiana* is also found in *M. fordiana*, *M. grandiflora*, *M. schiedeana* and *M. virginiana* (InsideWood, 2004).

The presence of tyloses is rare but is present in *M. rzedowskiana*, *M. cordata* Michaux, *M. pterocarpa* Roxburgh and *M. tripetala* L. (Canright, 1955). Tyloses formation is due to loss of water pressure in vessels; its origin appears to be essentially physiological as no phylogenetic pattern of tyloses distribution in arboreal species has been identified (Carlquist, 2001).

Fibers in *M. rzedowskiana* are libriform with elliptical areolate pits and some septate fibers, different from those of *M. fordiana*, *M. fraseri*, *M. grandiflora*, *M. obovata*, *M. schiedeana* and *M. virginiana* with simple

La madera temprana en especies de porosidad difusa constituye casi todo el anillo de crecimiento que se formó durante varios meses, mientras que la madera tardía está representada por zonas de crecimiento muy estrechas con fibras aplanadas (Schweingruber, 2007). En *M. rzedowskiana* se observaron de dos a tres hileras de fibras aplanadas que constituyen la transición entre zonas de crecimiento, las cuales se encuentran bien definidas.

La porosidad difusa en *M. rzedowskiana* es una característica común en otras especies de magnolias (InsideWood, 2004; Wróblewska, 2015). Este tipo de porosidad se caracteriza por el diámetro de los elementos de vasos, que es más o menos semejante en todo el anillo de crecimiento (Wheeler et al., 1989). En especies de porosidad difusa, el incremento de diámetro en el tallo inicia después de la aparición de las hojas, y la producción de vasos es continua y de menor intensidad durante la anualidad, mientras que, en especies de porosidad circular y semicircular, los vasos funcionales se producen de forman intensiva en un periodo corto (Takahashi, Okada, & Nobuchi, 2013). El tamaño y densidad de los vasos en especies de porosidad difusa está relacionado estrechamente con el metabolismo de los árboles y revelan las consecuencias de las limitaciones climáticas en el crecimiento de los individuos; en condiciones de sequía, el crecimiento radial es reducido, el área del lumen de los vasos es menor y la densidad de vasos aumenta como un mecanismo de adaptación para la seguridad hidráulica y para evitar el riesgo de embolia y cavitación (Islam, Rahman, & Bräuning, 2018).

En *M. rzedowskiana*, los EV son solitarios, aunque también se encontraron múltiples radiales y en racimos en menor proporción, característica que comparte con *M. ovata* y *M. grandiflora* (Ruffinato & Crivellaro, 2019). Los vasos múltiples radiales ofrecen una alternativa para que el sistema conductor produzca nuevos elementos, que pueden asumir la función de los vasos formados previamente sin alterar las vías conductoras (Carlquist, 2001).

La placa de perforación escaleriforme en vasos con 10 a 20 barras es un rasgo común entre *M. rzedowskiana*, *M. fraseri*, *M. grandiflora*, *M. obovata*, *M. virginiana* (InsideWood, 2004) y *M. wilsonii* (Finet & Gagnepain) Rehder; en esta última especie, algunas barras de la placa escaleriforme se bifurcan (Wróblewska, 2015), peculiaridad que también se observó en *M. rzedowskiana*. Es importante destacar que rara vez se observaron placas de perforación simple; de acuerdo con Canright (1955), la presencia de este tipo de placas en algunos EV es común en especies de clima templado. Las especies de *Magnolia* se caracterizan por

pits and no septa (InsideWood, 2004). Metcalfe (1950) mentions that fibers of some *Magnolia* species have septa and Takhtajan (2009) reports that fibers have edge pits.

According to Takhtajan (2009), in magnolia wood, axial parenchyma is of diffuse apotracheal type and in most species its distribution is terminal, which can be directly attributed to physiological issues such as annual leaf fall (except in tropical nondeciduous species). Stupianek, Dolzblasz, and Sokołowska (2021) indicate that, in angiosperm tree species, the fraction of axial parenchyma is highly variable (range  $\leq 1$  to  $\geq 30$  %) and that the genus *Magnolia* is characterized by scanty axial parenchyma; however, in some species parenchyma bands have also been found at the beginning of the growth ring (Canright, 1955). In the case of *M. rzedowskiana*, apotracheal axial parenchyma cells were found scattered without forming rows. Carlquist (2001) mentions that of the parenchyma types, diffuse parenchyma is the most primitive, can be scanty and is distributed as axial strands scattered randomly within the secondary xylem.

Cells containing oils, characteristic of *Magnolia* (Metcalfe, 1950), were observed in vessels and rays of *M. rzedowskiana*, but in *M. fordiana* and *M. schiedeana*, it seems they are only present in rays (InsideWood, 2004).

On the other hand, vulnerability and mesomorphic indices reveal that *M. rzedowskiana* has an efficient water conduction system that favors resistance to water stress conditions (Carlquist, 1977). According to the Runkel's relationship, the quality of *M. rzedowskiana* fibers is excellent for obtaining paper, with quality level I, so that wood has potential for the production of strong, transparent paper with good fiber-to-fiber adhesion (Tamarit, 1996).

## Conclusions

Anatomical characteristics of *M. rzedowskiana* wood in comparison to other *Magnolia* species are diameter with narrower vessel elements, occasional occurrence of simple perforation plates, septate fibers, tylosis and some aggregate rays; although these are not exclusive and predominant characters in the species, they are certainly distinctive. This description contributes to the species knowledge for the development of research focused on management and conservation of populations, seed germination, nursery seedling production and wood technology. Results are important from a practical point of view because they indicate that the wood of this species may have economic relevance at the local level. Since populations of *M. rzedowskiana* are currently very small and scattered, conservation programs are recommended to be developed in the area of distribution.

sus punteaduras intervasculares de tipo escaleriforme (Carlquist, 1988; Takhtajan, 2009), las cuales son comunes en especies con vasos angulares (poligonales), también ocurren en la interfaz rayo vascular, aunque no son comunes en las dicotiledóneas (Carlquist, 2001). El engrosamiento helicoidal en la base de los EV en *M. rzedowskiana* también se encuentra en *M. fordiana*, *M. grandiflora*, *M. schiedeana* y *M. virginiana* (InsideWood, 2004).

La presencia de tilosis, es rara pero está presente en *M. rzedowskiana*, *M. cordata* Michaux, *M. pterocarpa* Roxburgh y *M. tripetala* L. (Canright, 1955). La formación de tilosis se debe a la pérdida de presión del agua en los vasos; su origen parece ser esencialmente fisiológico pues no se ha identificado algún patrón filogenético de distribución de tiloides en especies arbóreas (Carlquist, 2001).

Las fibras en *M. rzedowskiana* son libriformes con puntuaciones areoladas elípticas y algunas fibras septadas, diferentes a las que presentan *M. fordiana*, *M. fraseri*, *M. grandiflora*, *M. obovata*, *M. schiedeana* y *M. virginiana* con punteaduras simples y sin septas (InsideWood, 2004). Al respecto, Metcalfe (1950) menciona que las fibras de algunas especies de *Magnolia* tienen septas y Takhtajan (2009) refiere que las fibras poseen punteaduras rebordadas.

De acuerdo con Takhtajan (2009), en la madera de las magnolias, el parénquima axial es de tipo apotraqueal difuso y en la mayoría de las especies su distribución es terminal, lo cual puede ser atribuido directamente a cuestiones fisiológicas como la caída anual de las hojas (excepto en especies tropicales no caducifolias). Stupianek, Dolzblasz, y Sokołowska (2021) indican que, en especies de árboles de angiospermas, la fracción de parénquima axial es muy variable (rango  $\leq 1$  hasta  $\geq 30$  %) y que el género *Magnolia* se caracteriza por un parénquima axial escaso; sin embargo, en algunas especies también se han encontrado bandas de parénquima al comienzo del anillo de crecimiento (Canright, 1955). En el caso de *M. rzedowskiana* se encontraron células de parénquima axial apotraqueal dispersas sin formar hileras. Carlquist (2001) menciona que de los tipos de parénquima, el difuso es el más primitivo, puede ser escaso y se distribuye a manera de hebras axiales esparcidas al azar dentro del xilema secundario.

Las células con contenidos de aceites, características de *Magnolia* (Metcalfe, 1950), se observaron en los vasos y rayos de *M. rzedowskiana*, pero en *M. fordiana* y *M. schiedeana*, al parecer, solo se presentan en los rayos (InsideWood, 2004).

Por otra parte, los índices de vulnerabilidad y de mesomorfía revelan que *M. rzedowskiana* tiene un sistema eficaz de conducción del agua que favorece la

## Acknowledgments

This work was part of research project CONACyT, CB-2016/284484: Effect of climate change on relict tree populations; integrating dendrochronology and population genetics.

### End of English version

## References / Referencias

- Aguilar-Alcántara, M., Aguilar-Rodríguez, S., & Terrazas, T. (2014). Anatomía de la madera de doce especies de un bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas, México. *Madera y Bosques*, 20(3), 69–86. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712014000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000300007&lng=es&tlng=es)
- Araya-Montero, M., & Moya-Roque, R. (2013). Claves de identificación macroscópica de la madera de 110 especies del Caribe Norte de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 10(24), 34–52. doi: 10.18845/rfmk.v10i24.1322
- Beeckman, H. (2016). Wood anatomy and trait-based ecology. *IAWA Journal*, 37(2), 127–151. doi: 10.1163/22941932-20160127
- Borja-de la Rosa, A., Machuca, R., Salinas, M. F., Lozada, D. A., López, M. F., & Alcantar, A. Q. (2010). Caracterización tecnológica de la madera de *Juniperus flaccida* var. *poblana* Martínez. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 261–280. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.09.083
- Canright, J. E. (1955). The comparative morphology and relationships of the Magnoliaceae-IV. Wood and nodal anatomy. *Journal of the Arnold Arboretum*, 36(2), 119–140. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/43790865>
- Carlquist, S. (1977). Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *American Journal of Botany*, 64(7), 887–896. doi: 10.2307/2442382
- Carlquist, S. (1988). *Comparative wood anatomy. Systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-3-662-21714-6
- Carlquist, S. (2001). *Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood* (2<sup>nd</sup>. ed.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-3-662-04578-7
- Dickison, W. C. (2000). *Integrated plant anatomy*. Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-215170-5.X5000-6
- Figlar, R. B., & Nootboom, H. P. (2004). Notes on Magnoliaceae IV. *Blumea-Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 49(1), 87–100. doi: 10.3767/000651904X486214
- Gärtner, H., Cherubini, P., Fonti, P., Von Arx, G., Schneider, L., Nievergelt, D., & Büntgen, U. (2015). A technical perspective in modern tree-ring research - How to overcome dendroecological and wood anatomical resistencia a condiciones de estrés hídrico (Carlquist, 1977). De acuerdo con la relación de Runkel, la calidad de las fibras de *M. rzedowskiana* es excelente para obtener papel, con grado de calidad I, por lo cual la madera tiene potencial para la producción de papel resistente, transparente y con buena adhesión de fibra a fibra (Tamarit, 1996).
- ## Conclusiones
- Las características anatómicas de la madera de *M. rzedowskiana* que destacan con respecto a otras especies de *Magnolia* son: diámetro de elementos de vaso más angostos, ocurrencia ocasional de placas de perforación simples, fibras septadas, tilosis y algunos rayos agregados; si bien, no son caracteres exclusivos y predominantes en la especie, sí son distintivos. Esta descripción contribuye al conocimiento de la especie para el desarrollo de investigaciones enfocadas en el manejo y conservación de las poblaciones, germinación de semillas, producción de plántulas en vivero y tecnología de la madera. Los resultados son importantes desde el punto de vista utilitario, ya que indican que la madera de esta especie puede tener relevancia económica a nivel local. Como las poblaciones de *M. rzedowskiana* son actualmente muy pequeñas y dispersas, se recomienda el desarrollo de programas de conservación en su área de distribución.
- ## Agradecimientos
- Este trabajo formó parte del proyecto de investigación Conacyt, CB-2016/284484: “Efecto del cambio climático sobre poblaciones relictas de árboles; integrando dendrocronología y genética de poblaciones”.
- ### Fin de la versión en español
- challenges. *Journal of Visualized Experiments*, 97, e52337. doi: 10.3791/52337
- Gärtner, H., & Schweingruber, F. H. (2013). *Microscopic preparation techniques for plant stem analysis*. Remagen, Germany: Verlag Dr. Kessel. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/253341899\\_Microscopic\\_Preparation\\_Techniques\\_for\\_Plant\\_Stem\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/253341899_Microscopic_Preparation_Techniques_for_Plant_Stem_Analysis)
- Gutiérrez-Lozano, M., Sánchez-González, A., Vázquez-García, J. A., López-Mata, L., & Octavio-Aguilar, P. (2020). Diferenciación morfológica poblacional de *Magnolia rzedowskiana* (Magnoliaceae): especie endémica en peligro de extinción de la sierra Madre Oriental, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, 1–14. doi: 10.22201/ib.20078706e.2020.91.3101
- InsideWood. (2004). The InsideWood Database. Retrieved November, 2020, from <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2008). *Carta Climatológica - Unidades Climáticas. Escala 1:1 000 000*. Aguascalientes, México: Author. Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
- Interián-Ku, V. M., Borja-de la Rosa, M. A., Valdez-Hernández, J. I., García-Moya, E., Romero-Manzanares, A., & Vaquera-Huerta, H. (2011). Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en Dzan, Yucatán. *Madera y Bosques*, 17(1), 23–36. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712011000100002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712011000100002&lng=es&tlng=es)
- Islam, M., Rahman, M., & Bräuning, A. (2018). Xylem anatomical responses of diffuse porous *Chukrasia tabularis* to climate in a South Asian moist tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 412, 9–20. doi: 10.1016/j.foreco.2018.01.035
- Metcalf, C. R., & Chalk, L. (1950). *Anatomy of the Dicotyledons: leaves, stem, and wood, in relation to taxonomy, with notes on economic uses*. Oxford, Great Britain: Clarendon Press.
- Motic® (2000). Motic images 2000 (version 1.3). China: Motic China Group CO., LTD.
- Navarro-Martínez, J., Borja-de la Rosa, A., & Machuca-Velasco, R. (2005). Características tecnológicas de la madera de palo morado (*Peltogyne mexicana* Martínez) de Tierra Colorada, Guerrero, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(1), 73–82. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62911110>
- Rico, Y., & Gutiérrez B. B. A. (2019). Species delimitation and genetic structure of two endemic *Magnolia* species (section *Magnolia*; *Magnoliaceae*) in Mexico. *Genetica*, 147(1), 57–68. doi: 10.1007/s10709-019-00052-8
- Rodríguez-Ramírez, E. C., Vázquez-García, J. A., García-González, I., Alcántara-Ayala, O., & Luna-Vega, I. (2020). Drought effects on the plasticity in vessel traits of two endemic *Magnolia* species in the tropical montane cloud forests of eastern Mexico. *Journal of Plant*, 13(3), 331–340. doi: 10.1093/jpe/rtaa019
- Ruffinatto, F., & Crivellaro, A. (2019). *Atlas of macroscopic wood identification: With a special focus on timbers used in Europe and CITES-listed species*. Springer. doi: 10.1007/978-3-030-23566-6
- Ruiz-Jiménez, C. A., Téllez-Valdés, O., & Luna-Vega, I. (2012). Clasificación de los bosques mesófilos de montaña de México: afinidades de la flora. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(4), 1110–1144. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v83n4/v83n4a19.pdf>
- Schweingruber, F. H. (2007). *Wood structure and environment*. Springer. doi: 10.1007/978-3-540-48548-3
- Ślupianek, A., Dolzblasz, A., & Sokołowska, K. (2021). Xylem parenchyma-role and relevance in wood functioning in trees. *Plants*, 10(6), 1247. doi: 10.3390/plants10061247
- Takahashi, S., Okada, N., & Nobuchi, T. (2013). Relationship between the timing of vessel formation and leaf phenology in ten ring-porous and diffuse-porous deciduous tree species. *Ecological Research*, 28(4), 615–624. doi: 10.1007/s11284-013-1053-x
- Takhtajan, A. (2009). *Flowering plants*. Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-9609-9
- Tamarit, U. J. C. (1996). Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques*, 2(2), 29–41. doi: 10.21829/myb.1996.221384
- Tortorelli, A. (1956). *Maderas y bosques de Argentina*. Buenos Aires, Argentina: ACME.
- Vázquez-García, J. A., Domínguez-Yescas, R., Pedraza-Ruiz, R., Sánchez-González, A., & Muñiz-Castro, M. Á. (2015). *Magnolia rzedowskiana* (Magnoliaceae), una especie nueva de la sección *Macrophylla* de la parte central de la Sierra Madre Oriental, México. *Acta Botánica Mexicana*, 112, 19–36. doi: 10.21829/abm112.2015.1086
- Villaseñor, A. J. C., & Rutiaga, Q. J. G. (2000). La madera de *Casuarina equisetifolia* L., química e índices de calidad de pulpa. *Madera y Bosques*, 6(1), 29–40. doi: 10.21829/myb.2000.611340
- Wang, Y. B., Liu, B. B., Nie, Z. L., Chen, H. F., Chen, F. J., Figlar, R. B., & Wen, J. (2020). Major clades and a revised classification of *Magnolia* and *Magnoliaceae* based on whole plastid genome sequences via genome skimming. *Journal of Systematics and Evolution*, 58(5), 673–695. doi: 10.1111/jse.12588
- Wheeler, E. A., Bass, P., & Gasson, P. E. (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin n.s.*, 10(3), 219–332. Retrieved from <https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20hardwood%20identification.pdf>
- Wróblewska, M. M. (2015). The progressive and ancestral traits of the secondary xylem within *Magnolia* clad – the early diverging lineage of flowering plants. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 84(1), 87–96. doi: 10.5586/asbp.2014.028
- Zaragoza-Hernández, I., Borja-de la Rosa, A., Zamudio-Sánchez, F. J., Ordóñez-Candelaria, V. R., & Bárcenas-Pazos, G. M. (2014). Anatomía del culmo de bambú (*Guadua aculeata* Rupr.) de la región nororiental del estado de Puebla, México. *Madera y Bosques*, 20(3), 87–96. doi: 10.21829/myb.2014.203154