

ESTRUCTURA ANATÓMICA DEL SISTEMA RADICAL DE *Cochlospermum vitifolium* (WILLD.) SPRENG. (COCHLOSPERMACEAE)

Damelis Jáuregui¹ y Liliana Márquez²

¹Laboratorio de Morfoanatomía Vegetal, ²Laboratorio de Ecología Agrícola. Instituto de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Aragua, Venezuela. jaureguid@gmail.com

COMPENDIO

Se caracterizó anatómicamente el sistema radical de plantas juveniles de *Cochlospermum vitifolium* con el fin de aportar información biológica relevante en esta especie arbórea. Para ello se extrajo el sistema radical de plantas de 12 a 14 meses de edad; el mismo fue subdividido en porciones que fueron fijadas en FAA hasta su procesamiento, siguiendo las técnicas clásicas para microscopía óptica. Los resultados revelan que las plantas desarrollan un conjunto de raíces tuberosas, caracterizadas anatómicamente por la presencia de abundante parénquima radial y axial rico en almidón y agua; asimismo, destaca en ellas la presencia de diversos compuestos químicos. La diferenciación de este tipo de raíces constituye, probablemente, un rasgo de adaptabilidad a zonas secas y perturbadas.

PALABRAS CLAVE

Anatomía, *Cochlospermum vitifolium*, raíces.

ANATOMICAL STRUCTURE OF THE RADICAL SYSTEM OF *Cochlospermum vitifolium* (WILLD.) SPRENG. (COCHLOSPERMACEAE)

ABSTRACT

The root system of juvenile plants of *Cochlospermum vitifolium* was anatomically characterized in order to provide relevant biological information in this arboreal species. The root system of plants from 12 to 14 months of

age was extracted, it was subdivided into portions that were fixed in FAA until processing, following the classical techniques for optical microscopy. The results reveal that the plants develop a set of tuberous roots, anatomically characterized by abundant radial and axial parenchyma rich in starch and water. Various chemical compounds were evident. The differentiation of this type of roots is probably a feature of adaptability to dry and disturbed areas.

KEY WORDS

Anatomy, *Cochlospermum vitifolium*, roots.

La evidencia molecular y morfológica en Cochlospermaceae indica que es una familia monofilética y distinguible de sus taxones hermanos, entre ellas Bixaceae, donde se han ubicado en varias oportunidades los géneros incluidos en este taxón. La misma está formada por solo dos géneros *Amoreuxia* Moç. & Sessé ex DC. y *Cochlospermum* Kunth (Johnson-Fulton y Watson 2017). Este último género tiene una distribución pantropical, encontrándose en México, Centro y Sur América, África, India, Sureste de Asia y norte de Australia, mientras que el primero se restringe a América (México, sur oeste de Estados Unidos y norte de América del Sur (Poppendieck 1981). *Amoreuxia* comprende cuatro especies herbáceas o sufruticosas y *Cochlospermum* reúne siete especies arbóreas y cinco arbustivas (Chávez *et al.* 2013, Johnson-Fulton y Watson 2017). Este último género fue establecido por Kunth (1822) con solo dos especies, las cuales ubicó en Ternstroemiaceae.

La mayoría de las especies de Cochlospermaceae son etnobotánicamente importantes, tienen uso alimenticio, medicinal, ornamental, como fuente de fibra para cordeles, relleno y fuente de madera para la construcción (Johnson-Fulton y Watson 2017).

Entre los caracteres morfológicos comunes a los dos géneros de esta familia, destaca la presencia de estructuras leñosas subterráneas conocidas como xilopodios o “lignotubers” (Johnson-Fulton y Watson 2017). Los mismos son considerados órganos importantes de almacenamiento de carbohidratos, minerales, agua y otros compuestos; dichas estructuras tienen yemas que favorecen la brotación, por lo que juegan un rol importante en ambientes perturbados por daños mecánicos, herbivoría o fuego (Chapin *et al.* 1990). La presencia de estas estructuras se ha vinculado con la capacidad adaptativa

de las especies que las poseen a condiciones extremas de sequía (Figueroa y Galeano 2007, Fallas-Cedeño *et al.* 2010, Chávez *et al.* 2013).

En Venezuela, *Amoreuxia* está representada por una sola especie, *A. wrightii* A. Gray y *Cochlospermum* por dos: *C. vitifolium* (Willd.) Spreng. y *C. orinocense* (Kunth) Steud. En 2013, se describió anatómicamente el sistema subterráneo de *A. wrightii* (Chávez *et al.* 2013), concluyendo que se trata de un sistema complejo, formado por un eje engrosado cuya porción proximal corresponde a un xilopodio de origen posiblemente caulinar y el resto, a una estructura tuberosa de origen radical; además, presenta raíces laterales con función de reserva, sostén y absorción. Asimismo, se debe destacar la existencia de una descripción anatómica de los órganos vegetativos de *C. regium* (Shrank) Pilg. (Vasconcelos *et al.* 2014). Sin embargo, la misma es muy general, ya que el objetivo de dicho trabajo fue identificar las estructuras secretoras presentes en raíces, tallos y hojas, así como los principales compuestos químicos producidos.

C. vitifolium es un árbol (Fig. 1A) propio de zonas secas (Hoyos 1992), considerado relevante como especie para recuperar terrenos degradados (Márquez 2014) y rehabilitar sitios donde hubo explotación minera. Asimismo, se usa como cerca viva en sistemas agroforestales y su principal uso es como ornamental. Contrasta estacionalmente por la belleza de sus flores grandes y abundantes, de color amarillo brillante (Fig. 1B). Esta especie es muy apreciada, aunque no se cultiva mucho y comúnmente se poda.

C. vitifolium se encuentra creciendo en cerros aledaños a la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, Maracay, estado Aragua, adaptado plenamente a las condiciones reinantes en la zona, por lo que surgió la curiosidad de explorar la anatomía de su sistema subterráneo a fin de corroborar la existencia de estructuras reservantes, como las citadas por Johnson-Fulton y Watson (2017), las cuales podrían vincularse a la capacidad de estas plantas para habitar zonas con déficit hídrico.

Los frutos y/o semillas fueron recolectados en zonas de transición entre los arbustales deciduos y los herbazales secundarios ubicados en los cerros detrás del Instituto de Producción Animal de la facultad antes mencionada, siguiendo la ruta del sendero de interpretación de la naturaleza “Giovanni Capobianco”. Dicho material fue procesado en el Laboratorio de Conservación de la Diversidad Vegetal (LACOREDIVE) del Instituto de Botánica Agrícola, de la facultad antes indicada. Las semillas, luego de ser escarificadas con lija, fueron

sembradas en bandejas con un sustrato comercial (*sunshain*) y luego de ocho semanas de iniciada la emergencia fueron trasplantadas, en el vivero, a bolsas de 5 kg, que contenían suelo obtenido de las zonas de recolección del material vegetal; las plántulas medían entre 12 y 14 cm de alto y tenían los cotiledones y una a dos hojas. Al cabo de 12-14 meses, cuando las plantas alcanzaron 1,8-2 metros de altura y tenían entre 20-25 hojas, se excavó el sistema subterráneo de varias de ellas, recolectándolo en cuatro de esas plantas.

La siguiente fase de la investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Morfoanatomía Vegetal del Instituto de Botánica Agrícola. Los sistemas radicales recolectados se lavaron y fotografiaron, y luego se subdividieron y fijaron en FAA (formaldehído, ácido acético y etanol 70%), hasta su procesamiento. Se tomaron porciones de raíces: delgadas (1-4 mm de diámetro), ubicadas tanto en zonas cercanas al ápice de raíces tuberosas como en laterales delgadas; de grosor medio (8-12 mm de diámetro) y gruesas (diámetro superior a 20 mm); no se consideró distancia al ápice, ya que era difícil de determinar. El procesamiento consistió en seccionar a mano alzada el material fijado previamente, obteniendo cortes transversales y longitudinales; las secciones obtenidas se tiñeron con azul de astra-safranina (Krauss y Arduin 1997) y se montaron en agua-glicerina (V:V), preparando así láminas semipermanentes, las cuales se estudiaron bajo un microscopio óptico Nikon E 200. Se capturaron imágenes digitales con una cámara Evolution LC acoplada al microscopio antes indicado. Se realizaron algunas pruebas histoquímicas siguiendo los protocolos propuestos en Johansen (1940) y en Pizzolato (1977); entre ellas: detección de almidón con iodo-ioduro de potasio, grasas con Sudan IV, lignina con fluoroglucinol acidificado, mucílagos con ácido tánico y cloruro férrico.

El sistema subterráneo de la especie en estudio es axonomorfo, pero en ocasiones las primeras raíces laterales tienden a tener una conformación semejante a la axonorriza (Fig. 1C). La raíz principal y algunas de las laterales son gruesas y pueden estar flexionadas unas sobre otras adoptando formas características (Figs. 1 C-E); de estos ejes brotan unos de mediano grosor y otros más delgados, que recién extraídos tienen color blanquecino. La estructura anatómica observada en las secciones transversales a lo largo de los ejes (gruesos y delgados) revela que se trata de raíces, ya que es evidente la formación de xilema exarco. A continuación se hará referencia a la anatomía de raíces delgadas (1-4 mm de diámetro), de grosor medio (8-12 mm de diámetro) y gruesas (diámetro superior a 20 mm).

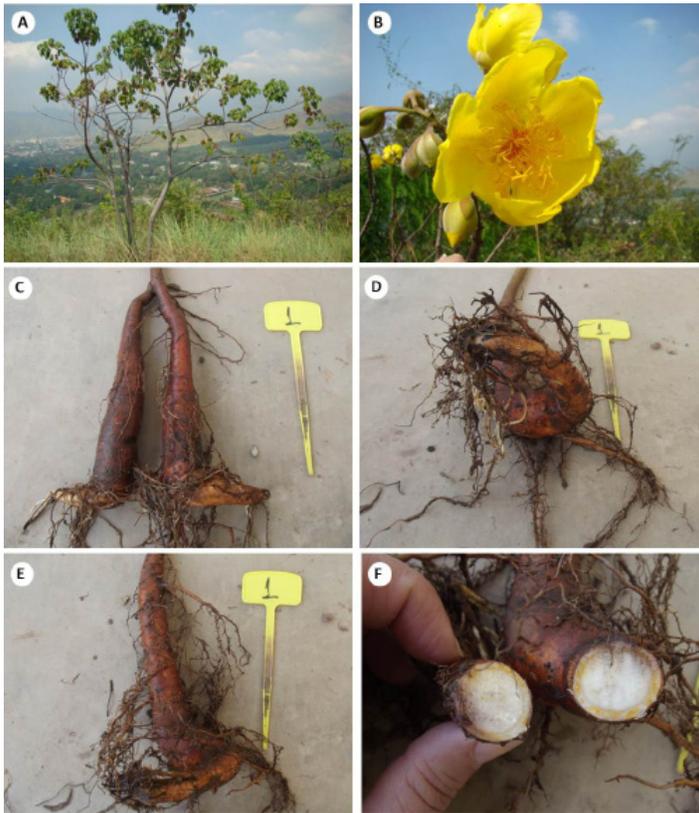


Fig. 1. *Cochlospermum vitifolium*. A. Individuo, mostrando biotipo. B. Flores llamativas. C-E. Sistema radical de esta especie, nótese variación en el color y grosor de las raíces. F. Vista de una raíz tuberosa, mostrando gran cantidad de tejido reservante.

Las raíces delgadas muestran dos patrones de organización histológica, uno, en estructura primaria propiamente dicha (inclusive en porciones cercanas al ápice), la cual está constituida por una rizodermis con pelos absorbentes, seguidamente una a dos capas de exodermis y cinco a seis estratos de parénquima de células voluminosas, de paredes delgadas con gran cantidad de drusas en las células más internas y finalmente, la endodermis. El cilindro vascular está delimitado por dos a tres capas de periciclo al frente del arca xilemática y tres a cuatro, aledañas al floema primario; este tejido delimita un haz vascular con dos arcas xilemáticas (Figs. 2 A-C). El otro patrón deriva de la actividad de los meristemas secundarios; en éste es evidente la temprana actividad del periciclo para formar la peridermis (Fig. 2D) y junto al cambium

vascular dar origen al xilema y floema secundario, por lo que hay raíces que están revestidas por 6-8 capas de súber, una de felógeno y uno o dos estratos de felodermis. Luego de la peridermis, se localiza el cilindro vascular secundario, con xilema secundario prominente. Asociadas al floema son visibles algunas fibras aisladas o en grupos pequeños. Drusas de diferentes tamaños son evidentes en células de la felodermis y del tejido vascular. En esta zona de la raíz son visibles células con contenido granuloso o teñido fuertemente con safranina (Figs. 2 E-F). A medida que la raíz se engrosa, las capas de súber más externas se desprenden.

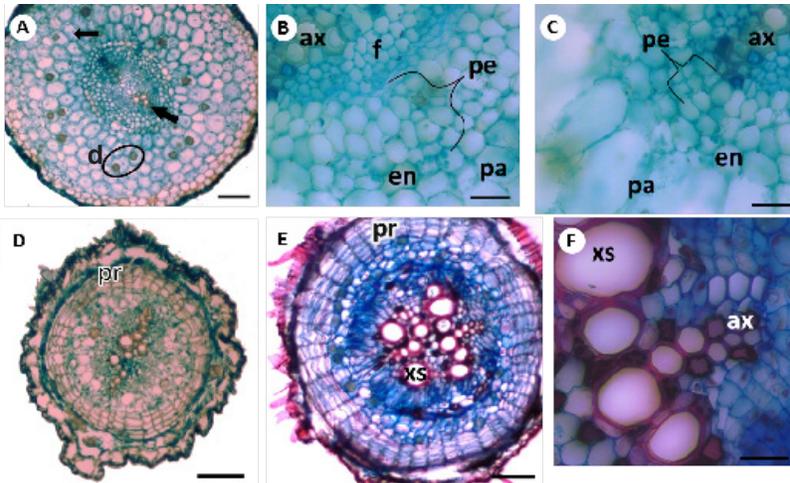


Fig. 2. Secciones transversales de raíces delgadas en *Cochlospermum vitifolium*. A. Vista general de raíz en estructura primaria, nótese abundantes drusas. B. y C. Detalles de la endodermis y el periciclo, al frente del floema primario y de un arca xilemática, respectivamente. C. Nótese la diferenciación temprana de peridermis. D. Vista general de raíz en estructura secundaria. E. Vista general de la raíz en estructura secundaria. F. Detalle del xilema secundario, nótese arca xilemática. ax: arca xilemática, f: floema primario, en: endodermis, pa: parénquima, pe: periciclo, pr: peridermis, xs: xilema secundario, d: drusas (encerradas en óvalo). A, D, E. Barras = 30 μ m y B, C, F. Barras = 100 μ m.

En las porciones de raíces de grosor medio fue evidente corcho con un número de estratos semejante al de porciones delgadas; por debajo del estrato de felógeno se distingue mayor cantidad de capas de felodermis, con algunas de sus células alargadas y dispuestas con su eje mayor paralelo a la superficie; en esa región son evidentes células con arreglo irregular, debido a su tamaño desigual y contenido variable: unas con drusas, otras con depósitos granulares y por último, algunas con contenido muy oscuro que taponan el lumen

celular (Fig. 3A); además, se distinguen grupos de células esclerenquimáticas distribuidas al azar (Fig. 3B). En el floema secundario son evidentes fibras, pero con paredes más gruesas que las observadas en las raíces más delgadas. Tanto en este tejido como en el xilema secundario predomina el parénquima axial y las células de los radios incrementan su volumen en mayor proporción en las células ubicadas en el floema (Figs. 3 B-D). Los vasos xilemáticos, de diferentes tamaños, se disponen radialmente en grupos de dos a cinco; los mismos están asociados con parénquima paratraqueal de contenido granuloso y alta afinidad por el colorante rojo usado (Fig. 3D). Se presenta gran cantidad de granos de almidón tanto en células floemáticas como xilemáticas próximas al cambium vascular (Fig. 3C) y en menor cantidad hacia otras zonas (Fig. 3E).

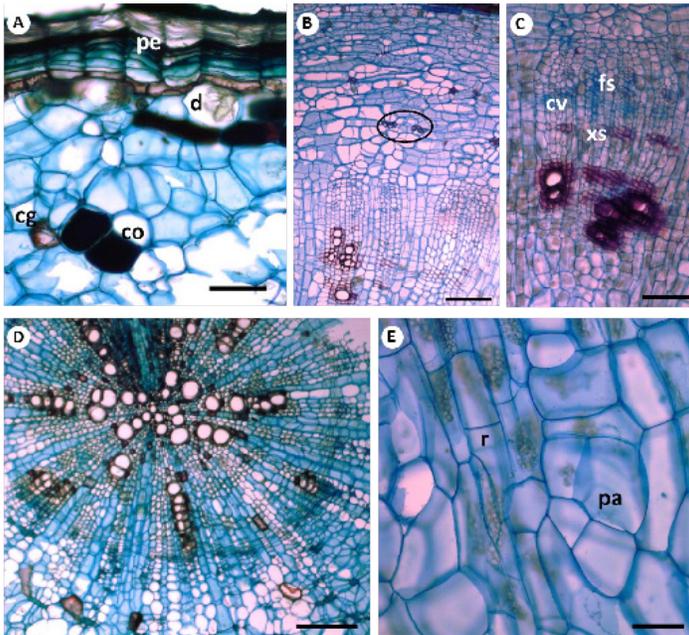


Fig. 3. Secciones transversales de raíces de grosor medio en *Cochlospermum vitifolium*. A. Detalle de la peridermis y células corticales con inclusiones diversas. B. Detalle de los tejidos vasculares, nótese amplio desarrollo del parénquima axial y radial, así como grupos de células esclerenquimáticas en la corteza. C. Zona cambial, xilema y floema secundario, nótese la abundancia de almidón. D. Detalle de xilema secundario en porción central de la raíz. E. Detalle de parénquima axial y radial con almidón. cg: contenido granuloso, co: contenido oscuro, cv: cambium vascular, d: drusa, fs: floema secundario, pa: parénquima axial, pe: peridermis, r: radio, xs: xilema secundario. A, E. Barras = 100 μ m. B-D. Barras = 300 μ m.

Las porciones gruesas de las raíces conservan las características externas señaladas para las porciones radicales de grosor medio (Figs. 4 A-B), pero con una corteza más amplia; asimismo, a nivel del tejido conductor, mayormente en el xilema secundario, es evidente un incremento en el número y volumen de las células del parénquima axial y radial, lo cual conduce a que la mayoría de los vasos se observen solitarios (Fig. 4C) con parénquima paratraqueal asociado, y próximos a ellos grupos pequeños de fibras de paredes delgadas (Fig. 4C). Muchas de las células parenquimáticas muestran características de células acuíferas e inclusive son evidentes cavidades mucilaginosas (Figs. 4 C-D).

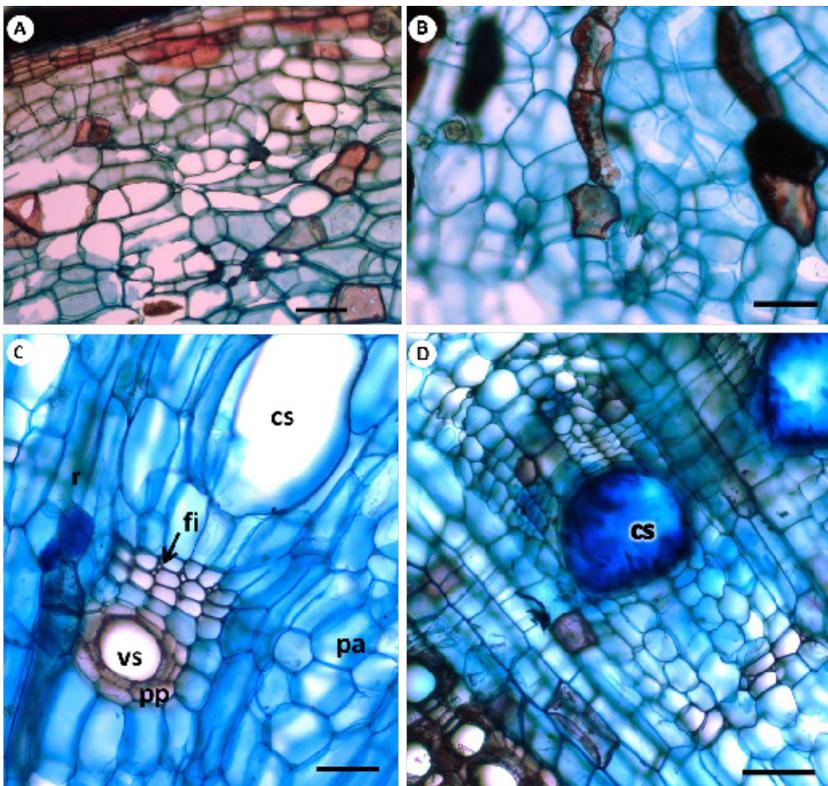


Fig. 4. Secciones transversales de raíces gruesas en *Cochlospermum vitifolium* A. y B. Detalles de la corteza secundaria, nótese la variación en la forma y tamaño de las células y las células con inclusiones diversas, respectivamente. C. Cambium vascular y xilema secundario. D. Cavidades mucilaginosas en xilema secundario. cs: cavidad secretora, fi: fibras, pa: parénquima axial, pp: parénquima paratraqueal, r: radio, vs: vaso. A-D. Barras = 100 μ m.

La caracterización anatómica de la raíz de *C. regium* realizada por Vasconcelos *et al.* (2014) no es muy detallada; no obstante, las figuras mostradas en ese trabajo son similares a las secciones de raíces gruesas de *C. vitifolium*. En ambas especies se distingue una peridermis gruesa, predominancia de vasos solitarios y parénquima axial y radial rico en almidón, así como poca cantidad de fibras.

Las raíces estudiadas en *C. vitifolium* muestran rasgos morfoanatómicos de tuberosas, estando el tejido de almacenamiento localizado tanto en la corteza como en el cilindro vascular. Varios autores señalan la ocurrencia de “lignotubers” en Cochlospermaceae (Eggli 2004, Fallas-Cedeño *et al.* 2010, Johnson-Fulton y Watson 2017); sin embargo, dichas estructuras, definidas como engrosamientos en la zona de transición raíz-tallo, provistos de yemas y abundante almidón (Paula *et al.* 2016) no fueron observadas.

La abundante reserva amilácea, así como, la gran cantidad de células acuíferas diferenciadas en estas raíces garantizan una suplencia adecuada de energía y agua en momentos de estrés hídrico, lo cual es frecuente en las zonas donde crece este taxón. Fallas-Cedeño *et al.* (2010), comprobaron en la especie bajo estudio que el suministro de agua y almidón por parte de los “lignotubers”, así como la baja densidad de la madera de tallos ($0,17 \text{ g/cm}^3$) y de estas estructuras ($0,14 \text{ g/cm}^3$) contribuyeron a apoyar diferentes eventos fenológicos, tales como la extensión de ramas, el brote de hojas y la reproducción durante la estación seca, y probablemente también favorecieron su supervivencia después del daño ocasionado por fuego. Además, Márquez (2014) indica que la parte subterránea en esta especie representa entre el 65 y 75% de la materia seca total a los siete meses de edad (relación vástago/raíz).

El análisis histoquímico reveló la presencia de almidón principalmente en el parénquima axial y radial; compuestos lipídicos y fenólicos en células con contenido granuloso, taninos en felodermis, parénquima cortical y parénquima axial; lignina en células esclerenquimáticas y elementos conductores del xilema y mucílagos en cavidades del parénquima axial. La variedad de compuestos observados, puede indicar que esta especie es promisoría para la extracción de sustancias que pueden tener diversos usos, sea terapéuticos o industriales, tal como fue indicado para *C. regium* (Vasconcelos *et al.* 2014).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chapin, F.S., E. Schulze and H.A. Mooney. 1990. The ecology and economics of storage in plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 21: 423-447.
- Chávez, J., D. Jáuregui, M. Lapp y P. Torrecilla. 2013. Anatomía foliar y del sistema subterráneo de *Amoreuxia wrightii* A. Gray (Bixaceae), especie en peligro crítico en Venezuela. *Ernstia* 23: 47-65.
- Eggli, U. 2004. *Illustrated handbook of succulent plants: Dicotyledons*. Springer Verlag. Berlin, Germany. 112 p.
- Fallas-Cedeño, L., N.M. Holbrook, O.J. Rocha, N. Vásquez and M.V. Gutiérrez-Soto. 2010. Phenology, lignotubers, and water relations of *Cochlospermum vitifolium*, a pioneer tropical dry forest tree in Costa Rica. *Biotropica* 42: 104-111.
- Figuroa, Y. y G. Galeano. 2007. Lista comentada de las plantas vasculares del enclave seco interandino de la Tatacoa (Huila, Colombia). *Caldasia* 29: 263-281.
- Hoyos, J. 1992. Árboles tropicales ornamentales cultivados en Venezuela. Monografía 38. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Caracas, Venezuela. 272 p.
- Johansen, D. 1940. *Plant microtechnique*. Mc Graw Hill. New York, USA. 523 p.
- Johnson-Fulton, S.B. and L.E. Watson. 2017. Phylogenetic systematics of Cochlospermaceae (Malvales) based on molecular and morphological evidence. *Syst. Bot.* 42: 271-282.
- Krauss, E. y M. Arduin. 1997. *Manual básico de métodos em morfologia vegetal*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil. 198 p.
- Kunth, C.S. 1822. *Synopsis plantarum*. Ed. F.G. Levrault. Paris, Francia. 491 p.
- Márquez, L. 2014. Estudio de la biología de especies vegetales de la selva decidua montano baja de la cuenca del río Güey (Maracay, estado Aragua, Venezuela), como apoyo a su restauración ecológica. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 271 p.

- Paula, S., P.I. Naulin, C. Arce, C. Galaz and J.G. Pausas. 2016. Lignotubers in Mediterranean basin plants. *Plant Ecol.* 217: 661-676.
- Pizzolato, T.D. 1977. Staining of *Tilia* mucilages with Mayer's tannic acid-ferric chloride. *Bul. Torrey Bot. Club.* 104: 277-279.
- Poppendieck, H. 1981. Cochlospermaceae. *Fl. Neotrop.* 27: 1-34.
- Vasconcelos, F.C., A.L. Ferreira, J.M. Vasconcelos, L.S. Silva and L.C. Pereira. 2014. Secretory structures in *Cochlospermum regium* (Schrank) Pilg. (Bixaceae): Distribution and histochemistry. *J. Med. Plant Res.* 8: 947-952.