

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
CIENCIAS BIOLÓGICAS

Estudio morfo-anatómico del tallo secundario de tres especies nativas de Argentina del género *Jatropha* (Euphorbiaceae), en relación al ambiente que habitan



Tesinista: Valeria del Mar Mansilla

Firma:.....

Directora: Dra. Marisa Matesevach

Firma:.....

Co-directora: Dra. Verónica A. Cabrera

Firma.....

CÁTEDRA DE MORFOLOGÍA VEGETAL
INSTITUTO MULTIDISCIPLINARIO DE BIOLOGÍA VEGETAL

Córdoba, Argentina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
CIENCIAS BIOLÓGICAS

Estudio morfo-anatómico del tallo secundario de tres especies nativas de Argentina del género *Jatropha* (Euphorbiaceae), en relación al ambiente que habitan

Tribunal examinador:

Nombre y apellido:

Firma:

Nombre y apellido:

Firma:

Nombre y apellido:

Firma:

Calificación:

Fecha:

A mi abuela Aída y a mi nona Inés

ÍNDICE

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
MATERIALES Y MÉTODOS	10
RESULTADOS	15
DISCUSIÓN	23
CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29
AGRADECIMIENTOS	33

RESUMEN

El género *Jatropha* (Euphorbiaceae) es morfológicamente diverso, pantropical, con unas 180 especies distribuidas en todo el mundo. Poseen una amplia gama de usos: son medicinales, ornamentales y sirven como cultivos energéticos. En Argentina, habitan ocho especies autóctonas, que crecen desde el norte al centro del país, y una especie adventicia. El presente trabajo se focaliza en el estudio de tres taxones nativos de *Jatropha* que es común encontrar en la Provincia Fitogeográfica Chaqueña: *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*. En la región chaqueña predominan los bosques caducifolios xerófitos. Las plantas xerófitas crecen en regiones áridas y semiáridas, con limitadas precipitaciones, altas temperaturas y suelos pobres en materia orgánica. El sistema xilemático de los vegetales de ambientes secos está preparado para conducir la escasa cantidad de agua distribuida en un período anual determinado. En esta tesina se pretende contribuir al conocimiento morfo-anatómico de *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, analizando el tallo con crecimiento secundario, y haciendo énfasis en las características asociadas al ambiente en el que viven. Para ello se tomaron fotografías de los individuos, y se realizaron preparados histológicos temporarios de cortes transversales y longitudinales del tallo secundario. Se describió la morfo-anatomía, y se analizaron las siguientes variables: porcentaje del xilema secundario, número de vasos por mm², diámetro de vasos, longitud de elementos conductores. Los datos cuantitativos obtenidos se sometieron a un ANOVA. Además, se obtuvieron índices para evaluar la vulnerabilidad a la sequía, el grado de mesomorfía de las plantas y para determinar el agrupamiento de los vasos. La observación de la morfo-anatomía del tallo secundario y la interpretación del resultado de las variables cuantitativas e índices calculados, indican que las tres especies presentan características morfo-anatómicas propias de plantas que habitan en ambientes secos: súber exfoliante, corteza ancha, acumulación de almidón, grupos de fibras perivasculares, vasos xilemáticos cortos, estrechos, numerosos y agrupados. La presencia de taninos, látex y cristales, que brindan protección contra la herbivoría y contra la intensa radiación solar, representaría una ventaja respecto a otras especies de ambientes áridos que no poseen estas características.

Palabras clave: anatomía, *Jatropha*, tallo secundario, xilema, xerófito.

INTRODUCCIÓN

El género *Jatropha* L. pertenece a la Tribu Jatrophae Baill de la subfamilia Crotonoideae Burmeister (Euphorbiaceae). Es morfológicamente diverso, pantropical, con unas 100 especies en América, 70 especies en África y Arabia, y cuatro especies en la India (Fernández Casas, 2016).

El nombre del género deriva de las palabras griegas "iatros", que significa médico, y "trophé", que significa alimento (Heller, 1996). Las especies de *Jatropha* tienen una amplia gama de usos; son utilizadas en la medicina folklórica tradicional para curar diversas enfermedades en África, Asia y América Latina, como plantas ornamentales y como cultivos energéticos (Burkill, 1994; Heller, 1996; Oladipo & Illoh, 2012). Dado que la demanda mundial de biodiesel ha aumentado en los últimos años, el interés por nuevos cultivos oleaginosos se ha incrementado notablemente (Wassner *et al.*, 2012). Varios autores estudiaron la producción de este biocombustible obtenido a partir de especies de *Jatropha*, y analizaron las formas de cultivo, el área geográfica óptima para el desarrollo agroforestal, el contenido y calidad de aceite de las semillas, la conversión de aceites a subproductos, etc. (Achten *et al.*, 2008; Falasca & Ulberich, 2008a; Aranda Rickert *et al.*, 2011; Wassner *et al.*, 2012).

En Argentina, habitan ocho especies reconocidas como autóctonas, distribuidas desde el norte al centro del país: *Jatropha breviloba* (Morong) Pax & K. Hoffm., *Jatropha excisa* Griseb., *Jatropha grossidentata* Pax & K. Hoffm., *Jatropha hieronymi* Kuntze, *Jatropha isabelliae* Müll. Arg., *Jatropha macrocarpa* Griseb., *Jatropha pedersenii* Lourteig & O'Donnell y *Jatropha peiranoi* Lourteig & O'Donnell; además de *Jatropha curcas* L. que es adventicia (Anton & Zuloaga, 2019).

Jatropha pedersenii, *J. breviloba* y *J. isabelliae* habitan en la región del litoral argentino, y exhiben caracteres asociados a ambientes húmedos (Font, 2003). El resto de las especies nativas se distribuyen por el noroeste semiárido del país y poseen típicamente una distribución en parches de tamaño variable (Aranda Rickert, 2011). El estrés ambiental juega un papel importante en la evolución de las plantas, el rango de temperatura y la disponibilidad de agua se encuentran entre los principales factores ambientales que determinan el grado de especificidad en la relación con el hábitat (Fahn & Cutler, 1992).

El presente trabajo se focaliza en el estudio de tres especies de *Jatropha* nativas de nuestro país que es común encontrar en la Provincia Fitogeográfica Chaqueña (Cabrera, 1976): *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa* (Fernández Casas & Pizarro Domínguez, 2007a; Fernández Casas & Pizarro Domínguez, 2007b; Aranda Rickert, 2011; Tavecchio *et al.*, 2016). *Jatropha excisa* pertenece

a la sección *Jatropha* (Pax) Dehgan & Webster, mientras que, *J. macrocarpa* y *J. hieronymi* se encuentran dentro de la sección *Peltatae* (Pax) Dehgan & Webster (Dehgan, 1982; Dehgan & Schutzman, 1994). Los tres taxones poseen hábito arbustivo, aunque *J. hieronymi* y *J. macrocarpa* pueden adoptar porte de árbol pequeño con el tiempo alcanzando hasta 5 y 3 metros de altura respectivamente, y hasta 10 cm de diámetro en la base. Son perennes, con hojas grandes y simples (lobadas a palmadas), flores dispuestas en inflorescencia y frutos dehiscentes; su tallo es leñoso-suculento, con función de acumulación de reservas (Dehgan & Webster, 1979; Fernández Casas & Pizarro Domínguez, 2007a; Fernández Casas & Pizarro Domínguez, 2007b; Falasca & Ulberich, 2008a; Falasca & Ulberich, 2008b; Aranda Rickert, 2011; Wassner *et al.*, 2012; Webster, 2014; Tavecchio *et al.*, 2016). Las poblaciones están frecuentemente asociadas a ríos transitorios provenientes de las sierras, los cuales suelen estar secos durante el año y excepcionalmente llenar su cauce con las lluvias del verano (Aranda Rickert, 2011).

La región chaqueña se caracteriza por tener un clima cálido, con precipitaciones escasas estivales en la zona occidental; en cuanto a la vegetación, predominan los bosques caducifolios xerófitos (Cabrera, 1976). Las plantas xerófitas son aquellas que crecen en regiones áridas y semiáridas, con limitadas precipitaciones, altas temperaturas y suelos generalmente pobres en materia orgánica (Fahn & Cutler, 1992).

De acuerdo al hábitat donde los vegetales se desarrollen, serán diferentes las estrategias para optimizar y asegurar la conducción de agua (Moglia & Giménez, 1998). Se han realizado estudios de las tendencias ecológicas en la anatomía de la madera, para comprender el posible mecanismo evolutivo responsable de la relación entre la estructura de los elementos del xilema y la eficiencia en la conducción del agua (Fahn & Cutler, 1992). Las regiones que son secas y a la vez cálidas ofrecen los ejemplos más claros de cómo el estrés hídrico influye en las características del xilema secundario (Carlquist & Hoekman, 1985).

El sistema xilemático de los vegetales que viven en ambientes secos, está preparado para conducir la escasa cantidad de agua distribuida en un período anual determinado: presenta vasos numerosos, agrupados y de diámetro pequeño, y elementos conductores de longitudes cortas; estas características confieren a las plantas una mayor seguridad y eficiencia en la conducción de agua, permitiendo resistir altas tensiones, disminuyendo el riesgo de embolia y otorgando resistencia al estrés hídrico (Carlquist, 1977, 1988; Carlquist & Hoekman, 1985; Fahn & Cutler, 1992; Lindorf, 1994; Moglia & Giménez, 1998; Moglia & López, 2001; León, 2005; Montañó Arias *et al.*, 2013). Además, a medida que se incrementa el porcentaje de los tejidos del xilema, aumenta

la cantidad de agua transportada, por lo tanto las características de los vegetales se asocian a las condiciones de baja humedad en el sustrato que habitan (Sory Toure *et al.*, 2010).

Con respecto a los elementos de vaso, Carlquist (1977) propuso índices para evaluar la vulnerabilidad a la sequía y el grado de mesomorfía de las plantas, y para determinar el agrupamiento de los vasos (Carlquist 1988). Estos índices permiten conocer la resistencia de las especies a bajas precipitaciones, principalmente en plantas que habitan en zonas secas (Montaño Arias *et al.*, 2013).

Analizando la bibliografía disponible sobre las especies de *Jatropha* de la Argentina, se encontraron estudios referidos a la dispersión de sus semillas (Aranda Rickert, 2011), producción de biocombustible (Falasca & Ulberich, 2008a; Falasca & Ulberich, 2008b; Aranda Rickert *et al.*, 2011; Wassner *et al.*, 2012), sistemática, morfología y distribución de algunas especies (Fernández Casas & Pizarro Domínguez, 2007a; Fernández Casas & Pizarro Domínguez, 2007b) y morfo-anatomía vegetativa y estructuras secretoras (Malbrán Barros *et al.*, 2016; Tavecchio *et al.*, 2016; Malbrán Barros *et al.*, 2017; Malbrán Barros, 2018). Sin embargo, en ninguno de ellos se analiza la morfo-anatomía del tallo con crecimiento secundario en relación al ambiente que habitan las especies. Si bien, Tavecchio *et al.* (2016) analizaron la estructura anatómica del tallo, hoja y raíz de *J. curcas* y *J. macrocarpa*, solo lo hicieron en plántulas.

Teniendo en cuenta el valor ecológico y comercial de estas especies como potenciales productoras de biodiesel, así como la importancia de las características morfo-anatómicas del xilema en relación al ambiente en el que viven, se pretende analizar tallos con crecimiento secundario de *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, a fin de aportar información que pueda ser fundamental para el uso y la conservación de estas especies nativas.

Objetivo general:

- ♦ Contribuir al conocimiento morfo-anatómico de especies del género *Jatropha* nativas de Argentina, analizando las características del tallo secundario en relación al ambiente en el que viven.

Objetivos específicos:

- ♦ Describir la morfo-anatomía del tallo con crecimiento secundario, en *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*.
- ♦ Identificar variables anatómicas del xilema secundario y comparar dichas variables en las tres especies analizadas.
- ♦ Evaluar la tolerancia a la sequía de los taxones estudiados.
- ♦ Determinar características anatómicas que favorezcan el crecimiento de estas plantas en su ambiente natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El material fue recolectado en las provincias de Catamarca, Santiago del Estero y Córdoba, en localidades pertenecientes a la Provincia Fitogeográfica Chaqueña, en un viaje de colección realizado en noviembre de 2016. Cada sitio de colecta fue georreferenciado (Fig. 1).

En la Provincia Fitogeográfica Chaqueña pueden reconocerse cuatro distritos: Distrito Chaqueño Oriental, Distrito Chaqueño Occidental, Distrito Chaqueño Serrano y Distrito Chaqueño de las Sabanas. El Distrito Chaqueño Occidental, donde fueron recolectadas las muestras, es más seco que el Oriental, con una precipitación anual de 500 a 800 mm y un clima continental más marcado. La vegetación está formada por bosques xerófitos, algunos palmares, estepas halófilas y sabanas edáficas o inducidas por incendios y desmontes (Cabrera, 1976). La temperatura media anual varía entre los 18 y 25 °C (Hueck, 1978).

Según el Servicio Meteorológico Nacional (2019), los valores medios anuales de precipitación y temperatura, medidos en los sitios de colecta de las muestras entre 1981 y 2010, fueron:

Catamarca

- ◆ Precipitación media anual: 411,6 mm
- ◆ Temperatura media anual: 21,17 °C

Santiago del Estero

- ◆ Precipitación media anual: 629,2 mm
- ◆ Temperatura media anual: 20,79 °C

Córdoba

- ◆ Precipitación media anual: 813 mm
- ◆ Temperatura media anual: 18,46 °C

Obtención del material

Se estudiaron individuos de tres especies de *Jatropha*: *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*. Se fijaron secciones de tallo con crecimiento secundario en una mezcla de formaldehído-alcohol-ácido acético (F.A.A.) en recipientes adecuadamente rotulados para su estudio (D'Ambrogio de Argüeso, 1986).

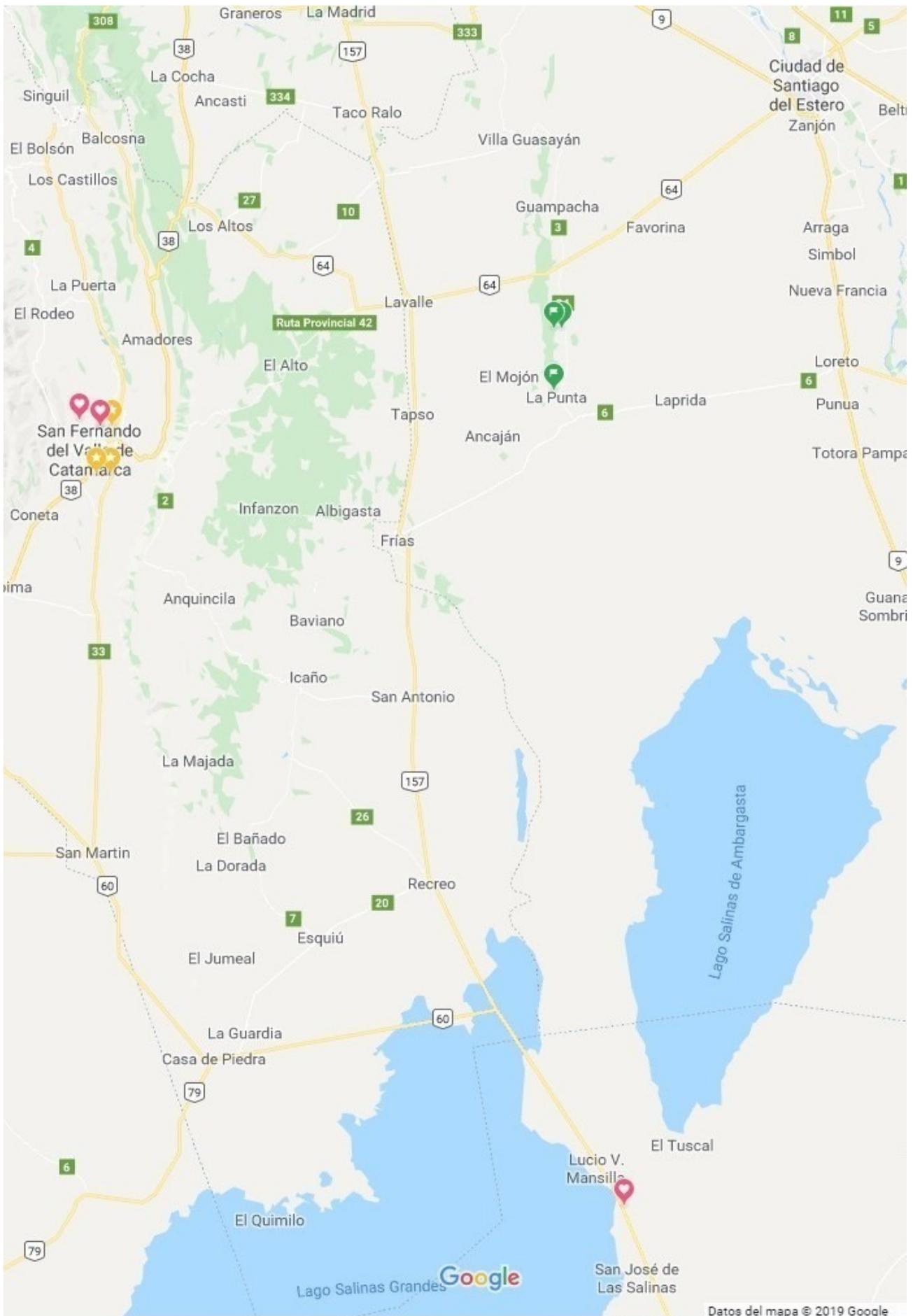


Fig. 1: Sitios de colecta de las especies.  *J. excisa*.  *J. hieronymi*.  *J. macrocarpa*.

Los ejemplares de referencia de las muestras están depositados en el Herbario del Museo Botánico de Córdoba (CORD) y son los siguientes:

Jatropha excisa

- ♦ M. T. Cosa, M. Matesevach & V. Cabrera. Nº 435. Prov. de Catamarca. Depto. Capital, Banda de Varela, 65°45'30,39''W y 28°26'05,96''S, 578 msm, 21-XI-2016.
- ♦ M. T. Cosa, M. Matesevach & V. Cabrera. Nº 436. Prov. de Catamarca. Depto. Capital, Camino a gruta de la Virgen del Valle, 65°47'80,97''W y 28°25'18,87''S, 635 msm, 21-XI-2016.
- ♦ M. T. Cosa, M. Matesevach & V. Cabrera. Nº 448. Prov. de Córdoba. Depto. Tulumba, Rn60, km 891, pasando Lucio V. Mansilla, yendo hacia Deán Funes, 64°39'06,30''W y 29°52'99,50''S, 233 msm, 23-XI-2016.

Jatropha hieronymi

- ♦ M. T. Cosa, M. Matesevach & V. Cabrera. Nº 444. Prov. de Santiago del Estero. Depto. Choya, Rp24, entrando 5 km a la Quebrada de Maquijata entre La Merced y Villa La Punta, 64°47'71,72''W y 28°15'02,36''S, 456 msm, 22-XI-2016.
- ♦ M. T. Cosa, M. Matesevach & V. Cabrera. Nº 445. Prov. de Santiago del Estero. Depto. Choya, Rp24, entrando 5 km a la Quebrada de Maquijata entre La Merced y Villa La Punta, 64°47'71,72''W y 28°15'02,36''S, 456 msm, 22-XI-2016.
- ♦ M. T. Cosa, M. Matesevach & V. Cabrera. Nº 446. Prov. de Santiago del Estero. Depto. Choya, Rp24, Villa La Punta cerca del Dique, 64°48'04,10''W y 28°22'30,80''S, 433 msm, 22-XI-2016.

Jatropha macrocarpa

- ♦ M. T. Cosa, M. Matesevach & V. Cabrera. Nº 432. Prov. de Catamarca. Depto. Capital, Rp33, 18 km antes de San Fernando del Valle de Catamarca, 65°44'09,08''W y 28°31'29,86''S, 540 msm, 21-XI-2016.
- ♦ M. T. Cosa, M. Matesevach & V. Cabrera. Nº 433. Prov. de Catamarca. Depto. Capital, Banda de Varela, 65°45'56,12''W y 28°31'29,86''S, 540 msm, 21-XI-2016.
- ♦ M. T. Cosa, M. Matesevach & V. Cabrera. Nº 434. Prov. de Catamarca. Depto. Capital, Banda de Varela, 65°45'67,61''W y 28°26'01,36''S, 570 msm, 21-XI-2016.

Estudios morfo-anatómicos del tallo secundario

Se trabajó con nueve individuos de cada especie. Para los estudios exomorfológicos se registraron las observaciones del material conservado y de fotografías tomadas en los sitios de colección con una cámara fotográfica Nikon D5500.

Para los estudios anatómicos, se realizaron preparados histológicos temporarios del tallo secundario; para esto, se hicieron cortes transversales y longitudinales a mano alzada con una hoja de bisturí, siguiendo las técnicas narradas en D'Ambrogio de Argüeso (1986). Se colorearon con azul astral y fucsina básica (Kraus *et al.*, 1998) y se montaron con glicerina diluida al 50%.

Los preparados fueron observados con un microscopio óptico compuesto ZEISS Primo Star y se tomaron microfotografías con una cámara digital Nikon Coolpix S630. Se estudió la distribución y características del tejido de protección, corteza, médula y tejido vascular secundario.

Variables xilemáticas analizadas

Para el estudio de los elementos del xilema que intervienen en la conducción y seguridad del transporte del agua, se escogieron las siguientes variables que fueron calculadas en cada individuo:

- ♦ Porcentaje del área del xilema secundario en relación al área total del tallo: se utilizaron fotografías de los preparados permanentes en corte transversal, que fueron analizadas con el programa ImageJ 1.50i (Rasband, 2018), el cual permite conocer el área seleccionada de una imagen partiendo de una distancia conocida.
- ♦ Número de vasos xilemáticos por mm^2 : se obtuvo usando un ocular con cuadrícula de $0,065 \text{ mm}^2$ de superficie y contando todos los vasos presentes en seis campos por individuo, seleccionados al azar, según el procedimiento de la IAWA Committee (1989). El número de vasos por mm^2 se consideró extremadamente poco numerosos (≤ 5 vasos por mm^2), poco numerosos ($5-20$ vasos por mm^2), numerosos ($20-40$ vasos por mm^2), muy numerosos ($40-100$ vasos por mm^2) y extremadamente numerosos (≥ 100 vasos por mm^2) según IAWA Committee (1989).
- ♦ Diámetro de los vasos xilemáticos: se calculó con un ocular micrométrico y se midió el diámetro de seis vasos por individuo, seleccionados al azar, según el procedimiento de IAWA Committee (1989). El diámetro de los vasos se tomó como muy pequeño ($\leq 50 \mu\text{m}$), pequeño ($50-100 \mu\text{m}$), mediano ($100-200 \mu\text{m}$) y grande ($\geq 200 \mu\text{m}$), según IAWA Committee (1989).

- ♦ Longitud de elementos conductores: se determinó utilizando un ocular micrométrico y midiendo la longitud de seis elementos de vaso por individuo, seleccionados al azar, según el procedimiento de IAWA Committee (1989). La longitud de los elementos de vaso se consideró corta ($\leq 350 \mu\text{m}$), mediana ($350\text{--}800 \mu\text{m}$) y larga ($\geq 800 \mu\text{m}$) según IAWA Committee (1989).

Índices analizados

Para obtener una mejor interpretación de las variables analizadas, se calcularon los siguientes índices en cada especie:

- ♦ Índice de vulnerabilidad (IV) (Carlquist, 1977): se obtiene dividiendo la media del diámetro de los vasos por la media del número de vasos por mm^2 . Un índice mayor a 1 indica vulnerabilidad a la sequía, y menor a 1 demuestra resistencia a la sequía.
- ♦ Índice de mesomorfía (IM) (Carlquist, 1977): se calcula multiplicando la longitud media de los elementos de vaso por el IV. Un índice mayor a 200 representa un xilema mesofítico, y menor o igual a 75 significa que es xerofítico.
- ♦ Índice de agrupamiento de los vasos (IVg) (Carlquist, 1988): se obtiene dividiendo el número total de vasos por el número de grupos de vasos. Se calculó utilizando un ocular con cuadrícula en un campo de la sección transversal para cada individuo y luego se promediaron los valores de todos los individuos para cada especie. Un índice igual a 1 indica vasos exclusivamente solitarios, y a mayor índice, mayor es el grado de agrupamiento de los vasos.

Análisis estadísticos

Los datos cuantitativos obtenidos se sometieron a un análisis de la varianza (ANOVA), seguido por la prueba de LSD Fisher ($P \leq 0.05$), con el objetivo de evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en las variables analizadas entre las especies. Previamente se corroboró que se cumplieran los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza.

Para la variable “porcentaje del xilema” se realizó un diseño completamente aleatorizado; para “frecuencia de vasos por mm^2 ”, “diámetro de los vasos” y “longitud de los elementos de vaso”, se realizó un diseño con estructura anidada de tratamientos donde el factor “Individuo” está anidado dentro del factor “Especie”. Los análisis se llevaron a cabo mediante el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2018).

RESULTADOS

Descripción morfo-anatómica del tallo con crecimiento secundario

Exomorfología: los tallos de las tres especies son glabros y de color grisáceo en *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, y verde a marrón en *J. excisa*. En *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, cuando el diámetro del tallo supera los tres centímetros aproximadamente, la corteza transversalmente exfoliante, se desprende en escamas que se enrollan (Fig. 2 A-B). Se observan lenticelas y cicatrices prominentes en los sitios de abscisión de las hojas. En *J. excisa*, las cicatrices foliares tienen forma orbicular achatada en el lado adaxial (Fig. 2 C), mientras que en *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, son suborbiculares con una concavidad en el lado abaxial que termina en un apículo (Fig. 2 D-E).

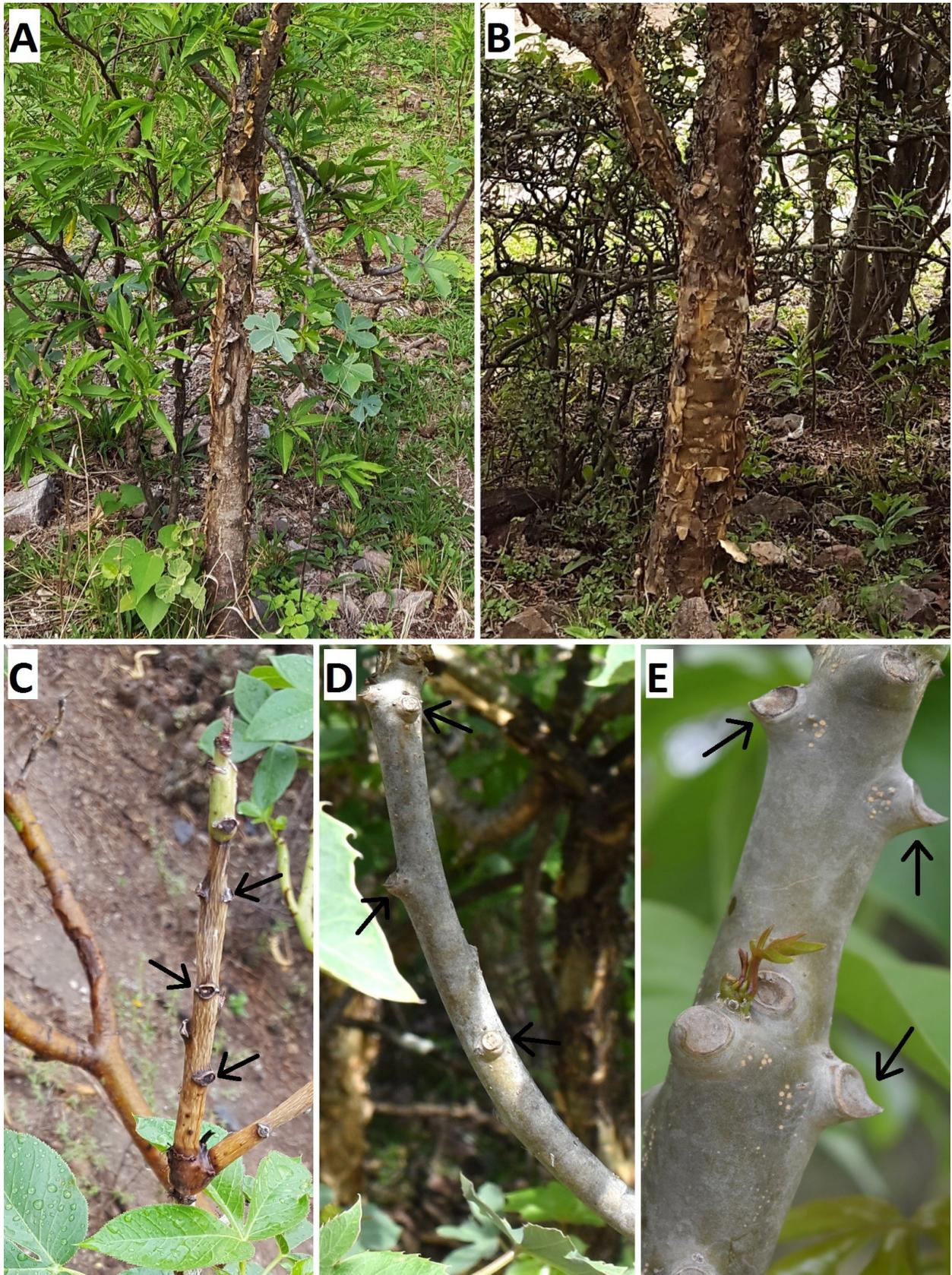


Fig. 2: Tallo con crecimiento secundario. A-B) *Ritidoma* exfoliante de *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, respectivamente. C-E) Cicatrices foliares de *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, respectivamente. Las flechas señalan la ubicación de las cicatrices foliares.

Anatomía: en la figura 3 (A-C) se observa un sector del tallo con crecimiento secundario de *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa* en corte transversal, donde se reconocen los siguientes tejidos:

- ◆ Tejido de protección: formado por una peridermis pluriestratificada compuesta por súber, felógeno y felodermis. En *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, la peridermis es continua; mientras que en *J. excisa* se interrumpe por secciones de epidermis uniestratificada que aún persiste. Las células epidérmicas propiamente dichas son rectangulares, con cutícula lisa y delgada. En los tres casos, el número de estratos de la felodermis varía de dos a ocho (Fig. 3 D-F).
- ◆ Corteza: compuesta por 40 estratos de células aproximadamente en *J. excisa* y *J. hieronymi*; y por 60 capas aproximadamente en *J. macrocarpa*. En posición subepidérmica, se dispone un anillo de dos a tres capas celulares de colénquima laminar que contiene taninos. Luego, hay colénquima angular: en *J. hieronymi* y *J. macrocarpa* es discontinuo, y posee de dos a cuatro estratos, en *J. excisa* es continuo, y contiene de cuatro a ocho capas. El parénquima cortical de las tres especies posee células redondeadas de paredes moderadamente engrosadas; es reservante, ya que acumula gránulos de almidón, los cuales son muy abundantes en *J. macrocarpa*. Algunas células parenquimáticas poseen taninos y otras cristales (drusas y pequeños cristales prismáticos); también hay abundantes laticíferos, sobre todo en los estratos más próximos al floema. Además se encuentran grupos de fibras perivasculares. Dichas agrupaciones son pequeñas en *J. macrocarpa* en relación a las de *J. excisa* y *J. hieronymi*, que tienen mayor tamaño (Fig. 3 D-F).
- ◆ Médula: amplia, formada por parénquima reservante con células grandes, redondeadas o de forma poligonal, de paredes delgadas y con pequeños espacios intercelulares. El almidón es más abundante en *J. macrocarpa*. *Jatropha excisa* y *J. hieronymi* poseen abundantes laticíferos, los cuales están ausentes en *J. macrocarpa* (Fig. 3 G-I).
- ◆ Tejido vascular secundario: compuesto por un anillo de floema y xilema. En el xilema se observan radios parenquimáticos uni- y biseriados, de naturaleza homogénea; los vasos xilemáticos se disponen de manera irregular, parcialmente solitarios y parcialmente agrupados en múltiples radiales (Fig. 4 A-C). En corte longitudinal del xilema, se observan los elementos conductores y sus conexiones intercelulares, que corresponden a puntuaciones alternas, de contornos circulares u ovalados (Fig. 4 D-F). En las tres especies hay laticíferos en el floema, y algunas células parenquimáticas del xilema contienen taninos.

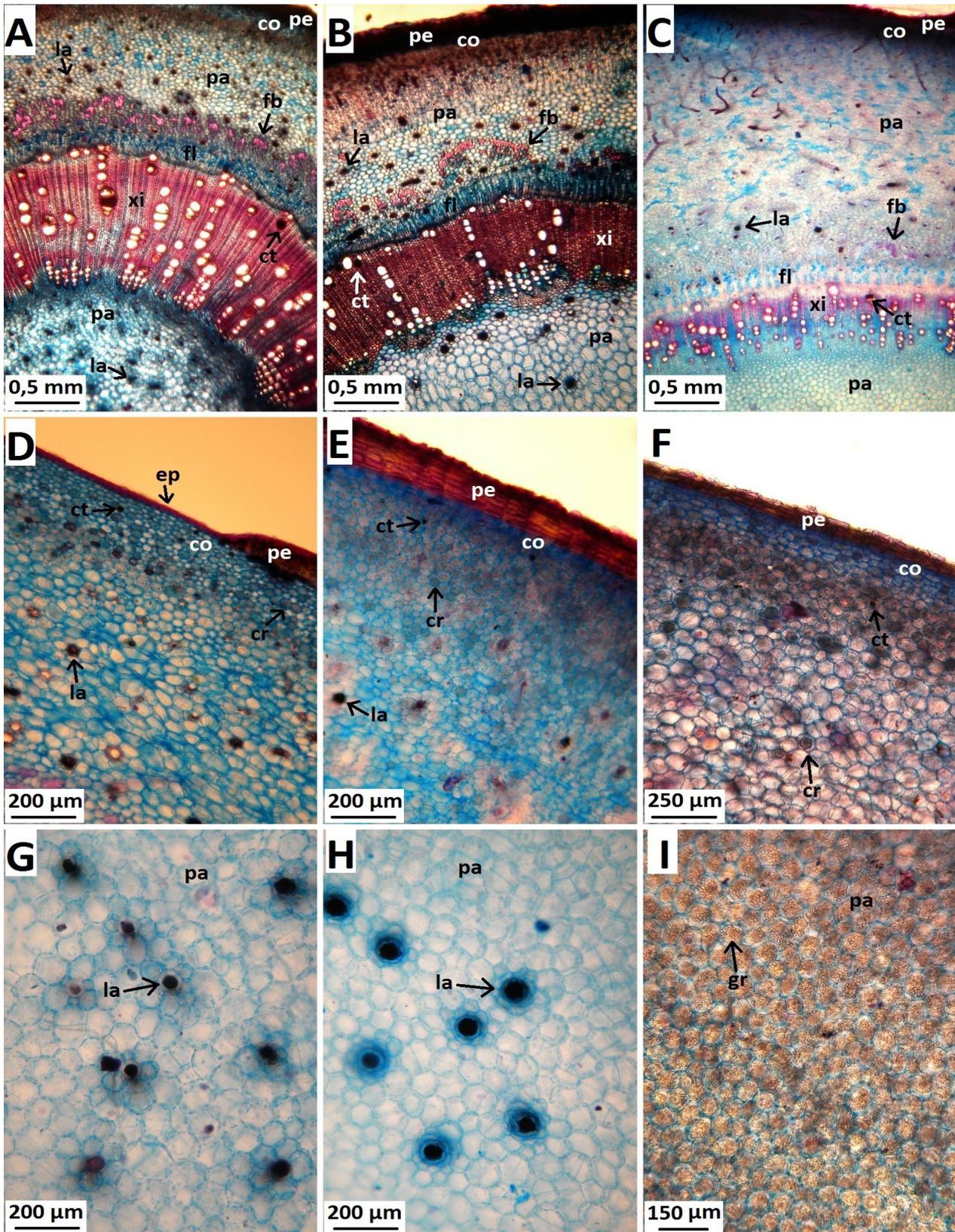


Fig. 3: Anatomía del tallo con crecimiento secundario A-C) Sector de corte transversal de *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, respectivamente. D-F) Detalle del tejido de protección y corteza de *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, respectivamente. G-I) Detalle de médula de *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, respectivamente.

Abreviaturas: co: colénquima; cr: cristal; ct: célula tanífera; ep: epidermis; fb: fibras; fl: floema; gr: gránulos de almidón; la: laticífero; pa: parénquima; pe: peridermis; xi: xilema.

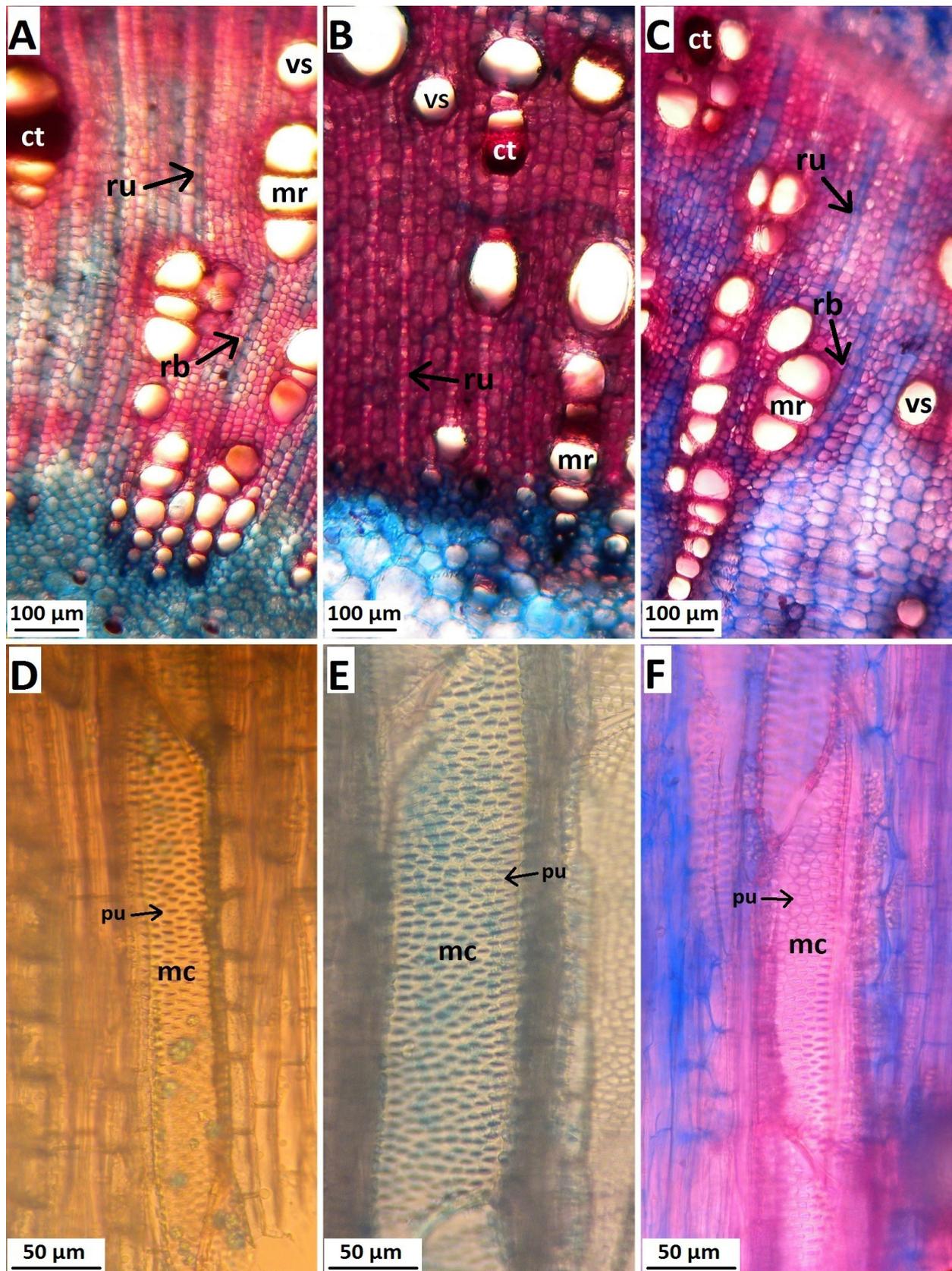


Fig. 4: Xilema secundario. A-C) Corte transversal en *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, respectivamente. D-F) Corte longitudinal en *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*, respectivamente.

Abreviaturas: ct: célula tanífera; mc: miembro conductor; mr: múltiplo radial; pu: puntuaciones alternas; ru: radio uniseriado; rb: radio biseriado; vs: vaso solitario.

En la Tabla 1, se resumen las características descritas.

Especie		<i>J. excisa</i>	<i>J. hieronymi</i>	<i>J. macrocarpa</i>
Tejido de protección	Peridermis	Discontinua, con 2 a 8 capas de felodermis	Continua, con 2 a 8 capas de felodermis	Continua, con 2 a 8 capas de felodermis
	Epidermis	Presente	No posee	No posee
Corteza	Colénquima	Laminar (anillo con 2 estratos) y angular (anillo con 4-8 estratos)	Laminar (anillo con 2-3 estratos) y angular (en grupos 2-4 estratos)	Laminar (anillo con 2-3 estratos) y angular (en grupos de 2-4 estratos)
	Parénquima	40 estratos celulares, con laticíferos	40 estratos celulares, con laticíferos	60 estratos celulares, con laticíferos
	Esclerénquima	Grandes grupos de fibras	Grandes grupos de fibras	Pequeños grupos de fibras
	Sustancias ergásticas	Cristales, taninos y gránulos de almidón	Cristales, taninos y gránulos de almidón	Cristales, taninos y abundantes gránulos de almidón
Tejido vascular secundario	Floema	Con laticíferos	Con laticíferos	Con laticíferos
	Xilema	Con taninos	Con taninos	Con taninos
Médula	Parénquima	Con laticíferos	Con laticíferos	Sin laticíferos
	Sustancias ergásticas	Gránulos de almidón	Gránulos de almidón	Abundantes gránulos de almidón

Tabla 1. Comparación de las principales características del tallo con crecimiento secundario de *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa*.

Variables xilemáticas analizadas

El xilema del tallo secundario de *J. excisa* y *J. hieronymi* presenta vasos numerosos (20-40 vasos por mm²), mientras que, en *J. macrocarpa* son muy numerosos (40–100 vasos por mm²), existiendo diferencias significativas con respecto a las otras dos especies.

En cuanto al diámetro de los vasos, los valores medios indican que en las tres especies es pequeño (50-100 µm), siendo *J. macrocarpa* la que se diferencia estadísticamente del resto por poseer el diámetro medio más chico.

Los miembros de vaso son cortos en los taxones estudiados (≤ 350 µm). *Jatropha macrocarpa* difiere significativamente por presentar una longitud media menor.

Respecto al porcentaje del área del xilema secundario en relación al área total del tallo, se encontraron diferencias significativas entre las tres especies, siendo *J. macrocarpa* la que presentó el menor valor y *J. excisa* el mayor porcentaje.

En la Tabla 2, se resumen los resultados obtenidos de la medición de estas variables.

Variables	Especie	Media \pm desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	ANOVA	
					F	P
Número de vasos por mm ²	<i>J. excisa</i>	27,63 \pm 23,40 a	0	92,27	30,83	<0,0001
	<i>J. hieronymi</i>	28,48 \pm 21,21 a	0	76,89		
	<i>J. macrocarpa</i>	58,67 \pm 20,93 b	15,38	107,65		
Diámetro de vasos (µm)	<i>J. excisa</i>	63,38 \pm 14,03 b	36,84	99,47	4,42	<0,0232
	<i>J. hieronymi</i>	63,93 \pm 19,42 b	33,16	110,53		
	<i>J. macrocarpa</i>	55,60 \pm 10,91 a	36,84	77,37		
Longitud de elementos conductores (µm)	<i>J. excisa</i>	304,76 \pm 81,95 b	142,86	471,43	16,94	<0,0001
	<i>J. hieronymi</i>	280,95 \pm 77,16 b	114,29	500		
	<i>J. macrocarpa</i>	221,69 \pm 52,78 a	128,57	357,14		
Porcentaje área del xilema	<i>J. excisa</i>	24,32 \pm 4,77 c	18,81	33,74	48,49	<0,0001
	<i>J. hieronymi</i>	14,76 \pm 2,18 b	11,73	18,05		
	<i>J. macrocarpa</i>	9,35 \pm 2,13 a	5,78	12,56		

Tabla 2. Análisis de la estadística descriptiva y análisis de varianza (ANOVA) de las distintas variables xilemáticas. Los valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente ($P \geq 0.05$); mientras que, los valores seguidos por letras diferentes muestran diferencias significativas ($P < 0.05$).

Índices analizados

Jatropha excisa y *J. hieronymi* poseen un Índice de vulnerabilidad (IV) de 2,29 y 2,24 respectivamente, lo que representa cierta vulnerabilidad a la sequía. Por su parte, *J. macrocarpa* presentó un IV de 0,95, considerablemente menor en relación a las otras dos especies, lo que indica que este taxón sería más resistente a la sequía.

El Índice de mesomorfía (IM) es similar en *J. excisa* (697,9) y *J. hieronymi* (629,33), mientras que en *J. macrocarpa* es considerablemente menor (210,61). A pesar de estas diferencias, las tres especies responden a un xilema mesofítico.

El Índice de agrupamiento de los vasos (IVg) es mayor a 1 en los tres taxones, lo cual significa que los vasos se encuentran agrupados en el xilema secundario.

En la Tabla 3, se presentan los valores de los tres índices analizados en cada especie.

Especies	Índice de vulnerabilidad (IV)	Índice de mesomorfía (IM)	Índice de agrupamiento de los vasos (IVg)
<i>J. excisa</i>	2,29	697,9	2,88
<i>J. hieronymi</i>	2,24	629,33	3,1
<i>J. macrocarpa</i>	0,95	210,61	2,83

Tabla 3. Índices de vulnerabilidad, mesomorfía y agrupamiento de los vasos.

DISCUSIÓN

El ritidoma es propio de especies perennes con crecimiento secundario. *Jatropha hieronymi* y *J. macrocarpa* poseen un ritidoma que se desprende en láminas papiráceas lo que concuerda con lo publicado por Fernández Casas & Pizarro Domínguez (2007a) y Fernández Casas & Pizarro Domínguez (2007b) para dichos taxones. Esta característica de la peridermis contribuye a evitar la desecación en plantas que viven en un ambiente semiárido, y genera un aislamiento térmico contra los inviernos de congelación, permitiendo a las plantas sobrevivir a bajas temperaturas (Tavecchio *et al.*, 2016).

La presencia de lenticelas y cicatrices foliares, ha sido reportada también en otros miembros del género *Jatropha*, como en *Jatropha multifida* L. y *Jatropha podagrica* Hooker (Fernández Casas, 2016).

Las características anatómicas del tallo de los miembros del género *Jatropha*, muestran una marcada consistencia y uniformidad, no solo en la composición de los tejidos sino también en la disposición de los mismos (Oladipo & Illoh, 2012). Los tejidos en el tallo secundario de los taxones analizados se distribuyen siguiendo el modelo más común en Euphorbiaceae (Webster, 2014).

Thakur & Patil (2012) estudiaron la anatomía del tallo con crecimiento primario de algunas especies de la familia Euphorbiaceae y encontraron que la corteza es generalmente ancha y rara vez estrecha, lo que se mantiene en los tallos con crecimiento secundario tal como se observó en este trabajo. Se ha sugerido que, en plantas xerófitas, una corteza gruesa puede ser más eficiente para proteger los tejidos vasculares de la sequía u otros daños (Fahn & Cutler, 1992).

El colénquima, tejido mecánico de soporte y protección en tallos de plantas leñosas que están ligeramente modificadas por el crecimiento secundario, suele encontrarse en una posición periférica, inmediatamente debajo de la peridermis (Leroux, 2012). Las tres especies aquí analizadas contienen estratos de colénquima en dicha ubicación. Este tejido también está presente en tallos con crecimiento primario, lo cual es común en la familia Euphorbiaceae, registrándose previamente en *Jatropha panduraefolia* Andr. (Thakur & Patil, 2012).

Los tejidos esclerenquimáticos confieren rigidez y resistencia a la tracción y al corte en muchos órganos de la planta (Leroux, 2012). Thakur & Patil (2012) demostraron que la presencia de esclerénquima en las cercanías del floema es frecuente en la familia Euphorbiaceae, característica que se observa en los tallos de las especies estudiadas, sobre todo en *J. excisa* y *J. hieronymi* donde es más notable. Las fibras con paredes fuertemente lignificadas cumplen una importante función

protectora de los elementos conductores en plantas que habitan en lugares áridos (Fahn & Cutler, 1992).

El tallo de los vegetales que viven en ambientes secos puede almacenar materiales de reserva en el parénquima, desempeñando un papel en la preservación de las especies xerófitas (Fahn & Cutler, 1992). El almacenamiento de almidón es una fuente de reserva energética de extrema utilidad para aquellas plantas que habitan en ambientes adversos. Malbrán Barros (2018) la presencia de gránulos de almidón en el parénquima cortical y medular del tallo primario de *J. excisa* y *J. macrocarpa*; en contraposición, encontró menor acumulación en el tallo de *J. pedersenii*, especie que habita en el litoral argentino, una región más húmeda. En el presente trabajo se corroboró la presencia del compuesto también en tallos secundarios de *J. excisa* y *J. macrocarpa*, observándose más abundancia en la última entidad y se constató además que *J. hieronymi* posee almidón al igual que otras especies del género como *Jatropha maheswarii* Subr. & Nayar (Uthayakumari & Sumathy, 2011) y *J. curcas* (Tavecchio *et al.*, 2016).

En ambientes áridos y semiáridos, la producción de biomasa vegetal es costosa, por lo tanto, las plantas han desarrollado diversos mecanismos para evitar la pérdida de biomasa causada por la herbivoría o el ataque de microorganismos (Fahn & Cutler, 1992). Los taninos son toxinas con propiedades defensivas y actúan como repelentes alimenticios de gran diversidad de herbívoros; sirven también de defensa contra organismos patógenos como hongos y bacterias (Taiz & Zeiger, 2006). Además, se considera que la elevada concentración de taninos constituye un posible mecanismo de defensa contra altos niveles de radiación solar (Rugna *et al.*, 2007). Las tres especies analizadas contienen taninos en el colénquima, en el parénquima cortical y en el xilema, lo cual podría ser ventajoso respecto a otras especies de ambientes áridos que no presentan ese compuesto.

Otra de las sustancias ergásticas que producen algunos vegetales son los cristales. Se ha propuesto que los mismos pueden desempeñar diversas funciones, entre ellas, el mantenimiento de los niveles de calcio de la planta, servir como mecanismo de defensa contra herbívoros, como soporte estructural o para dispersar los rayos solares en plantas sometidas a intensa radiación del sol (Jáuregui-Zúñiga & Moreno Cárcamo, 2004). En *J. excisa*, *J. hieronymi* y *J. macrocarpa* se encontraron cristales en el parénquima cortical, de forma poliédrica y drusas. Por su parte, Malbrán Barros (2018) registró la presencia de ellos en los tallos con crecimiento primario de *J. excisa*, *J. macrocarpa* y *J. pedersenii*.

Las especies analizadas en este estudio se caracterizan por poseer laticíferos en el parénquima

cortical, floema, y en el caso de *J. excisa* y *J. hieronymi* también en la médula. El látex es una suspensión o emulsión acuosa de varios tipos de partículas que se encuentran dentro de células vivas secretoras (Lewinsohn, 1991). Hay evidencia directa sobre sus propiedades defensivas contra la herbivoría, además protege de los agentes patógenos y actúa en el sellado de heridas, confiriendo éxito evolutivo a las plantas que poseen laticíferos, en relación a las que carecen de ellos (Farrell *et al.*, 1991). Dehgan & Craig (1978) documentaron la presencia de estas estructuras secretoras en 35 especies de *Jatropha*. Por su parte, Malbrán Barros (2018) menciona la existencia de laticíferos en los tallos con crecimiento primario de *J. excisa*, *J. macrocarpa* y *J. pedersenii*, y también hace referencia a la mayor abundancia en las proximidades del floema.

Respecto a las conexiones entre los elementos conductores del xilema, las tres especies analizadas poseen puntuaciones intercelulares alternas, que son el tipo más común en las dicotiledóneas (Carlquist, 1988; IAWA Committee, 1989). Oladipo & Illoh (2012) examinaron la anatomía de la madera de cinco especies de *Jatropha* en Nigeria, y sus observaciones concuerdan con los registros obtenidos en este estudio.

Los caracteres morfo-anatómicos del tallo con crecimiento secundario, en las tres especies analizadas en este trabajo, incluyen: ritidoma exfoliante, corteza con varios estratos celulares, grupos de fibras perivasculares, sustancias ergásticas en corteza, tejido vascular y médula (látex, cristales, taninos y gránulos de almidón). Estas características contribuyen a que las plantas puedan vivir en un ambiente donde las precipitaciones son escasas y las temperaturas son altas.

En cuanto a las variables cuantitativas analizadas, en las tres especies se encontraron vasos xilemáticos numerosos, de diámetro pequeño y longitudes cortas. Estas características permiten que las plantas puedan soportar el estrés hídrico en regiones áridas y semiáridas; los elementos conductores cortos son más resistentes al colapso o deformación que los largos, debido al reforzamiento proporcionado por las paredes de los extremos, y confieren mayor seguridad al proceso conductivo; en cuanto a la estrechez de los vasos, está correlacionada inversamente con el número de vasos (Carlquist, 1977, 1988). Es de destacar que *J. macrocarpa* se diferenció significativamente de las otras dos especies por poseer los vasos aún más chicos, más numerosos y de longitudes más cortas.

El porcentaje del xilema es un carácter anatómico que define la capacidad de transporte de agua en las plantas, observándose que, a medida que el porcentaje de este tejido vascular aumenta, la cantidad de agua transportada es mayor, lo que podría indicar que estas características están asociadas a condiciones de baja humedad en el suelo (Sory Toure *et al.*, 2010). A pesar de

que *J. excisa* presentó menor cantidad de vasos respecto a las otras dos especies, y éstos son más anchos y largos, es la que posee mayor porcentaje de xilema, lo que le facilitaría la conducción del agua.

El IVg mayor a 1 en las tres especies representa vasos agrupados. Según la clasificación de IAWA Committee (1989), el agrupamiento entraría dentro de “vasos parcialmente solitarios y parcialmente agrupados en múltiplos radiales”. Este agrupamiento brinda mayor seguridad en la conducción de acuerdo a la explicación de Carlquist (1977), quien comenta que cuanto más numerosos sean los vasos, éstos tienden a agruparse y así resisten las tensiones de agua más eficazmente por el apoyo mutuo que los vasos aislados; además, menor es la posibilidad de que la inhabilitación de un número dado de vasos por embolias ocasionadas bajo estrés hídrico perjudique seriamente la conducción en las plantas.

El IV de 0,95 en *J. macrocarpa* indica que dicha especie presenta un número y diámetro de vasos que le brindan resistencia a la sequía. En cuanto a *J. excisa* y *J. hieronymi*, si bien sus IV indicaron vulnerabilidad a la sequía, los valores obtenidos fueron muy bajos, cercanos a 1, lo cual podría indicar una baja vulnerabilidad, considerando que algunas especies de regiones húmedas tienen IV tan altos como 73,33 para *Chorisia insignis* HBK & K. y 42,50 para *Chorisia speciosa* A. St.-Hil. (Moglia & Giménez, 1998). Montaña Arias *et al.* (2013) obtuvieron un IV de 3,56 para *Mimosa hexandra* M. Micheli, especie del matorral xerófito de México que habita en un clima cálido subhúmedo con precipitaciones en verano, la cual fue considerada como una especie de resistencia intermedia al estrés hídrico.

En cuanto al IM, en los tres casos es mayor a 200, lo que representa un xilema mesofítico. Sin embargo, el IM de *J. macrocarpa* es bastante menor al *J. excisa* y *J. hieronymi*, pudiendo indicar que este taxón es menos vulnerable al estrés hídrico.

Según Carlquist & Hoekman (1985) y Lindorf (1994), cuando las relaciones calculadas, como el IV y el IM, no parecen ajustarse al grado de xeromorfía esperado en función del hábitat, podría deberse a la presencia de soluciones al ambiente árido en otros órganos o en procesos fisiológicos, pues una arquitectura hidráulica segura es solo una de las formas alternativas para que una planta pueda sobrevivir en situaciones de estrés hídrico, contrarrestando las tensiones impuestas por el clima.

Malbrán Barros (2018) encontró características propias de plantas que viven en ambientes secos en la hoja de *J. excisa* y *J. macrocarpa*: abundantes tricomas, un parénquima en empalizada grueso y estomas en ambas caras de la hoja.

Este trabajo brinda información útil sobre tres especies que recientemente están siendo exploradas por su posible aptitud para ser utilizadas como cultivos energéticos. Aranda Rickert *et al.* (2011) encontró que *J. excisa*, *J. macrocarpa* y *J. hieronymi* tienen un alto porcentaje de materia prima para la producción de biodiesel. Por su parte, Falasca & Ulberich (2008a) delimitaron al noreste del país el área geográfica óptima para el desarrollo agroforestal de *J. macrocarpa* y *J. hieronymi*, y se está evaluando la posibilidad de un nuevo cultivo de *J. macrocarpa* en tierras del Chaco árido (Wassner *et al.*, 2012).

Las especies estudiadas pertenecen a dos secciones delimitadas por caracteres morfológicos. *Jatropha macrocarpa* y *J. hieronymi* a la sección *Peltatae* y *J. excisa* a la sección *Jatropha* (Dehgan, 1982; Dehgan & Schutzman, 1994). Sin embargo, estos estudios anatómicos del tallo con crecimiento secundario revelan que existe gran similitud en los caracteres de *J. excisa* y *J. hieronymi*: poseen grandes grupos de fibras en la corteza, gránulos de almidón menos abundantes en corteza y en médula, presencia de laticíferos en la médula y mayor porcentaje de xilema secundario. En cuanto a las variables e índices analizados, también hay similitud en los valores. *Jatropha macrocarpa*, en general, difirió significativamente de las otras dos especies. Por lo visto, los caracteres anatómicos de tallo secundario no aportan datos suficientes para separar las especies en secciones diferentes. Posiblemente, las diferencias estén más relacionadas con las características del ambiente en que crecen las plantas. Este análisis podría servir como fuente para futuros estudios ecológicos-anatómicos, tanto de estos taxones como de otras entidades del género.

CONCLUSIONES

- ♦ Este trabajo brinda información novedosa sobre tres especies que son potenciales productoras de biodiesel.
- ♦ Los caracteres cualitativos del tallo con crecimiento secundario de las tres especies muestran una marcada consistencia y uniformidad en cuanto a la distribución y características de sus tejidos.
- ♦ Los caracteres anatómicos no aportan datos suficientes que avalen la posición taxonómica de *J. excisa* y *J. hieronymi* en secciones distintas.
- ♦ Las tres especies analizadas exhiben características morfo-anatómicas propias de plantas que habitan ambientes secos: súber exfoliante, corteza ancha, acumulación de gránulos de almidón, grupos de fibras perivasculares, vasos xilemáticos cortos, estrechos, numerosos y agrupados.
- ♦ El tallo de los tres taxones presenta taninos, látex y cristales, que brindan protección contra la herbivoría y contra la intensa radiación solar, representando una ventaja respecto a otras especies de ambientes áridos que no poseen esas características.
- ♦ *Jatropha macrocarpa* posee un IV que representa resistencia a la sequía. En *J. excisa* y *J. hieronymi*, el IV no se corresponde con plantas de ambientes secos, sin embargo los valores no están tan alejados de lo citado para especies xerófitas.
- ♦ En las tres especies, el IM no se ajusta con lo esperado para especies de lugares con poca humedad, lo cual podría deberse a otras soluciones alternativas.
- ♦ Para tener una visión más completa de las características morfo-anatómicas en relación al ambiente seco es importante continuar con estudios morfo-anatómicos de la raíz de estas especies.

BIBLIOGRAFÍA

- ♦ Achten, W. M., Verchot, L., Franken, Y. J., Mathijs, E., Singh, V. P., Aerts, R., & Muys, B. (2008). *Jatropha bio-diesel production and use*. Biomass and Bioenergy, 32(12), 1063-1084.
- ♦ Anton, A. M. & Zuloaga, F. O. (2019). *Flora Argentina* [online]. Extraído el 29 de abril de 2019. Disponible en: <http://www.floraargentina.edu.ar>
- ♦ Aranda Rickert, A. (2011). *Ecología de la dispersión de semillas por hormigas en Jatropha excisa Griseb. (Euphorbiaceae)*. (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires.
- ♦ Aranda Rickert, A., Morzán, L. & Fracchia, S. (2011). *Seed oil content and fatty acid profiles of five Euphorbiaceae species from arid regions in Argentina with potential as biodiesel source*. Seed Science Research, 21(1), 63-68.
- ♦ Burkill, H. M. (1994). *The useful plants of west tropical Africa. Volume 2: Families E-I*. Kew, U.K. Ed. Royal Botanic Gardens.
- ♦ Cabrera, Á. L. (1976). *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Segunda Edición, Tomo II. Fascículo 1: Regiones Fitogeográficas Argentinas*. Buenos Aires, Argentina. Ed. Acme S.A.C.I.
- ♦ Carlquist, S. (1977). *Ecological factors in wood evolution: a floristic approach*. American Journal of Botany, 64(7), 887-896.
- ♦ Carlquist, S. (1988). *Comparative wood anatomy. Systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Berlín, Alemania. Ed. Springer Series in Wood Science.
- ♦ Carlquist, S. & Hoekman, D. A. (1985). *Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora*. IAWA Bulletin n.s, 6(4), 319-347.
- ♦ D'Ambrogio de Argüeso, A. (1986). *Manual de técnicas en histología vegetal*. Buenos Aires, Argentina. Ed. Hemisferio Sur.
- ♦ Dehgan, B. (1982). *Comparative anatomy of the petiole and infrageneric relationships in Jatropha (Euphorbiaceae)*. American Journal of Botany, 69(8), 1283-1295.
- ♦ Dehgan, B. & Schutzman, B. (1994). *Contributions toward a monograph of neotropical Jatropha: phenetic and phylogenetic analyses*. Annals of the Missouri Botanical Garden, 81(2), 349-367.
- ♦ Dehgan, B., & Craig, M. E. (1978). *Types of laticifers and crystals in Jatropha and their taxonomic implications*. American Journal of Botany, 65(3), 345-352.
- ♦ Dehgan, B. & Webster, G. L. (1979). *Morphology and infrageneric relationships of the genus*

Jatropha (Euphorbiaceae). California, E.E. U.U. Ed. University of California Press.

- ♦ Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. (2018) *InfoStat*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina [online]. Extraído el 29 de abril de 2019. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- ♦ Fahn, A. & Cutler, D. F. (1992). *Xerophytes*. Stuttgart, Alemania. Ed. Gebrüder Borntraeger.
- ♦ Falasca, S. & Ulberich, A. (2008a). *Las especies del género Jatropha para producir biodiesel en Argentina*. Revista Virtual Redesma, 2(1), 1-19.
- ♦ Falasca, S. L. & Ulberich, A. (2008b). *Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de forestaciones con Jatropha sp. (J. curcas, hieronymi y macrocarpa)*. Revista Virtual Redesma, 2(2), 1-15.
- ♦ Farrell, B. D., Dussourd, D. E. & Mitter, C. (1991). *Escalation of Plant Defense: Do Latex and Resin Canals Spur Plant Diversification?*. The American Naturalist, 138(4), 881-900.
- ♦ Fernández Casas, F. (2016). *Acerca del género Jatropha (Euphorbiaceæ) en Insulindia*. Adumbrationes ad Summae Editionem, 73, 1-58.
- ♦ Fernández Casas, F. J. & Pizarro Domínguez, J. M. (2007a). *Otras dos Jatrophae (Euphorbiaceæ) de Paraguay*. Adumbrationes ad Summae Editionem, 19, 1-32.
- ♦ Fernández Casas, F. J. & Pizarro Domínguez, J. M. (2007b). *Jatropha Hieronymi Kuntze (Euphorbiaceæ) nomenclatura, sistemática, morfología y distribución*. Adumbrationes ad Summae Editionem, 28, 1-28.
- ♦ Font, F. (2003). *Las especies del género Jatropha L (Euphorbiaceae, Crotonoideae) en Argentina*. Revista del Círculo de Coleccionistas de Cactus y Crasas de la República Argentina, 2(1), 4-20.
- ♦ Heller, J. (1996). *Physic nut. Jatropha curcas L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. Roma, Italia. Ed. International Board for Plant Genetic Resources.
- ♦ Hueck, K. (1978) *Los Bosques de Sudamérica. Ecología, composición e importancia económica*. Eschborn, Alemania. Ed. GTZ.
- ♦ IAWA Committee. (1989). *IAWA list of microscopic features for hardwood identification*. IAWA Bulletin n. s. 10(3), 219-332.
- ♦ Jáuregui-Zúñiga, D. & Moreno Cárcamo, A. (2004). *La biomineralización del oxalato de calcio en plantas: retos y potencial*. REB, 23(1), 18-23.
- ♦ Kraus, J. E., de Sousa, H. C., Rezende, M. H., Castro, N. M., Vecchi, C. & Luque, R. (1998).

- Astra blue and basic fuchsin double staining of plant materials*. Biotechnic & Histochemistry, 73(5), 235-243.
- ♦ León, W. J. (2005). *Anatomía ecológica del xilema secundario de un bosque seco tropical de Venezuela*. Acta Botánica Venezuelica, 28(2), 257-274.
 - ♦ Leroux, O. (2012). *Collenchyma: a versatile mechanical tissue with dynamic cell walls*. Annals of botany, 110(6), 1083-1098.
 - ♦ Lewinsohn, T. M. (1991). *The geographical distribution of plant latex*. Chemoecology, 2, 64-68.
 - ♦ Lindorf, H. (1994). *Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest*. Iawa Journal, 15(4), 361-376.
 - ♦ Malbrán Barros, A., Cabrera, V., Cosa, M. T. & Matesevach, M. (2016). *Anatomía vegetativa y estudios histoquímicos en especies nativas de Jatropha (Euphorbiaceae) con uso potencial para la producción de biodiesel*. II Reunión Argentina de Jóvenes Botánicos. San Juan, Argentina. Pag. 140.
 - ♦ Malbrán Barros, A., Cabrera, V., Cosa, M. T. & Matesevach, M. (2017). *Anatomía foliar comparada en especies de Jatropha (Euphorbiaceae) nativas de Argentina*. XXXVI Jornadas Argentinas de Botánica. Mendoza, Argentina.
 - ♦ Malbrán Barros, A. (2018). *Morfo-anatomía vegetativa en especies de Jatropha (Euphorbiaceae) con especial referencia a las estructuras secretoras*. (Tesina de grado). Universidad Nacional de Córdoba.
 - ♦ Moglia, G. & Giménez, A. M. (1998). *Rasgos anatómicos característicos del hidrosistema de las principales especies arbóreas de la región chaqueña argentina*. Forest Systems, 7(1y2), 53-71.
 - ♦ Moglia, J. G. & López, C. R. (2001). *Estrategia adaptativa del leño Aspidosperma quebracho blanco*. Madera y Bosques, 7(2), 13-25.
 - ♦ Montañó Arias, S. A., Camargo Ricalde, S. L. & Pérez Olvera, C. D. L. P. (2013). *Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género Mimosa (Leguminosae-Mimosoideae)*. Botanical Sciences, 91(1), 1-10.
 - ♦ Oladipo, O. T. & Illoh, H. C. (2012). *Comparative wood anatomy of some members of the genus Jatropha (Euphorbiaceae) found in Nigeria*. Phytologia Balcanica, 18(2), 141-147.
 - ♦ Rasband, W. S. (2018). *ImageJ 1.50i*. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA [online]. Extraído el 29 de abril de 2019. Disponible en: <https://imagej.nih.gov/ij/>

- ♦ Rugna, A., Ricco, R., Gurni, A., & Wagner, M. (2007). *Efectos de la radiación solar sobre la producción de polifenoles en ejemplares femeninos de Smilax Campestris Griseb.- Smilacaceae*. Latin American Journal of Pharmacy, 26(3), 420-423.
- ♦ Servicio Meteorológico Nacional. (2019). *Clima en la Argentina. Guía Climática por localidades* [online]. Extraído el 29 de abril de 2019. Disponible en: <https://www.smn.gov.ar/caracterizacion-estadisticas-de-largo-plazo>
- ♦ Sory Toure, A., Nieto Ángel, R., Rodríguez Pérez, J. E., Barrientos Priego, A. F., Ibáñez Castillo, L. A., Romanchik, K. E. & Núñez Colín, C. A. (2010). *Variación anatómica del xilema en tallo de cultivares de tomate injertados en un tipo criollo*. Revista Chapingo Serie Horticultura, 16(1), 67-76.
- ♦ Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal (Volumen I)*. Castelló de la Plana, España. Ed. Universitat Jaume.
- ♦ Tavecchio, N., Reinoso, H., Ruffini Castiglione, M., Spanò, C. & Pedranzani, H. E. (2016). *Anatomical Studies of Two Jatropha Species with Importance for Biodiesel Production*. Journal of Agricultural Science, 8(9), 84-94.
- ♦ Thakur, H. A. & Patil, D. A. (2012). *Anatomy of stem in some Euphorbiaceae -II*. Journal of Experimental Sciences, 3(3), 39-44.
- ♦ Uthayakumari, F. & Sumathy, M. (2011). *Pharmacognostical studies on the endemic medicinal plant – Jatropha maheswarii Subr. & Nayar (Euphorbiaceae)*. International Journal of PharmTech Research, 3(4), 2169-2174.
- ♦ Wassner, D., Larran, A. & Rondanini, D. (2012). *Evaluation of Jatropha macrocarpa as an oil crop for biodiesel production in arid lands of the Dry Chaco, Argentina*. Journal of Arid Environments, 77, 153-156.
- ♦ Webster, G. L. (2014). *Euphorbiaceae*. En: K. Kubitzki. Ed. Flowering Plants. Eudicots. *The Families and Genera of Vascular Plants, vol 11*. (pp. 51-216). Berlín, Heidelberg, Alemania. Ed. Springer-Verlag.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas aquellas personas que permitieron la realización de este trabajo final:

- ◆ A SECyT, por proporcionar el subsidio con el cual se pudo llevar a cabo la presente tesina.
- ◆ A mi directora Marisa y a mi co-directora Verónica, por abrirme las puertas desde el primer momento para realizar este trabajo. Gracias por la paciencia, la ayuda constante y la enseñanza que me brindaron a lo largo de este proceso.
- ◆ A la Dra. María Teresa Cosa por proveerme parte del material utilizado en este estudio.
- ◆ A la Cátedra de Morfología Vegetal por permitirme realizar este trabajo en dicho espacio y brindarme los materiales, instrumentos y herramientas para llevar a cabo mi tesina.
- ◆ A mi familia, principalmente a mi madre, por la confianza y la paciencia infinita. Gracias por el apoyo de siempre, el aguante y el amor eterno.
- ◆ A mis amigos del colegio, de la facultad, de Vidón, de Batuqueando y de la vida, por la alegría que le brindan a mis días.
- ◆ Al rock, al samba reggae y al feminismo, pasiones y motores de mi vida.