

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas



VOLUMEN 64 No. 1

ENERO - MARZO 2019

ISSN 0526-717X

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 64 No. 1
Enero-marzo 2019

Editor Fundador
Jorge Meyrán

Consejo Editorial
Anatomía y Morfología
Dra. Teresa Terrazas
Instituto de Biología, UNAM

Ecología
Dr. Arturo Flores-Martínez
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN
Dr. Pablo Ortega-Baés
Universidad de Salta Argentina

Etnobotánica
Dr. Javier Caballero Nieto
Jardín Botánico IB-UNAM

Evolución y Genética
Dr. Luis Eguiarte
Instituto de Ecología, UNAM

Fisiología
Dr. Oscar Briones
Instituto de Ecología A. C.

Florística
M. en C. Francisco González Medrano †
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco
Dr. Luis G. Hernández Sandoval
Universidad Autónoma de Querétaro
M. en C. Aurora Chimal Hernández
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

Horticultura
Dr. Candelario Mondragón Jacobo, INIFAP-UAQ
Dr. Elhadi Yahia
Universidad Autónoma de Querétaro

Química y Biotecnología
Dr. Francisco Roberto Quiroz Figueroa
Instituto Politécnico Nacional, Unidad Sinaloa

Sistemas Reproductivos
Dra. Sonia Vázquez Santana
Facultad de Ciencias, UNAM
Dr. Jafet Nassar
Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas

Taxonomía y Sistemática
Dr. Fernando Chiang
Instituto de Biología, UNAM
Dr. Roberto Kiesling
CRICYT, Argentina
Dr. John Rebmán
Museo de Historia Natural, San Diego

Editores
Dr. Jordan Golubov
UAM-Xochimilco
Dra. María C. Mandujano Sánchez
Instituto de Ecología, UNAM
Dr. Humberto Suzán Azpíri
Facultad de Ciencias Naturales, UAQ, campus Juriquilla

Asistentes editoriales
Dra. Mariana Rojas Aréchiga
Instituto de Ecología, UNAM
Dra. Guadalupe Malda Barrera
Facultad de Ciencias Naturales, UAQ, campus Juriquilla

Diseño editorial y versión electrónica
Palabra en Vuelo, SA de CV

Impresión
Litográfica Dorantes SA de CV
Se imprimieron 1000 ejemplares, marzo de 2019
SOCIEDAD MEXICANA DE CACTOLOGÍA, AC

Presidenta Fundadora
Dra. Helia Bravo-Hollis †

Fotografía de portada:
Micromorfología de semilla
de *Gymnocycium mihanovichii*
Silvia Espinosa-Matías

Cactáceas y Suculentas Mexicanas es una revista trimestral de circulación internacional y arbitrada, publicada desde 1955, su finalidad es promover el estudio científico y despertar el interés en esta rama de la botánica.

El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y se encuentran bajo la licencia Creative Commons .

La revista *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* se encuentra registrada en los siguientes índices: CAB Abstracts, BIOSIS (Thomson Reuters), Periodica y Latindex.

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* published since 1955.

The articles are under the Creative Commons license .

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* is registered in the following indices: CAB Abstracts, BIOSIS (Thomson Reuters), Periodica and Latindex.

Dirección editorial (editor's address): *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, Instituto de Ecología, UNAM, Apto. Postal 70-275, Cd. Universitaria, 04510, Ciudad de México, México.

Correo electrónico: cactsucmex@iecolgia.unam.mx

Suscripciones



El costo de suscripción y envío a la revista es de \$480.00 para México y 45 USD o 39 € para el extranjero. Suscripción y entrega en Lab. Genética y Ecología, Instituto de Ecología, UNAM (Dra. Mariana Rojas) \$400.00.

• Pago de suscripción mediante depósito en BBVA Bancomer a la cuenta: 0446308554 a nombre de Palabra en Vuelo SA de CV.

• Para transferencia en el mismo banco y cuenta con la CLABE: 012180004463085547.

• Para transferencia internacional añadir la clave: BCMRMXMPYM.

• Mediante PayPal enviar a la cuenta con el correo:

palabraenvuelo1@gmail.com

Enviar comprobante de pago a los correos: mrojas@ecologia.unam.mx y palabraenvuelo@yahoo.com.mx

Subscription rates (includes shipment): 45.00 USD or 39.00 €.

• For national bank transfer in BBVA Bancomer with the account: 0446308554, CLABE: 012180004463085547.

• For international bank transfer in the same bank and account add the code: BCMRMXMPYM.

• For payment via PAYPAL, send the paid amount to palabraenvuelo1@gmail.com, then send proof of payment to mrojas@ecologia.unam.mx and palabraenvuelo@yahoo.com.mx

Consulta de la revista en formato digital en la siguiente liga (electronic editions available at the following link): web.ecologia.unam.mx/cactsucmex



Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro.

Cactáceas y Suculentas Mexicanas agradece la coedición y el financiamiento de esta publicación a los suscriptores y a los fondos aportados por la Universidad Autónoma de Querétaro.



CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 64 No. 1 enero - marzo 2019

Contenido

Micromorfología de semillas de Cactoideae que presentan elaiosomas Rios-Carrasco S, Espinosa-Matías S & Vázquez-Santana S.....	4
Metabolismo CAM en plántulas de <i>Agave angustifolia</i> Haw. (Asparagaceae) Arias-Medellín LA, Bonfil C, Briones O & Valverde T	17
Reseña del libro: 101 Cactus del Perú Martínez-Ávalos JG	27
Lista de revisores durante 2018	29
Normas editoriales	30
<i>Euphorbia antisiphilitica</i> Zucc. Rojas-Aréchiga M.....	32

Contents

Seed micromorphology of Cactoideae with elaiosomes Rios-Carrasco S, Espinosa-Matías S & Vázquez-Santana S.....	4
CAM in <i>Agave angustifolia</i> Haw. (Asparagaceae) seedlings Arias-Medellín LA, Bonfil C, Briones O & Valverde T	17
Book review: 101 Cactus del Perú Martínez-Ávalos JG	27
List of reviewers during 2018	29
Instructions for authors	30
<i>Euphorbia antisiphilitica</i> Zucc. Rojas-Aréchiga M.....	32

Micromorfología de semillas de Cactoideae que presentan elaiosomas

Rios-Carrasco Sandra^{1*}, Espinosa-Matías Silvia² & Vázquez-Santana Sonia^{1*}

Resumen

La micromorfología de semillas se utiliza como herramienta para conocer los atributos morfológicos que sirven para la delimitación de taxones, o bien, para conocer los caracteres relacionados con las interacciones que tienen las plantas con su entorno. Algunos de los caracteres que se estudian son el tamaño, la forma, la ornamentación, las características particulares de la epidermis de la testa y la presencia de apéndices seminales. Este estudio agrega información a las descripciones de las semillas de la familia Cactaceae, complementando particularmente el trabajo realizado por Barthlott y Hunt (2000) en la descripción detallada de las semillas de la subfamilia Cactoideae. En el presente trabajo se estudió la micromorfología de seis especies de Cactoideae con apéndices seminales, agregando un nuevo carácter, la presencia de glándulas seminales.

Palabras clave: apéndices seminales, glándulas seminales, *Lophophora*, microscopía electrónica de barrido.

Abstract

Seed micromorphology is an implement to determine the morphological traits that are useful for taxa delimitation and to know the features related to the plant interactions with their environment. Some traits analyzed are the size, shape, ornamentation, epidermic features of the testa and the presence of seed appendages. This study adds information to the seed descriptions of the Cactaceae family, complementing the work made by Barthlott and Hunt (2000) about the detailed seed descriptions of the subfamily Cactoideae. The aim of this work was to study the seed micromorphology of six species with seed appendages of the subfamily Cactoideae. We add a new trait, the presence of seed glands.

Key words: *Lophophora*, scanning electron microscopy, seed appendages, seed glands.

Introducción

La morfología de los organismos es uno de los principales atributos que se consideran para su clasificación, y entre las estructuras

que destacan por la diversidad de sus formas son las semillas (Barthlott 1981; Barthlott & Hunt 2000; Rojas-Aréchiga 2012). La microscopía electrónica de barrido se ha utilizado como herramienta para el estudio de la

¹ Laboratorio de Desarrollo en Plantas, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 04510, México.

² Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 04510, México.

* Autores de correspondencia: src18@ciencias.unam.mx ; svvs@ciencias.unam.mx

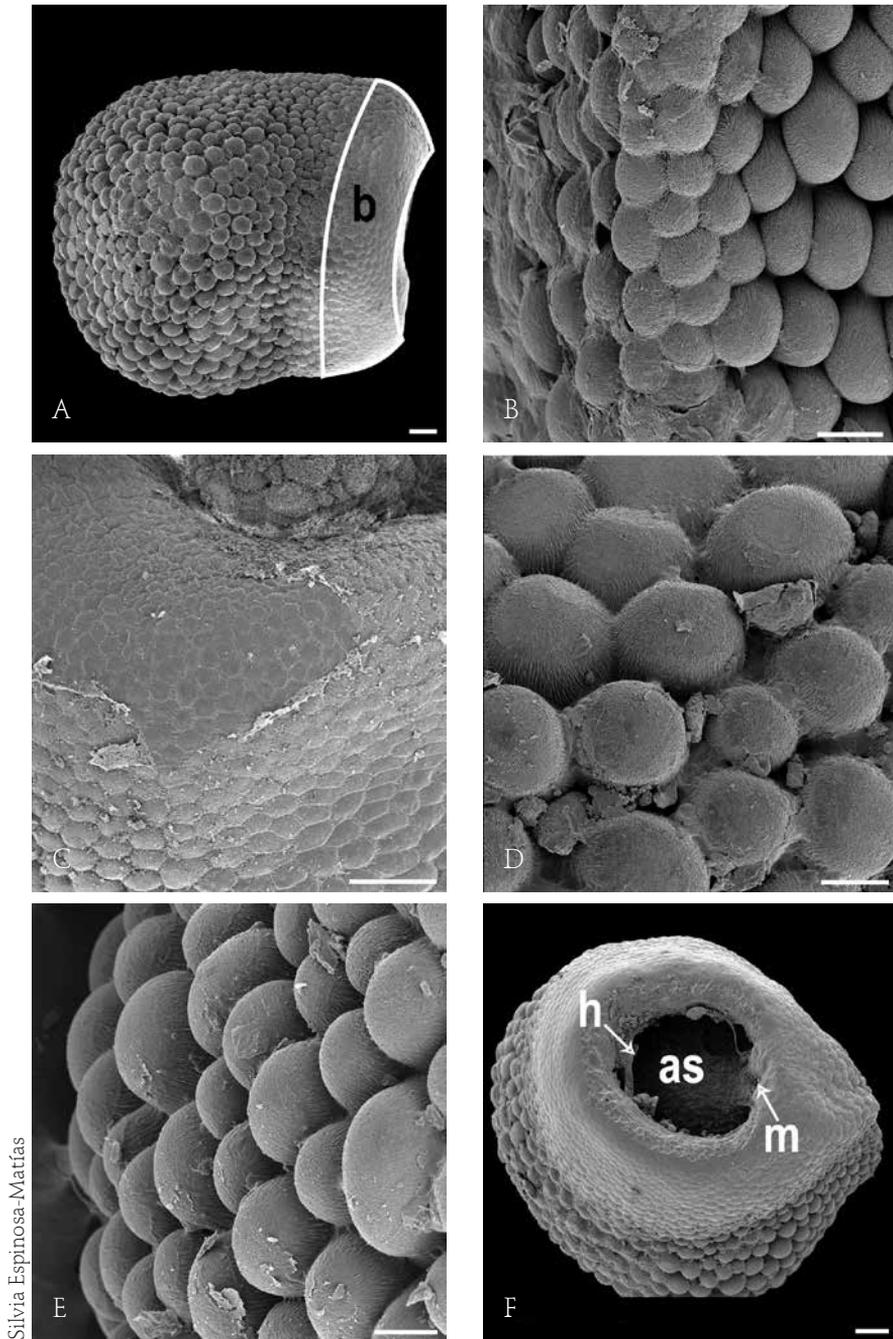


Sandra Ríos-Carrasco.

FOTO 1. Especies estudiadas. A. *Ariocarpus kotschoubeyanus*. B. *Gymnocalycium mihanovichii*. C. *Lophophora williamsii*. D. *Parodia otonis*. E. *Rebutia wessneriana*. F. *Thelocactus leucacanthus* sub. sp. *schmollii*.

micromorfología de las semillas, estudios de sistemática y evolución. Entre las características que se utilizan se encuentran el arreglo de las células de la epidermis, la forma de las células, el relieve de la pared celular y la forma que presentan las secreciones epicuticulares

(Barthlott 1981; Plaza *et al.* 2004) y estructuras más conspicuas como los apéndices seminales (van der Pijl 1972). Los apéndices seminales son estructuras de la parte externa de la semilla, cuya importancia radica en su relación con el modo de dispersión (Bregman



Silvia Espinosa-Matías

FOTO 2. Micromorfología de semilla de *Ariocarpus kotschoubeyanus*. A. Vista panorámica. B. Periferia. C. Zona del borde, se observa parte del elaisoma contenido en la copa hilar. D. Zona lateral. E. Zona apical. F. Zona hilo-micropilar, el apéndice contenido en la copa hilar se observa colapsado. as, apéndice seminal; b, borde (zona enmarcada en A); h, hilo; m, micrópilo. Escala: B, D, E= 40 μm ; A, C, F= 100 μm .

1988; van Rheede & van Rooyen 1999). Generalmente son estructuras con contenidos nutritivos asociados con la mirmecocoria (dispersión por hormigas) y se les conoce como elaiosomas, independientemente de su origen ontogenético (Sernander 1906; Lisci *et al.* 1996; Rojas-Aréchiga 2009). Los elaiosomas, además de representar una recompensa como mecanismo de atracción para los dispersores de las semillas (Gorb & Gorb 2003), también favorecen la flotación de las semillas, y facilitan procesos relacionados con la germinación como la entrada de agua (Lisci *et al.* 1996; Camacho-Velázquez *et al.* 2018).

En la familia Cactaceae se han realizado estudios que abordan la micromorfología de las semillas (Barthlott & Porembski 1996; Arias & Terrazas 2004; Arias & Sánchez-Martínez 2010), y un trabajo muy destacado es el de Barthlott & Hunt (2000), especialmente para Cactoideae, en el cual los autores realizaron un análisis sobre las características que deben considerarse para la descripción de las semillas de cactáceas, en total utilizan 26 caracteres relacionados con la forma de la semilla, la apariencia de la testa, la forma y tamaño de las células de la testa, la forma y el relieve de los límites anticlinales, la microestructura de las paredes periclinales y la zona hilo-micropilar. El estudio de la micromorfología de las semillas es de gran utilidad para estudios de taxonomía y filogenética, por lo cual se necesitan más estudios comparativos para complementar los trabajos existentes sobre la micromorfología de las semillas en Cactaceae, así como para indagar sobre la existencia de nuevos atributos morfológicos que puedan ser útiles en la delimitación de taxones. El objetivo del presente trabajo fue describir la micromorfología de las semillas de seis especies de la subfamilia Cactoideae como adición a la obra de Barthlott & Hunt (2000).

Material y métodos

Especies de estudio

Ariocarpus kotschoubeyanus (Lem.) K. Schum. Planta que crece debajo o sobre el nivel del suelo, con los tubérculos lateralmente divergentes, triangulares y aplanados, deprimidos centralmente y con ápice agudo, de color verde olivo oscuro, de 5-13 cm de longitud y de 3-7 cm de diámetro, con areolas a lo largo del surco central de cada tubérculo. Flores de color magenta, ocasionalmente blanquecinas. Con frutos alargados de 8-18 mm de longitud y 1.5-2.5 cm de diámetro. Se distribuye en México desde Coahuila hasta Querétaro. Se encuentra enlistada en el Apéndice I de CITES (Anderson 2001) (Foto 1A).

Gymnocalycium mihanovichii (Frič & Gürke) Britton & Rose. Planta solitaria. Con tallo globoso, verdes grisáceos, frecuentemente rojizos, con 3-5 cm de longitud, generalmente con ocho costillas, espinas suaves, flexibles, ligeramente curvas. Flores de color verde amarillento a verde olivo. Se distribuye en Paraguay, pero se cultiva ampliamente en varios países, entre ellos México (Anderson 2001) (Foto 1B).

Lophophora williamsii (Lem. ex Salm-Dyck) J.M. Coult. Planta solitaria o con crecimiento cespitoso, tallo globoso o globoso-aplanado, firmes al tacto, de color verde azulado, algunas veces verde rojizo, alcanzando tallas de 2-6 cm de longitud y entre 4-11 cm de diámetro. Generalmente con 4-14 costillas y surcos presentes, bien definidos, algunas veces sólo con podarios. Flores de color rosa, ocasionalmente rojas. Se distribuye en Texas y desde el Norte de México, hasta el estado de San Luis Potosí. El nombre común es peyote (Anderson 1969, 2001) (Foto 1C).

Parodia ottonis (Lehm.) N.P. Taylor. Planta solitaria al inicio, pero cespitosos tardíamente. Con tallos globosos que alcanzan de 3-15 cm de diámetro. Con 6-16 costillas bien definidas, redondeadas. Con escasas areolas, espinas rígidas, rectas o curvas.

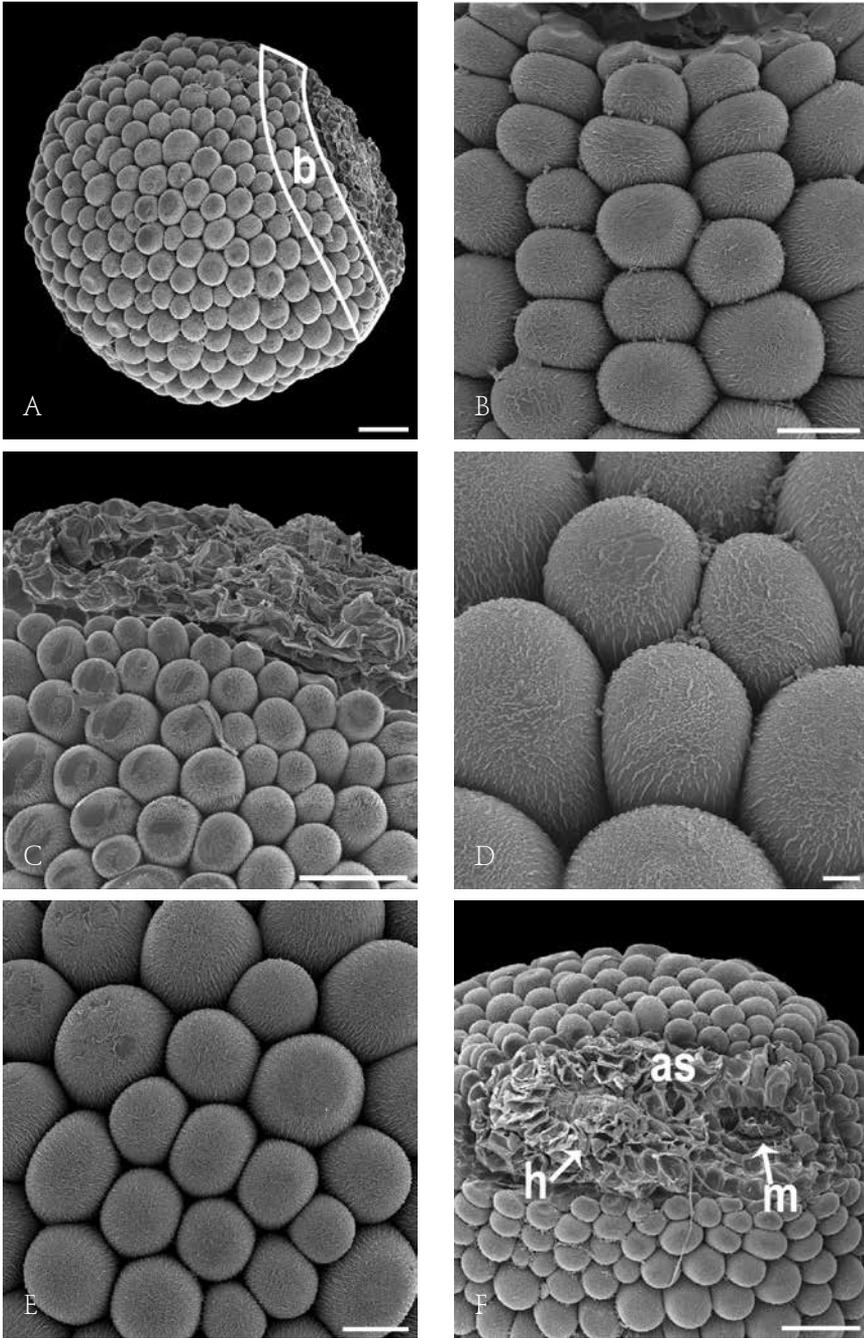


FOTO 3. Micromorfología de semilla de *Gymnocalycium mihanovichii*. A. Vista panorámica. B. Periferia. C. Zona de borde. D. Zona lateral. E. Zona apical. F. Zona hilo-micropilar. Apéndice deshidratado. as, apéndice seminal; b, borde (zona enmarcada en A); h, hilo; m, micrópilo. Escala: D= 10 μ m; B, E= 40 μ m; A, C, F= 100 μ m.

Flores generalmente amarillas, algunas veces anaranjadas de 5-6 cm de longitud. Se distribuye en Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina, y es una especie ampliamente propagada en otros países, como en México (Anderson 2001) (Foto 1D).

Rebutia wessneriana Bewerunge. Planta con crecimiento cespitoso, pequeña. Tallo globoso aplanado, de color verde brillante, carente de espinas en el ápice pero espinosos en la parte media y basal. La longitud alcanzada es de 8 cm y 8 cm de diámetro. Costillas arregladas espiralmente, algunas veces sin formar tubérculos, en caso de presentarse son generalmente hexagonales. Flores de color rojo. Se distribuye en el norte de Argentina, pero es ampliamente cultivada en otros países, incluyendo México (Anderson 2001) (Foto 1E).

Thelocactus leucacanthus subsp. *schmollii* (Werderm.) Mosco & Zanov. Planta con crecimiento cespitoso de tallo globoso a cortamente cilíndrico, de 4-15 cm de altura y 2.5-5 cm de diámetro. Con 7-14 costillas verticales o espiraladas, con tubérculos cónicos, pero redondeados en el ápice. Flores de color amarillo, violeta o rojo, de 2.5 a 5.2 cm de longitud. Se distribuye en México en los estados de Hidalgo y Querétaro (Anderson 2001) (Foto 1F).

Colecta del material biológico

Las semillas de *Ariocarpus kotschoubeyanus* y *Lophophora williamsii* fueron donadas por la Colección Especial de Cactáceas y Suculentas del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM. Las semillas de *Parodia ottonis*, *Rebutia minuscula* var. *wessneriana* y *Gymnocalycium mihanovichii* fueron colectadas en una pequeña colección de Cactáceas del Invernadero de la Facultad de Ciencias, UNAM y el material de *Thelocactus leucacanthus* subsp. *schmollii* se colectó en Vizarrón, Querétaro, México.

Microscopía electrónica de barrido

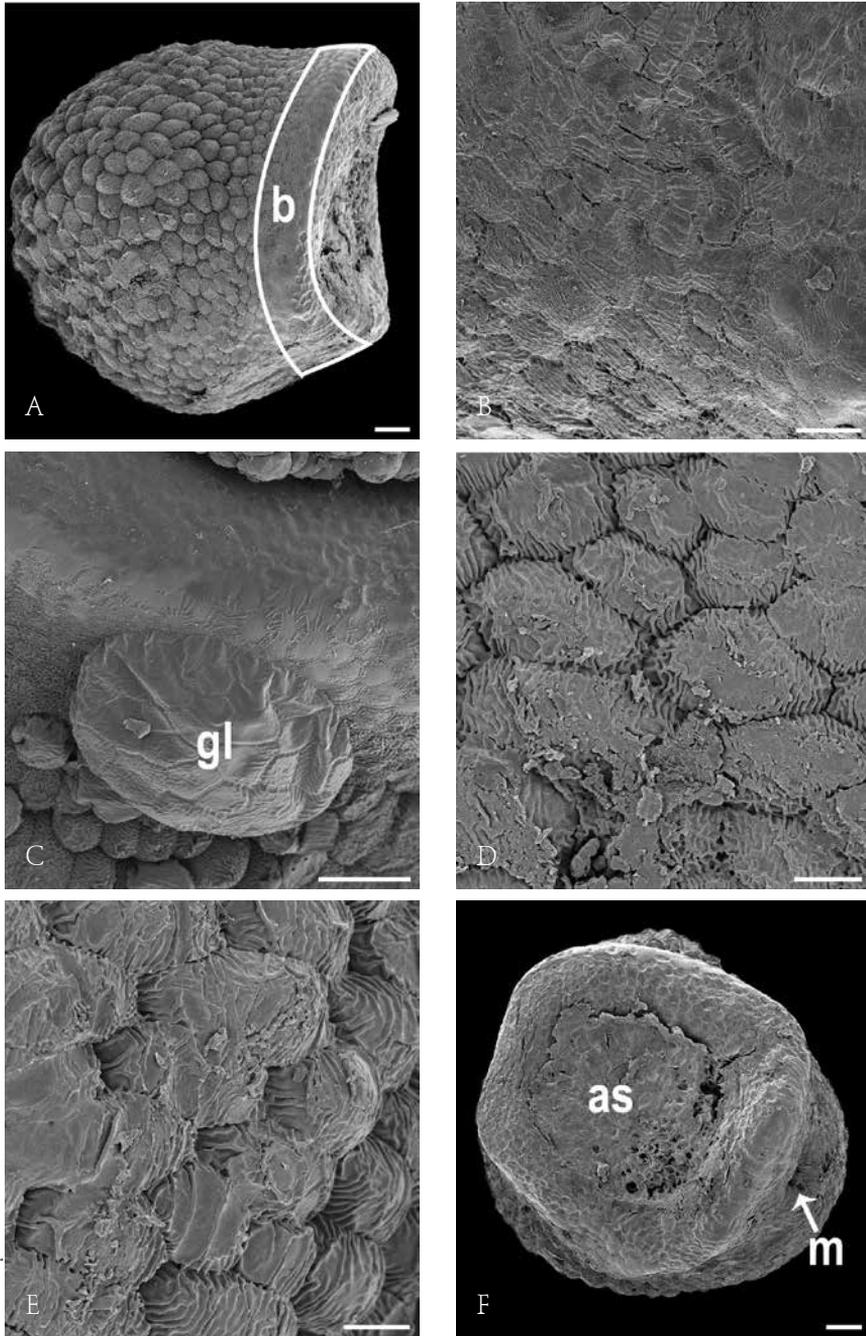
El material biológico se deshidrató gradualmente hasta etanol absoluto durante una hora en cada

concentración (70%, 85%, 96%, 100%, 100%). Para continuar con la deshidratación, el material se procesó en una desecadora de punto crítico con CO₂ modelo CPD-030 Bal-Tec. Al finalizar, el material se montó sobre portamuestras metálico con cinta conductora de carbón para posteriormente cubrirlas con oro en una ionizadora Denton Vacuum Desk-II. A continuación, se observaron las semillas al microscopio electrónico de barrido Jeol JSM-5310LV para la toma de fotomicrografías. Las observaciones se centraron en la vista panorámica de las semillas, la región hilo-micropilar y zona periférica, esta última con acercamientos en la zona del borde, zona lateral y zona apical, con ello resaltar la microestructura y forma de las células de la testa.

Resultados

A continuación se presenta la descripción micromorfológica de semilla de seis especies de la subfamilia Cactoideae. Todas las especies estudiadas presentan semillas con apéndices seminales, cuestión que actualmente se está estudiando para conocer el origen de éstos.

Ariocarpus kotschoubeyanus. Semilla casi simétrica en vista lateral con el hilo basal, forma ampliamente ovalada, con la base trunca, de tamaño mediano de acuerdo a la clasificación de Barthlott & Hunt (2000), de aproximadamente 1.30 mm de longitud (Foto 2A). Testa rugosa, papilosa de color café oscuro, mate, pero cambia a negro cuando se seca (no mostrado), periferia poco diferenciada (Foto 2B), borde ligeramente expandido alrededor de la región hilo-micropilar. Células de la testa circulares e isodiamétricas, abruptamente más pequeñas en la proximidad de la zona hilo-micropilar (Foto 2C). Los límites de las paredes anticlinales no se distinguen por ser profundas con respecto al abultamiento de las paredes



Silvia Espinosa-Matfas

FOTO 4. Micromorfología de la semilla de *Lophophora williamsii*. A. Vista panorámica. B. Periferia. C. Zona del borde con glándula que contiene polisacáridos. D. Zona lateral. E. Zona apical. F. Zona hilo-micropilar con el apéndice contenido en la copa hilar. as, apéndice seminal; b, borde (zona enmarcada en A); gl, glándula; m, micrópilo. Escala: B, D, E= 40 μm ; A, C, F= 100 μm .

periclinales externas (Foto 2D). La pared periclinal externa es convexa, altamente abovedada, con la cutícula estriada y escasas ceras epicuticulares que se desprenden (Foto 2E). La región hilo-micropilar es mediana, de forma redonda, basal, impresa y con el hilo y el micrópilo conjuntos (Foto 2F). Presenta un apéndice seminal contenido en la copa hilar.

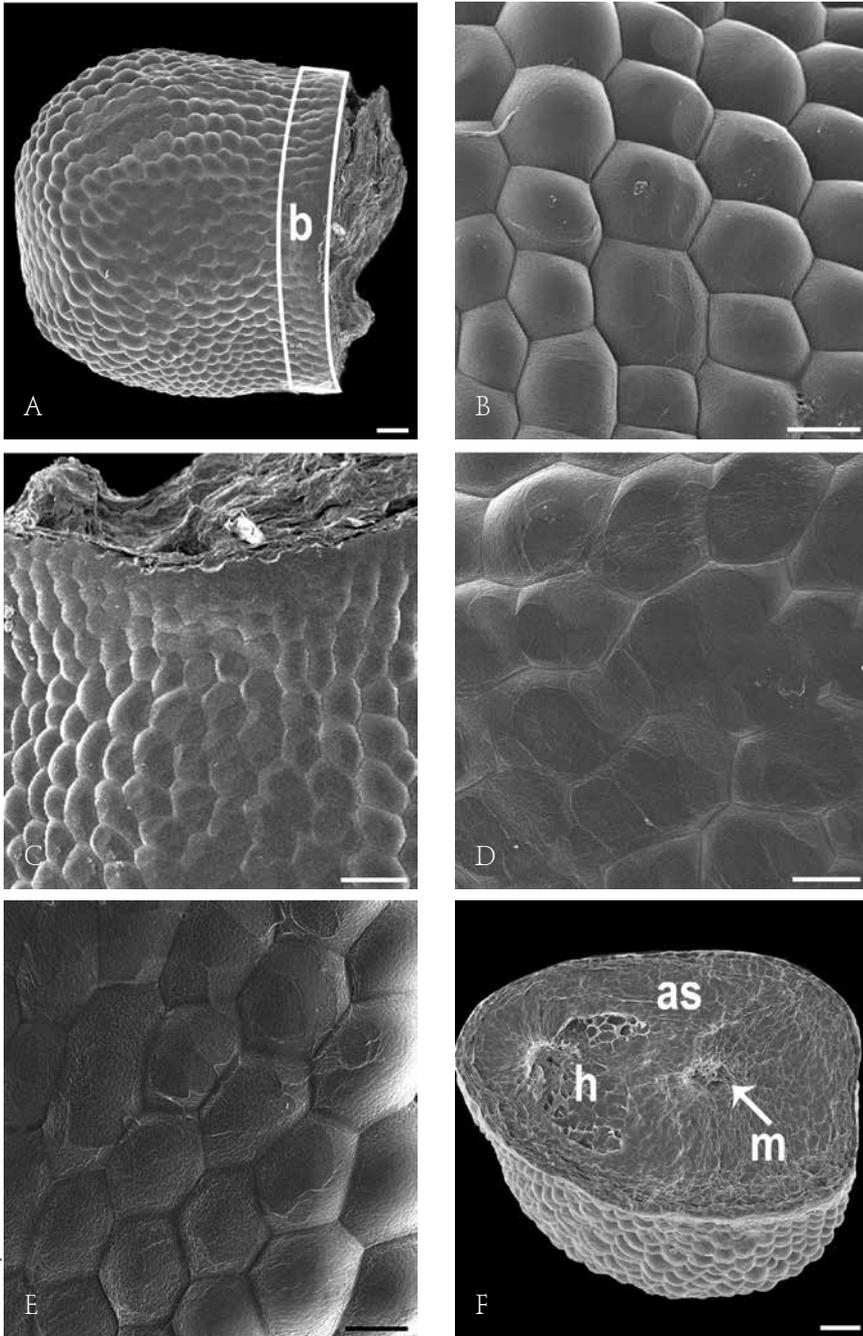
Gymnocalycium mihanovichii. Semilla casi simétrica en vista lateral, con el hilo basal, forma ampliamente orbicular, de tamaño muy pequeño de acuerdo a la clasificación de Barthlott y Hunt (2000), de 0.64 mm de longitud aproximadamente (Foto 3A). Testa de color café claro semi-mate (no mostrada), superficie rugosa, periferia no diferenciada (Foto 3B), borde ligeramente expandido alrededor de la región hilo-micropilar. Células de la exotesta isodiamétricas, gradualmente más pequeñas hacia la zona hilo-micropilar (Foto 3C). Los límites anticlinales no se observan. La pared periclinal es convexa, altamente abovedada, con la cutícula reticulada en la zona central y ligeramente estriada en el campo anticlinal (Foto 3D, E). La región hilo-micropilar es mediana, basal, superficial, con el hilo y el micrópilo conjuntos y de forma oval. Presenta apéndice (Foto 3F).

Lophophora williamsii. Semilla casi simétrica en vista lateral, con el hilo basal, forma ampliamente ovalada, con la base trunca, de tamaño pequeño, de 1 mm de longitud aproximadamente (Foto 4A). Testa de color negro con apariencia mate (no mostrado), superficie rugosa, con la periferia no diferenciada (Foto 4B), borde expandido alrededor del hilo. Células de la exotesta poligonales (penta a hexagonales), ligeramente alargadas, gradualmente más pequeñas hacia la zona del borde, en donde se forman abultamientos a manera de glándulas que contienen polisacáridos (Foto 4C). Los límites anticlinales

celulares son acanalados e irregularmente curvos, sin intersticios diferenciados (Foto 4D). La pared periclinal externa de la testa es convexa, cónica en la zona apical de la semilla (Foto 4E) y con domos inconspicuos en el resto de la semilla, con la cutícula corrugada. La región hilo-micropilar es mediana, basal, impresa, con el hilo y el micrópilo disyuntos y de forma oval. Presenta un apéndice inmerso en la copa hilar (Foto 4F).

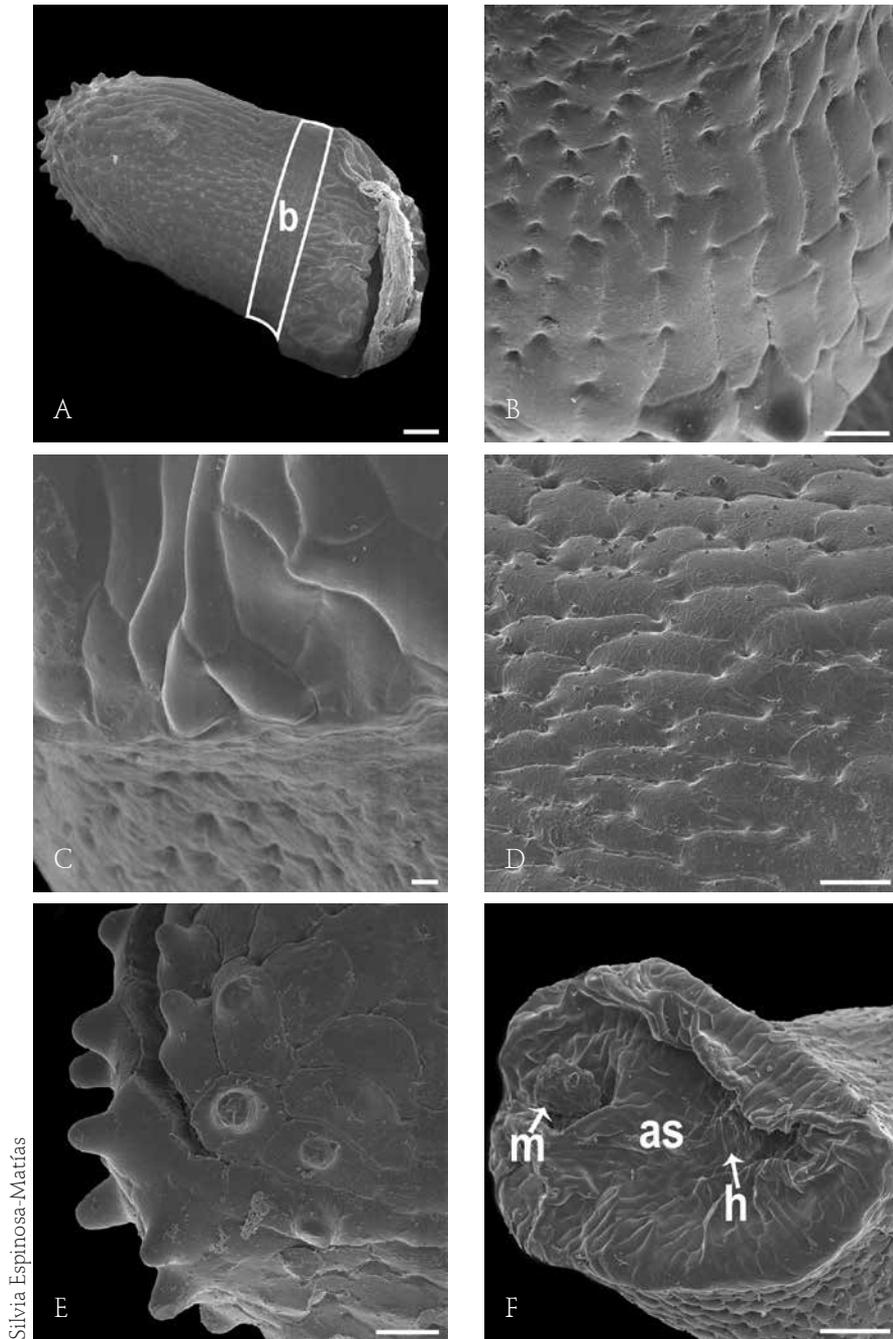
Parodia ottonis. Semilla simétrica en vista lateral, con el hilo basal, forma oval a circular con la base trunca, de tamaño pequeño de 0.9 mm de longitud aproximadamente (Foto 5A). Testa de color café oscuro con apariencia semi-mate (no mostrado), superficie rugosa con la periferia no diferenciada (Foto 5B), borde expandido alrededor de la región hilo-micropilar. Células de la exotesta poligonales, ligeramente alargadas, gradualmente más pequeñas hacia la zona hilo-micropilar (Foto 5C). Los límites anticlinales celulares son acanalados, rectos, sin intersticios diferenciados. La pared periclinal es convexa, ligeramente cónica, con la cutícula rugulada (Foto 5D, E). La región hilo-micropilar es grande, de forma oval, basal, impresa, con el hilo y el micrópilo conjuntos. Presenta apéndice (Foto 5F).

Rebutia wessneriana. Semilla casi simétrica en vista lateral, con el hilo basal de forma ampliamente ovalada, con la base trunca, de tamaño muy pequeño de aproximadamente 0.62 mm de longitud (Foto 6A). La testa es de color café oscuro con apariencia semi-mate (no mostrado), superficie rugosa con la periferia no diferenciada (Foto 6B), borde expandido alrededor de la región hilo-micropilar. Células poligonales y alargadas, gradualmente más pequeñas hacia la zona hilo-micropilar (Foto 6C). Los límites anticlinales celulares son acanalados e irregularmente curvos, con



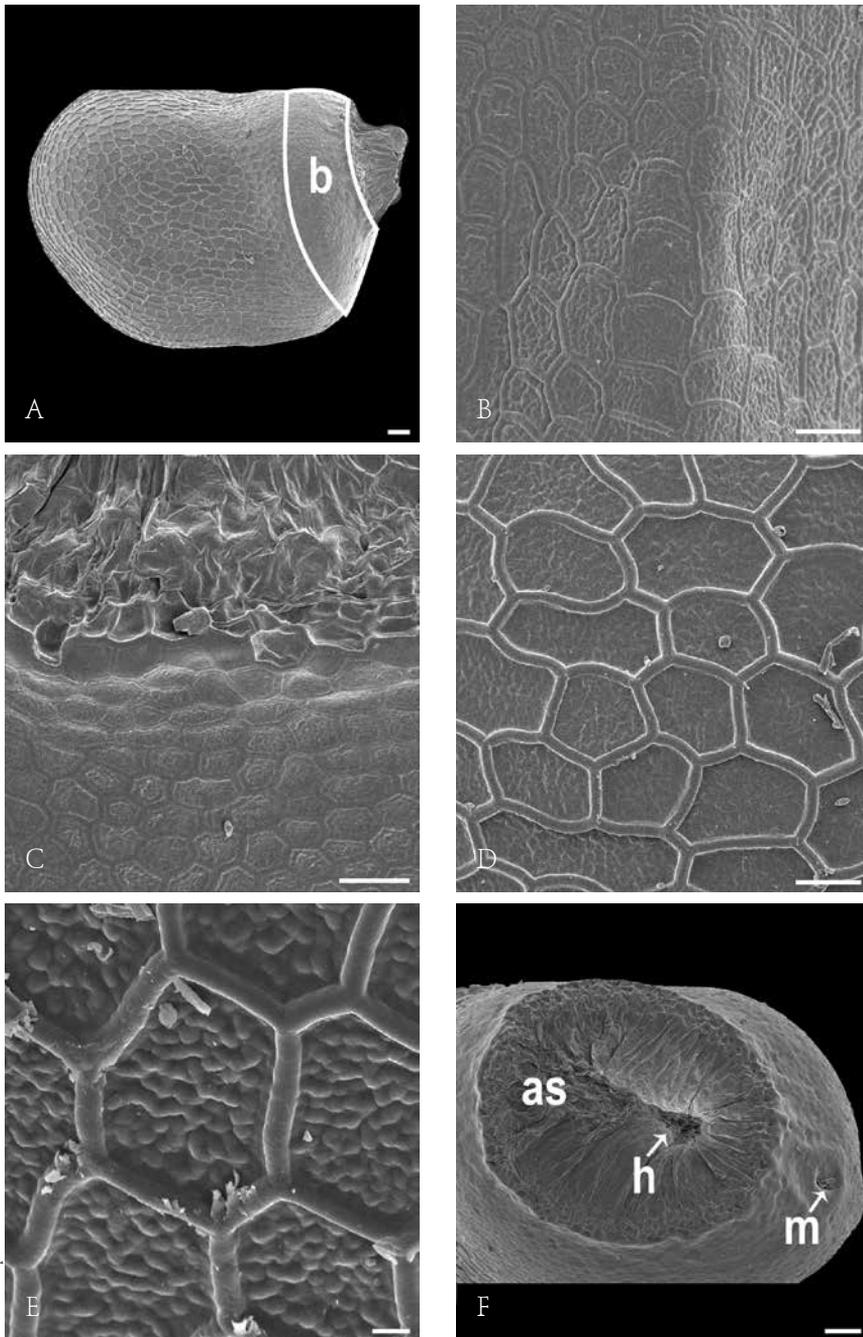
Silvia Espinosa-Matfias

FOTO 5. Micromorfología de la semilla de *Parodia ottonis*. A. Vista panorámica. B. Periferia. C. Zona de borde. D. Zona lateral. E. Zona apical. F. Zona hilo-micropilar conjunta, con apéndice. as, apéndice seminal; b, borde (zona enmarcada en A); h, hilo; m, micrópilo. Escala: B, D, E = 40 μm ; A, C, F = 100 μm .



Silvia Espinosa-Matías

FOTO 6. Micromorfología de la semilla de *Rebutia wessneriana*. A. Vista panorámica. B. Periferia. C. Zona de borde. D. Zona lateral. E. Zona apical. F. Zona hilo-micropilar. as, apéndice seminal; b, borde (zona enmarcada en A); h, hilo; m, micrópilo. Escala: C= 10 μ m; B, D, E= 40 μ m; A, F= 100 μ m.



Silvia Espinosa-Matías

FOTO 7. Micromorfología de la semilla de *Thelocactus leucacanthus* subsp. *schmollii*. A. Vista panorámica. B. Periferia ligeramente diferenciada por células pequeñas e isodiamétricas. C. Zona del borde. D. Zona lateral. E. Zona apical. F. Zona hilo-micropilar disyunta. as, apéndice seminal; b, borde (zona enmarcada en A); h, hilo; m, micrópilo. Escala: E= 10 μm ; 40 B, C, D= 40 μm ; A, F= 100 μm .

intersticios perforados (Foto 6D). El relieve de la pared periclinal externa es convexo, altamente par-cónico en la zona apical de la semilla (Foto 6E), y ligeramente abovedados en el resto de la semilla, con la cutícula finamente reticulada. La región hilo-micropilar es mediana, basal, superficial, con el hilo y el micrópilo conjuntos y en forma oval. Presenta apéndice (Foto 6F).

Thelocactus leucacanthus subsp. *schmollii*. Semilla asimétrica en vista lateral, con el hilo basal, forma ampliamente ovalada, con la base trunca, de tamaño mediano, de aproximadamente 1.45 mm de longitud (Foto 7A). Testa de color café oscuro con apariencia mate (no mostrado), superficie reticulada, con la periferia ligeramente diferenciada (Foto 7B), borde expandido alrededor y constreñido sobre el hilo. Células de la testa poligonales, isodiamétricas, abruptamente más pequeñas en la zona hilo-micropilar (Foto 7C). Los límites anticlinales de las células de la exotesta son elevados (a manera de reborde), de rectos a ligeramente ondulados, sin intersticios diferenciados (Foto 7D). La pared periclinal externa con la cutícula ampollosa (Foto 7E). La región hilo-micropilar es mediana, basal, impresa, con el hilo y el micrópilo disyuntos y en forma oval. Presenta apéndice (Foto 7F).

Discusión

Esta investigación proporciona nuevas adiciones a las descripciones de semillas de la subfamilia Cactoideae publicada por Barthlott & Hunt (2000). Las especies descritas e ilustradas son *Ariocarpus kotschoubeyanus*, *Gymnocalycium mihanovichii*, *Parodia ottonis*, *Rebutia minuscula* var. *wessneriana* y *Thelocactus leucacanthus* subsp. *schmollii*, cuyas semillas comparten la característica

de presentar apéndice seminal, lo cual no es mencionado en Barthlott & Hunt (2000).

Anderson (2001) menciona que las semillas de *P. ottonis* tienen forma de campana con lustre brillante, negras y fuertemente tuberculadas, sin embargo no menciona la presencia de algún apéndice seminal. En la presente investigación se observan con lustre mate y con apéndice seminal, aunque falta corroborar qué tipo de apéndice presenta.

Anderson (1969) menciona que la semilla de *Lophophora williamsii* es negra, tuberculada (verrugosa) y piriforme. Barthlott & Hunt (2000) detallan someramente otras características morfológicas de la cubierta seminal, mientras que en el presente estudio las imágenes presentadas muestran un evidente carácter adicional: la presencia de glándulas con polisacáridos en la zona de borde cercanas al elaiosoma. Este carácter no se menciona para ninguna de las semillas de la obra de Barthlott & Hunt (2000), por lo que éste es el primer reporte de glándulas seminales en la familia Cactaceae. Aunque, no se conoce el origen ontogenético de los apéndices seminales aquí mencionados, se proponen como elaiosomas, ya que se presentan como abultamientos o ensanchamientos en la zona hilo-micropilar y que no forman parte de la cubierta seminal como se han descrito para otras angiospermas (Lisci *et al.* 1996).

En el presente trabajo se muestra que los estudios de morfología pueden dar un indicio sobre otros aspectos de la biología de las plantas. El elaiosoma de las semillas aquí descritas y las glándulas en las semillas de *Lophophora williamsii* podrían tener relevancia como mecanismos de atracción para los dispersores de las semillas como se describe para otras especies de Cactaceae (Bregman 1988). Asimismo, los apéndices seminales podrían participar en la germinación como

lo mencionan Lisci *et al.* (1996) para otras semillas con elaiosomas. Finalmente, se espera que los estudios de la micromorfología continúen para tener un compendio más completo sobre las características seminales de la familia Cactaceae. También se abren nuevas preguntas de investigación como la morfología de las semillas y su relación con el mecanismo de dispersión y la germinación dada la presencia de elaiosomas.

Agradecimientos

Al Dr. Salvador Arias por facilitar el material de la Colección de Cactáceas del Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM. También agradecemos a la M. en C. Laura Patricia Olguín Santos, a cargo del Invernadero de la Facultad de Ciencias, donde se encuentran algunas de las plantas utilizadas en el presente estudio.

Literatura citada

- Anderson EF. 1969. The biogeography, ecology, and taxonomy of *Lophophora* (Cactaceae). *Brittonia* **21**:299-310.
- Anderson EF. 2001. *The cactus family*. Timber Press Portland, Oregon.
- Arias S & Sánchez-Martínez E. 2010. Una especie nueva de *Strombocactus* (Cactaceae) del río Moctezuma, Querétaro, México. *Rev Mex Biodiv* **81**:619-624.
- Arias S & Terrazas T. 2004. Seed morphology and variation in the genus *Pachycereus* (Cactaceae). *J Plant Res* **117**:277-289.
- Barthlott W. 1981. Epidermal and seed surface characters of plants: systematic applicability and some evolutionary aspects. *Nord J Bot* **1**:345-355.
- Barthlott W & Hunt D. 2000. *Seed diversity in the Cactaceae, subfamily Cactoideae*. *Succ. Plant Res* **5**:1-173.
- Barthlott W & Porembski S. 1996. Ecology and morphology of *Blossfeldia liliputana* (Cactaceae): A poikilohydric and almost astomate succulent. *Bot Acta* **109**:161-166.
- Bregman R. 1988. Forms of seed dispersal in Cactaceae. *Acta Bot Neerl* **37**:395-402.
- Camacho-Velázquez A, Arias S, García-Campusano F, Sánchez-Martínez E & Vázquez-Santana S. 2018. Seed development and germination of *Strombocactus* species (Cactaceae): A comparative morphological and anatomical study. *Flora* **242**:89-101.
- Gorb E & Gorb S. 2003. *Seed dispersal by ants in a deciduous forest ecosystem: mechanisms, strategies, adaptations*. Kluwer Academic Publishers, Holanda.
- Lisci M, Bianchini M & Pacini E. 1996. Structure and function of the elaiosome in some angiosperm species. *Flora* **191**:131-141.
- Plaza L, Fernández I, Juan R, Pastor J & Pujadas A. 2004. Micromorphological studies on seeds of *Orobanch* species from the Iberian Peninsula and the Balearic Islands, and their systematic significance. *Ann Bot London* **94**:167-178.
- Rojas-Aréchiga M. 2009. ¿Qué es el elaiosoma? *Bol Soc Lat Caribe Cact Suc* **6**:10-12.
- Rojas-Aréchiga M. 2012. La importancia de la semilla en Cactaceae para estudios taxonómicos y filogenéticos. *Bol Soc Lat Caribe Cact Suc* **9**:15-17.
- Sernander R. 1906. Entwurf einer Monographie der europäischen Myrmekochoren. *Almqvist & Wiksells* **41**.
- van der Pijl, L. 1972. *Principles of dispersal in higher plants*. 2da edición. Springer-Verlag, Berlín.
- van Rheede K & van Rooyen MW. 1999. *Dispersal biology of desert plants*. Springer-Verlag, Alemania.

Metabolismo CAM en plántulas de *Agave angustifolia* Haw. (Asparagaceae)

Arias-Medellín Luis Antonio¹, Bonfil Consuelo¹, Briones Oscar² & Valverde Teresa^{1*}

Resumen

Muchas plantas suculentas presentan una alta eficiencia en el uso del agua debido al metabolismo fotosintético tipo CAM, lo cual les facilita ocupar ambientes áridos y semiáridos. Las plantas CAM abren sus estomas para capturar CO₂ durante la noche y lo almacenan en la forma de ácidos orgánicos, por lo cual sus tejidos son más ácidos al amanecer que al anochecer. Sin embargo, es común que la expresión de CAM varíe con la edad de las plantas y las condiciones hídricas. En este trabajo abordamos el efecto de la edad de las plántulas y de las condiciones de aridez sobre la expresión del metabolismo CAM en *Agave angustifolia* Haw. Se obtuvieron plántulas de diferentes edades (1 a 4 meses) que se mantuvieron en un invernadero; la mitad se regó cada semana y la otra mitad cada dos semanas. De ellas se tomaron muestras de tejido fresco a las 8 y 20 h. Se analizó la acidez de los tejidos y se calculó ΔA como la diferencia entre ambas. A las 8 h los tejidos fueron consistentemente más ácidos que a las 20 h y en todos los casos ΔA fue mayor de cero. Esto es evidencia de existencia de metabolismo CAM en las plántulas de *A. angustifolia*. Aunque la actividad del metabolismo CAM tendió a ser más evidente al aumentar la edad de las plántulas, lo cual no fue estadísticamente significativo. Igualmente el efecto de los distintos niveles de riego tampoco modificó significativamente la oscilación ácida del tejido. Deben hacerse estudios más detallados para definir con claridad si *A. angustifolia* es una especie CAM desde sus etapas tempranas de desarrollo y la forma en que la disponibilidad de agua afecta la expresión de este tipo de metabolismo fotosintético.

Palabras clave: Acidez de los tejidos, Agavoideae, aridez, edad de las plántulas, establecimiento de plántulas, metabolismo ácido de las crasuláceas.

Abstract

Many succulents show high water use efficiency thanks to the CAM photosynthetic metabolism, which enables them to occupy arid and semiarid environments. CAM plants open their stomata and capture CO₂ during the night and store it in the form of organic acids, thus their tissues are more acid at dawn than at dusk. However, the expression of CAM usually varies with plant age and with changing water availability. In this study we addressed the effect of age and drought on the expression of CAM in seedlings of *Agave angustifolia* Haw. Seedlings of different ages (1 to 4

¹ Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito exterior, Ciudad Universitaria. Ciudad de México 04510, México.

² Red de Biología Evolutiva, Instituto de Ecología, A.C. Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa 91070, Veracruz, México.

* Autor de correspondencia: teresa.valverde@ciencias.unam.mx

months old) were obtained and kept in a greenhouse; half of them were watered weekly and the other half quarterly. From these seedlings, tissue samples were taken at 8 and 20 h. The acidity of tissues obtained at 8 and 20 h was analyzed and ΔA calculated as the difference between them. Tissues collected at 8 h were consistently more acid than those collected at 20 h and in all cases ΔA was positive. This is evidence of the presence of CAM in *A. angustifolia* seedlings. Although evidence of CAM was relatively more apparent as seedlings aged, this trend was not statistically significant. Equally, the effect of water availability did not modify tissue acid oscillation in a significant manner. Further research must be carried out to unequivocally determine whether *A. angustifolia* uses the CAM pathway from its early developmental stages, as well as the manner in which water availability affects the expression of this photosynthetic metabolism.

Kew words: Agavoideae, aridity, crassulacean acid metabolism, seedling age, seedling establishment, tissue acidity.

Introducción

La fotosíntesis es un proceso a través del cual las plantas utilizan la energía de la radiación solar para asimilar CO_2 y, en conjunto con el agua que absorben sus raíces, producir compuestos orgánicos que son utilizados en sus funciones vitales, tales como la respiración, el crecimiento y la reproducción (Taiz & Zeiger 2006). Se conocen tres tipos de metabolismo fotosintético: el C_3 , el C_4 y el CAM. Los apelativos C_3 y C_4 se refieren al hecho de que, al fijar el CO_2 que es absorbido a través de los estomas, las plantas C_3 producen inicialmente dos moléculas de tres carbonos y las C_4 una molécula de cuatro carbonos; mientras que las iniciales CAM provienen del inglés *Crassulacean Acid Metabolism* (metabolismo ácido de las crasuláceas), haciendo referencia a la familia vegetal en la que se describió por primera vez.

Se ha documentado la presencia de metabolismo CAM en alrededor de 16000 especies (aproximadamente 7% de todas las plantas) pertenecientes a 300 géneros y cerca de 40 familias (Dodd *et al.* 2002). Algunas de las familias en las que el metabolismo CAM es característico son Crassulaceae, Cactaceae, Asparagaceae, Orchidaceae y Bromeliaceae.

A diferencia de las plantas C_3 y C_4 , las que presentan metabolismo CAM abren sus estomas por la noche, cuando las temperaturas son más bajas que durante el día. Esto determina que se reduzca al mínimo la inevitable pérdida de agua que ocurre con la apertura estomática (Taiz & Zeiger 2006). El CO_2 que se absorbe durante la noche se integra en compuestos ácidos de cuatro carbonos, los cuales se almacenan en vacuolas dentro de las células. Posteriormente estos ácidos se decarboxilan durante el día y el CO_2 liberado ingresa a una ruta metabólica de tipo C_3 (Nobel 1988). Esta separación temporal entre la absorción inicial de CO_2 y su integración final al metabolismo determina que las plantas CAM tengan una baja tasa de transpiración, lo cual las hace tolerantes a las sequías extremas características de las zonas desérticas y semidesérticas (Andrade *et al.* 2007).

Se ha documentado que durante las fases tempranas de desarrollo de algunas especies suculentas el metabolismo CAM no empieza a funcionar sino hasta después de varias semanas, o incluso varios meses después de la germinación (Altesor *et al.* 1992; Loza-Cornejo *et al.* 2003; Ayala-Cordero *et al.* 2006). En el nopal *Opuntia*

pilifera Weber, la biznaga *Ferocactus recurvus* (Miller) Lindsay var. *greenwoodii* Miller y el cacto columnar *Neobuxbaumia tetetzo* (Coulter) Backeberg, el patrón típico de oscilación diurna de la acidez del tejido se expresó de 10 a 20 semanas después de la germinación (Altesor *et al.* 1992). Por otro lado, en las cactáceas columnares *Stenocereus queretaroensis* (F.A.C.Weber *ex* Mathes.) Buxb. y *S. beneckeii* (Ehrenb.) A. Berger & Buxb. el metabolismo CAM se expresó 2 y 36 semanas después de la germinación, respectivamente (Loza-Cornejo *et al.* 2003; Ayala-Cordero *et al.* 2006). Sin embargo, Hernández-González & Briones (2007) mostraron que cinco especies de cactáceas columnares representativas de los clados de la tribu Pachycereeae (*Escontria chiotilla* (Weber) Rose, *Myrtillocactus gemometrizzans* (Martius) Console, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Pachycereus weberi* (Coulter) Buxbaum y *Stenocereus stellatus* (Pfeieifer) Riccobono), así como la biznaga *Ferocactus recurvus* (Miller) Lindsay, presentaron metabolismo CAM desde el primer día posterior a la germinación cuando se expusieron a niveles de radiación lumínica superiores al punto de compensación de la fotosíntesis de las cactáceas (Nobel 1988). También se tienen evidencias de la existencia de metabolismo CAM en la subfamilia Agavoideae, en plántulas de *Agave deserti* Engelm y plantas adultas de *A. angustifolia* (Nobel 1988; Ricalde *et al.* 2013). Además, se han reportado efectos de la edad de las plántulas en la expresión de CAM en plántulas de *Agave deserti* Engelm, en las que se observó que el patrón de asimilación de CO₂ durante la noche se incrementó con la edad (Nobel 1988).

La capacidad de las plántulas de especies suculentas para expresar el metabolismo CAM desde temprana edad tiene impor-

tantes consecuencias ecológicas. Mientras más temprana sea su expresión, más probabilidades tendrán de sobrevivir ante las condiciones de aridez de los ecosistemas en los que habitan (Hernández-González & Briones 2007). También se sabe que el momento en el que se expresa el metabolismo CAM depende de las condiciones hídricas en las que se encuentren las plántulas (Ruiz *et al.* 2007).

Este trabajo se centra en *Agave angustifolia* Haw., una planta a la que se le ha dado un uso comercial para la elaboración de bebidas alcohólicas (Gentry 1982; Palma 1999) y que también se ha propuesto como una buena candidata para utilizarse en proyectos de restauración ecológica de selvas bajas caducifolias en México (Arias-Medellín *et al.* 2016). En este estudio analizamos de qué manera la edad de las plántulas y los diferentes niveles de sequía afectan la expresión del metabolismo CAM en *A. angustifolia*. El conocimiento del momento y las condiciones bajo las cuales se establece el metabolismo CAM en esta especie representan información muy relevante para optimizar su uso con los fines anteriormente mencionados.

Material y métodos

a) Especie de estudio

Agave angustifolia var. *angustifolia* pertenece a la familia Asparagaceae, subfamilia Agavoideae (Chase *et al.* 2009). Es un maguey acaule y de crecimiento arrosetado (Foto 1). Las rosetas están formadas por un conjunto de hojas lineares y lanceoladas, más estrechas en la punta; de color verde claro a gris glauco, generalmente cóncavas en el haz y convexas en el envés. La longitud de las hojas varía de 60 a 120 cm y su ancho de 3.5 a 10 cm. A lo largo de las hojas se



FOTO 1. Ejemplar de *Agave angustifolia* en la localidad de Xochicalco, Morelos.

presentan espinas espaciadas entre sí, de color café rojizas a café oscuro; la espina terminal mide aproximadamente 3 cm de longitud. Presenta una inflorescencia terminal, paniculada, de 3 a 5 m de altura, con flores amarillo verdosas agrupadas en umbelas. Los frutos son cápsulas ovoides de aproximadamente 5×3 cm, de color café oscuro y constitución leñosa. Las semillas son alargadas, negras y miden $9-12 \times 7-8$ mm (Gentry 1982).

Esta especie tiene una área de distribución amplia, desde Costa Rica en el sur hasta los estados mexicanos de Tamaulipas (en el noreste) y Sonora (en el noroeste). Se distribuye principalmente en matorrales xerófilos y en selvas bajas caducifolias (Gentry 1982). Presenta una amplia variación fenotípica, por lo que algunos autores han reconocido diversas subespecies; aunque otros han descrito a dichos *taxa* como especies.

En este estudio se trabajó con el taxón que se ha identificado como *Agave angustifolia* Haw. var. *angustifolia*, el cual se distribuye en el estado de Morelos (Gentry 1982). El principal uso que se le da a esta especie es para la producción de mezcal, aunque también se utiliza en menor medida para la producción de fibras (Palma 1999).

b) Obtención de las plántulas experimentales

Una de las maneras de analizar si una planta posee metabolismo CAM es mediante el registro de la acidez de sus tejidos (Hernández-González & Briones 2007). Las plantas CAM fijan CO_2 durante la noche y lo almacenan en vacuolas en la forma de ácidos orgánicos, lo que hace que disminuya el pH de sus tejidos (*i.e.*, que se haga más ácido). El pH de los tejidos aumenta (*i.e.*, se hace más básico) durante el día debido

a que los ácidos orgánicos son decarboxilados formando piruvato y CO_2 . Así, si una planta presenta metabolismo CAM, sus tejidos tendrán una mayor acidez al amanecer y una menor acidez (es decir, serán más básicos) al anochecer (Taiz & Zeiger 2006).

Se obtuvieron plántulas de *A. angustifolia* a partir de la germinación de semillas colectadas en la localidad de Xochicalco, Morelos. Éstas se pusieron a germinar en un invernadero (Facultad de Ciencias, Ciudad Universitaria, Ciudad de México), en charolas de germinación con tierra negra y agrolita (proporción 3:1). Durante el periodo de germinación y crecimiento de las plántulas, la temperatura promedio del invernadero fue de $16.5\text{ }^\circ\text{C}$ y la radiación fotosintéticamente activa fue, en promedio, de $643\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ a las 13 hrs. Las charolas se colocaron dentro de un domo de plástico para asegurar que el

sustrato se mantuviera húmedo. Se llevaron a cabo siembras mensualmente, desde abril hasta julio de 2010, de tal manera que para agosto se contó con plántulas de 1, 2, 3 y 4 meses de edad. Desde el momento de la germinación de las semillas y hasta el final de su primer mes de edad, las plántulas se mantuvieron en las charolas de germinación con el suelo húmedo. A partir de ese momento se separaron en dos lotes: a un lote se le regó cada semana (riego frecuente) y a otro lote se le regó cada dos semanas (riego esporádico). Las plantas de un mes de edad no se consideraron en este esquema pues, con el objeto de asegurar la supervivencia de las mismas, los tratamientos no se aplicaron sino hasta después de que las plántulas cumplieron un mes de edad.

El 24 de agosto a las 20 h y el 25 de agosto a las 8 h se tomaron cuatro muestras de aproximadamente 1 g de tejido fresco de las plántulas de

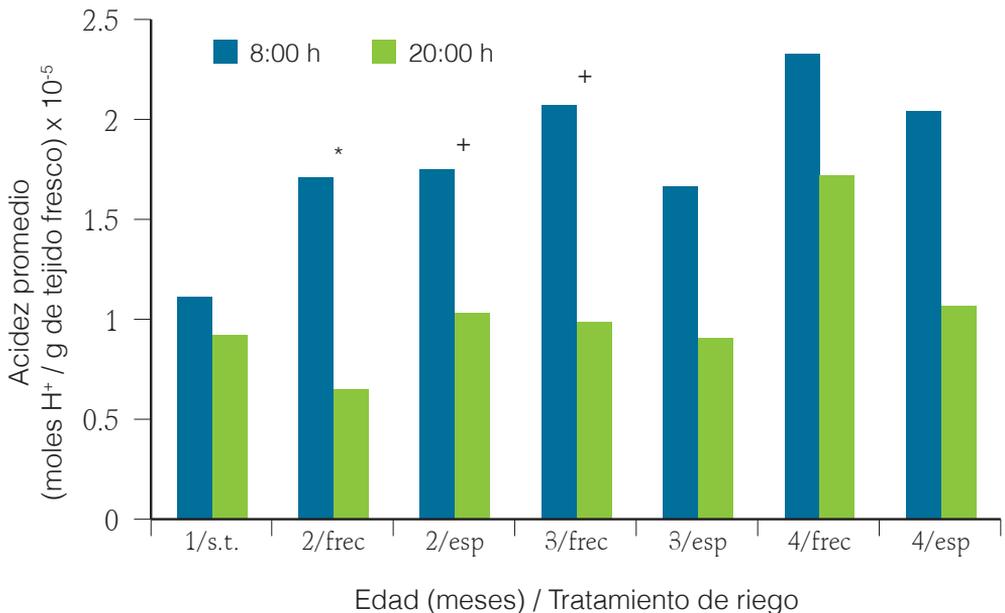


FIGURA 1. Acidez promedio de los tejidos de las plántulas de *Agave angustifolia* de diferentes edades (1, 2, 3 y 4 meses) que estuvieron sometidas a distintos tratamientos de riego (frec. = frecuente; esp. = esporádico; s.t. = sin tratamiento). Las barras de distintos tonos se refieren a las diferentes horas de colecta de las plántulas. * indica que las diferencias entre la acidez de las plántulas de los dos horarios fueron significativas ($p < 0.05$); + indica que éstas fueron marginalmente significativas ($0.1 > p > 0.05$).

cada tratamiento (i.e., 4 edades \times 2 frecuencias de riego), excepto para las plántulas de 4 meses de edad, de las que sólo se tomaron 3 muestras debido a la escasez de material. Las muestras se pesaron en fresco, se introdujeron en frascos con alcohol al 60% y se refrigeraron a 4 °C para su posterior análisis.

c) Análisis de la acidez de los tejidos

Entre el 8 y el 10 de septiembre de 2010 las muestras de tejido se secaron al aire y se molieron en un mortero. El homogenizado se hirvió en agua desionizada durante 5 minutos. Se midió el pH inicial de la muestra con un potenciómetro (OAKTON Acorn Meter) y se tituló a pH 7 utilizando NaOH (0.007N) (Hernández-González & Briones 2007). La acidez por gramo de tejido fresco (A) se calculó de la siguiente manera:

$$A = (G \times C) / P$$

donde G es el volumen de NaOH utilizado en la titulación, C es la normalidad de la solución de NaOH utilizada y P es el peso del tejido fresco.

A partir de los valores de acidez medidos de esta forma, se calculó ΔA , el cambio en la acidez, la cual se definió como:

$$\Delta A = A_M - A_T$$

donde A_M es la acidez de los tejidos colectados en la mañana y A_T es la acidez de los tejidos colectados por la tarde. Debido a que las muestras de tejido fresco de la mañana y de la tarde se obtuvieron de distintas plántulas, se seleccionaron al azar pares de plántulas para calcular ΔA . Se partió de la base de que si las plántulas presentan metabolismo CAM, entonces el ΔA será positivo.

d) Análisis numérico de datos

Se llevaron a cabo pruebas pareadas de t de student para analizar las diferencias entre la acidez de las plántulas colectadas en la mañana y las colectadas por la tarde (siete pruebas en total, una para cada combinación de edad \times

tratamiento de riego; las plántulas de 1 mes de edad no se sometieron a los tratamientos de riego). Además, se utilizó un ANOVA de dos vías para analizar el efecto de los factores edad (con tres niveles: 2, 3 y 4 meses) y riego (con 2 niveles: frecuente y esporádico), así como de la interacción entre ellos, sobre la ΔA .

Resultados

a) Diferencias en acidez entre mañana y tarde

Cuando analizamos el nivel de acidez de las plántulas de *A. angustifolia* de diferentes edades y sometidas a diferentes frecuencias de riego, observamos que los tejidos colectados por la mañana presentaron consistentemente una mayor acidez que los colectados por la tarde (Fig. 1). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre mañana y tarde sólo en las plántulas de 2 meses de edad con riego frecuente. Cabe señalar que en las plántulas de 3 meses con riego frecuente y las de 2 meses con riego esporádico las diferencias observadas fueron marginalmente significativas (Fig. 1).

En términos generales, pudo observarse que la acidez de las plántulas fue aumentando al aumentar la edad, de tal manera que las que mostraron mayores niveles de acidez fueron las de 3 y 4 meses de edad con riego frecuente y las de 4 meses con riego esporádico (en todos los casos, de la colecta de la mañana; Fig. 1). Estos resultados sugieren que conforme se incrementa la edad de las plántulas la presencia de un metabolismo CAM es cada vez más evidente, aunque la variabilidad de los resultados no nos permitió alcanzar conclusiones claras.

b) Cambio en la acidez (ΔA)

Los promedios del cambio de la acidez (ΔA)

entre los tejidos de la mañana y los de la tarde fueron más altos en las plántulas sometidas a riego frecuente, en comparación con plántulas bajo riego esporádico. Además, en las plántulas que se sometieron a riego frecuente, los promedios del cambio de la acidez (ΔA) entre los tejidos de la mañana y los de la tarde fueron prácticamente idénticos independientemente de la edad de las plántulas, mientras que en las que se sometieron a riego esporádico se observó un ligero aumento en ΔA en los individuos de 4 meses de edad con respecto a los más jóvenes (Fig. 2). Sin embargo, los resultados del ANOVA mostraron que no hubo un efecto del tratamiento de riego ($F=0.194$; $gl=1, 16$; $p=0.665$), ni de la edad de las plántulas ($F=0.108$; $gl=2, 16$; $p=0.897$), ni tampoco de la interacción entre ambos factores ($F=0.106$; $gl=2, 16$; $p=0.900$). Así, puede concluirse que la ΔA fue independiente de la edad y del tratamiento de riego.

Discusión

La acidez de los tejidos de *A. angustifolia* colectados en la mañana fue consistentemente más alta que la de los colectados en la tarde (Fig. 1). Además, en todos los casos y sin importar la frecuencia de riego ni la edad de las plántulas, ΔA fue mayor de cero (Fig. 2). Lo anterior puede interpretarse como evidencia de la existencia de metabolismo CAM en las plántulas de *A. angustifolia*. Estos mismos resultados se han observado en otras especies del género *Agave* y en algunas cactáceas (Nobel 1988; Altessor *et al.* 1992; Loza-Cornejo *et al.* 2003; Ayala-Cordero *et al.* 2006; Hernández-González & Briones 2007).

La presencia de metabolismo CAM tendió a hacerse más evidente conforme se incrementó la edad de las plántulas (Fig. 1),

como ocurre en *Agave deserti* (Nobel 1988) y en otras especies de cactáceas (Altessor *et al.* 1992; Hernández-González & Briones 2007); sin embargo, la variabilidad de nuestros resultados no nos permitió concluir al respecto. La variabilidad en la acidez de los tejidos podría deberse al metabolismo CAM por sí mismo, así como a la varianza metabólica entre individuos, como se ha observado en otros estudios (Loza-Cornejo *et al.* 2003; Ayala-Cordero *et al.* 2006; Hernández-González & Briones 2007).

La ligera tendencia hacia un mayor valor de ΔA en las plántulas de 4 meses de edad sometidas a riego esporádico en comparación con las de 2 y 3 meses de edad (Fig. 2) sugiere que las de mayor edad mostraron una captura más alta de CO_2 durante la noche en comparación con las plántulas más jóvenes, aunque es necesario reiterar que dicha tendencia no fue significativa debido a la variabilidad de los datos. En contraste, llama la atención que las plántulas sometidas a riego frecuente mostraron valores de ΔA prácticamente idénticos, independientemente de la edad (Fig. 2), a diferencia de las plántulas sometidas a riego esporádico en las que ΔA tuvo una tendencia a aumentar con la edad. Estos resultados son interesantes y merecen una investigación a mayor profundidad, pues sugieren que la actividad del metabolismo CAM depende de la edad de las plántulas y del nivel de estrés hídrico al que están sometidas, como se ha observado en plantas adultas de varias especies de agave (*e.g.*, *Agave angustifolia*, *A. fourcroydes*, *A. lechuguilla*, *A. tequilana* y *A. salmiana*; Nobel 1985; Nobel & Meyer 1985; Nobel & Quero 1986; Nobel & Valenzuela 1987, Ricalde *et al.*, 2010). Particularmente con *A. angustifolia*, Ricalde y colaboradores (2010) mostraron

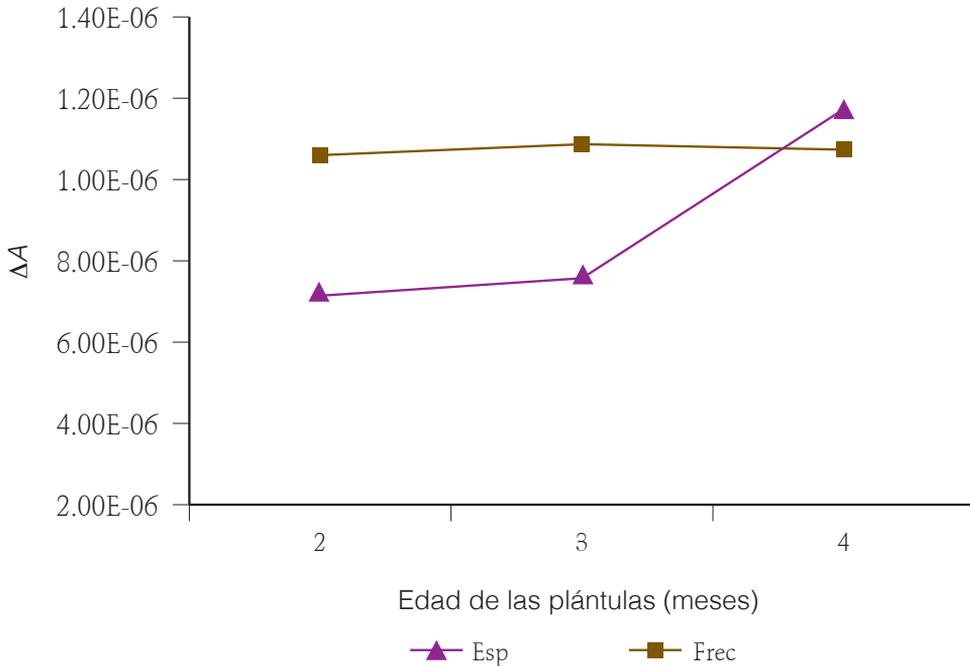


FIGURA 2. Promedio del cambio en la acidez (ΔA) de los tejidos de las plántulas de *Agave angustifolia* de diferentes edades sometidas a distintas intensidades de riego (Esp = esporádico; Frec = frecuente). ΔA representa la diferencia en la acidez de los tejidos colectados en la mañana con respecto a los colectados en la tarde.

que las plantas adultas que se encontraban en un matorral de dunas costeras en la península de Yucatán, incrementaron la acidez de sus tejidos de $35.5 \text{ mmol H}^+ \text{ m}^{-2}$ durante la época seca, a $536.4 \text{ mmol H}^+ \text{ m}^{-2}$ durante la época húmeda en un sitio abierto (20 % de sombra), mientras que las plantas que estaban en un sitio cerrado (70 % de sombra) incrementaron la acidez en menor magnitud ($38.8 \text{ mmol H}^+ \text{ m}^{-2}$ durante la época seca a $241.4 \text{ H}^+ \text{ m}^{-2}$ durante la época húmeda). En nuestro experimento, el estrés hídrico al que sometimos a las plántulas fue mínimo, aún en el tratamiento de riego esporádico (que fue cada dos semanas), pues fue necesario asegurar su supervivencia, por lo que no se les sometió a las condiciones extremas que seguramente experimentan en el campo.

Así, es de esperarse que en condiciones naturales la actividad del metabolismo CAM se presente en plantas más jóvenes de 4 meses de edad, o que ésta sea más clara en términos de la magnitud de los valores de ΔA que se alcancen.

Los valores de ΔA pueden variar también según la hora a la que se colecten los tejidos. Nosotros los colectamos a las 8 y a las 20 h suponiendo que estos horarios corresponden al máximo y al mínimo de acidez, lo cual no necesariamente es cierto en todos los casos. Se sabe que los horarios de mayor y menor aridez pueden variar según la edad de las plántulas y las condiciones a las que han estado sometidas, así como entre especies (Koch & Kennedy 1980; Loza-Cornejo *et al.* 2003; Ayala-Cordero *et al.* 2006; Hernández-González & Briones 2007). De esta manera,

los valores de ΔA que calculamos no necesariamente reflejan el mayor contraste posible entre la acidez de la mañana y la de la tarde.

Algunos autores sugieren que la expresión del metabolismo CAM no es función de las condiciones de humedad a las que están sometidas las plantas, sino que es la ontogenia la que determina el cambio en el metabolismo fotosintético, el cual se da en el momento en el que la planta ha alcanzado la madurez de su sistema fotosintético (Ayala-Cordero *et al.* 2006; Loza-Cornejo *et al.* 2003). La ausencia de un patrón claro y contundente en cuanto a la activación del metabolismo CAM en *A. angustifolia* podría estar relacionada con este hecho. En *A. deserti*, por ejemplo, el porcentaje diario de CO₂ que se absorbió durante la noche fue 27% para plántulas de un mes de edad, 49% en plántulas de 3 meses de edad y 81% en plántulas de 1 año de edad (Nobel 1988). De esta manera, es probable que el metabolismo CAM en *A. angustifolia* se evidencie con mayor claridad en etapas de desarrollo posteriores. En cualquier caso, como se dijo antes, los tejidos de *A. angustifolia* colectados en la mañana tuvieron una acidez consistentemente más alta que los tejidos colectados en la tarde y en algunos casos esta diferencia fue significativa; por otro lado, los valores de ΔA fueron siempre mayores de cero. Entonces, concluimos que hay evidencias de metabolismo CAM en *A. angustifolia*, aún en plántulas de 2 a 4 meses de edad. Estos resultados son importantes en términos del uso que se le podría dar a esta especie en proyectos de restauración ecológica, como se mencionó antes, pues el conocimiento del momento y las condiciones bajo las cuales opera el metabolismo CAM podría ayudar a tomar mejores decisiones en cuanto a cómo y cuándo introducir

las plantas al campo para asegurar una alta supervivencia. Sin embargo, aún es necesario llevar a cabo estudios más detallados para definir de manera inequívoca la edad a la que el CAM se establece como el metabolismo fotosintético dominante, así como la forma en la que las condiciones de crecimiento, en este caso la disponibilidad de agua, afectan este proceso.

Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Pedro Eloy-Mendoza y la Dra. Mariana Hernández Apolinar por su apoyo en diversas fases del trabajo de laboratorio y de campo. L.A. Arias-Medellín recibió apoyo de Conacyt como becario de maestría (Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM) y para el desarrollo de una estancia de investigación en el Instituto de Ecología A.C. en Xalapa, Ver., de la que se desprendió la presente investigación.

Literatura citada

- Altesor A, Ezcurra E & Silva C. 1992. Changes in the photosynthetic metabolism during the early ontogeny of four cactus species. *Acta Oecol* **13**:777-785.
- Andrade JL, de la Barrera E, Reyes-García C, Ricalde MF, Vargas-Soto G & Cervera JC. 2007. El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. *Bol Soc Bot Mex* **81**:37-50.
- Arias-Medellín LA, Bonfil C & Valverde T. 2016. Demographic analysis of *Agave angustifolia* (Agavaceae) with an emphasis on ecological restoration. *Bot Sci* **94**:513-530.
- Ayala-Cordero G, Terrazas T, López-Mata L & Trejo C. 2006. Morpho-anatomical changes and photosynthetic metabolism of *Stenocereus beneckei* seedlings under soil water deficit. *J Exp Bot* **57**:3165-3174.

- Chase MW, Reveal JL & Fay MF. 2009. A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. *Bot J Linn Soc* **161**:132-136.
- Dodd AN, Borland AM, Haslam RP, Griffiths H & Maxwell K. 2002. Crassulacean acid metabolism: plastic, fantastic. *J Exp Bot* **53**:569-580.
- Gentry HS. 1982. *Agaves of continental North America*. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona.
- Hernández-González O & Briones O. 2007. Crassulacean acid metabolism photosynthesis in columnar cactus seedlings during ontogeny: the effect of light on nocturnal acidity accumulation and chlorophyll fluorescence. *Am J Bot* **94**:1344-1351.
- Koch KE & Kennedy RA. 1980. Effects of seasonal change in the Midwest on Crassulacean Acid Metabolism (CAM) in *Opuntia humifusa* Raf. *Oecol* **45**:390-395.
- Loza-Cornejo S, Terrazas T & López-Mata L. 2003. Características morfo-anatómicas y metabolismo fotosintético en plántulas de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae): su significado adaptativo. *Interciencia* **28**: 83-89.
- Nobel PS. 1985. PAR, water and temperature limitations on the productivity of cultivated *Agave fourcroydes* (henequen). *J App Ecol* **22**:157-173.
- Nobel PS. 1988. *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge University Press, New York.
- Nobel PS & Meyer SE. 1985. Field productivity of a CAM plant, *Agave salmiana*, estimated using daily acidity changes under various environmental conditions. *Physiol Plantarum* **65**:397-404.
- Nobel PS & Quero E. 1986. Environmental productivity indices for a Chihuahuan desert CAM plant, *Agave lechuguilla*. *Ecology* **67**:1-11.
- Nobel PS & Valenzuela AG. 1987. Environmental responses and productivity of the CAM plant, *Agave tequilana*. *Agric For Meteorol* **39**:319-334.
- Palma FJ. 1999. Fibras duras de *Agave* (ixtle): especies productoras y formas de utilización en el estado de Oaxaca. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Ricalde MF, Andrade JL, Durán R, Dupuy J, Simá JL, Us-Santamaría R & Santiago LS. 2013. Environmental regulation of carbon isotope composition and crassulacean acid metabolism in three plant communities along a water availability gradient. *Oecol* **164**:871-880.
- Ruiz G, Peña-Valdivia C, Trejo L & Sánchez A. 2007. Reacción fisiológica del maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) a la sequía intermitente. *Rev Fac Agron Zul* **24**:318-325.
- Taiz L & Zieger E. 2006. *Plant physiology*. 4ª edición, Sinauer Associates, Sunderland, Mass.

Recibido: mayo 2018; Aceptado: julio 2018.

Received: May 2018; Accepted: July 2018.

Reseña del libro
101 Cactus del Perú
Carlos Ostolaza, prólogo de Roberto Kiesling

José Guadalupe Martínez-Ávalos^{1*}

Cuando escuchamos hablar sobre las cactáceas de Perú, sólo se puede pensar como referencia en la persona de Carlos Ostolaza Nano. Han pasado casi nueve años desde la publicación de su obra *101 Cactus del Perú* y hoy tengo el privilegio y el honor de hacer una reseña de su libro, el cual lo considero una obra valiosa e interesante que todo cactólogo y aficionado a estas plantas, debe de tener en su biblioteca particular.



FOTO 1. *Melocactus*.

Como primera parte de ésta obra, el autor detalla de una forma muy resumida pero acertada, algunos aspectos sobre la distribución geográfica de las 101 especies aquí descritas. Además, hace mención y describe algunos aspectos sobre la morfología de este grupo de plantas tales como el tallo, aréola, espinas, flores, frutos, etc. Sin embargo, carece de un apartado muy importante para especialistas y aficionados como lo es: el estatus de conservación, así como la descripción fisiográfica de aquellas regiones del territorio peruano donde se concentra la mayor riqueza de especies. Esta información revelaría al lector, una idea más clara sobre el riesgo y amenazas a las que están sometidas muchas especies del país, así como aquellas regiones importantes por su diversidad de especies, en las que se deberían de aplicar programas de conservación y manejo.

En el segundo y último apartado, se describe e ilustra de una manera muy ordenada, todas y cada uno de los géneros y especies que conforman esta gran obra. Resalta en este sección, el nombre científico y común de cada especie así como la distribución por delegación (o municipio) y gradiente altitudinal.

La obra se ve ilustrada, con magnífico material fotográfico que permite al lector disfrutar de esta edición especial. Sus co-

¹ Instituto de Ecología Aplicada, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Calle División del Golfo No 356 Col. Libertad. CP. 87019 Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

*correo electrónico: jmartin@uat.edu.mx

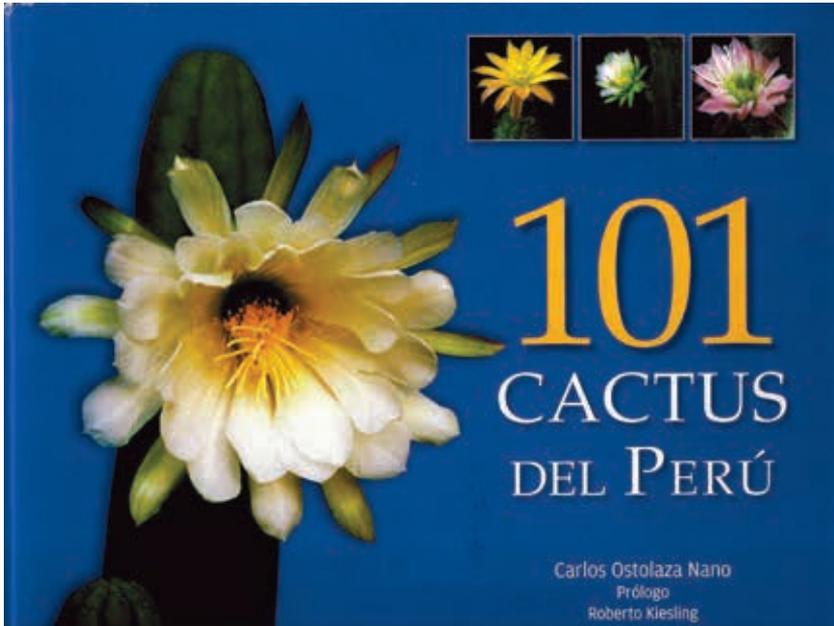


FOTO 2. Portada del libro *101 cactus del Perú* de Carlos Ostolaza Nano.



FOTO 3. Páginas interiores.

mentarios finales, culminan con un texto sobre la clasificación taxonómica utilizada, por lo que estoy de acuerdo que ésta es difícil de seguir debido a su discrepancia entre muchos autores expertos. Sin duda alguna, esta obra escrita en el idioma español, será de gran interés entre los conocedores y

aficionados de este grupo de plantas, por lo que se considera como una contribución importante para la flora de Perú.

Un legado sobre la gran diversidad y riqueza de cactáceas en esta región tan interesante de Sudamérica.

Lista de revisores durante 2018



Los editores de la revista *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* agradecen a los miembros del consejo editorial y a los siguientes árbitros que generosamente dieron su tiempo para la revisión de los manuscritos que fueron publicados durante 2018.

Dr. Gabriel Arroyo Cosultchi – *Facultad de Ciencias, UNAM*

M. en C. Juan Carlos Flores Vázquez – *Instituto de Ecología, UNAM*

Dr. Ramón J. Holguín-Piña – *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, BC*

Dra. Mariana Rojas Aréchiga – *Instituto de Ecología, UNAM*

Dra. Clara Tinoco Ojanguen – *Instituto de Ecología, UNAM, campus Hermosillo*

Dra. Montserrat Vázquez Sánchez – *Colegio de Postgraduados, Chapingo, Edo. de México*

Asimismo, invitamos a la comunidad de expertos que estén interesados en participar en el proceso de revisión de manuscritos que versan sobre plantas suculentas a que envíen su currículum vitae y su área de especialización o interés a: mrojas@ecologia.unam.mx

Normas editoriales

(Instructions for authors)

Cactáceas y Suculentas Mexicanas es una revista trimestral de circulación internacional. Esta revista está disponible para toda contribución original científica o de divulgación sobre las cactáceas y otras plantas suculentas. La publicación contará con registro para asignar DOI en breve.

Texto

Presentarlo en hojas tamaño carta a doble espacio (incluyendo cuadros), con márgenes de 2.5 cm, numeradas consecutivamente, sin errores tipográficos, usando fuente Times New Roman de 12 puntos. Las contribuciones pueden ser en español o en inglés. Los nombres científicos para la familia Cactaceae, seguirán la nomenclatura de Guzmán U, Arias S & Dávila P. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. UNAM, Conabio. México, D.F. y para las crasuláceas: Meyrán J & López L. 2003. *Las crasuláceas de México*. Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. México, D.F. La nomenclatura de cactáceas y suculentas de otros países deben apegarse a Anderson (2001) y Hunt (2006). Los nombres científicos se anotarán con cursivas citando el género sin abreviar la primera vez que se mencione en el cuerpo del texto, las subsecuentes podrá abreviarse el género. Los encabezados de las secciones deberán estar en negritas y centrados. El texto deberá incluir los siguientes puntos: **Título.** Autor(es): Apellido y nombre (sin negritas) e indicar con superíndices numerados la referencia a la institución de adscripción y además con un asterisco el autor(es) de correspondencia. El nombre y dirección del autor(es) debe incluirse como nota al pie de página, incluyendo el correo electrónico del autor(es) de correspondencia. **Resumen:** En español, máximo de 300 palabras. **Abstract:** En inglés debe proporcionar información detallada del trabajo, mencionando el objetivo, la especie y el sitio de estudio, breve metodología, resultados y conclusión. **Palabras Clave:** Máximo de seis, en ambos idiomas y ordenadas alfabéticamente, sin repetir palabras del título. **Introducción:** La introducción debe de mencionar las razones por las que se hizo el trabajo, la naturaleza de las hipótesis y los antecedentes esenciales. **Material y métodos:** Ésta sección debe de describir en suficiente detalle las técnicas utilizadas para que pueda replicarse. Deberán incluirse descripción de la(s) especie(s) de estudio y del sitio del estudio y enviar fotografías de las especies, indicando el autor de cada foto. Los nombres científicos deberán escribirse completos con

su autoridad, solo cuando sea mencionados la primera vez (por ejemplo, *Astrophytum asterias* (Zucc.) Lem.), después se usará solo la inicial del género y el nombre completo de la especie (por ejemplo, *A. asterias*), a menos que se inicie un párrafo. **Resultados:** Los resultados deben enfocarse a los detalles importantes de los cuadros y figuras y describir los hallazgos más relevantes. **Discusión:** Debe de resaltar el significado de los resultados en relación a las razones por las que se hizo el trabajo y ponerlas en el contexto de otros trabajos. **Agradecimientos:** En forma breve. **Literatura citada.** Cuadros, figuras, fotos y encabezados de cuadros, pies de figura y pies de foto. Se debe usar el sistema internacional de medición (SI) con las siguientes abreviaturas: min (minutos), h (horas), d (días), mm (milímetros), cm (centímetros), m (metro(s)), km (kilómetro(s)), ha (hectarea(s)), ml (mililitro(s)), l (litro(s)); para los símbolos estadísticos se deben escribir de la siguiente manera: EE (error estándar), DE (desviación estándar), gl (grados de libertad), *N* (tamaño de muestra), *CV* (coeficiente de variación) y poner en cursivas los estimadores (p. ej. r^2 , prueba de *t*, *F*, *P*). Se deben usar las siguientes abreviaturas: m snm (metros sobre el nivel del mar), °C separado de la cifra numérica y latitud por ejemplo: 28° 57' 05.4" latitud N. Para abreviaturas poco frecuentes, aclarar el significado la primera vez que se mencionan en el texto (p. ej. K_m , K_i ; constante de Michaelis y constante de inhibición, respectivamente). Enviar el texto en formato Word 6.0 o posterior, ASCII o RTF. Notas o reseñas de libros son bienvenidos, con una longitud máxima de 2000 (dos mil) palabras incluyendo el título de la publicación o la nota y la adscripción de los autores.

Cuadros, figuras y fotos

Cada cuadro, figura y fotografía debe de presentarse en una hoja nueva e ir numerado consecutivamente conforme se le hace referencia en el texto. Dentro del texto las citas aparecerán entre paréntesis como Cuadro número, Fig. número y Foto número (ejemplo, Fig. 2). La primera letra de cada entrada en cada columna o renglón de los cuadros debe ir en mayúscula.

Encabezados de cuadro, pies de figura y pies de foto

Deben contener información suficiente para entenderse sin ayuda del texto principal. Las especies (en letra cursiva) y los sitios de estudio deben escribirse sin abreviaturas. Cada tipo deberá enlistarse en hojas separadas a doble espacio siguiendo el formato: FIGURA o FOTO o CUADRO número, punto y enseguida el texto con mayúscula al inicio y con punto final.

Las fotografías, mapas e ilustraciones deberán mandarse en original. Los mapas, diagramas y otras ilustraciones se presentarán en hojas separadas, numeradas y en tinta negra (línea con un mínimo de 2 puntos). Las fotografías y las ilustraciones deben enviarse en formato electrónico con las siguientes características: formato tiff, psd, png o jpg de al menos 1200 dpi en tamaño media carta en el caso de las ilustraciones, y las fotografías en el mismo formato con una resolución mínima de 300 dpi a tamaño carta desde la digitalización. No se aceptará el material fotográfico o de imágenes insertadas en Word o en Power Point.

Literatura citada

La literatura citada en el texto debe de seguir el siguiente formato: un autor Buxbaum (1958), o (Buxbaum 1958), dos autores Cota y Wallace (1996) o (Cota & Wallace 1996), tres o más autores Chase *et al.* (1985) o (Chase *et al.* 1985). Referencias múltiples deben de ir en orden cronológico, separadas por punto y coma (Buxbaum 1958; Chase *et al.* 1985). La literatura citada deberá estar en orden alfabético según el siguiente formato:

Bravo-Hollis H & Sánchez-Mejorada H. 1991. *Las Cactáceas de México*. Vol 3. UNAM. D.F. México.

Buxbaum F. 1958. The phylogenetic division of the subfamily Ceroioideae, Cactaceae. *Madroño* **14**:27-46.

Nolasco H, Vega-Villasante F & Díaz Rondero A. 1997. Seed germination of *Stenocereus thurberi* (Cactaceae) under different solar irradiation levels. *J Arid Environ* **36**:123-132.

Milligan B. 1998. Total DNA isolation, páginas 29-36. En A. R. Hoelzel (ed.). *Molecular Genetic Analysis of Populations*. IRL Press. Oxford, England.

Arias S & Terrazas T. 2002. Filogenia y monofilia de *Pachycereus*, página 82. En Memorias de III Congreso Mexicano y II Latinoamericano y del

Caribe sobre cactáceas y otras plantas suculentas. Ciudad Victoria, Tamps. México.

Plascencia-López LMT. 2003. Biología reproductiva de *Opuntia braditiana* (Cactaceae) en Cuatro Ciénegas, Coahuila. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.

IUCN 2004. 2004 IUCN Red List of Threatened species. <http://www.iucnredlist.org>. Fecha de cuando se consultó la página de Internet.

Para citar un software: R Development Core Team. 2010. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

El nombre de las revistas se debe abreviar y en cursivas. Para verificar la abreviación del título de las revistas se debe consultar la siguiente página en red: <http://library.caltech.edu/reference/abbreviations/>

La revista *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* se deberá abreviar: *Cact Suc Mex*

Los manuscritos deberán enviarse por correo electrónico o entregados en un disco o en USB a la Dra. María C Mandujano o Dra. Mariana Rojas-Aréchiga en el Instituto de Ecología, UNAM. Apartado Postal 70-275, Ciudad Universitaria, UNAM. México, D.F. 04510, México. Envíos electrónicos a los correos: mrojas@ecologia.unam.mx y mcmandujano@gmail.com

Los artículos sometidos deberán cumplir con las normas editoriales establecidas para ser sujetos a revisión. La publicación del artículo es gratuita si los autores cuentan con suscripción vigente a la revista *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. El autor de correspondencia debe conservar una copia para cualquier aclaración. Los manuscritos serán revisados por dos académicos especializados en el área de investigación, designados por el comité editorial o el editor.

La revista *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* no proporciona sobretiros al(los) autor(es). A solicitud de los autores se pueden proporcionar copias electrónicas en formato PDF de los archivos correspondientes a su publicación. El comité editorial se reserva el derecho de rechazar cualquier contribución o solicitar al autor(es) modificaciones a su trabajo, así como hacer cambios menores en el texto sin consultar al(los) autor(es).

Euphorbia antisiphilitica Zucc.

Nombre común: candelilla

Es un arbusto perenne de la familia Euphorbiaceae, nativo de México y que crece en las zonas áridas de México principalmente en el Desierto Chihuahuense, en los estados de Durango, Chihuahua, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí y Coahuila. Puede alcanzar hasta 110 cm de altura con tallos múltiples de ramificación simpódica, densamente compactos y erectos recubiertos de cera. Los tallos son cilíndricos, normalmente no ramifican y forman macollos. Las flores de color blanco con tonos rosados se encuentran en una estructura en forma de copa (ciato) que contiene de 45 a 47 flores masculinas y una femenina al centro. El fruto es una cápsula trilocular y las semillas son de color café claro rugosas y con cuatro ángulos (*Sistema Nacional de Investigación Forestal-SEMARNAT*).

La cera que se obtiene de esta planta es ampliamente utilizada en la industria cosmética, para adhesivos, protectores para la piel, base para goma de mascar, aislantes eléctricos, abrillantadores, anticorrosivos, lubricantes, entre otros (Canales *et al.* 2006; La candelilla, *Biodiversitas* 69).

El descubrimiento y uso de la candelilla se remonta a los indígenas prehispánicos del norte de México quienes extraían de los tallos de esta planta una cera cruda al hervir los tallos en recipientes de barro y después la mezclaban con colorantes para fines ornamentales. En la actualidad, la extracción de la cera representa una fuente de ingreso para algunas familias de la región candelillera (Ochoa *et al.* 2010; Extracción tradicional de cera de *Euphorbia antisiphylitica*, *Acta Química Mexicana* 2).

También se sabe que la candelilla fue usada por los indios apaches para curtir pieles, tensar arcos y con fines medicinales. Durante la Colonia, los españoles la utilizaron en la elaboración de velas, de ahí el nombre de candelilla (“vela pequeña”). La cera obtenida de la candelilla tiene características únicas como un color amarillo transparente, mayor dureza y brillo comparada con otras ceras y no es tóxica.

El trabajo inicia desde la recolección completa de la planta. Las cuales se amarran y se transportan al sitio donde se realiza el primer paso de refinación obteniéndose el cerote. Posteriormente, en grandes recipientes de acero (pailas), las plantas se sumergen en agua hirviendo y se les agrega ácido sulfúrico (mismo método de casi un siglo), para separar el cerote, que se calienta hasta obtener el tejo que es la cera quebrada que se vende a las refineras. En las cuales, se separan las impurezas para dejar una cera más limpia y de mayor calidad para su venta al extranjero (Canales *et al.* 2006).

México es el único productor del mundo de candelilla, siendo el estado de Coahuila el mayor productor (80%). Como resultado de la intensa práctica tradicional de explotación del recurso, las poblaciones naturales de candelilla han disminuido notablemente en varios municipios, aún a pesar de la gran capacidad de regeneración que tiene esta planta, ya que aunque se cosecha en su totalidad, la planta se recupera a partir de su tallo subterráneo (Martínez-Ballesté & Mandujano 2013; *Economic Botany* 67:121-136).

Es urgente y prioritaria la implementación de programas de manejo racional para asegurar el futuro de las poblaciones naturales de candelilla y así asegurar su explotación en el futuro y asegurar la continuidad de esta importante actividad económica en el norte de México.

