

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas



VOLUMEN 51 NO 2

ABRIL-JUNIO 2006

ISSN 0526-717X

CACTÁCEAS Y SUCULENTAS

MEXICANAS
Volumen 51 No. 2
abril-junio 2006

Editor Fundador
Jorge Meyrán

Consejo Editorial
Anatomía y Morfología
Dra. Teresa Terrazas
Colegio de Posgraduados

Ecología
Dr. Arturo Flores-Martínez
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN

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
Dra. Raquel Galván
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN

Química
Dra. Kasuko Aoki
UAM-Xochimilco

Sistemas Reproductivos
Dr. Francisco Molina F.
Instituto de Ecología Campus Hermosillo, UNAM

Taxonomía y Sistemática
Dr. Fernando Chiang
Instituto de Biología, UNAM

Editores
Dr. Jordan Golubov
UAM-Xochimilco
Dra. María C. Mandujano Sánchez
Instituto de Ecología, UNAM

Asistentes editoriales
Biol. Gisela Aguilar Morales
M. en C. Mariana Rojas Aréchiga
Instituto de Ecología, UNAM

Diseño editorial y versión electrónica
Palabra en Vuelo, S.A. de C.V.

Impresión
Ortempus SA de CV
Se imprimieron 1 000 ejemplares, mayo de 2006

SOCIEDAD MEXICANA DE CACTOLOGÍA, A.C.

Presidenta Fundadora
Dra. Helia Bravo-Hollis †

Presidenta
Araceli Gutiérrez de la Rosa

Vicepresidente
Alberto Pulido Aranda

Tesorero
Omar González Zorzano

Secretaria
Samantha Mendoza Moreno

Bibliotecario
Raymundo García A.

Fotografía de portada:
Hábitat de *Pachyphytum saltensis*
Foto: Christian Brachet Ize



Cactáceas y Suculentas Mexicanas es una revista trimestral de circulación internacional, arbitrada, publicada por la Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. 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. Se autoriza su reproducción total o parcial siempre y cuando se cite la fuente.

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

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* is a publication of the Mexican Society of Cactology, published since 1955.

Complete or partial copying of articles is permitted only if the original reference is cited.

The journal *Cactaceas y Suculentas Mexicanas* is registered in the following indices: CAB Abstracts, Periodica and Latindex.

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

Correo electrónico: cactus@miranda.ecologia.unam.mx

El costo de suscripción a la revista es de \$250.00 para México y \$30 USD o 25 € para el extranjero. Pago de suscripciones a la cuenta no. 148-6353704 de Banamex.

Subscription rates: \$30.00 USD or 25.00 €. Payment in cash, bank transfer or International Postal Money Order (only from the USA). Los comprobantes bancarios, la documentación pertinente y cualquier correspondencia deberán ser enviados a (*Payments and correspondence to*): Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. Aptdo. Postal 19-490, San José Insurgentes, 03901, México, D.F. socmexcact@yahoo.com

www.cactus-mall.com/smc/

www.ecologia.unam.mx/laboratorios/dinamica_de_poblaciones/cacsucmex/cacsucmex_main.html

La Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. agradece el financiamiento a suscriptores y donativos por productos de divulgación que genera la sociedad.

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 51 No. 2 abril-junio 2006



Contenido

Reproducción *in vitro* del garambullo, *Myrtillocactus geometrizans* (Martius) Console

Gómez Juárez, José Luis; Morales, Jorge E.; Lechuga Corchado, José Ángel & Cruz Sosa, Francisco 36

Pachyphytum saltensis Brachet, Reyes & Mondragón, una nueva especie para el estado de Zacatecas, México

Brachet Ize, Christian; Reyes Santiago, Jerónimo & Mondragón Larios, Roxana 46

Evaluación de la función termorreguladora del pseudocefalio en *Cephalocereus columna-trajani* (Kart. ex Pfeiff.) K. Schum

Valverde, Pedro Luis; Vite, Fernando & Rodríguez-Salinas, Yesica. 52

Mammillaria solisioides Backeberg

Bautista Alvarado, Violeta 64

Contents

In vitro reproduction of *Myrtillocactus geometrizans* (Martius) Console

Gómez Juárez, José Luis; Morales, Jorge E.; Lechuga Corchado, José Ángel & Cruz Sosa, Francisco 36

Pachyphytum saltensis Brachet, Reyes & Mondragón a new species for the state of Zacatecas, México

Brachet Ize, Christian; Reyes Santiago, Jerónimo & Mondragón Larios, Roxana 46

Thermoregulatory function assessment of the pseudocephalium in *Cephalocereus columna-trajani* (Kart. ex Pfeiff.) K. Schum

Valverde, Pedro Luis; Vite, Fernando & Rodríguez-Salinas, Yesica. 52

Mammillaria solisioides Backeberg

Bautista Alvarado, Violeta. 64

Reproducción *in vitro* del garambullo, *Myrtillocactus geometrizans* (Martius) Console

Gómez Juárez, José Luis¹; Morales, Jorge E.^{1*}; Lechuga Corchado, José Ángel¹ & Cruz Sosa, Francisco¹

Resumen

A partir de la germinación en condiciones asépticas de *Myrtillocactus geometrizans* (Martius) Console se obtuvieron los explantes basal y apical, los cuales fueron cultivados en medio MS (Murashige & Skoog) adicionado con diferentes concentraciones de 6-bencilaminopurina (BA) y 0.1 mg l⁻¹ de ácido indolacético (AIA) para la obtención de brotes adventicios; plántulas completas fueron sometidas a los mismos tratamientos. Se encontró que la región apical produce el mayor número de brotes con 0.5 a 2.0 mg l⁻¹ de BA, en promedio 7.6, seguido por los explantes basales y las plántulas, los cuales producen 3.1 y 2.1 brotes respectivamente. Para el enraizamiento de los brotes individualizados se utilizaron diferentes concentraciones de AIA y AIB. Las plántulas enraizadas fueron llevadas a un invernadero, donde el 84% se adaptaron a las nuevas condiciones. En este estudio se busca contribuir a la elaboración de una metodología para la micropropagación del garambullo.

Palabras clave: Brotes, cultivo de tejidos, micropropagación, *Myrtillocactus geometrizans*.

Abstract

Apical and basal explants from seedlings of *Myrtillocactus geometrizans* (Martius) Console germinated under aseptic conditions were cultivated in MS medium supplemented with different concentrations of 6-benzylaminopurine (BA) and 0.1 mg l⁻¹ of indole-3-acetic acid (IAA) for shoot promotion; seedlings were submitted to the same process. Apical explants yielded a higher number of shoots, averaged 7.6 when grown at 0.5 to 2.0 mg l⁻¹ of BA, followed by basal explants and seedlings, which produced 3.1 and 2.1 shoots, respectively. Proliferated shoots with roots were grown in greenhouse conditions, where 84% were adapted to the new conditions. A methodology is described for the micropropagation of this species.

Key words: Micropropagation, *Myrtillocactus geometrizans*, shoots, tissue culture.

Introducción

Myrtillocactus geometrizans (Mart.) Console, es una cactácea tipo columnar muy ramificada, de hasta 6 m de altura, que florece en los meses de febrero a abril. Es de fruto oblongo, tipo baya, de 1 a 2 cm de diámetro, de color verde inicialmente

que cambia a rojo púrpura en la madurez (Fotos 1 y 2). El género se encuentra representado en México por tres especies, y es endémico al país. Actualmente ninguna de las especies se encuentra catalogada dentro de la norma 059-Ecol-2001. Dichas especies son: *M. cochal* endémica de Baja California, *M. schenkii* endé-

¹Departamento de Biotecnología. Departamento de Ciencias de la Salud, UAM-Iztapalapa Av. San Rafael Atlixco No. 186 Col. Vicentina C.P. 09340 México, D.F.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: jemt1@hotmail.com



Jorge E. Morales

FOTO 1. *Myrtillocactus geometrizans*.

mica de Puebla y Oaxaca y *M. geometrizans* (Mart.) Console que se distribuye en los estados de Aguascalientes, Durango, Guerrero, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas (Bravo-Hollis 1978; Guzmán *et al.* 2003). Se ha reportado en Zapotitlán, Puebla, México que *M. geometrizans* crece en relación competitiva con otros cactus columnares y afines como *Pachycereus marginatus* y arborescentes como *Opuntia* spp., así como con arbustos de zonas áridas como *Prosopis laevigata* (mezquite), *Mimosa*

luisana (arbusto nodriza), *Cercidium praecox* (palo brea) y otras especies de apariencia conspicua como *Agave marmorata* y *Beaucarnea gracilis* (Silva-Montellano 2000). El fruto de *M. geometrizans* es comestible, se consume fresco o en conservas y se utiliza en la elaboración de licores; la planta se usa como cerca e inclusive como contenedor de forraje y mazorcas. Actualmente se le utiliza como porta-injerto para propagación de cactáceas con fines ornamentales. La propagación de este tipo de plantas se realiza generalmente por germinación de semillas, injertos y esquejes (Bravo-Hollis 1978; Pérez 1999).

La técnica de cultivo de células y tejidos vegetales ofrece una alternativa para propagar cactáceas más rápido al compararse con los métodos convencionales (Martínez-Vázquez & Rubluo 1989; Stuppy & Nagl 1992; Brijmohan 1999). A pesar de su versatilidad, esta técnica se ha aplicado muy poco en cactáceas, no obstante el gran valor ornamental y biológico de estas plantas (Fay & Gratton 1992, Pérez-Molphe *et al.* 1998). Esto puede deberse a las dificultades en la propagación *in vitro* de las cactáceas ya que en las plantas adultas el meristemo del cual se extrae el explante, se encuentra bajo el tejido de la areóla, y este se puede dañar al remover las espinas o por contacto con los agentes desinfectantes (Gratton & Fay 1990). La micropropagación de cactáceas, ofrece amplias ventajas para la producción masiva de especies en vías de extinción, así como para el desarrollo de plantas de alta calidad fitosanitaria (libres de patógenos). Debido a razones aún no bien identificadas, las cactáceas cultivadas *in vitro* tienen tasas de crecimiento mucho más altas que las de plantas cultivadas de forma tradicional, alcanzando en tan solo unos meses tallas que tardarían en alcanzar un año o más en condiciones normales (Malda *et al.* 1999a; 1999b).

En estudios sobre cultivo *in vitro* de *Mammillaria san-angelensis*, realizados durante más de 7 años, no se detectaron variaciones en la cantidad y calidad del material genético por lo que se puede considerar que existe estabilidad genética desde el material de inicio hasta el material micropropagado; por lo que las nuevas plantas podían usarse para reintroducción en su hábitat de forma segura desde los

puntos de vista de la genética y la conservación (Palomino *et al.* 1999). La micropropagación de cactáceas con fines de conservación ha recibido gran atención en años recientes, sobre todo en lo que respecta al uso y dosificación de los reguladores del crecimiento vegetal ya que en la literatura se reporta una gran variedad de fitohormonas aún siendo la misma especie, lo que apoya la sugerencia de que cada especie de cactácea puede requerir una combinación particular de hormonas para su reproducción *in vitro* (Giusti *et al.* 2002).

A pesar de su potencial, en México la micropropagación de cactáceas se ha desarrollado de manera lenta y solo se mencionan algunas especies en particular (Sánchez Martínez 1994). Por lo tanto, es importante impulsar e implementar protocolos de cultivo de tejidos que permitan la reproducción de cactáceas para la recuperación de especies amenazadas y posteriormente abastecer la gran demanda comercial por parte de coleccionistas y consumidores en general.

En este trabajo se reporta la metodología para la micropropagación de *M. geometrizzans* (Mart.) Console. Las etapas de la propagación *in vitro* se iniciaron probando los efectos que sobre la formación de brotes ejerce la 6-bencilaminopurina (BA) en presencia de ácido indolacético (0.1 mg l^{-1}) en explantes basales y apicales obtenidos de semillas germinadas en condiciones asépticas. Adicionalmente se probaron como explante plántulas completas y para el enraizamiento se probaron ácido indolacético y ácido indolbutírico. Finalmente se establecieron las condiciones de adaptación de las plántulas al invernadero.

Material y Métodos

Germinación

Como fuente de explante se utilizaron semillas de *M. geometrizans* obtenidas de 60 frutos colectados de 20 ejemplares en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo, México en el año 2003. Las semillas fueron desinfectadas en una solución de Captan (1.0%) durante seis minutos, posteriormente sumergidas en una solución de hipoclorito de sodio (6.0%) por 20 minutos, el desinfectante fue eliminado lavando en cinco ocasiones con agua destilada estéril. Una vez desinfectadas, las semillas germinaron en medio MS (Murashige & Skoog 1962) con 1.5% de sacarosa como fuente de carbono y 0.2% de Phytigel, a un pH de 5.7, además adicionado con 7.5 mg l⁻¹ de GA₃ (ácido giberélico) con la finalidad de incrementar el porcentaje de germinación. Se incubaron a una temperatura de 27 ± 2 °C, con un fotoperiodo de 16/8 h de luz/oscuridad y a una intensidad luminosa de 1100 Lux m⁻² que fue suministrada con lámparas de luz de día (Reyes 1997). Adicionalmente se realizó una prueba de germinación en substrato esterilizado de tezontle fino, gravilla y tierra negra cernida en una proporción 2:2:1 y se comparó con la germinación *in vitro*, con la idea de determinar si existe o no diferencia entre la germinación *in vitro* y en sustrato.

Obtención de explantes e inducción de brotes

Con la finalidad de optimizar la cantidad de brotes se estudió la posibilidad de variación en el número de explantes obtenidos según su origen, se usaron plántulas que habían alcanzado una talla de entre 5 y 7 mm com-

pletas y seccionadas para obtener un explante basal y uno apical (Foto 3). Los explantes se colocaron en medio MS con 1.5% de sacarosa, solidificado con 0.2% de Phytigel y con un pH de 5.7. La incubación se llevó a cabo a 27 ± 2 °C con un fotoperíodo de 16/8 h luz/oscuridad proporcionado con lámparas de luz de día a una intensidad de 1100 lux m⁻², con cambios a medio fresco cada cuatro semanas, según una modificación del método de Martínez-Vázquez y Rubluo (1989). La producción de brotes fue inducida con 6-bencilaminopurina (BA) complementada con 0.1 mg l⁻¹ de ácido indolacético (AIA), siguiendo un arreglo de 3 x 5 con 3 fuentes diferentes de material vegetal y 5 concentraciones hormonales, cada una con 3 repeticiones, teniendo como variable de respuesta el número de brotes obtenidos.

Inducción de la formación de raíz

Después de 40 días de cultivo los brotes fueron llevados a medio MS suplementado con AIA y ácido indolbutírico (AIB) para inducir la formación de raíz, en un diseño factorial de 2 x 8, con dos tipos de hormonas en 8 diferentes concentraciones, siendo la variable de respuesta la formación de raíz.

Aclimatación a invernadero

Para aclimatar los brotes a condiciones de invernadero, los brotes con raíz fueron colocados en macetas individuales con una mezcla de tezontle-gravilla-tierra negra, previamente esterilizada. Durante los primeros días la mezcla se mantuvo a capacidad de campo, con riegos de 200 ml cada tercer día. Para evitar la deshidratación de los brotes, se cubrieron las macetas con la mitad

FOTO 2. Individuos juveniles de *Myrtillocactus geometrizans*.

inferior de botellas de plástico transparente. Se colocaron en un invernadero a una intensidad luminosa máxima de 1500 lux m^{-2} y mínima de 1200 lux m^{-2} y una temperatura promedio de $30 \text{ }^\circ\text{C}$, con variaciones diarias de $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Dos semanas después se perforó la cubierta plástica con el fin de aclimatar las plantas a las condiciones del interior del invernadero, hasta retirar por completo la cubierta 4 semanas después. Las variables de respuesta fueron: la supervivencia de las plántulas y las diferencias entre tratamientos se analizaron con ANOVA, utilizando la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Resultados

Germinación

Las semillas que se sometieron al tratamiento de desinfección e inducción con GA_3 mostraron un porcentaje de germinación del 87% que se consideró suficiente para la obtención de las plántulas que fueron usadas para obtener explantes. Además se encontró que el porcentaje de germinación en el medio semisólido y el sustrato de tezontle fino, gravilla y tierra negra es el mismo.

CUADRO 1. Número promedio de brotes obtenidos en explantes de *M. geometrizans* con BA a diferentes concentraciones y 0.1 mg l⁻¹ de AIA (media ± EE, α = 0.05).

BA (mg l ⁻¹)	Apical	Basal	Plántula completa
0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	7.6 ± 5.4	1.0 ± 1.7	0.5 ± 2.0
1.0	6.0 ± 3.8	2.2 ± 2.2	0.3 ± 1.1
2.0	7.2 ± 5.5	3.1 ± 2.8	0.0
3.0	3.0 ± 1.9	1.7 ± 2.1	2.1 ± 2.8

CUADRO 2. Porcentaje del número de brotes de *M. geometrizans* con desarrollo de raíz por concentración y tipo de auxina.

Auxina (mg l ⁻¹)	AIA (%)	AIB (%)
0.0 + carbón activado	25.0	33.3
0.0	33.3	33.3
0.5	33.3	25.0
1.0	41.6	33.3
1.5	50.5	41.6
3.0	58.3	58.3
5.0	75	66.7
7.0	66.7	75.0

Obtención de explantes e inducción de brotes

El número promedio de brotes por tipo de explante en las diferentes concentraciones de BA probadas, manteniendo constante la concentración de AIA (0.1 mg l⁻¹), medido después de 23 días de incubación reveló que la región apical es la que produce la mayor cantidad de brotes, mostrando un máximo en un intervalo de concentraciones que va de 0.5 a 2.0 mg l⁻¹ de la citocinina (Cuadro 1). No hubo diferencia significativa en el número de brotes producidos entre las concentraciones de 0.5, 1.0 y 2.0 mg l⁻¹ de BA (7.6, 6.0 y 7.2 brotes por explante respectivamente), pero sí se observó una tenden-

cia de los brotes a ser más pequeños y presentar vitrificación en la concentración de 2.0 mg l⁻¹ (α < 0.05).

En los explantes basales, la concentración que dio mejores resultados fue 2.0 mg l⁻¹, con un promedio de 3.1 brotes por explante y para las plántulas completas fue 3.0 mg l⁻¹ con un promedio de 2.1 brotes por explante. No se desarrollaron brotes en los explantes que no fueron tratados con hormonas independientemente del origen de los mismos.

Inducción de la formación de raíz

La formación de raíz en los brotes individualizados cultivados en presencia de AIA y AIB se presenta en el cuadro 2. En la

concentración de 7.0 mg l⁻¹ para ambos reguladores los brotes enraizados sufrieron un cambio de color a amarillo y no lograron sobrevivir. En las concentraciones de 0.0 a 5.0 mg l⁻¹ el enraizamiento mostró diferencias notables, pero no en cuanto al tipo de auxina presente en el medio ($\alpha > 0.05$) encontrándose que el mejor resultado ocurre en 5.0 mg l⁻¹ para ambas auxinas ($\alpha > 0.05$).

Aclimatación a invernadero

Los brotes con raíz fueron colocados en invernadero en las condiciones descritas en la metodología: el 16% de estos brotes presentó deshidratación y muerte posterior en los primeros dos días de permanencia en el invernadero, el 10% sufrió deshidratación temporal con recuperación satisfactoria y el 73% de la muestra no presentó cambios aparentes durante el proceso. Al término del intervalo de adaptación (8 semanas) el 84% de las nuevas plántulas se adaptaron adecuadamente a las condiciones de invernadero.

Discusión

Germinación

La germinación de las semillas frescas mostró que aparentemente no es necesario escarificar las semillas pero sí se puede mejorar el porcentaje de germinación adicionando giberelinas exógenas. Por otro lado, el hecho de que la germinación en medio semisólido y en sustrato de tezontle fino, gravilla y tierra negra (2:2:1) esterilizado, sean iguales, permite utilizar de manera indistinta plántulas germinadas en medio semisólido o en sustrato.

Formación de brotes

Los datos sugieren que el número de brotes formados en *M. geometrizans* es dife-

rente dependiendo de la región de donde se obtienen los explantes. En la región apical de las plántulas se obtiene la mayor cantidad de brotes, en un intervalo de concentraciones de BA que se encuentra entre 0.5 y 2.0 mg l⁻¹ en presencia de 0.1 mg l⁻¹ de AIA. En otras especies se ha reportado que el uso de explantes de origen apical y basal de plántulas, por ejemplo *Astrophytum myriostigma*, no ocasiona diferencias significativas debidas al origen del explante en la formación de brotes (Villavicencio *et al.* 1999). Esto se ha interpretado en el sentido de que las respuestas morfogénicas dependen fuertemente de los reguladores del crecimiento exógenos así como de la especie estudiada.

En la plántula completa de *M. geometrizans* se observaron brotes adventicios cuando la concentración de BA fue de 3 mg l⁻¹. Estudios realizados en otras cactáceas muestran valores promedio de brotes por explante que van de 0 hasta 128 (Pérez-Molphe *et al.* 1998; Malda *et al.* 1999b; Rubluo *et al.* 2002; Pérez-Molphe & Dávila-Figueroa 2002; Katja *et al.* 2003), dependiendo del regulador del crecimiento utilizado y de la especie estudiada. En otros estudios (Mata *et al.* 2001) partieron de cortes longitudinales para la micropropagación de *Turbinicarpus laui*, lo que sugiere que tanto la región de donde provienen los brotes así como la cantidad de brotes formados son específicos, por lo que no es posible pensar en un protocolo general para la micropropagación de cactáceas.

Formación de raíz

Las auxinas AIA y AIB provocan la formación de raíz adventicia en los brotes de *M. geometrizans* pero los resultados encontra-



FOTO 3. Obtención de explante basal y apical de plántulas de *M. geometrizans*.

dos indican que este efecto solo se manifiesta en un intervalo que va de 2.5 a 5.0 mg l⁻¹ y cuando se alcanza la concentración de 7.0 mg l⁻¹ el fitorregulador puede conducir a la muerte del brote aún cuando ya se ha formado la raíz.

Tal vez la formación de la raíz en los brotes podría estar regulada por las concentraciones endógenas de auxinas como lo muestra la ausencia de brotes en el tratamiento carente de estas sustancias. Por otro lado, Pérez-Molphe *et al.* (1998) reportan altos porcentajes de enraizamiento para 21 especies de cactáceas utilizando AIA y AIB

en concentraciones que como máximo llegan a 1.0 mg l⁻¹, mientras que en el presente estudio los mayores porcentajes de enraizamiento se dan entre 3.0 y 5.0 mg l⁻¹.

Aclimatación a invernadero

El último paso para poder usar estos brotes como fuente de nuevas plántulas es su aclimatación a las condiciones de un invernadero. En este sentido, se ha sugerido que uno de los principales problemas asociados con la aclimatación de las plantas que se obtienen por micropropagación es la deshidratación, debida al cambio no-

table en las condiciones medioambientales en el momento de extraerlos de las condiciones de cultivo *in vitro* y llevarlos a un medio con una menor humedad relativa. En el caso de las cactáceas la naturaleza suculenta de la plántula podría contribuir a superar exitosamente el shock hídrico (Malda *et al.* 1999b), 16% de los brotes enraizados no pudieron sobrevivir a la aclimatación en el invernadero.

Del total de plántulas llevadas al invernadero un 84% logró una aclimatación exitosa a las nuevas condiciones medioambientales, lo cual coincide con lo reportado por Pérez-Molphe *et al.* (1998), Pehla *et al.* (2002) y Pérez-Molphe y Dávila-Figueroa (2002), quienes obtienen porcentajes de sobrevivencia en un intervalo de 50 a 100% de las nuevas plántulas.

A partir de los resultados obtenidos se puede proponer una técnica para la micropropagación de *M. geometrizans* consistente en la utilización de semillas de cosecha reciente que son desinfectadas en una solución de hipoclorito de sodio (30%) durante 5 minutos, dos veces, seguido de un lavado con una solución de Captan (1.0%) durante seis minutos. El desinfectante debe ser eliminado lavando en cinco ocasiones con agua destilada esterilizada. Se recomienda tratar a las semillas con GA₃ en una concentración de 7.5 mg l⁻¹ antes de colocarlas a germinar en sustrato estéril de tezontle fino, gravilla, tierra negra, previo paso por una criba de 1 cm en condiciones de invernadero. Una vez que las plántulas han alcanzado una talla de entre 5 y 7 mm se seccionan para obtener el ápice de la plántula. A partir de aquí se generan explantes apicales que se cultivan en medio

MS suplementado con sacarosa (1.5%), AIA (0.1 mg l⁻¹), BAP (2.0 mg l⁻¹) y solidificado con Phytigel (0.2%) a pH 5.7 manteniéndose los frascos a 27 °C con un fotoperiodo de 16/8 h luz/obscuridad que se puede proporcionar con lámparas de luz de día. Una vez obtenidos los brotes se induce su enraizamiento en medio MS en presencia de AIA o AIB (3.0 a 5.0 mg l⁻¹), cuando éstos han desarrollado bien la raíz, se procede a su aclimatación en invernadero, para lo cual se colocan las nuevas plántulas en macetas individuales con la misma mezcla que se emplea en la germinación con cubiertas de plástico invertidas, después de una semana se perforan las cubiertas para reducir gradualmente la humedad relativa, finalmente después de 4 semanas las cubiertas son retiradas completamente obteniendo plántulas listas para crecer en un invernadero.

Agradecimientos

Los autores agradecen al señor Jorge Lodigiani la asesoría fotográfica y el fotomontaje de este trabajo.

Literatura citada

- Bravo-Hollis H. 1978. *Las cactáceas de México*. Vol 1. UNAM. DF, México.
- Brijmohan SB. 1999. Regeneration of *Coryphanta elephantidens* (Lem.) Lem. (Cactaceae) from root explants. *Scientia Horticulturae* **81**:337-344.
- Fay MF & Gratton J. 1992. Tissue culture of cacti and other succulents: a literature review and a report on micropropagation at Kew. *Bradleya* **10**:33-48.
- Giusti P, Vitti D, Fiocchetti F, Colla G, Saccardo F & Tucci M. 2002. *In vitro* propagation of three endangered cactus species. *Scientia Horticulturae* **95**:319-332.

- Gratton J & Fay MF. 1990. Vegetative propagation of cacti and other succulents *in vitro*, páginas 219-225. En JW Pollard & JM Walker (eds.). *Methods in Molecular Biology* Vol. 6, Plant Cell and Tissue Culture. Humana Press. USA.
- Guzmán U, Arias S & Dávila P. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. UNAM-Conabio. México.
- Katja GM, Mata-Rosas M & Chávez-Avila VM. 2003. Organogenesis and somatic embryogenesis in *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schum (Cactaceae), an endemic and endangered Mexican species. *In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant* **39**:388-393.
- Malda G, Backhouse RA & Martin C. 1999a. Alterations in growth and crassulacean acid metabolism (CAM) activity of *in vitro* cultured cactus. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* **58**:1-9.
- Malda G, Suzán H & Backhaus R. 1999b. *In vitro* culture as a potential method for the conservation of endangered plants possessing crassulacean acid metabolism. *Scientia Horticulturae* **81**:71-87.
- Martínez-Vázquez O & Rublío A. 1989. *In vitro* mass propagation of the near-extinct *Mammillaria san-angelensis* Sánchez-Mejorada. *Journal of Horticultural Science* **64**:99-105.
- Mata RM, Monroy de la Rosa MA & Chávez-Avila VM. 2001. Micropropagation of *Turbiniocarpus laui* Glass et Foster, an endemic and endangered species. *In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant* **37**:400-404.
- Murashige T & Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* **15**:473-497.
- Norma Oficial Mexicana NOM-Ecol-059-1994. Diario Oficial de la Federación. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. México D.F., 16 de mayo 1994.
- Palomino G, Dolezel J, Cid R, Brunner I, Mendez I & Rublío A. 1999. Nuclear genome stability of *Mammillaria san-angelensis* (Cactaceae) regenerants induced by auxins in long term *in vitro* culture. *Plant Science* **141**:191-200.
- Pehla D, Kaushik RA, Mizrahi Y & Sitrit Y. 2002. Organogenesis in the vine cactus *Selenicereus megalanthus* using thidiazuron. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* **71**:81-84.
- Pérez GS. 1999. *Estudio etnobotánico, ecológico y de usos potenciales del garambullo (Myrtillocactus geometrizans) como base para su domesticación y cultivo*. Cuaderno de trabajo, Sistema de Investigación Miguel Hidalgo. Consejo Nacional de Investigación Ciencia y Tecnología, Delegación Regional Centro, Querétaro, Qro. México.
- Pérez-Molphe Balch E & Dávila-Figueroa CA. 2002. *In vitro* propagation of *Pelecyphora aselliformis* Ehremberg and *P. strobiliformis* Werdermann (Cactaceae). *In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant* **38**:73-78.
- Pérez-Molphe Balch E, Pérez RME, Villalobos AE, Mezal RE, Morones RL & Lizalde VHJ. 1998. Micropropagation of 21 species of Mexican cacti by axillary proliferation. *In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant* **34**:131-135.
- Reyes SJ. 1997. Cultivo y propagación como plantas de ornato, páginas 69-77. En C. Valles Septién (ed.). *Suculentas Mexicanas: Cactáceas*. CVS Publicaciones. México.
- Rublío A, Marín-Hernández T, Duval K, Vargas A & Márquez-Guzmán J. 2002. Auxin induced morphogenetic responses in long-term *in vitro* subcultured *Mammillaria san-angelensis* Sánchez-Mejorada (Cactaceae). *Scientia Horticulturae* **95**:341-349
- Sánchez-Martínez E. 1994. *Avances en la propagación in vitro de Cactáceas*. ITESM - Campus Querétaro. México.
- Silva Montellano A. 2000. Efecto del vecindario sobre la tasa de crecimiento de *Pachycereus marginatus* (D.C.) Britton & Rose en Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **45**:28-33.
- Stuppy W & Nagl W. 1992. Regeneration and propagation of *Ariocarpus retusus* Scheidw (Cactaceae) via somatic embryogenesis. *Bradleya* **10**:85-88.
- Villavicencio GE, Villegas MA, Arellano OG & Vargas HJ. 1999. Desarrollo *in vitro* de *Astrophytum myriostigma* Lem. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **44**:49-55.

Recibido: marzo 2005, aceptado: marzo 2006.

Received: March 2005, accepted: March 2006.

Pachyphytum saltensis Brachet, Reyes & Mondragón, una nueva especie para el estado de Zacatecas, México

Brachet Ize, Christian¹; Reyes-Santiago, Jerónimo^{2,1*} & Mondragón Larios, Roxana¹

Resumen

En una exploración realizada por el equipo de la Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. y del Jardín Botánico del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México al estado de Zacatecas en 1996, se localizó una planta de la familia Crassulaceae no conocida y se colectaron dos ejemplares sin flor. En ese momento no pudo ser identificada debido a que uno de los especímenes murió y a que los datos se perdieron. No fue hasta el mes de abril de 2004 cuando se le volvió a encontrar con flores en una localidad con pocos individuos. La planta es nombrada como una nueva especie de la sección *Pachyphytum*, la más septentrional en el occidente de México.

Palabras claves: Crassulaceae, *Pachyphytum*, Zacatecas.

Abstract

During a field exploration in 1996 to the state of Zacatecas made by personnel of the Mexican Society of Cactology, A.C., and from the Botanical Garden of the Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, an unknown plant from the Crassulaceae family was located, and two specimens were collected. This plant could not be identified at that moment because one of the specimens died and information about it was lost. It was not until April 2004, when it was found again, now with flowers in a locality with few individuals. The plant was named as a new species of the *Pachyphytum* section, the one located at the northernmost region of western México.

Key words: Crassulaceae, *Pachyphytum*, Zacatecas.

Introducción

En este trabajo se describe la nueva especie *Pachyphytum saltensis* Brachet, Reyes et Mondragón sp. nov. (Fotos 1-10).

En el mes de abril de 2004, miembros de la Sociedad Mexicana de Cactología A.C., bajo el proyecto denominado “Censo en su hábitat de las cactáceas y suculentas de la República Mexicana (crasuláceas y

agaváceas)” oficio NUM/SGPA/DGVS 035583, otorgado por la Dirección de Vida Silvestre de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, efectuaron un viaje al estado de Zacatecas con el propósito de localizar la nueva variedad de *Graptopetalum saxifragoides* descrita en 2003 como *G. saxifragoides* var. *farinifera*, especie que crece cerca de Monte Escobedo y coleccionar finalmente dos plantas de un

¹ Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. Apartado Postal 19-490, San José Insurgentes, D.F. 03901, México.

² Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior s/n Ciudad Universitaria. Apartado postal 70-614, C.P. 04510, México, D.F.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: jreyes@ibunam.ibiologia.unam.mx

Jerónimo Reyes Santiago



FOTO 1. Detalle de hojas e inflorescencia de *Pachyphytum saltensis*.

Christian Brachet Ize



FOTO 2. *Pachyphytum saltensis* en localidad tipo.

Jerónimo Reyes Santiago

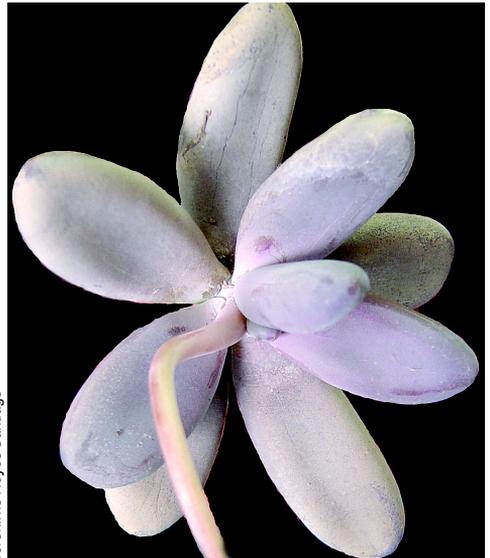


FOTO 3. Detalle de las hojas de *Pachyphytum saltensis*.

Pachyphytum o *Graptopetalum* que anteriormente había sido vista y colectada por el Biól. Jerónimo Reyes en marzo de 1996 durante la búsqueda de *Mammillaria apozolensis* en compañía de Ulises Guzmán, Michel Lacoste y Christian Brachet. Según J. Reyes esta planta crece en cantiles verticales difíciles de descender sin equipo adecuado, pero alcanzó a tomar dos ejemplares vivos en aquel tiempo.

Material y métodos

Después de 8 años de haber visitado por primera vez esta localidad, nuevamente se recorrió durante cerca de 45 minutos y se reconocieron de inmediato los cantiles donde se encontraban las plantas en floración (Foto 2).

Son pocos ejemplares en el hábitat, se alcanzaron a contar aproximadamente 30 ejemplares distribuidos en un espacio muy reducido. Se rastrearon más de 300 metros cuadrados tratando de localizar otros manchones, pero lo accidentado del terreno impidió continuar la búsqueda.

Con mucha dificultad se colectaron únicamente dos ejemplares en floración para el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Una semana más tarde J. Reyes comunicó a los otros autores que se trataba de una nueva especie, además de un nuevo registro del género *Pachyphytum* en el estado de Zacatecas. Dichas plantas colectadas eran exactamente iguales a la registrada JE-3644 que J. Reyes había colectado 8 años atrás, el 6 de marzo de 1996.

Inmediatamente se inició su propagación en las instalaciones del Jardín Botánico, Instituto de Biología, de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como su in-

greso a la Colección Nacional de la familia Crassulaceae que custodia ésta institución.

En la región donde habita *P. saltensis* pasaron botánicos y zoólogos como Joseph Nelson Rose en 1897, especialista en crasuláceas y cactáceas (Mc Vaugh 1972) y Edgard Alphonso Goldman junto con E. W. Nelson quienes recorrieron el territorio mexicano de 1892 a 1906 al mismo tiempo que Rose (Goldman 1851). También la zona ha sido visitada por numerosos cactólogos para conocer *Mammillaria apozolensis* var. *saltensis* (Reppenhagen 1992).

Estos datos nos revelan que a más de 100 años de exploración se siguen encontrando especies nuevas en México. Los micro-hábitats y el micro-endemismo es una constante en centenares de especies que se han descrito.

Finalmente queremos señalar que *Pachyphytum saltensis* sólo es conocido en la localidad tipo con pocos individuos que crecen en los cantiles.

Resultados

Descripción

Pachyphytum saltensis Brachet, Reyes et Mondragón sp. nov.

Planta perennis, glabra; caulis simplex vel basi ramosus, erectus vel decumbens usque ad 16 cm longus, 1.2-14 cm diam.; rosula terminalis, laxa 8.5-9 cm diam.; folia: plus quam 10; 3.6-7.1 cm longa, 1.5-2.3 cm lata et 0.6-1 cm crassa, lanceolata, insigniter concava ventraliter, convexa dorsaliter, violaceo-viridia, pruinosa; margo foliorum integer; inflorescentia: una per rosulam 25-35 cm longa, cincinnalis, 1.5 diam basi, cum 7-16 floribus; bractee 1.4 cm longae, 0.6-1 cm latae; pedicelli 4-8 mm longi, 1 mm lati leviter pruinosi; calcar 3 mm longus; 5 sepala

inaequalia: maiora 13 mm longa, 4 mm lata, linear-lanceolata, minora 9 mm longa, 2 mm lata lanceolata, submucronata, viridi-vinacea; 5 petala aequales, 7-9 mm longa, 3 mm lata, cuneata, basi rosea, rubra in medio, viridia ad apicem; androecium: stamina antipetala 3 mm longa, rosea, stamina antisepala 7 mm longa, filamenta 6 mm longa, antherae 1 mm longa; gynoecium: 4 mm diam.; ovaria 4.5 mm longa, 1 mm lata; stylus 1 mm longus, ruber; lobulus stigmatis, flavo-translucidus; nectaria rhombiformia, pellucida.

Planta perenne, glabra; tallo simple o algo ramificado de la base, erecto a decumbente de hasta 16 cm de largo, de 1.2-1.4 cm de grueso; roseta terminal laxa de 8.5-9.0 cm de diámetro, con más de 10 hojas; hojas de 3.6-7.1 cm de largo, 1.5-2.3 cm de ancho y 0.6-1.0 cm de grueso, lanceoladas a oblanceoladas, con margen entero, ápice obtuso a truncado, notablemente cóncavas ventralmente, convexas dorsalmente, color violáceo verdoso-pruinosas (Fotos 1-3); tallo floral, una por roseta de 25-35 cm de largo, en cincino, 1.5 cm de diámetro en la base con 7-16 flores (Foto 4); brácteas de 1.4 cm de largo, 0.6-1.0 cm de ancho; pedicelos de 4-8 mm de largo y 1 mm de grueso algo pruinosos; espón de 3 mm de largo; sépalos 5 desiguales: los grandes de 13 mm de largo y 4 mm de ancho, lanceolados a obovados y los pequeños de 9 mm de largo y 2 mm de ancho, lanceolados; submucronados de color verde vináceo; pétalos 5, iguales, de 7-9 mm de largo y 3 mm de ancho, cuneados de color verde amarillento en la base, rojo en la parte media a partir de los apéndices y verdoso en el ápice; androceo: 5 estambres epipétalos de 3 mm de largo, color rosado; 5 estambres antesépalos de 7 mm de largo; filamentos de 6 mm y anteras de 1 mm; gineceo: diámetro 4 mm, ovario de 4.5 mm de largo; 1 mm de ancho; estilo de 1 mm de largo de color rojizo; el lóbulo del estigma color amarillo translúcido; nectarios romboides translúcidos a verde amarillento de 1.78 a 1.90 mm de largo

(Fotos 5-8). Semillas piriformes de 0.482 mm de largo y 0.200 mm de ancho, color pardo claro, testa reticulada (Fotos 9 y 10).

Localidad tipo: México, Zacatecas, municipio de Monte Escobedo, El Salto cerca de la carretera a Jerez, alt. 1900 m, 06-03-1996.

Holotipo: Reyes, Brachet & Guzmán 3644 (MEXU).

Distribución: Se conoce solamente en la localidad tipo con pocos ejemplares.

Fenología: Florece de diciembre a mayo.

Etimología: El epíteto específico hace referencia al nombre de la localidad donde crece, El Salto, un cañón con arroyo permanente.

Discusión

Pachyphytum saltensis se ubica en la sección *Pachyphytum* por los segmentos del cáliz desiguales, la mancha roja por debajo del ápice de los pétalos y las brácteas de los cincinos jóvenes imbricados, de acuerdo con Meyrán (2003). La especie parece estar relacionada cercanamente con *Pachyphytum machucae* García, Glass y Cházaro de Michoacán, pero difiere en tamaño y forma de hoja, flor y nectario, así como en su hábito de crecimiento (Fotos 4-7). También la caracteriza su aislamiento geográfico con respecto a otras especies de la sección (*Pachyphytum*) que en su mayoría están concentradas en el centro del país.

Es importante señalar que existe una publicación titulada: *Graptopetalum amethystinum* (Crassulaceae), nuevo registro para el estado de Zacatecas, México (Carrillo 2004), donde se menciona una planta que a nuestro parecer es la misma especie que estamos describiendo. Al inicio de dicha publicación dice “al momento de la colecta (27 de julio de 2002), la planta no se encontraba en floración, sin embargo, se ha-

Jerónimo Reyes Santiago



FOTO 4. Inflorescencia de *Pachyphytum saltensis*.

Jerónimo Reyes Santiago



FOTO 5. Nectarios localizados en la base de los carpelos.

Jerónimo Reyes Santiago

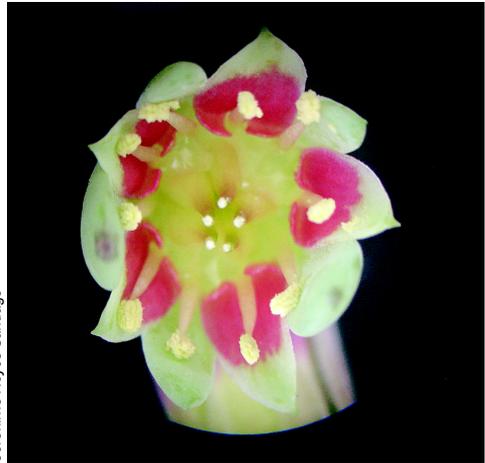


FOTO 6. Detalle de la flor, vista frontal.

Jerónimo Reyes Santiago



FOTO 7. Verticilos florales de *Pachyphytum saltensis*.

Jerónimo Reyes Santiago



FOTO 8. Brácteas, pétalos y sépalos de *Pachyphytum saltensis*.

Araceli Gutiérrez de la Rosa

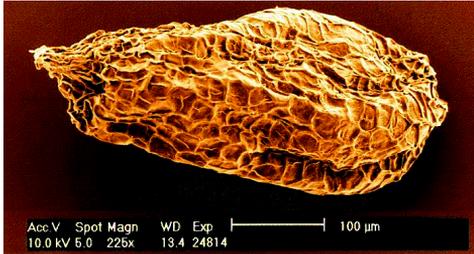


FOTO 9. Semilla de *Pachyphytum saltensis* bajo microscopio electrónico.

llaron inflorescencias secas en buen estado, mismas que se colectaron y herborizaron. Con base en este material y en plantas vivas, se presenta la siguiente descripción”.

La descripción que presenta el autor (Carrillo 2004) es muy similar al presente artículo, los ejemplares vivos en campo de *Pachyphytum saltensis* Brachet, Reyes & Mondragón y *Graptopetalum amethystinum* Rose de Bolaños Jalisco, son sumamente parecidos sin las flores. Se buscaron ejemplares de *Graptopetalum amethystinum* en el Salto, Zacatecas sin éxito, probablemente pueden existir otras localidades aún no exploradas.

Los autores no tuvimos la oportunidad de revisar los ejemplares de herbario depositados en IBUG, IEB y XAL que se mencionan en el artículo en cuestión. Es probable que existan los dos taxa en el mismo sitio, aunque creemos que se trata de un error de identificación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Jorge Meyrán por la valiosa revisión y sugerencias para mejorar el texto. A Omar González Zorzano y Dr. Fernando Chiang Cabrera por la traducción de la diagnosis al latín, así como a la M. en C. Mariana Rojas Aréchiga por la traducción al inglés y sugerencias para mejorar el texto.

Daniela Abele

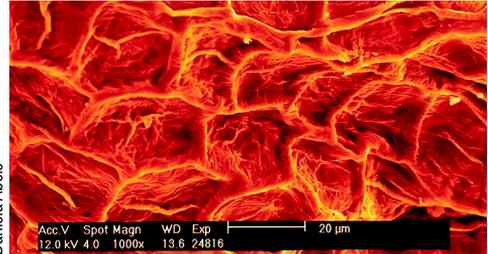


FOTO 10. Detalle de la superficie reticulada de la testa de *Pachyphytum saltensis* bajo microscopio electrónico.

También deseamos hacer reconocimientos a los biólogos Araceli Gutiérrez de la Rosa, Joel Pérez Crisanto, Rosario Castro González, Samantha Mendoza y Mauricio Avila Serratos por su apoyo en la preparación del presente artículo.

Las imágenes de semillas en microscopio electrónico de barrido fueron tomadas en Bio Center Klein Flottbek, Universidad de Hamburgo, Alemania.

Literatura citada

- Carrillo P. 2004. *Graptopetalum amethystinum* (Crassulaceae), nuevo registro para el estado de Zacatecas, México, páginas 67-68. En JA Vázquez-García, MJ Cházaro, HG Nieves, YL Vargas-Rodríguez, GM Vázquez & MA Flores (eds.). *Flora del Norte de Jalisco y Etnobotánica Huichola*. Universidad de Guadalajara. México.
- Goldman EA. 1851. Biological Investigations in México. *Smithsonian Miscellaneous Collections* **115**:287-291.
- Meyrán GJ & López Chávez L. 2003. *Las Crasuláceas de México*. Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. México D.F. México.
- McVaugh R. 1972. Botanical Exploration in Nueva Galicia, Mexico. *Contributions from the University of Michigan Herbarium* **9**:296-297.
- Reppenhagen W. 1992. Die Gattung *Mammillaria*. Herausgeber, Drick und Verlag: Druckerei Steinhart GmbH. Germany. Band 2.

Recibido: enero 2006, aceptado: abril 2006.

Received: January 2006, accepted: April 2006.

Evaluación de la función termorreguladora del pseudocefalio en *Cephalocereus columna-trajani* (Kart. ex Pfeiff.) K. Schum

Valverde, Pedro Luis^{1*}; Vite, Fernando¹ & Rodríguez-Salinas, Yesica¹

Resumen

En *Cephalocereus columna-trajani*, el pseudocefalio es una banda pilosa longitudinal, lateral, en la que se producen las flores y los frutos. La orientación, o acimut, de esta estructura se ha interpretado como un mecanismo que evita las altas temperaturas a las que podrían estar expuestas las yemas y las flores. En este estudio se evalúa la función termorreguladora del pseudocefalio. Se compararon las temperaturas externas (ambientales) e internas (en el parénquima) en el pseudocefalio, y en un punto aleatorio fuera del mismo, en 20 individuos adultos, en mayo, julio y noviembre de 2004 en la Región de Zapotitlán, Puebla. Para julio y noviembre, las diferencias en las temperaturas sobre y fuera del pseudocefalio se explican por el acimut de éste. En mayo, época reproductiva, las diferencias entre las temperaturas diurnas externas e internas, revelan el efecto termorregulador del pseudocefalio, debido básicamente a la pubescencia.

Palabras Clave: acimut, *Cephalocereus columna-trajani*, orientación, pseudocefalio, temperatura, Zapotitlán.

Abstract

In *Cephalocereus columna-trajani*, the pseudocephalium is a hairy longitudinal, lateral, band onto which flowers and fruits are produced. The orientation, or azimuth, of this structure has been interpreted as a mechanism to avoid high temperatures to which buds and flowers could be exposed. In this study, the thermoregulatory function of pseudocephalium is evaluated. External (environmental) and internal (in the parenchyma) temperatures at the pseudocephalium and at a random point outside of it, were compared in 20 adult individuals in May, July, and November, 2004, at the Zapotitlán Region, Puebla. For July and November, differences in temperatures, on and outside of the pseudocephalium, are explained by its azimuth. In May, the reproductive season, differences between external and internal diurnal temperatures, reveal the thermoregulatory effect of the pseudocephalium, basically due to pubescence.

Key words: azimuth, *Cephalocereus columna-trajani*, orientation, pseudocephalium, temperature, Zapotitlán.

Introducción

El sobrecalentamiento es uno de los principales desafíos que enfrentan las plantas en

zonas áridas y semiáridas. En estas regiones, las plantas están expuestas a registros de temperatura en los cuales las funciones vitales se llevan a cabo a niveles subóptimos, y en ocasiones, peligrosamente

¹ Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Apartado postal 55-535, C.P. 09340 México, D. F. Tel. 55 5804 6456, fax 55 5804 4688.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: plpv@xanum.uam.mx

cercanos al límite letal (Larcher 1995). En este sentido, procesos tales como la pérdida de calor por conducción, convección y transpiración, permiten a las plantas evitar el calentamiento excesivo (Fitter & Hay 1981). Sin embargo, las cactáceas enfrentan la desventaja de presentar tallos opacos, baja relación superficie volumen y metabolismo CAM que, por un lado, reducen su eficiencia de pérdida de calor por convección, y por el otro, impiden la transpiración durante el día (Nobel 1978; Smith *et al.* 1984; Nobel 1988). Frente a esto, la función de características tales como la cubierta de espinas y la pubescencia apical y/o lateral es crucial en la regulación de las temperaturas extremas en cactáceas (Nobel 1978; Fitter & Hay 1981; Smith *et al.* 1984; Nobel 1988), al alterar los patrones de intercepción de radiación solar (Rundel *et al.* 1995) y afectar el intercambio de energía con el ambiente (Smith *et al.* 1984). Así también, la orientación vertical del clorénquima en cactáceas representa una solución arquitectural que ayuda a resolver el compromiso entre la captura de luz y el sobrecalentamiento, al maximizar la intercepción de luz en la mañana y en la tarde, y reducir el sobrecalentamiento durante las horas más cálidas del día (Nobel 1986; Zavala-Hurtado *et al.* 1998).

Cephalocereus columna-trajani (Kart. ex Pfeiff.) K. Schum., es una cactácea columnar gigante endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en los Estados de Puebla y Oaxaca (Bravo-Hollis 1978). Conociendo localmente como “cardón” o “soldado”, *C. columna-trajani* se distingue por la marcada inclinación de la parte superior del tallo, con un acimut Norte-Noroeste (media \pm DE; $339^\circ \pm 22^\circ$; Zavala-Hurtado *et al.*

1998). En el lado cóncavo del tallo inclinado de los individuos adultos (Fotos 1-3) se encuentra una estructura denominada cefalio o pseudocefalio, dependiendo de los autores que se sigan. Para Gibson y Nobel (1986), en las cactáceas, un pseudocefalio es una región de areólas floríferas cubiertas por pelos, pero restringida sólo a uno de los lados de la parte superior del tallo (precisamente como en *C. columna-trajani*) mientras que un cefalio es una cubierta pilosa pero que cubre enteramente el ápice del tallo (como en *Backebergia militaris*). Para Bravo-Hollis (1978), un cefalio es una región florífera pilosa cuyas areólas se modifican de manera que no continúan sus funciones vegetativas (como en *C. columna-trajani*), mientras que un pseudocefalio es una región florífera cuyas areólas, después de la floración, pierden los órganos pilosos y persisten en sus funciones vegetativas (como en *Pachycereus fulviceps*). Según Bravo-Hollis (1978), a diferencia de Gibson y Nobel (1986), ambos, cefalios y pseudocefalios, pueden ser apicales o laterales. En este caso, por congruencia del antecedente más importante para este trabajo (Zavala-Hurtado *et al.* 1998), seguiremos la definición de Gibson y Nobel (1986).

La formación del pseudocefalio en individuos de *C. columna-trajani* se inicia cuando éstos alcanzan un altura promedio de 3.35 m y se vuelven reproductivos (Zavala-Hurtado & Díaz-Solís 1995). Las pilosidades del pseudocefalio miden unos 4 a 6 cm de largo y la superficie del tallo bajo ellas no es fotosintética (Bravo-Hollis 1978; Zavala-Hurtado *et al.* 1998). Se ha sugerido que una de las funciones de la pubescencia apical es la protección de flores y frutos tanto de la evaporación exce-

siva como de las altas temperaturas diurnas (Nobel 1982; Gibson & Nobel 1986). Más aún, esta estructura también reduce la pérdida de calor durante la noche, protegiendo así a yemas y flores de las bajas temperaturas o heladas (Nobel 1978, 1980, 1986).

En el caso de *C. columna-trajani*, Zavala-Hurtado *et al.* (1998), explican la inclinación y acimut u orientación del pseudocefalio como un mecanismo para: a) maximizar la intercepción de la radiación solar directa (*i.e.*, radiación fotosintéticamente activa, o PAR por sus siglas en inglés) en la época de lluvias, lo que coincide con la época de crecimiento de la planta y, b) como un mecanismo de protección de las yemas y las flores de la radiación solar excesiva, que podría dañarlas. Con relación a esto último, el principal objetivo de este trabajo es describir el régimen térmico del pseudocefalio de *C. columna-trajani* para tres distintas épocas del año. Nuestra hipótesis es que, durante el día, las temperaturas del pseudocefalio son inferiores a las de cualquier otro punto de la parte superior del tallo no cubierta por esta estructura. Adicionalmente, durante la noche, es posible que las temperaturas del pseudocefalio sean superiores a las de cualquier otro punto de la parte superior del tallo no cubierta por esta pubescencia.

Material y métodos

Cephalocereus columna-trajani (Karw. ex Pfeiff.) K. Schum. [= *C. hoppenstedtii* (F. A. C. Weber) K. Schum.] es una cactácea columnar que llega a sobrepasar los 15 m de altura (Foto 1). En los casos en los que se presentan ramificaciones, éstas son po-

cas y en ángulo agudo, y como son resultado de daño natural o antropogénico (Zavala-Hurtado & Díaz-Solís 1995), corresponden a reiteraciones traumáticas. Su distribución se restringe a la Provincia Florística Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en los estados de Puebla y Oaxaca. Una característica notable de esta especie es la presencia de un pseudocefalio (ver introducción). Las poblaciones en la parte Norte del área de distribución (Puebla) presentan una marcada inclinación de la parte superior del tronco en la misma dirección o acimut hacia la que mira el pseudocefalio, así como diámetros máximos del tronco que pueden sobrepasar los 50 cm. Las poblaciones en la porción Sur (Oaxaca) consisten de individuos más espigados y con menor inclinación de la parte superior del tallo (Valverde *et al.* en prensa).

Descripción taxonómica

Cephalocereus columna-trajani (Bravo-Hollis 1978; Arias *et al.* 1997):

Tallos color verde grisáceo claro. Costillas 16-34, 0.6-1.5 cm de altura; areólas elípticas, distantes entre sí 3.0-5.0 mm; espinas radiales 12-18, 0.4-1.0 cm de largo, subuladas, blancas; espinas centrales 5-8, 0.5-8.0 cm de largo, setosas a subuladas, más rígidas y gruesas, blancas; cefalio amarillo negruzco, con pelos abundantes, *ca.* 5.0 cm de largo, cerdas 4.0-6.0 cm de largo (ver Introducción); flores nocturnas de 6.2-7.5 cm de largo, tubular-campanuladas; pericarpelo 1.2-1.5 cm de largo, 1.0-1.2 cm de ancho, blanco; tubo receptacular 3.5-3.8 cm de largo, blanco, brácteas 0.4-2.0 cm de largo, angostamente deltoides, mucronadas; tépalos externos 1.3-1.5 cm de largo, 0.4-0.5 cm de ancho, lineares, ápice acuminado, rosa a blanco; tépalos internos de hasta 1.5 cm de largo y 0.7 cm de ancho,



P.L. Valverde

FOTO 1. *Cephalocereus columna-trajani* en Tilapa, Puebla.

espatulados, ápice abruptamente acuminado, blanco amarillento, margen denticulado; estambres 0.5-1.0 cm de largo, muy numerosos, filamentos blanco-amarillentos; cavidad del ovario pequeña; cámara nectarial cerrada por la base encorvada de los estambres primarios; estilo 4.2-5.0 cm de largo, blanco, lóbulos del estigma *ca.* 5, 2.0 mm de largo, amarillo claros; frutos ovoides 3.0-4.0 cm de largo, 2.0-2.8 cm de ancho, pardos claros a oscuros; semillas *ca.* 2.0 mm de largo, numerosas, oblicuamente oviformes, testa lisa, negra y brillante.

Área de estudio

El estudio se realizó en Las Ventas (18° 21' N, 97° 27' W, 1500 m.s.n.m.), una localidad 5 km al noreste de Zapotitlán Salinas, Puebla. El área general en la que se encuentra el sitio de estudio es la región semiárida de Zapotitlán, Puebla, la cual ha sido descrita en muchos otros trabajos (*e.g.* Meyrán 1980; Zavala-Hurtado 1982; Peters 1993). El clima es semiárido con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 21 °C y una precipitación anual promedio de 400 mm; la región forma parte de la Reserva de la Biósfera del Tehuacán-Cuicatlán, en los estados de Puebla y Oaxaca. El estudio se llevó a cabo durante los meses de mayo, julio y noviembre de 2004.

Registros de temperatura y análisis de datos

Se seleccionaron 20 individuos adultos de 3.6 a 5.6 m de altura (media \pm DE; 4.54 \pm 0.52 m, CV = 11.45%), bajo el supuesto de que este intervalo, relativamente restringido, reduce la posible variación en temperatura debido a la altura de los individuos. Adicionalmente, se procuró que los individuos seleccionados se encontraran bajo condiciones de exposición y pendientes si-

milares. El área de muestreo cubrió 1.9 hectáreas y la distancia mínima y máxima de los individuos en estudio fue de 4.63 y 217.67 m, respectivamente.

Los registros de temperatura se llevaron a cabo a lo largo de cuatro días consecutivos en los meses de mayo, julio y noviembre. Esto permitió cubrir tres estaciones del año (primavera, verano y otoño). Para la mediciones de temperatura se recurrió a 40 dispositivos automatizados de recolección de datos ambientales conocidos como HOBOS (HOBO® Modelo H08-004-02, Onset Computer Corporation). Cada dispositivo está provisto de un sensor para la temperatura externa (*i.e.*, ambiental) y otras variables. Los HOBOS cuentan además con sensores remotos punzantes de 3.8 cm de longitud que se insertaron en el tejido de los cactus para el registro de sus temperaturas internas. Ambos sensores pueden registrar temperaturas de -20 °C a 70 °C. En cada individuo se colocaron dos HOBOS en la parte superior del tallo; el primero de ellos en el punto medio del ancho del pseudocefalio, y el segundo a la misma altura pero en una ubicación aleatoria fuera del área del tallo cubierta por el pseudocefalio (Foto 2). Por lo tanto, estos registros corresponden a las temperaturas ambientales próximas a la superficie del pseudocefalio o a la epidermis sin pseudocefalio. Los sensores remotos de temperatura interna se insertaron en el parénquima del tallo, simplemente bajo la epidermis, o bien bajo la epidermis cubierta por el pseudocefalio, según fuera el caso. La altura de ambos HOBOS fue en promedio 24 cm (DE = 14 cm) por debajo del ápice del tallo. Los dispositivos fueron programados para realizar las lecturas de temperatura externa e interna cada 5 minutos

durante 24 h por 4 días. La localización aleatoria de los sensores de temperatura, tanto externa como interna, fuera del pseudocefalio, se verificó mediante la prueba de uniformidad de la media angular de Rayleigh (Cuadro 1). En el mismo cuadro se puede apreciar que la media de los sensores colocados fuera del pseudocefalio (184.58°) muestra una gran dispersión (desviación estándar circular) y bajos valores en otros estadísticos circulares (longitud del vector medio y concentración). La posición de los sensores de temperatura tanto en el pseudocefalio como en la ubicación aleatoria fue la misma durante los tres meses.

Se aplicaron pruebas de *t*-pareadas de una cola para poner a prueba las siguientes hipótesis: 1) las temperaturas diurna y máxima, tanto externas como internas del pseudocefalio son menores que en la posición aleatoria fuera del pseudocefalio y 2) las temperaturas nocturnas, y mínimas, internas del pseudocefalio, son mayores que en la posición aleatoria fuera del pseudocefalio (184.58°) muestra una gran dispersión (desviación estándar circular) y bajos valores en otros estadísticos circulares (longitud del vector medio y concentración).

Resultados

En la figura 1 se presenta la marcha de temperaturas, tanto externas como internas, para partes del tallo cubiertas por pseudocefalio y para puntos aleatorios en áreas no cubiertas por éste. Los valores son el promedio de cuatro días en los meses de mayo, julio y noviembre. En el cuadro 2 se presentan las medias y los resultados de las pruebas de *t*-pareadas de una

cola para la comparación de variables relevantes del régimen térmico de las partes del tallo con y sin pseudocefalio, para cuatro días en los meses de mayo, julio y noviembre de 2004. Estas variables son: a) y b) temperatura externa e interna para el periodo diurno (6:00 a 18:00 h), c) temperatura interna para el periodo nocturno (18:00 a 6:00 h del día siguiente), d) y e) temperatura máxima externa e interna y f) temperatura mínima interna.

Temperaturas externas

Para el mes de mayo (Fig. 1a), la temperatura externa en el periodo diurno, contrariamente a lo esperado, es ligeramente más alta sobre el pseudocefalio que en el área sin pseudocefalio. No obstante esto, estadísticamente (Cuadro 2), no hay diferencias significativas con y sin pseudocefalio ($P = 0.076$). La temperatura máxima externa tampoco difiere con y sin pseudocefalio ($P = 0.321$). Para el mes de julio (Fig. 1b), no existen diferencias significativas en las temperaturas externas con y sin pseudocefalio ($P = 0.435$, Cuadro 2). Sin embargo, la temperatura máxima en julio es, en promedio, 1.03°C mayor del lado sin pseudocefalio que del lado con pseudocefalio ($P = 0.04$, Cuadro 2).

Para el mes de noviembre (Fig. 1c), la marcha de temperaturas externas se comporta de forma muy diferente a las de mayo y julio. De acuerdo con lo esperado, la temperatura sobre el área del tallo sin pseudocefalio es mayor que en aquella con pseudocefalio (Fig. 1c). Estadísticamente, la temperatura externa durante el periodo diurno es, en promedio, 3.68°C mayor sobre el tallo sin pseudocefalio, que sobre el tallo con pseudocefalio ($P < 0.01$, Cuadro

CUADRO 1. Estadísticos circulares básicos de la orientación de los HOBOS en el pseudocefalio y en la posición aleatoria fuera del pseudocefalio en 20 individuos de *Cephalocereus columna-trajani* en Las Ventas, Zapotitlán, Puebla.

	Posición del HOBOS	
	Pseudocefalio	fuera del pseudocefalio
Media circular	342.38°	184.581°
Longitud del vector medio (r)	0.935	0.305
Concentración	7.963	0.639
Desviación estándar circular	21.013°	88.356°
Intervalo de confianza (95%)	333.176° - 351.585°	_____
Prueba de uniformidad de Rayleigh (P)	>0.0001	0.157

2). De igual forma, la temperatura máxima es 8 °C mayor del lado sin pseudocefalio que del lado con pseudocefalio ($P < 0.01$, Cuadro 2).

Temperaturas internas

Para los meses de mayo y julio (Figs. 1a y b, respectivamente), ni la temperatura interna diurna, ni la máxima interna, son significativamente diferentes con y sin pseudocefalio ($P = 0.074$ y $P = 0.314$ para mayo y $P = 0.304$ y $P = 0.220$ para julio, Cuadro 2). En contraste, la temperatura interna nocturna, y la mínima interna son de 0.71 a 1.02 °C y de 0.79 a 0.88 °C, respectivamente, mayores para las partes del tallo con pseudocefalio que sin pseudocefalio ($P = 0.039$, temperatura interna nocturna en mayo, y $P < 0.01$, temperatura mínima en mayo y temperatura interna nocturna y mínima interna en julio, Cuadro 2).

Nuevamente, noviembre (Fig. 1c) contrasta con mayo y julio, ya que en este mes la temperatura interna diurna, y máxima, son, en promedio, 2.71 y 5 °C mayores en partes del tallo no cubiertas por pseudocefalio

que bajo el pseudocefalio, respectivamente ($P < 0.01$ en ambos casos, Cuadro 2). Durante la noche, no hubo diferencias significativas ni para la temperatura interna ni para la temperatura mínima interna ($P = 0.217$ y $P = 0.378$, respectivamente, Cuadro 2).

Discusión

Definamos dos posibles componentes del efecto termorregulador del pseudocefalio en *Cephalocereus columna-trajani*. Aquel debido al acimut, que consiste en que, cualquier flor, si está centrada en el pseudocefalio (como es realmente el caso) estará menos expuesta a la radiación solar directa por presentar una orientación Norte-Noroeste (media \pm DE; 342.38° \pm 21.013°, Cuadro 1) (Zavala-Hurtado *et al.* 1998). Por otro lado, independientemente del efecto acimutal, una flor puede estar protegida por el simple hecho de estar embebida en una estructura pubescente (Nobel 1982; Gibson & Nobel 1986). Las temperaturas máximas externas, significativamente menores sobre el pseudocefalio, comparadas con las de la parte del tallo no

cubierta por éste, durante el mes de julio, apoyan el componente acimutal. Aunque este mismo patrón se acentúa en noviembre, al menos con relación a la protección de las flores, no podemos argumentar una ventaja del componente acimutal, debido a que esta época del año está fuera del periodo reproductivo. Estos resultados son notables pese a que nuestro diseño fue conservador en el sentido de que la orientación preferencial del pseudocefalio se comparó con una posición completamente aleatoria y no simplemente contraria al acimut del pseudocefalio.

Para esta especie, se ha reportado que el periodo de floración comprende los meses de marzo a julio, con el pico en el primero de ellos (Zavala-Hurtado *et al.* 1998), y de

hecho, en el presente estudio, 15 de 20 individuos presentaban yemas y flores en el mes de mayo. Si bien para este mes no encontramos un efecto del componente acimutal, esto no invalida nuestra hipótesis sobre la función termorreguladora del pseudocefalio, si consideramos un segundo componente, la pubescencia de dicha estructura. Este efecto termorregulador se aprecia al comparar las diferencias entre las temperaturas diurnas externas e internas, las cuales fueron significativamente mayores en el pseudocefalio, que en las partes del tallo no cubiertas por éste ($3.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ vs. $2.35\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{(1)} = 2.33$, g.l. = 19, $P = 0.0151$). En julio, por otro lado, aunque el efecto atenuador es mayor, no hay diferencias significativas entre las temperaturas diurnas

CUADRO 2. Pruebas de *t*-pareadas (una cola) de las temperaturas externas e internas registradas en el pseudocefalio y en la posición aleatoria fuera del pseudocefalio en 20 individuos de *Cephalocereus columna-trajani* en Las Ventas, Zapotitlán, Puebla. = promedio en el pseudocefalio y = promedio fuera del pseudocefalio. La discrepancia en grados de libertad entre las pruebas de mayo, y las de julio y noviembre, se debe a la falla de algunos de los HOBOS.

a) Mayo	Externa					Interna				
	\bar{X}_{pc}	$\bar{X}_{s/pc}$	$t_{(1)}$	g. l.	<i>P</i>	\bar{X}_{pc}	$\bar{X}_{s/pc}$	$t_{(1)}$	g. l.	<i>P</i>
Temp. diurna	28.55	28.15	1.49	19	0.076	25.48	25.80	-1.51	19	0.074
Temp. nocturna	————	————	————	————	————	26.68	25.97	1.86	19	0.039
Temp. mínima	————	————	————	————	————	18.88	18.09	3.65	19	>0.01
Temp. máxima	38.32	38.84	-0.47	19	0.321	33.83	34.12	-0.49	19	0.314
b) Julio										
Temp. diurna	28.38	28.31	0.16	17	0.435	23.98	23.85	0.52	16	0.304
Temp. nocturna	————	————	————	————	————	24.95	23.93	4.39	16	>0.01
Temp. mínima	————	————	————	————	————	18.99	18.11	6.70	16	>0.01
Temp. máxima	39.32	40.35	-1.86	17	0.040	30.26	30.51	-0.79	16	0.220
c) Noviembre										
Temp. diurna	23.43	27.11	-5.45	13	>0.01	22.67	25.38	-4.61	12	>0.01
Temp. nocturna	————	————	————	————	————	22.45	22.91	-0.81	12	0.217
Temp. mínima	————	————	————	————	————	17.16	17.04	0.32	12	0.378
Temp. máxima	29.23	37.51	-5.19	13	>0.01	28.50	33.5	-3.94	12	>0.01

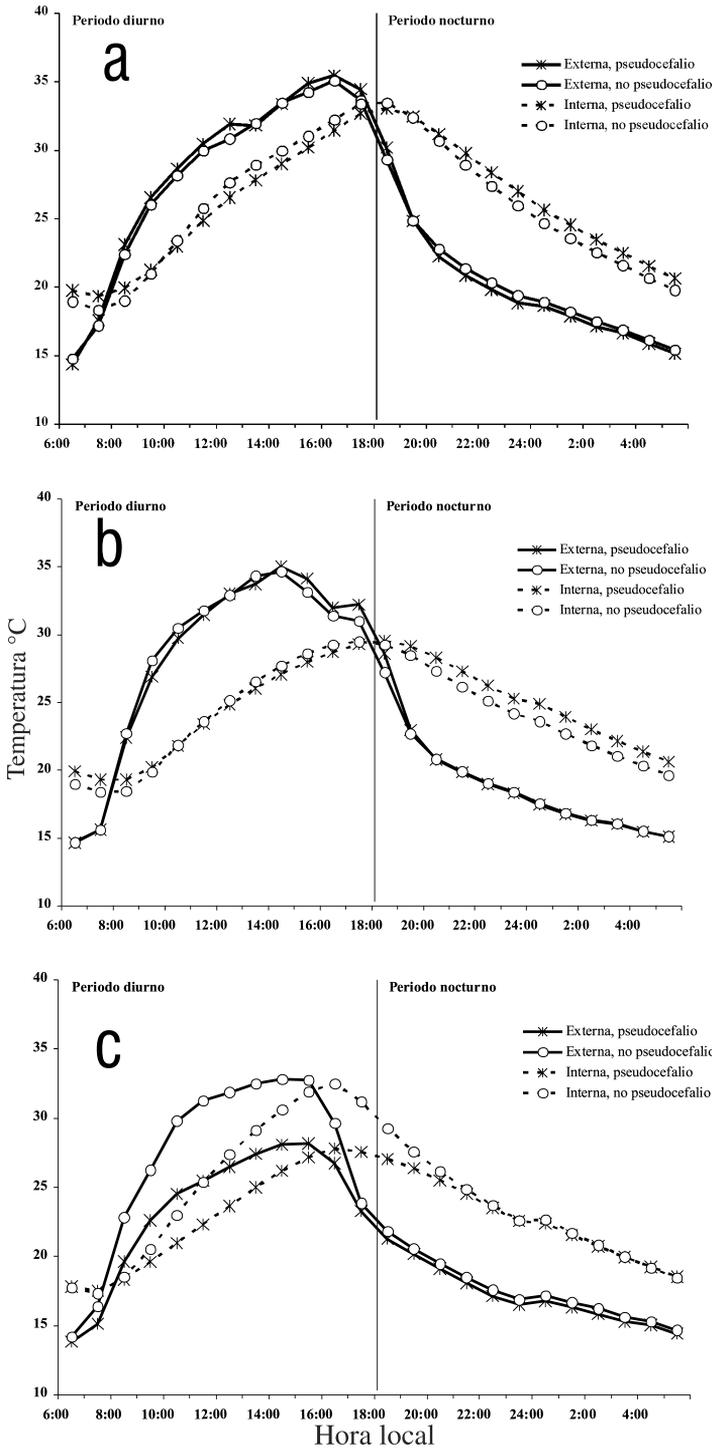


FIGURA 1. Marchas de temperatura externa e interna en el pseudocefalio y en un punto aleatorio del tallo no cubierto por pseudocefalio para 20 individuos de *Cephalocereus columna-trajani* en Las Ventas, Zapotitlán, Puebla. Los datos son promedios de 4 días para los meses de: a) mayo (mediados de primavera) b) julio (mediados de verano) y c) noviembre (mediados de otoño).



Marco A. Pérez-Hernández



Marco A. Pérez-Hernández

FOTO 3. Individuo adulto de *Cephalocereus columna-trajani* en Las Ventas, Zapotilán, Puebla.FOTO 2. Individuos adultos de *Cephalocereus columna-trajani* en el camino a Santa María Ixcatlán, Oaxaca.

externas e internas, en el pseudocefalio y fuera de éste ($4.40\text{ }^{\circ}\text{C}$ vs. $4.46\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{(1)} = -0.60$, g.l. = 16, $P = 0.2768$). Esta particularidad resulta difícil de explicar, ya que implicaría que el mes de julio sería el más adecuado para la floración y que sería in-distinta la producción de flores sobre y

fuera del pseudocefalio. Sin embargo, éste no es el caso, dado que este mes representa el final de la época de floración y las flores sólo se producen sobre el pseudocefalio. Más aún, explicar la posición y distribución de los eventos reproductivos a lo largo del año requiere

considerar muchos otros factores además de la distribución anual de las temperaturas, tales como la distribución de las lluvias, las historias de vida de polinizadores y dispersores.

Nuestros resultados apuntan a que el pseudocefalio en *C. columna-trajani* reduce la temperatura del tallo y los meristemos al disminuir la intercepción de radiación de onda corta durante la horas de mayor insolación (Nobel 1978; Gibson & Nobel 1986; Nobel 1982, 1988). También revelan que el pseudocefalio mantiene temperaturas más elevadas durante la noche, protegiendo así a yemas y flores de eventuales bajas temperaturas o heladas (Nobel 1978, 1980, 1986). Este último aspecto, no obstante, podría considerarse poco relevante si consideramos que *C. columna-trajani* habita una zona intertropical libre de heladas (Peters 1993).

La modificación de la exposición de estructuras vegetativas (tallos o cladodios) y reproductivas (yemas, flores y frutos) a través de la orientación preferencial tiene un efecto directo en la intercepción de radiación solar, y consecuentemente en la temperatura (Ehleringer *et al.* 1980; Nobel 1988, 1994; Cano-Santana *et al.* 1992; Geller & Nobel 1986, 1987; Nobel & Loik 1999). En especies de cactáceas extratropicales, la orientación del tallo y/o las flores hacia el ecuador garantizan la intercepción de radiación solar durante la época de crecimiento y aumenta la temperatura apical durante el invierno (e.g., Johnson 1924; Ehleringer *et al.* 1980; Nobel 1988; Cano-Santana *et al.* 1992; Geller & Nobel 1986, 1987; Nobel & Loik 1999; Tinoco-Ojanguren & Molina-

Freaner 2000). Por esta razón, la orientación de las flores contraria al ecuador (*i.e.*, norte-noroeste Zavala-Hurtado *et al.* 1998) sugiere que la función del pseudocefalio en *C. columna-trajani*, no es aumentar la temperatura apical durante el invierno, sino reducir las altas temperaturas diurnas durante la época de crecimiento. El presente estudio aporta evidencia a favor de la hipótesis sobre la función termorreguladora del pseudocefalio explicada por dos componentes, el acimut preferencial y la pubescencia, en donde este último parece tener efectos más claros.

Agradecimientos

Este trabajo se financió mediante el proyecto 143.05.06 del Departamento de Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. M.A. Pérez-Hernández y P.G. Miranda Pacheco nos apoyaron en el trabajo de campo.

Literatura citada

- Arias S, Gama S & Guzmán U. 1997. *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Fascículo 14. Cactaceae A.L. Juss. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Bravo-Hollis H. 1978. *Las cactáceas de México*. Vol.3. UNAM. D.F. México.
- Cano-Santana Z, Cordero C & Ezcurra E. 1992. Termorregulación y eficiencia de intercepción de luz en *Opuntia pilifera* Weber (Cactaceae). *Acta Botánica Mexicana* **19**:63-72.
- Ehleringer JR, Money HA, Gulmon SL & Rundel P. 1980. Orientation and its consequences for *Copiapoa* (Cactaceae) in the Atacama Desert. *Oecologia*: **46**:63-67.
- Fitter AH & Hay RKM. 1981. *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press, London.

- Geller GN & Nobel PS. 1986. Branching patterns of columnar cacti: influences on PAR interception and CO₂ uptake. *American Journal of Botany* **73**:1193-1200.
- Geller GN & Nobel PS. 1987. Comparative cactus architecture and PAR interception. *American Journal of Botany* **74**:998-1005.
- Gibson AC & Nobel PS. 1986. *The Cactus Primer*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.
- Johnson DS. 1924. The influence of insolation on the distribution and on the developmental sequence of the flowers of the giant cactus of Arizona. *Ecology* **5**:70-82.
- Larcher W. 1995. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Meyrán J. 1980. *Guía Botánica de Cactáceas y Otras Suculentas del Valle de Tehuacán*. Sociedad Mexicana de Cactología, A. C. México.
- Nobel PS. 1978. Surface temperatures of cacti— influences of environmental and morphological factors. *Ecology* **59**:986-996.
- Nobel PS. 1980. Morphology, surface temperatures, and northern limits of columnar cacti in the Sonoran Desert. *Ecology* **61**:1-7.
- Nobel PS. 1982. Low-temperature tolerance and cold hardening of cacti. *Ecology* **63**:1650-1656.
- Nobel PS. 1986. Form and orientation in relation to PAR interception by cacti and agaves, páginas 83-103. En T.J. Givnish (ed.). *On Economy of Plant Form and Function*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Nobel PS. 1988. *Environmental biology of agave and cacti*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Nobel PS. 1994. *Remarkable Agaves and Cacti*. Oxford University Press. New York.
- Nobel PS & Loik ME. 1999. Form and function of cacti, páginas 143-163. En R.H. Robiehaux (ed.). *Ecology of Sonoran Desert Plants and Plant Communities*. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona.
- Peters EM. 1993. Variaciones microclimáticas de un desierto intertropical en el centro de México: algunas implicaciones sobre la vegetación. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Rundel PW, Cowling RM, Esler KJ, Mustart PM, van Jaarsveld E & Bezuidenhout H. 1995. Winter growth phenology and leaf orientation in *Pachypodium namaquanum* (Apocynaceae) in the succulent karoo of the Richtersveld, South Africa. *Oecologia* **101**:472-477.
- Smith SD, Didden-Zopf B & Nobel PS. 1984. High-temperature responses of North American cacti. *Ecology* **65**:643-651.
- Tinoco-Ojanguren C & Molina-Freaner F. 2000. Flower orientation in *Pachycereus pringlei*. *Canadian Journal of Botany* **78**:1498-1494.
- Valverde PL, Vite F, Pérez-Hernández MA & Zavala-Hurtado JA. En prensa. Stem tilting, pseudocephalium orientation, and stem allometry in *Cephalocereus columna-trajani* along a short latitudinal gradient. *Plant Ecology*.
- Zavala-Hurtado JA. 1982. Estudio ecológico en el valle semiárido de Zapotitlán, Puebla. I. Clasificación numérica de la vegetación basada en atributos binarios de presencia o ausencia de las especies. *Biótica* **7**:99-120.
- Zavala-Hurtado JA & Díaz-Solis A. 1995. Repair, growth, age and reproduction in the giant columnar cactus *Cephalocereus columna-trajani* (Karwinski ex Pfeiffer) Schumann (Cactaceae). *Journal of Arid Environments* **31**:21-31.
- Zavala-Hurtado JA, Vite F & Ezcurra E. 1998. Stem tilting and pseudocephalium orientation in *Cephalocereus columna-trajani* (Cactaceae): a functional interpretation. *Ecology* **79**:340-348.

Recibido: agosto 2005, aceptado: enero 2006.

Received: August 2005, accepted: January 2006.



Mammillaria solisioides Backeberg

Es una cactácea endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Se presenta como especie amenazada dentro de la NOM-059-Semarnat-2001 y como vulnerable en el Apéndice I del CITES. Son plantas simples de tallo globoso a subgloboso, midiendo de 2 a 4 cm de alto y diámetro, siendo gran parte de éste, subterráneo. Los tubérculos de jugo acuoso son cortos, cónicos y ligeramente comprimidos lateralmente, con axilas desnudas y areolas oblongas de 1.0-1.5 mm de largo. Presenta alrededor de 25 espinas, todas radiales, de 5 mm de largo, pectinadas, adpresas, flexibles y blancas. Las flores de color blanco-amarillentas de 14 mm de longitud y 1.5 cm de diámetro, tienen forma campanular-infundibuliforme, con filamentos amarillos y estilo verdoso. La floración es entre los meses de septiembre y noviembre (Bravo-Hollis 1978. *Las cactáceas de México*). El fruto apenas sobresale de los tubérculos y es de color verde y con el perianto seco persistente. Semillas negras de 0.8 mm de largo, en forma de cúpula oblicua con hilo amplio, circular y basal. La testa es foveolada. Cuando el fruto es aéreo, la dispersión de las semillas se puede dar por hidrocoria o por medio de lagartijas, hormigas, etc.; en cambio, si está bajo tierra, retenido por la planta durante algunos años, son liberadas por herbivoría o por la muerte del tejido vegetal (Rodríguez-Ortega, com. pers.). Se encuentra en zonas planas y abiertas, regularmente cercanas a caminos (Peters & Martorell 2000).

Su uso es únicamente ornamental y la mayoría de las veces se obtiene por colecta y venta ilegal, lo cual aunado a la destrucción de su hábitat ha provocado que se le considere como especie amenazada.

Bautista Alvarado, Violeta

Laboratorio de Dinámica de Poblaciones y Evolución de Historias de Vida, Instituto de Ecología, UNAM.
Correo electrónico: vbautista@miranda.ecologia.unam.mx