CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

VOLUMEN 54 No. 2 ABRIL-JUNIO 2009 ISSN 0526-717X

GOBIERNO FEDERAL

SEMARNAT

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas
Volumen 54 No. 2
Abril-junio 2009

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-Baes
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
Dra. Raquel Galván
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN

Química y Biotecnología
Dr. Francisco Roberto Quiroz Figueroa
Instituto de Biotecnología, UNAM

Sistemas Reproductivos
Dr. Francisco Molina F.
Instituto de Ecología Campus Hermosillo, UNAM
Dr. Jafet Nassar
Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas

Taxonomía y Sistemática
Dr. Fernando Chiang
Instituto de Biología, UNAM
Dr. Roberto Kiesling
CRICYT, Argentina

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

Asistentes editoriales
Biól. 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
Impresora Múltiple SA de CV
Se imprimieron 1 000 ejemplares, mayo de 2009

SOCIEDAD MEXICANA DE CACTOLOGÍA, A.C.

Presidenta Fundadora
Dra. Helia Bravo-Hollis †

Presidente
Omar Gutiérrez Zorzano

Vicepresidente
Alberto Pulido Aranda

Tesorero
César Rocha Huerta

Secretaria
Samantha Mendoza Moreno

Bibliotecario
Raymundo García A.

Fotografía de portada:
Pachycereus weberi
Foto: Cecilia Jiménez Sierra

Cactáceas y Suculentas Mexicanas es una revista trimestral de circulación internacional y 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 *Cactáceas 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 $400.00 para México y 40 USD o 30 € para el extranjero. Pago de suscripciones a la cuenta no. 148-6353704 de Banamex.
Subscription rates: 40.00 USD or 30.00 €. 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 19-090, San José Insurgentes, 03901, México, D.F.

socmexcat@yahoo.com
www.somecacto.com
www.ecologia.unam.mx/laboratorios/dinamica_de_poblaciones/cacsucmex/cacsucmex_main.html

La Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. agradece el financiamiento para esta publicación al Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas
Volumen 54 No. 2 abril-junio 2009

Contenido

Aspectos demográficos y reproductivos de *Pachycereus weberi* (J.M.Coult.) Backeb. (Cactaceae) en una nueva localidad en el Estado de Hidalgo, México
Jiménez-Sierra Cecilia L, Matias-Palafox Ma Loraine & Jiménez Sanchez M Guadalupe.....36

Estimación matemática del crecimiento en cactus globosos
Gil Gutiérrez Mauricio, Varela H Gerardo J, Osorio Oláiz R, Rivera Juan G & Morales Jorge E 48

Nota: **Saqueo en poblaciones naturales de *Ariocarpus*: el caso de *A. agavoides***
Martínez-Peralta Concepcion & Mandujano María C.....60

***Mammillaria uncinata* Zucc. *ex* Pfeiff.**
García Morales Erick.....63

Contents

Demographic and reproductive attributes of *Pachycereus weberi* (J.M.Coult.) Backeb. (Cactaceae) from a new locality in the state of Hidalgo, Mexico
Jiménez-Sierra Cecilia L, Matias-Palafox Ma Loraine & Jiménez Sanchez M Guadalupe.....36

A mathematical estimation of growth for globose cacti
Gil Gutiérrez Mauricio, Varela H Gerardo J, Osorio Oláiz R, Rivera Juan G & Morales Jorge E.....48

Note: **Ilegal collection of *Ariocarpus* from natural populations: the case of *A. agavoides***
Martínez-Peralta Concepcion & Mandujano María C.....60

***Mammillaria uncinata* Zucc. *ex* Pfeiff.**
García Morales Erick.....63

Aspectos demográficos y reproductivos de *Pachycereus weberi* (J.M.Coult.) Backeb. (Cactaceae) en una nueva localidad en el Estado de Hidalgo, México

Jiménez-Sierra Cecilia L*[1], Matias-Palafox Ma Loraine[1] & Jiménez Sanchez M Guadalupe[1]

Resumen

Presentamos algunas características demográficas y reproductivas de una nueva población de *Pachycereus weberi* (J.M.Coult.) Backeb. en el estado de Hidalgo. La población descrita amplia la distribución de la especie a más de 180 km de su rango original. La población se encuentra al Sureste del poblado de San Pablo Tetlapayac, dentro de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán. Ocupa un área de 2,000 m^2 y los individuos alcanzan más de 15 m de altura. La época de floración es en primavera y la fructificación se presenta en el verano. Las semillas son fotoblásticas negativas y su tasa de germinación es de 80%. El sistema de apareamiento estimado por el índice de entrecruzamiento y la relación polen óvulo es xenógamo facultativo. La presencia de esta especie en Hidalgo, constituye un recurso potencial para los murciélagos herbívoros de la zona y abre nuevos campos de estudio en la relación de las cactáceas y sus polinizadores.
Palabras clave: Cactaceae, fenología, germinación, *Pachycereus weberi*, síndrome quiropterofílico, sistema de apareamiento.

Abstract

This paper documents some demographic and reproductive characteristics of a new finding population of *Pachycereus weberi* (J.M.Coult.) Backeb. in the State of Hidalgo, Mexico. This population amplifies the distribution of the species far from 180 km of its original range. The population is located in the Southeast of the town San Pablo Tetlapayac, inside of the "Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán". It occupies an area of 2,000 m^2 and the individuals reach more than 15 m high. The flowering season is in spring and fructification is in summer. Seeds are not photoblastic and germination rate is 80%. The mating system estimated by the outcrossing index and pollen grains to ovules ratio suggest that the population is facultative xenogam. The presence of *P. weberi* in Hidalgo, constitutes a potential resource for herbivorous bats and opens new fields of study on the relation of this cactus and their pollinators.
Key words: Cactaceae, chiropterophyllous pollination syndrome, germination, mating system, *Pachycereus weberi*, phenology.

Introducción

Las cactáceas constituyen elementos esenciales en la estructura y dinámica de los ecosistemas áridos y semiáridos de México (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991, Arias-Montes 1993, Challenger 1998, Fuentes & Jiménez-Sierra 2007). Algunas

[1] Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Apartado Postal 55535. D.F., México.
*Autor de correspondencia: ceci@xanum.uam.mx.

de ellas son especies arbóreas de gran envergadura como los sahuaros, los órganos y los cardones, las cuales pueden considerarse especies clave ya que proporcionan recursos alimenticios para una gran diversidad de herbívoros, son utilizadas para la percha y anidamiento de aves (Valiente-Banuet *et al*. 1996 , Valiente-Banuet 2002) y bajo su dosel se producen condiciones microambientales favorables para el establecimiento de otras especies (Jiménez-Sierra & Jiménez 2003). Estas plantas imprimen al paisaje de los ecosistemas semiáridos de México un sello peculiar y reflejan la gran diversidad de la familia en nuestro territorio (Challenger 1998, Anderson 2001). Las poblaciones de cactáceas son muy susceptibles a los disturbios antropogénicos (Ezcurra *et al*. 2002, Martorell & Peters 2005), debido a que presentan bajas tasas de crecimiento y a que los eventos de reclutamiento de nuevos individuos son escasos y esporádicos (Godínez-Alvarez *et al*. 2003). Por ello es importante conocer las características demográficas y reproductivas de las poblaciones. Los estudios relacionados con la dinámica poblacional de cactáceas son incipientes y requieren de gran inversión de tiempo y de presupuesto (Godínez-Alvarez *et al*. 2003). Un acercamiento a la evaluación de las poblaciones es la descripción instantánea de algunos de sus atributos demográficos y reproductivos, los cuales abren una ventana a la estimación de las probabilidades de persistencia de las poblaciones en el tiempo (Jiménez-Sierra *et al*. 2007, Godínez-Alvarez *et al.* 2008).

El sistema de cruza en las plantas se refiere a las limitaciones para producir descendencia a través de los procesos alternativos de autocruza (autopolinización) o entrecruza (polinización cruzada). El sistema de apareamiento se refiere a las manifestaciones de la sexualidad, lo que da origen a que las especies sean clasificadas como: a) cleistógamas, cuando la reproducción se presenta sin apertura de las flores (a través de apomixis o automixis); b) autógamas, cuando la progenie se produce por autopolinización y c) xenógamas, cuando la fecundación de los óvulos requiere del polen de otros individuos (Cruden 1977). Cada uno de estos sistemas presentan ventajas y desventajas evolutivas y determinan en gran medida las características genéticas de las poblaciones (Charlesworth & Charlesworth 1987, Eguiarte *et al*. 2003). Los caracteres florales constituyen estimadores de los sistemas de apareamiento de las especies y entre ellos se encuentran: a) la morfometría floral, donde se incluye la separación espacial entre anteras y estigmas, conocida como hercogamia; b) la proporción polen/óvulos y c) la conducta de la flor: considerando la sincronía o asincronía temporal (homogamia o dicogamia respectivamente) en el desarrollo de la función femenina y masculina (Cruden 1977, Cruden *et al*. 1983). Las especies xenógamas, tienden a tener flores grandes, con hercogamia y dicogamia y contienen gran proporción de granos de polen por ovulo para garantizar la llegada del polen a flores de otros individuos de la misma especie. Las características florales reflejan también la interacción entre las flores y grupos funcionales de polinizadores, lo cual puede llevar a la aparición de síndromes de polinización , nombre con el cual se clasifica a los distintos conjuntos de características florales que delinean y son a su vez delineados por la preferencia de un tipo o ciertos tipos de polinizadores. (Faegri & Van der Pijl 1966, Real 1983, Fenster *et al*. 2004).

En las cactáceas arbóreas predomina el sistema de apareamiento xenógamo. Sus flores generalmente presentan síndrome

quiropterofílico (Faegri & Van der Pijl 1966), es decir que son nocturnas, tubulares y de gran tamaño, con colores claros y con gran cantidad de polen y néctar. Sus principales polinizadores son murciélagos (quirópteros), aunque insectos nocturnos (esfíngidos), diurnos (abejas y abejorros) y aves también las visitan (Mandujano *et al*. 2009).

Pachycereus weberi (J.M.Coult.) Backeb. es una especie endémica de México, se conoce como órgano, cardón o candelabro y alcanza una altura de 15 m. Es considerada una de las cactáceas más grandes del mundo, por lo que Bravo-Hollis (1978) se refiere a ella como una especie "gigantesca" (Foto 1). Su tronco es leñoso y bien definido, de hasta 2 m de alto. Sus ramas son muy numerosas, largas y verticales, de 12-20 cm de diámetro, ramificadas solamente en su base. Poseen cerca de 10 costillas, separadas por senos profundos. Las flores son infundibuliformes de 8.8-10 cm de longitud, con pericarpelo elíptico de 1.8-2.5 cm de diámetro, podarios prominentes con escamas pequeñas y axilas con fieltro y cerdas que crecen después de la antesis. Los segmentos exteriores del perianto son color café-rojizo y los interiores son de color blanco-amarillento. Los estambres son numerosos y cortos y el pistilo se encuentra incluido. El fruto es globoso, de 6 a 7cm de diámetro y con espinas, al madurar revienta y expone la pulpa de color rojo púrpura y las semillas negras. (Bravo-Hollis 1978, Anderson 2001, Arias &Terrazas 2009).

La especie se distribuye en la depresión del Balsas y en la región de Tehuacán-Cuicatlán abarcando los estados de Morelos, Guerrero, Puebla y Oaxaca. Crece en bosques tropicales caducifolios sobre suelos aluviales y elevaciones de entre 600 y 1100 msnm. *P. weberi* es un recurso importante para los pobladores pues sus tallos son empleados para la construcción de techos, como forraje y combustible, con sus frutos se elabora agua fresca y las semillas molidas se mezclan al nixtamal para elaborar tortillas o moles (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991, Arias &Terrazas 2009).

Valiente-Banuet *et al*. (1997) estudiaron la biología reproductiva de *P. weberi* en la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán (Puebla) y señalan que el periodo de floración es de noviembre a febrero-marzo y el de fructificación de febrero a marzo. Indican que las flores son nocturnas, presentan homogamia y requieren de polinización cruzada. Los principales polinizadores son murciélagos: *Leptonycteris curasoae yerbabuenae* Martínez & Villa, (*Leptonycteris yerbabuenae*), *L. nivalis* Saussure, *Choeronycteris mexicana* Tschudi, *Artibeus jamaicensis yucatanicus* J.A. Allen, *Glossophaga soricina handleyi* Webster & Jones y *Sturnira lilium parvidens* Goldman.

En el 2004, *P. weberi* fue colectado por primera vez en el Estado de Hidalgo (Guzmán 2040 MEXU). Este hallazgo fue reportado en el 2009 (Arias &Terrazas). Nada se conoce de la demografía o reproducción de la especie en esta nueva localidad enclavada en la Sierra Madre Oriental a 180 km al Norte de las localidades más septentrionales. El objetivo de este trabajo es contribuir al conocimiento de esta nueva población proporcionando algunos datos sobre su demografía y reproducción, al mismo tiempo que se señala su relevancia en relación a la interacción con sus polinizadores potenciales.

Material y métodos

Área de estudio. La población se encuentra en el km 16.9 de la carretera de San Cris-

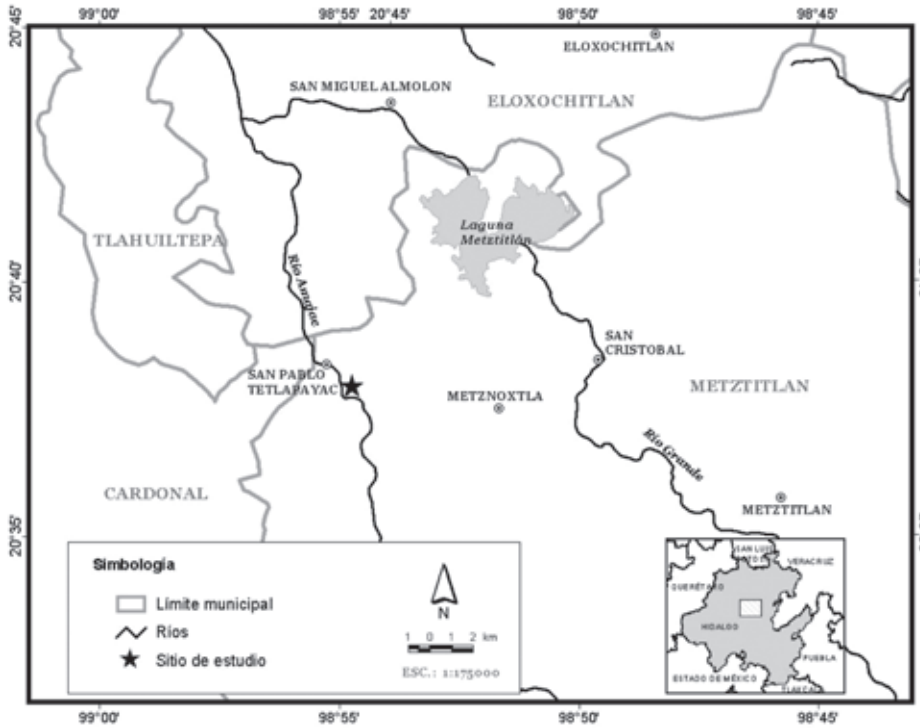


FIGURA 1. Mapa indicando la ubicación de la población de *Pachycereus weberi* en San Pablo Tetlapayac, Hgo.

tobal a San Pablo Tetlapayac (98°55'16"N; 20°38'23W; 1019 msnm), Municipio de Metztitlán, Hidalgo (Fig. 1). La población se desarrolla en un matorral xerófilo crasicaule limítrofe con la vegetación riparia al oriente del Río Amajac, el cual en este punto corre paralelo a un acantilado de roca caliza. El sustrato es aluvial con gran contenido de rocas calizas.

Densidad y distribución de tamaños. La población ocupa un área aproximada de 2 000 m^2. En agosto de 2006 se realizó un censo en la población. Para cada individuo se registró, la altura total, el número de ramas y las costillas por rama. La estructura de tamaños de la población se hizo con base a la cobertura de cada individuo. Para ello se determinó el diámetro de los tallos de los organismos no ramificados y para los organismos ramificados se determinó el diámetro medio de su copa. Los individuos se clasificaron en cinco categorías de cobertura: 1) $\leq$ 5 m^2; 2) de 5.1-35 m^2; 3) de 35.1-85 m^2; 4) de 85.1-160 m^2; 5) >160 m^2.

Fenología. Para la determinación de la época de floración y fructificación se realizaron muestreos mensuales de agosto de 2005 a julio de 2006 en los que se cuantificaron los botones florales, las flores y los frutos de los individuos reproductivos (N = 13).

Morfometría floral. Se colectaron 20 flores de 10 individuos. Estas fueron preservadas en alcohol al 80%. En el laboratorio con un vernier digital se determinaron las variables indicadas en la figura 2.

Sistema de apareamiento. Para estimar el sistema de apareamiento se empleo el índice de entrecruza (OCI, por sus siglas en ingles Outcrossing Index) y la relación polen/óvulo (Cruden 1977, Cruden *et al*. 1983). El OIC se obtiene de la sumatoria de valores preestablecidos de tres atributos florales: a) diámetro floral (valores = 1-3); b) ausencia o presencia de hercogamia (valores = 0 y 1, respectivamente) y c) ausencia o presencia de dicogamia (0 y 1 respectivamente) (Cruden 1997). Las variables a y b fueron determinadas en las flores colectadas y para la estimación de la dicogamia se utilizó la información de Valiente-Banuet *et al*. (1997). Para determinar la relación polen/óvulo se cuantificaron los granos de polen contenidos en 10 tecas no dehiscentes por flor (N = 10). El número de óvulos se estimó de su conteo en la mitad longitudinal del ovario.

Germinación de las semillas y sobrevivencia de las plántulas. En mayo de 2005 se colectaron 10 frutos de 10 individuos. Se determinó el peso seco de los mismos y se contaron las semillas. En octubre del mismo año las semillas fueron sembradas. Previo a la siembra las semillas fueron sumergidas en agua a 50°C donde permanecieron a temperatura ambiente durante 24 h y posteriormente fueron desinfectadas con hipoclorito al 30%. La siembra se realizó en recipientes con tierra esterilizada. Se sembraron 50 semillas por recipiente y se realizaron 6 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos fueron: a) con luz a tem-

Daniel Torres-Orozco

FOTO 1. *Pachycereus weberi* en la barranca de Metztitlán.

L. Matias-Palafox

FOTO 2. Características del hábitat de *Pachycereus weberi* en San Pablo Tetlapayac, Hgo.

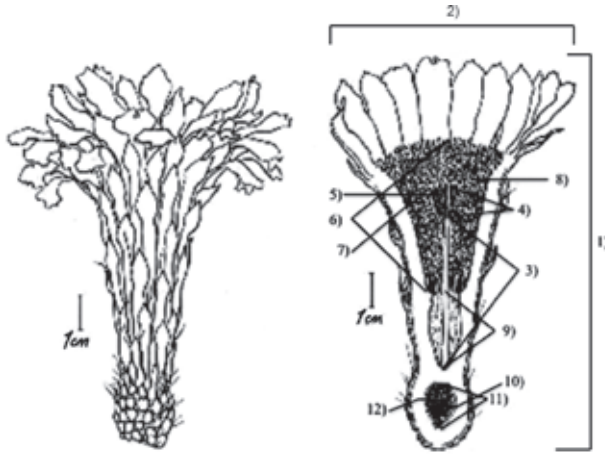


FIGURA 2. Diagrama de la flor de *Pachycereus weberi* que muestra las variables morfométricas estudiadas: 1) longitud total; 2) diámetro máximo del perianto; 3) longitud del estilo; 4) longitud de los lóbulos del estigma; 5) número de los lóbulos del estigma; 6) longitud de los estambres; 7) separación vertical entre las anteras y los lóbulos del estigma; 8) número de estambres; 9) longitud de la cámara nectarial; 10) diámetro polar de la cámara ovárica 11) diámetro ecuatorial de la cámara ovárica; 12) número de óvulos. Modificado de Arias & Terrazas 2009.

CUADRO 1. Morfometría de las flores de *Pachycereus weberi* en la población de San Pablo Tetlapayac, Hidalgo (N=20 flores, EE error estándar).

Parámetros morfométricos	*Promedio ± EE (mm)*
1) Longitud total de la flor	103.37 ± 6.91
2) Diámetro máximo del perianto	37.75 ± 4.05
3) Longitud del estilo	50.14 ± 3.64
4) Longitud de lóbulos del estigma	11.05 ± 0.66
5) Número de lóbulos del estigma	4.33 ± 0.25
6) Longitud de los estambres	36.18 ± 3.05
7) Distancia entre anteras y lóbulos estigmáticos	0
8) Número de estambres	41 160.11 ± 406.41
9) Longitud de la cámara nectarial	22.64 ± 1.45
10) Diámetro polar de la cámara ovárica	13.25 ± 0.51
11) Diámetro ecuatorial de la cámara ovárica	10.09 ± 0.52
12) Número de óvulos/flor	1 484 ± 55
13) Número de granos de polen/óvulo	5 884

peratura ambiente (≈13 - 29°C); b) con luz temperatura alternante controlada (15°C/25°C) y c) sin luz a temperatura ambiente (≈13 - 29°C). En los tratamientos a y b, se estimó el tiempo de inicio, el tiempo medio (t_{50}), y el tiempo de estabilización de la germinación, así como el porcentaje final de germinación. Para determinar diferencias entre los tratamientos se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA). En el tratamiento de obscuridad solo se determinó el porcentaje final de germinación.

Para estimar las probabilidades de supervivencia de las plántulas en su hábitat, se trasplantaron plántulas de 6 meses de edad obtenidas en el laboratorio y mantenidas a temperatura ambiental, a la localidad de origen en cuatro condiciones micro ambientales: a) cielo abierto con exclusión de depredadores; b) cielo abierto sin exclusión de depredadores; c) bajo dosel con exclusión de depredadores y d) bajo dosel sin exclusión de depredadores. Para cada tratamiento se realizaron dos repeticiones con 50 plántulas cada una. Las plántulas fueron colocadas en recipientes de plástico abiertos por ambos lados. En los tratamientos de exclusión los recipientes fueron cubiertos con organza.

Resultados

Densidad y distribución de tamaños. La población en San Pablo Tepetlapayac presenta una densidad poblacional de 0.008 ind/m^2. Los individuos adultos tienen en promedio 31 ramas (±6.9; ± error estándar de aquí en adelante). Las ramas presentan de 8 a 14 costillas. La altura de los individuos oscila entre los 3 y 15 m. Los individuos con alturas menores a 4 m son monopódicos. La estructura de tamaños tomando en cuenta los diámetros se presenta en la figura 3.

Fenología. En el año de estudio la época de floración se presentó de febrero a abril y la de fructificación de marzo a mayo (Fig. 4).

Morfometría floral y sistema de apareamiento. En el cuadro 1, se presentan los valores encontrados para las variables morfométricas. Las flores de *P. weberi* son grandes, presentan una gran superficie de su tubo floral cubierto por estambres. El índice de entrecruza es de tres, lo que indica

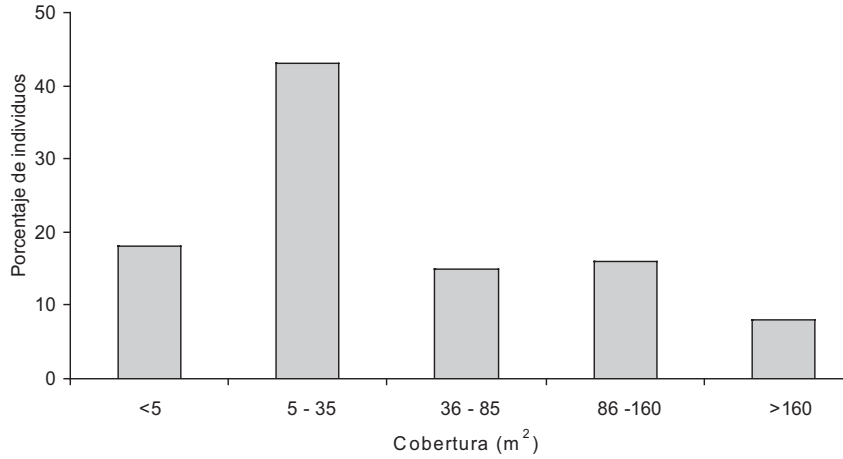


FIGURA 3. Estructura de tamaños *de Pachycereus weberi* en San Pablo Tetlapayac, Hgo., basada en la cobertura de los individuos.

que la especie es xenógama facultativa. Este valor se obtuvo al tomar en cuenta que el diámetro de las flores > a 3mm (= 3); la ausencia de hercogamia (= 0), y la existencia de homogamia (= 0). La proporción polen/óvulo (P/O = 5 884), corresponde también a un sistema xenógamo facultativo, es decir que aunque la mayor parte de la fertilización podría ser producto de entrecruza, también se presentaría autocruza (Cruden 1977, Cruden *et al*. 1983).

Germinación y supervivencia de plántulas. Los frutos maduros miden de 5.21 a 8.28 cm de longitud y de 3.7 a 6.3 cm de diámetro. El peso seco de estos es de 156 g (±17.17), y contienen en promedio 1 275 semillas (±40.36). Al comparar el número de semillas/fruto con el número de óvulos/flor, podemos estimar una eficiencia en la producción de semillas (seed set) de 85.9%. En los tratamientos de germinación con luz, ésta inició al tercer día. La germinación total

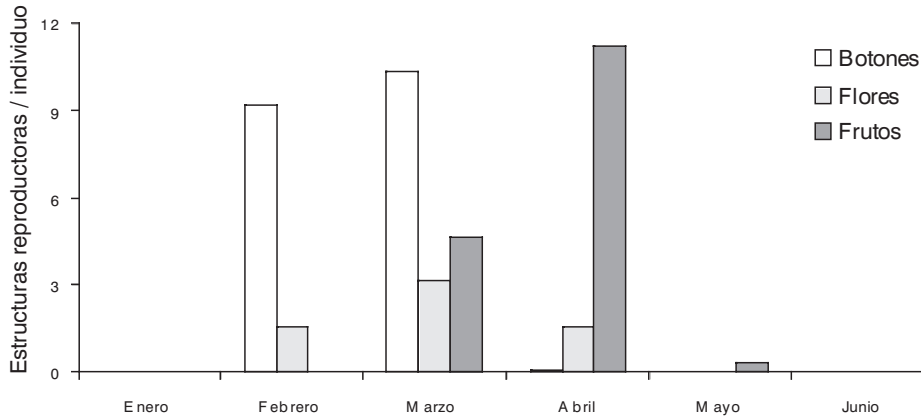


FIGURA 4. Fenología reproductiva de la población de *Pachycereus weberi* (*N*=12 individuos).

alcanzada en ambos tratamientos, a y b, fue de 79 (± 2.75) y 80% (± 2.8) respectivamente. El tiempo medio de germinación (t_{50}), a temperatura ambiente fue de 6.13 días (± 3.55) y la germinación se estabilizó al día 43. Estos valores en la germinación con luz y temperatura controlada fueron 4.81 días (± 3.61) y 21 días respectivamente, no encontrándose diferencias significativas entre ambos. Sin embargo las semillas germinadas en obscuridad sólo alcanzaron un porcentaje final de germinación de 31% (± 3.2). En lo que se refiere a las plántulas trasplantadas, ninguna sobrevivió después de 30 días, la mayoría de ellas habían desaparecido o estaban muertas.

Discusión

El género *Pachycereus* (A.Berger) Britton & Rose (Tribu Pachycereeae) está conformado por 5 especies de cactáceas arbóreas: *P. pringlei, P. weberi, P. tepamo, P. grandis y P. pecten-arboriginum*. El centro de diversidad de éste género se encuentra en la región occidental de México y se distribuye en los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Michoacán, México, Morelos y Puebla principalmente, aunque *P. pecten-aboriginum* se extiende más al Noroeste (hasta Sonora, Chihuahua y Baja California Sur) y *P. pringlei* que es la especie más septentrional, se encuentra exclusivamente en Sinaloa, Sonora, Baja California Sur y Baja California (Arias &Terrazas 2009).

La población de *P. weberi* en San Pablo Tetlapayac (Hidalgo) amplia la distribución de la especie desde la Depresión Río Balsas y la Provincia Florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán a la región central-este de la República Mexicana (Arias & Terrazas 2009). La nueva población presente en San Pablo Tetlapayac (Hidalgo), tiene una gran importancia ecológica y biogeográfica. Las copas de *P. weberi* otorgan una estructura particular al ecosistema. Sus flores y frutos constituyen recursos potencialmente importantes para los mamíferos, aves e insectos de la zona. La floración y fructificación en Hidalgo ocurre más tardíamente que la reportada al Sur de Puebla (Valiente-Banuet *et al*. 1997) donde se ha propuesto que este adelanto puede ser una adaptación para evitar la competencia con otras cactáceas quiropterofílicas de la zona, las cuales requieren al igual que *P. weberi* de los murciélagos para su polinización y dispersión de sus semillas (Valiente-Banuet *et al*. 1997).

El tamaño de las flores de *P. weberi* en la población de San Pablo Tetlapayac coincide con el de la descripción general de la especie (Bravo-Hollis 1978, Valiente-Banuet *et al*. 1997, Arias & Terrrazas 2009), sin embargo se carece de datos para realizar comparaciones más precisas con otras poblaciones. Tanto el índice de entrecruzamiento (OIC) como la relación polen/óvulo indican que la población presenta un sistema de apareamiento xenógamo facultativo, lo cual coincide parcialmente con el sistema de entrecruza obligado encontrado para la población del Valle de Tehuacán (Valiente-Banuet *et al*. 1997), por lo cual sería interesante realizar experimentos de polinización controlada para conocer a fondo lo que sucede con esta población.

La presencia de individuos de 15 m de altura y coberturas > 160 m^2, en San Pablo Tetlapayac, nos hace pensar que la permanencia de esta población tiene al menos un centenar de años. La germinación en laboratorio fue alta (≈80%) y las semillas resultaron fotoblásticas indiferentes como ha sido reportado para otras cactáceas (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes 2000). Aunque no se encontraron plántulas en el campo y las plántulas transplantadas no

sobrevivieron, la presencia de juveniles ≈ 3 m de altura que distan de los adultos más de 10 m, nos hace pensar en éxitos esporádicos en el reclutamiento de nuevos individuos como ha sido señalado para otras cactáceas (Esparza-Olguín *et al*. 2003). La población aquí reportada parece no presentar problemas de reproducción sexual ya que el total de semillas por fruto es alto (1,275 ±40.36) y el seed set también es alto (0.86).

Por la información con los pobladores, parece poco probable que la especie haya sido introducida a esta localidad por el hombre. Esto se respalda por la visualización de otros individuos solitarios de gran tamaño en puntos aislados en la sierra cercana. Una hipótesis para explicar la presencia de *P. weberi* a más de 180 km de su distribución, es el hecho de que esta población pudiera constituir un reducto de la distribución original más amplia de la especie. Dicha distribución podría haberse fragmentado por el levantamiento y cambio de sustrato ocasionado por la aparición del Eje Neovolcánico Transversal hace 5.2 a 0.01 ma (Demant & Robin 1975, Demant 1978). De tal suerte que la población de San Pablo Tetlapayac podría ser considerada como un refugio debido a la permanencia de características ambientales favorables para la especie. Sin embargo, otra hipótesis más plausible sería que los murciélagos que utilizan esta planta como recurso en la región más sureña (Morelos, Puebla, Oaxaca y Guerrero) la hayan dispersado al realizar recorridos hacia ésta región más septentrional. La presencia de al menos una cueva habitada por murciélagos en el acantilado colindante a esta población podría reforzar esta hipótesis. En la zona se ha reportado la presencia y de diversos murciélagos, entre ellos de *Leptonycteris yerbabuenae* y *L. nivalis* (Jiménez-Sierra, obs. pers.), los cuales han sido considerados como importantes polinizadores y dispersores de *P. weberi* en el valle de Tehuacán-Cuicatlán (Valiente-Banuet *et al*. 1997).

Si el éxito reproductivo de *P.weberi* en Hidalgo, está fuertemente relacionado con la conducta de los murciélagos, estos podrían estar jugando un papel predominante, no sólo en la dispersión, sino también en aspectos evolutivos relacionados con la diversidad y estructura genética de ésta población. La presencia de *P. weberi* por otro lado, podría representar un recurso alternativo para las poblaciones de murciélagos de Metztitlán y esto cobra especial importancia ya que por ejemplo *L. nivalis* conocido como murciélago magueyero o murciélago de lengua larga es una especie migratoria que ha sido catalogada como una especie amenazada (NOM-059-ECOL-2001) y requiere de la protección de su hábitat y de sus recursos (agaves y cactáceas) pues en los últimos años se ha detectado una disminución importante en sus poblaciones (US Fish and Wildlife Service 1994).

La población de San Pablo Tetlepayac es poco probable que se extienda espacialmente, al menos en sentido puntual, ya que se encuentra limitada por el cauce del río Amajac y un acantilado inestable donde se presentan derrumbes, ocasionados tan sólo por la acción del viento, estos derrumbes dañan a los individuos de *P. weberi* y disminuyen las probabilidades de reclutamiento de nuevos individuos. Hasta hace algunos años en San Pablo Tetlapayac las flores y frutos de este órgano eran utilizadas para alimentar al ganado (cabras y burros). En años recientes el personal de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, ha empezado a colectar los frutos. Las semillas obtenidas se han distribuido en los inverna-

deros comunitarios con la finalidad de incrementar la propagación de esta especie en la zona y obtener plantas para la venta.

Quedan abiertas muchas preguntas que tendrán que ser investigadas en el futuro, entre otras: ¿Existe una ruta de migración de algunas poblaciones de murciélagos que aprovechan o favorecen la dispersión de *P. weberi* hacia la región central-este de México?; ¿Cuál es la importancia de *P. weberi* como recurso para las poblaciones de murciélagos de la zona?; ¿Cuáles son los visitantes y los polinizadores más eficientes de las flores de *P. weberi* en esta zona? y finalmente ¿Cómo es la estructura genética de esta nueva población y cuál es su similitud genética con las poblaciones sureñas?

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con el apoyo del Departamento de Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Agradecemos la ayuda en el campo y el laboratorio de A. Ortíz-Arcos y R. Pérez. Nuestra gratitud al personal de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán por el apoyo en los recorridos y al Sr. Erasto Badillo por su apoyo en el campo. La determinación de la especie fue realizada por el Biól. Jerónimo Reyes Santiago.

Literatura citada

Anderson EF. 2001. *The cactus family*. Timber Press, Portland.

Arias S & Terrazas T. 2009. Taxonomic Revision of *Pachycereus* (Cactaceae). *Syst Bot* **34**:68:83.

Arias-Montes S. 1993. Cactáceas: Conservación y diversidad en México, páginas 109-116. En: Gío-Argáez R & López-Ochoterena E (eds.). *Diversidad Biológica en México*. Sociedad Mexicana de Historia Natural. México.

Bravo-Hollis H & Sánchez-Mejorada H. 1991. *Las cactáceas de México*. Vol 3. Universidad Autónoma de México. México.

Bravo-Hollis H. 1978. *Las cactáceas de México*. Vol 1. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Challenger A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado, presente y futuro.* CONABIO, Instituto de Biología, Sierra Madre. México.

Charlesworth D & Charlesworth B. 1987. Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *Annu Rev Ecol Syst* **18**:237-268.

Cruden RW. 1977. Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution* **31**:32-46.

Cruden RW, Herman SM & Peterson S. 1983. Patterns of nectar production and plant-pollinator coevolution. En: Bentley B & Elias T (eds.). *The biology of nectaries*. Columbia. University Press. New York.

Demant A. 1978. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. *Rev Inst Geología UNAM* **2**:172-187.

Demant A & Robin C. 1975. Las fases del vulcanismo en México: una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. *Rev Inst Geología UNAM*. **75**:70-83.

Eguiarte L, Nuñez-Farfán J, Domínguez C & Cordero C. 2003. Biología evolutiva de la reproducción en plantas, páginas 117-151. En: Núñez-Farfan J & Eguiarte L (compiladores). *La Evolución Biológica*. Facultada de Ciencias, Instituto de Ecología, UNAM, CONABIO. México.

Esparza-Olguín L, Valverde T & Mandujano MC. 2003. Comparative demographic analysis of three *Neobuxbaumia* species (Cactaceae) with differing degrees of rarity. *Pop Ecol* **47**:229-245.

Ezcurra E, Valiente-Banuet A, Flores OV & Vázquez E. 2002. Vulnerability to global change in natural ecosystems and rural areas, páginas 217-246. En: Kasperson JX & Kasperson RE (eds.) *Global environmental risk*. United Nations University Press. Reino Unido.

Faegri K & Van der Pijl L. 1979. *The principles of pollination ecology*. Oxford. Pergamon.

Fenster C, Armbruster W, Wilson P, Dudash M & Thomson J. 2004. Pollination Syndromes and floral specialization. *Annu Rev Ecol Evol Syst* **35**:375-403.

Fuentes A & Jiménez-Sierra C. 2007. Uso y Manejo de las Cactáceas en la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México". *Sitientibus Série Biológicas* **7**:78-85.

Gibson AC & Nobel PS. 1986. *The cactus primer*. Harvard University Press. Cambridge.

Godínez-Alvarez H, Jiménez M, Mendoza M, Pérez F, Roldán P, Ríos L & Lira R. 2008. Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Rev Mex Biodiv* **79**:393-403.

Godínez-Alvarez H, Valverde T & Ortega-Baes P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *Bot Rev* **69**:173-203.

Jiménez-Sierra C, Mandujano MC & Eguiarte L. 2007. Are populations of candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus*) in desert of Tehuacán, Mexico at risk? Population projection matrix and life table response analysis. *Biol Conserv* **135**:278-292.

Jiménez-Sierra C & Jiménez C. 2003. Heterogeneidad ambiental y distribución de cactáceas en una zona semiárida. *Cact Suc Mex* **48**:1-14.

Mandujano MC, Carrillo-Angeles I, Martínez-Peralta C & Golubov J. 2009. *Reprodutive biology of Cactaceae*. En: Ramawat KG (ed.). *Desert Plants – Biology and Biotechnology*. Springer-Verlag. New York.

Martorell C & Peters E. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biol Conserv* **124**:199-207.

Real L. 1983. *Pollination Biology*. Academic Press. Orlando.

Rojas-Aréchiga M & Vázquez-Yanes C. 2000. Cactus seed germination: a review. *J Arid Environ* **44**:85-104.

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de Riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 6 Marzo de 2002.

US Fish and Wildlife Service. 1994. Plan de recuperación del murciélago magueyero (*Leptonycteris nivalis*). U.S. Fish and Wildlife Service. Alburquerque.

Valiente-Banuet A, Rojas-Martínez A, Casas A, Arizmendi MC & Dávila P. 1997. Pollination biology of two winter-blooming giant columnar cacti in the Tehuacán Valley, central Mexico. *J Arid Environ* **37**:331-341.

Valiente-Banuet A, Arizmendi MC, Rojas-Martínez A & Dominguez-Canseco L. 1996. Ecological relationships between columnar cacti and nectar bats in Mexico. *J Trop Ecol* **12**:103-119.

Valiente-Banuet A. 2002. Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de cactáceas columnares de México. *Rev Chil Hist Nat* **75**:99-104.

Recibido: noviembre 2007; aceptado: noviembre de 2008.
Received: November 2007; accepted: November 2008.

Estimación matemática del crecimiento en cactus globosos

Gil Gutiérrez Mauricio[1], Varela H Gerardo J[1], Osorio Oláiz R[2], Rivera Juan G[3] & Morales Jorge E[2]

Resumen

El uso de los métodos convencionales para evaluar el crecimiento presenta el inconveniente de requerir la destrucción de las plantas. Debido a que varias cactáceas son plantas que se encuentran en peligro de extinción, no es deseable usar tales métodos. Una alternativa no destructiva es el empleo de modelos matemáticos para estimar el crecimiento. En este trabajo se propone el uso de los lugares geométricos llamados cuadráticas para estimar el volumen de cactáceas globosas y generar una curva de crecimiento, en substitución de la curva de peso seco, con la finalidad de evaluar la tasa de crecimiento relativo. La estimación matemática del volumen mostró ser un modelo dinámico que supera las limitaciones del método de Arquímedes. Este modelo permite evaluar la tasa de crecimiento relativo en función de los incrementos de volumen de manera equivalente al uso del peso seco, haciendo del modelo una alternativa confiable para evaluar la tasa de crecimiento de cactáceas globosas.
Palabras clave: Cactus, crecimiento de cactus, cuadráticas, modelo matemático.

Abstract

Conventional methods to assess plant growth present the disadvantage of destroying the samples. Since some cacti are considered endangered, those are not desirable methods. A non destructive alternative method is using mathematical models to estimate growth. The utilization of quadratic equations is proposed to estimate globose cacti volume and generate a growth curve, instead of a dry weight curve, to assess the relative growth rate. The mathematical estimation showed itself to be a dynamic model without the limitations of Archimedes' method. Such a model allows assessing the relative growth rate as a function of volume increase, equivalent to using the dry weight, making the model a trustful alternative to assess the globose cacti growth.
Key words: Cacti, cacti growth, mathematical model, quadratics.

Introducción

Para evaluar el crecimiento vegetal, es necesario generar una curva de crecimiento con datos de área, peso, volumen o tamaño de alguna porción de la planta. Estas curvas son, en su mayoría, de forma sigmoide (Erickson 1976) y pueden evaluarse considerando

[1] Departamento de Matemáticas, [2] Departamento de Ciencias de la Salud y [3] Departamento de Biología de la Reproducción. UAM-Iztapalapa Av. San Rafael Atlixco No. 168, Col. Vicentina, 093340 México, D. F.
*Autor de correspondencia: e mail: jemt1@hotmail.com

FIGURA 1. Formas comunes de los cactus.

una relación exponencial en la cual hay un periodo donde existe una correlación lineal con la sigmoide. Blackman (1919) propone que la tasa de producción de material nuevo, medido en peso seco, sigue la ley del interés compuesto y supone que la tasa de crecimiento en tamaño es una proporción simple que puede expresarse como una ecuación diferencial de la forma $dW/dt = RW$. La solución de tal ecuación es una función exponencial $W(t) = W_o e^{Rt}$ donde W_o es el tamaño al tiempo cero, expresado como peso seco y R representa la tasa de crecimiento, definida en cualquier instante de tiempo (t) como el incremento en el material presente, y su expresión está dada por:

$$R = \frac{1}{W(t)} \frac{dW(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \ln W(t) \qquad [1]$$

Los métodos tradicionales de evaluación del crecimiento que requieren mediciones de peso seco son destructivos y no permiten que las mediciones puedan ser repetidas. Además, los diseños de muestreo estadístico requieren de un número considerable de individuos para obtener la curva de crecimiento (Hunt 1981).

Si se trabaja con plantas en peligro de extinción, como las cactáceas, estas mediciones no son recomendables y es preferible construir la curva de crecimiento usando una porción aérea de la planta que no sea necesario destruir para efectuar la medición.

Debido a la peculiar morfología de las cactáceas, su tallo generalmente constituye alrededor del 90% del peso total de la planta, así como la mayor parte del volumen total (Nobel 1988). Esto convierte al volumen del tallo en una variable representativa del crecimiento del cactus. Nobel (1988) estimó el volumen de cactus globosos considerando los cactus como esferas o, en su defecto, como cilindros; lo que en la práctica no siempre arroja datos confiables. Además, la presencia de costillas es un factor de error que siempre está presente. Suponiendo este último factor constante, existen otros factores de error en algunos cactus: 1) presencia de ápice deprimido como en el género *Notocactus* y 2) cambio en la forma a lo largo de su vida.

Con el fin de poder construir una curva que refleje el crecimiento real de una cactácea en función de los cambios de volumen, en el presente trabajo se propone el uso de lugares geométricos llamados cuadráticas para calcular el volumen de cactus globosos. Estos lugares geométricos presentan la ventaja de definir en una misma ecuación a la esfera y al elipsoide, lo que permite considerar las variaciones de forma de los cactus a lo largo de su vida (esférico, elipsoidal) y obtener volúmenes más cercanos a la realidad que los obtenidos por un cilindro.

Material y métodos

Modelo matemático para evaluar el volumen de un cactus.

Para estimar el volumen del cactus se consideraron sólidos de revolución generados al girar las cónicas que describen la silueta del cactus. Las superficies cuadráticas así formadas, están definidas en general por una ecuación de segundo grado en tres variables y tres constantes cuya forma es

$$ax^2 + by^2 + cz^2 = D \qquad [2]$$

donde $D > 0$.

En esta ecuación los parámetros a, b, c representan las distancias del origen al borde del sólido en los tres ejes de coordenadas: a en x, b en y, y c en z. Dado que la silueta generalmente tiene la forma de una elipse o un círculo (Fig. 1) la ecuación [2] toma la forma particular siguiente:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \qquad [3]$$

En la ecuación [3] puede ocurrir que $a = b = c$, generándose una superficie esférica, si a, b y c son distintos, la ecuación representa el caso general de elipsoides y si además se cumple que $a = b$ pero $b \neq c$, se trata de un elipsoide de revolución, que es la figura que más se presenta en los cactus globosos (Fig. 1).

El volumen se estimó mediante el uso de tres integrales sucesivas (Swokowski 1981), llegando al siguiente resultado:

$$V = \frac{4}{3}\pi abc \qquad [4]$$

En la naturaleza, una buena cantidad de cactus adoptan la forma de elipsoides truncados en alguna de sus etapas de crecimiento (Fig. 1), e incluso algunas plantas cambian de forma de elipsoide a elipsoide

truncado o bien de esfera a elipsoide truncado. La ecuación [4] permite calcular el volumen de elipsoides completos y también de esferas completas, pero no permite calcular el volumen de elipsoides truncados.

El cálculo del volumen de los elipsoides, incluidos los truncados, se logra empleando otro método matemático (Swokowski 1981) que nos lleva a la siguiente ecuación, que considera $a = b$ por tratarse de un elipsoide de revolución:

$$V = \frac{\pi}{3}\left[2a^2c + \frac{a^2k(3c^2 - k^2)}{c^2}\right] \qquad [5]$$

donde k es la distancia del ecuador de la planta a la base.

Si $|k| = |c|$, el elipsoide truncado se convierte en un elipsoide completo y la resolución de la ecuación [5] se da como:

$$V = \frac{\pi}{3}\left[2a^2c + \frac{a^2k(3c^2 - c^2)}{c^2}\right] =$$

$$\frac{\pi}{3}\left[2a^2c + \frac{a^2c(2c^2)}{c^2}\right] = \frac{\pi}{3}\left[2a^2c + 2a^2c\right] = \frac{4}{3}\pi a^2c$$

que es un caso particular de la ecuación [4], con $a = b$.

Si $k = 0$ entonces

$$V = \frac{\pi}{3}\left[2a^2c + \frac{a^2k(3c^2 - k^2)}{c^2}\right] = \frac{\pi}{3}\left[2a^2c\right] = \frac{2}{3}\pi a^2c$$

que representa la mitad del valor que se obtiene de la ecuación [4], con $a = b$.

Las ecuaciones anteriores representan la superficie del cactus en términos de los radios o semiejes. Sin embargo, la medición física directa de los radios no es posible sin seccionar los especímenes. Por esto, se realizan mediciones de los diámetros en los ejes x y y, los cuales se dividen entre dos para obtener los parámetros a y b. Sin embargo, en el eje z solo se mide el diámetro total si la forma del cactus es un elipsoide completo. Si ocurre que el cactus forma un elipsoide truncado, entonces es necesario medir la distancia del ecuador de la planta al ápice para obtener el parámetro c y, además, medir la distancia del ecuador de la planta a la base para obtener el parámetro k.

Debido a la presencia de costillas y espinas la superficie de los cactus es tortuosa. Sin embargo, se puede considerar como una superficie homogénea sobre la cual se encuentran distribuidas las costillas y/o las areolas.

Visto desde arriba (Fig. 2), un cactus globoso genera tres círculos concéntricos: D_1 es el diámetro del círculo sin costillas, D_2 considera las costillas y D_3 que considera costillas y areolas. Con cada uno de estos diámetros se puede generar un sólido de revolución. Considerando D_1, se puede subestimar el volumen real del cactus; mientras que si se consideran D_2 y D_3, se sobrestima, ya que estos diámetros contemplan los espacios vacíos entre las costillas y las espinas.

Las ecuaciones [4] y [5] calculan el volumen del cactus de una manera aproximada y en la práctica no siempre es posible conocer los tres diámetros. Este problema se puede obviar si el interés es estimar la tasa de crecimiento de los cactus, ya que para esto se requiere conocer las diferencias del logaritmo del volumen entre dos tiempos determinados. Esta consideración es válida siempre y cuando el crecimiento tanto del tallo como de las areolas y/o costillas sea proporcional. Entonces, independientemente de cuál de los diámetros se considere, la diferencia de los logaritmos de los volúmenes en dos tiempos determinados permitirá elaborar una curva de crecimiento del cactus, y estimar la tasa de crecimiento R.

Evaluación del volumen por el método de Arquímedes. Este método se empleó primero para evaluar el volumen de modelos realizados en plastilina y vidrio, con la finalidad de probar la ecuación. Para las esferas, estos modelos se elaboraron con esferas de vidrio, rellenas de plastilina para evitar que flotaran, y, para volúmenes pequeños, con canicas. Para los elipsoides, los modelos se elaboraron completamente con plastilina. En todos los casos fueron modelos lisos, sin costillas.

Para cada forma geométrica se realizaron tres modelos (*v. g.* esfera 1, esfera 2 y esfera 3) y a cada modelo se le midió tres veces.

Posteriormente el método de Arquímedes se usó en cactus vivos, *Echinocactus grusonii* Hildmann, *Ferocactus* spp., *Echinopsis eyriesii* (Turpin) Pfeiff. & Otto y *Echinopsis* 'Haku Jo' (Anderson 2001, Guzmán *et al*. 2003), para lo cual fue necesario insertar una pesa de plomo de volumen conocido y evitar así que flotaran. De cada especie se midieron tres ejemplares y cada ejemplar se midió tres veces.

El volumen se midió usando un tubo con una marca de aforo y rematado en su extremo inferior con una llave de paso, de tal forma que el volumen desplazado por el modelo y/o cactus fue drenado en un recipiente que se encontraba debajo del tubo, sobre una balanza, donde el peso obtenido correspondió al volumen desplazado.

Estimación matemática del volumen. Para el caso de los modelos, los mismos que se emplearon para el método de Arquímedes, se estimó su volumen midiendo los diámetros correspondientes, los cuales se dividieron entre dos para tener los parámetros a, b y c para el caso de elipsoides completos y esferas. Cuando se estimó el volumen de modelos de elipsoides truncados se midieron la distancia del ecuador del elipsoide a su cúspide para obtener el parámetro c y la distancia del ecuador a la base para obtener k. Para conocer el radio en el ecuador del elipsoide se colocaron fragmentos de fleje de plástico en dos lados opuestos a lo largo del elipsoide y con ayuda de un vernier se recorre la superficie del fleje hasta saber el punto en donde deja de incrementar el diámetro para iniciar su decremento, se marca la posición y se realizan varias mediciones del diámetro en el ecuador del elipsoide y se calcula un promedio, cuyo valor, dividido a la mitad, representa los parámetros a y b.

Las mediciones en cactáceas se tomaron en tiempos determinados (t) utilizando los tres diámetros antes descritos (D_1, D_2, D_3), los cuales representan el doble del valor de las variables $a(t)$ y $b(t)$. Estas variables, junto con c(t), k(t), se usaron para resolver las ecuaciones que describen la forma del cactus al tiempo (t), como un elipsoide si $c = k$, $a \neq b$; y $c \neq b$; como un elipsoide de revolución si $k = c$, $a = b$ y $c \neq b$, ecuación [6], o bien de un elipsoide de revolución truncado en donde k es menor que c, $a = b$ y $c \neq b$, ecuación [5], que son las formas más comunes que presentan las cactáceas globosas (Fig. 1).

La medición de los tres diámetros permite evaluar la influencia de costillas y areolas en los diferentes tiempos, ya sea subestimando o sobreestimando el volumen real del cactus, por considerar o no los espacios vacíos entre estas estructuras. Para ello se midieron los volúmenes de cuatro cactus globosos diferentes, considerando y no la presencia de areolas y/o costillas, *Ferocactus* spp., *Echinopsis* 'Haku Jo', *Echinopsis eyriesii* (Turpin) Pfeiff. & Otto y *Echinocactus gruso-*

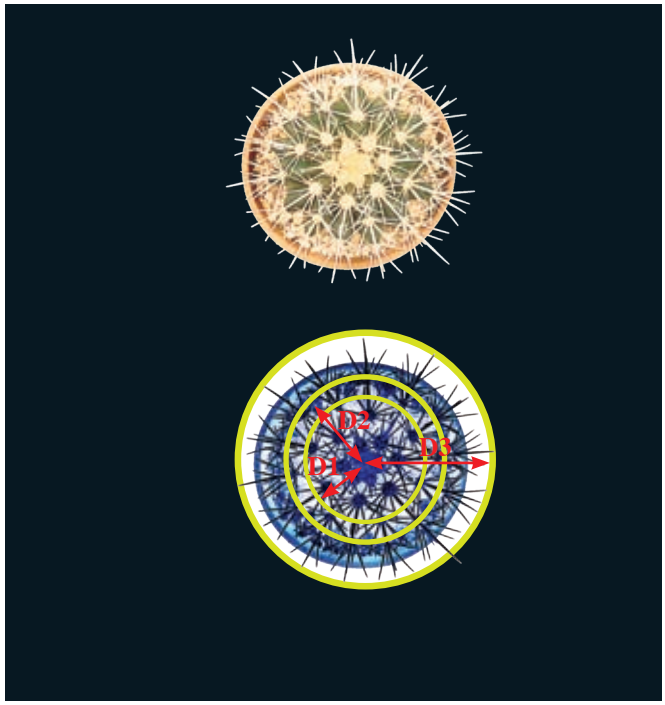


FIGURA 2. Círculos concéntricos observables en un cactus globoso (*Echinocactus grusonii* Hildm.) mostrando los diámetros D_1 incluyendo únicamente el tallo, D_2 que incluye tallo y costillas y D_3 que incluye tallo y espinas de las areolas.

nii Hildmann. De cada especie se midieron tres ejemplares y cada ejemplar se midió tres veces.

La medida del volumen como índice de crecimiento requiere conocer con exactitud las diferencias de volumen en dos tiempos, para ello se necesita que el incremento en volumen de las costillas y/o areolas sea proporcional con el incremento del tallo. Así, independientemente de cuál de los diámetros D_1, D_2, D_3 se considere, la diferencia de los volúmenes en dos tiempos reflejará el crecimiento.

Esta idea se probó estimando el volumen de ejemplares de *Echinopsis* 'Haku Jo' con forma de elipsoide completo, de tres edades diferentes, 8, 18 y 24 meses, tres ejemplares de cada edad, midiéndolos cada uno tres veces, considerando los tres diámetros posibles. También se usaron ejemplares de *Echinocereus rigidissimus* subsp. *rubispinus* (G. Frank & A.B. Lau) N.P. Taylor, con forma de elipsoide truncado, considerando únicamente el diámetro exterior, esto debido a la imposibilidad de acceder al diámetro interno del tallo sin dañar a la planta. El volumen real se midió por el método de Arquímedes y se comparó con los volúmenes estimados con la ecuación [4].

Cultivo hidropónico de *Ferocactus histrix*. Semillas de *Ferocactus histrix* (DC) G.E. Linds, obtenidas de frutos frescos, escarificadas con ácido sulfúrico al 30%, fueron germinadas por un periodo de 15 días en cajas de Petri, con un disco de papel filtro humedecido con agua destilada estéril. Posteriormente, las plántulas se pasaron a recipientes de plástico transparente de 27 x 36 cm (100 plantas por lote), con un soporte de agrolita

(Dicalite de México) de 7 cm de espesor y riego cada tercer día, con 150 ml de solución de Hoagland (1950) para mantener el substrato a capacidad de campo. Las plantas se cultivaron 8 meses en un cuarto de cultivo, a temperatura que osciló entre 28 y 34 °C, con variaciones diarias de 5 °C; humedad relativa entre 80% y 95%; intensidad luminosa promedio de 1 500 lux, (combinación de lámparas fluorescentes y luz natural); con un fotoperiodo de 12 horas.

Estimación del crecimiento. El crecimiento de plantas de *F. histrix* cultivadas en condiciones hidropónicas, por un periodo de 8 meses, fue evaluado de dos formas diferentes. La primera, por un método destructivo, generando una curva de crecimiento construida con valores de peso seco total, el cual fue medido en un intervalo discreto de tiempo usando la ecuación [1] (Blackman 1919, Hunt 1981). La segunda, por un método no destructivo, usando una curva de crecimiento construida con valores de volumen estimado matemáticamente. Las mediciones, tanto de dimensiones como de peso seco, se realizaron en las mismas plantas, y el crecimiento, expresado como la tasa de crecimiento relativo, se evaluó en ambas curvas.

Se linearizó la función exponencial $W(t) = W_o e^{Rt}$, tomando el logaritmo natural de ambos lados de la igualdad, obteniendo la siguiente ecuación:

$$\ln W = Rt + \ln W_0 \qquad [6]$$

donde R es la pendiente de la recta. Por ello la determinación de R se realizó a través de un análisis de regresión lineal, pues R viene a ser

$$R = \frac{\ln W(t_2) - \ln W(t_1)}{t_2 - t_1} \qquad [7]$$

Partiendo de la relación lineal entre el peso y el volumen, expresada con la ecuación $W = \alpha V + \beta$, donde α es la densidad promedio que depende del material o de la especie, y considerando que $\beta = 0$, pues sin volumen no hay peso, podemos reexpresar tal ecua-

CUADRO 1. Volúmenes de elipsoides truncados y completos obtenidos por el método de Arquímedes y estimados matemáticamente.[1]

Cuerpo geométrico	Volumen real (ml)	Volumen estimado[2] con la ecuación [4] (ml)	Volumen estimado[3] con la ecuación [5] (ml)	Volumen estimado como esfera (ml)
Elipsoide completo 1	66.45 ± 2.05	66.83 ± 6.65	66.83 ± 6.65	42.525 ± 10.25
Elipsoide completo 2	25.66 ± 3.6	22.87 ± 1.8	22.87 ± 1.8	6.32 ± 1.45
Elipsoide completo 3	2.43 ± 0.5	1.69 ± 0.8	1.69 ± 0.8	0.65 ± 0.52
Elipsoide truncado 1	63.14 ± 0.52	§[4]	66.69 ± 6.01	34.76 ± 25.21
Elipsoide truncado 2	59.93 ± 0.66	§	63.34 ± 4.89	39.06 ± 21.49
Elipsoide truncado 3	55.54 ± 0.84	§	62.40 ± 5.0	24.75 ± 2.90
Esfera 1	7.73 ± 1.2	7.24 ± 0.5	7.24 ± 0.5	7.24 ± 0.5
Esfera 2	5.53 ± 1.1	5.57 ± 2.1	5.57 ± 21	5.57 ± 21
Esfera 3	3.1 ± 0.7	3.05 ± 0.3	3.05 ± 0.3	3.05 ± 0.3

[1] Los datos representan el promedio de tres mediciones. Se muestra la media ± desviación estándar.
[2] La ecuación 4, $V = 4/3\pi abc$, se aplica únicamente a elipsoides completos.
[3] La ecuación 5, $V = \pi/3[2a^2c + a^2k(3c^2 - k^2)/c^2]$, se puede aplicar tanto a elipsoides truncados como completos.
[4] § indica que la ecuación [4] no se aplica a elipsoides truncados.

ción como $W = \alpha V$. Si ahora tomamos el logaritmo natural de ambos miembros de la igualdad tendremos $\ln W = \ln \alpha V$ o, lo que es lo mismo, $\ln W = \ln V + \ln \alpha$ viéndose que la relación entre los logaritmos de ambas variables también es lineal.

Por lo tanto, R puede estimarse en función del tiempo y $\ln W$, o bien en función del tiempo y $\ln V$, siendo W el peso seco y V el volumen. Como ambas variables mantienen una relación lineal, lo mismo que sus logaritmos, es posible sustituir $\ln W$ en la ecuación [1] quedando:

$$R = \frac{1}{V}\frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt}\ln V \qquad [8]$$

De aquí que la tasa de crecimiento se calculara igualmente con el volumen.

Resultados

Precisión en el cálculo de volúmenes de elipsoides completos y truncados. Se estimó el volumen de modelos elipsoidales elaborados en plastilina, tanto completos como truncados, con las ecuaciones [4] y [5], y se comparó con el obtenido por el método de Arquímedes (Cuadro 1). En la misma tabla se muestra el volumen de los modelos de elipsoides estimados considerando la ecuación de la esfera (ecuación [4] con a=b=c, semiejes calculados a partir del diámetro de los modelos de plastilina, el único pues los modelos eran lisos). La comparación mostró que las ecuaciones [4] y [5] eran capaces de calcular el volumen de elipsoides completos y truncados de diferentes tamaños, con un margen de error entre 3% y 10%. Por otro lado, los volúmenes estimados con la ecuación de la esfera presentan un 51% de error promedio con respecto al volumen real.

La medición de la influencia de las costillas y/o areolas (Cuadro 2), se hizo también comparando los volúmenes estimados matemáticamente con los obtenidos por el método de Arquímedes. Se vio que sin la presencia de areolas y/o espinas la ecuación [5] subestimó el valor real del volumen, mientras que si se consideran estas últimas la ecuación [5] sobrestimó el volumen real. El grado en que la ecuación subestimó el volumen mostró ser dependiente tanto del tamaño de las costillas y/o areolas, como del tamaño y número de espinas. En *Echinopsis*

CUADRO 2. Volúmenes de cactus globulares medidos por el método de Arquímedes y estimados matemáticamente.[1,2]

Especie	Volumen real (ml)	Volumen estimado con areolas y costillas[3] (ml)	Volumen estimado con costillas[4] (ml)	Volumen estimado con el tallo[5] (ml)
Ferocactus spp.	32.52 ± 0.85	82.79 ± 9.28	41.06 ± 6.87	27.94 ± 4.85
Echinopsis 'Haku Jo'	15.69 ± 2.71	15.69 ± 5.71	14.01 ± 0.62	13.98 ± 0.46
Echinopsis eyriesii	82.67 ± 1.22	97.76 ± 1.57	84.30 ± 2.81	82.85 ± 2.83
Echinocactus grusonii	23.59 ± 2.83	96.01 ± 17.18	34.70 ± 3.78	21.31 ± 3.18

[1] Los datos representan el promedio de nueve mediciones, tres diferentes especímenes cada uno medido tres veces. Se muestra la media ± desviación estándar.
[2] Los volúmenes fueron estimados con la ecuación [4].
[3] Se usó la distancia entre dos areolas (D_3).
[4] Se usó la distancia entre dos crestas opuestas de las costillas (D_2).
[5] Se usó la distancia entre dos valles opuestos en el cactus (D_1).

eyriesii, sin grandes espinas pero sí numerosas costillas poco profundas, el volumen con y sin costillas fue similar. En el otro extremo se encontró *Ferocactus* spp., con costillas más profundas y espinas robustas, especie con la que se subestimó el volumen real al no ser consideradas las costillas y se sobreestimó al ser consideradas. *Echinocactus grusonii* fue el caso intermedio, con una gran cantidad de espinas largas y robustas (Fig. 2).

Con respecto a la influencia de la edad en el efecto de las costillas y/o areolas en la estimación del volumen, la comparación entre ambos métodos mostró, para *Echinopsis* 'Haku Jo', que al considerar el diámetro interno el volumen se subestimó en un promedio de 8.3%, independientemente de la edad de la planta. Al considerar los diámetros entre costillas y/o entre areolas, la magnitud en que se sobrestimó el volumen de la planta también fue similar, 19.9% en promedio, en las diferentes edades de planta (Cuadro 3).

La comparación del volumen de cactus con forma de elipsoides truncados obtenido matemáticamente y por el método de Arquímedes (Cuadro 3), también mostró que la magnitud en que se sobreestimó el volumen de los cactus fue similar, 19.5% en promedio, y fue independiente de la edad de la planta para un diámetro dado.

Evaluación del crecimiento. El crecimiento de plantas de *Ferocactus histrix*, expresado como la tasa de crecimiento relativo en función del incremento de peso seco en el tiempo, tuvo un comportamiento exponencial que se analizó con la ecuación [1], dando una tasa de crecimiento relativo de 0.2555. La evaluación del crecimiento utilizando el logaritmo del volumen se analizó con la ecuación [8], que es una ecuación en donde se sustituye el logaritmo del peso seco por el logaritmo del volumen, dando una tasa de crecimiento relativo de 0.1981, que no tiene diferencia significativa con la obtenida usando el logaritmo del peso seco, de acuerdo con una prueba de *t* (Kleinbaum *et al*. 1998).

Discusión

Estimación del volumen. La medición del volumen de cactus globosos considerándolos superficies cuadráticas (ecuación [5]) ofrece la posibilidad de evaluar el crecimiento de cualquiera de ellos a condición de que no tenga el ápice hundido.

Las superficies cuadráticas consideran los cambios de forma del cactus de esférico a elipsoidal e incluso elipsoidal truncado, evitando así cometer los errores de estimación imputables a formas que no corresponden a la forma real del cactus. Además, la evaluación matemática del volumen permite contemplar la influencia de la presencia de las costillas, que es diferente en cada especie y constituye un factor de error que siempre está presente. Este factor de error resultó ser constante en el tiempo (Cuadro 3), mostrando que el crecimiento de las costillas es proporcional al crecimiento del tallo en todo instante de tiempo e independiente de la forma del cactus (Cuadro 2). Este comportamiento se interpreta como un crecimiento homogéneo de las diferentes partes de la planta que mantiene la misma proporción entre el crecimiento de los tallos y las costillas y/o areolas, característica que permite evaluar el crecimiento usando cualquiera de los tres diámetros posibles.

Todo esto indica que la estimación matemática del volumen de cada especie tiene características propias que dependen en gran

parte de la posibilidad de medir los diámetros, siendo la accesibilidad a los mismos el criterio que decide cuál de ellos se empleará para el cálculo del volumen (Fig. 2).

La evaluación matemática del volumen con la ecuación [5], proporciona un criterio robusto y a la vez flexible que permite evaluar el volumen de un cactus en cualquier instante de tiempo, independientemente de los cambios de forma que éste sufre en el tiempo. Además mostró ser independiente del peso y tamaño del cactus y únicamente requiere de la medición cuidadosa de los diámetros del cactus, dependiendo del diámetro elegido para el cálculo (D_1, D_2, D_3) será el porcentaje del error, no recomendándose el empleo de D_3 a menos que sea el único accesible. Además esta forma de medir el volumen tiene la ventaja de preservar la planta y no requiere de mediciones adicionales como el empleo de pesas para evitar que los cactus floten en el agua.

En contraste, el método de Arquímedes, si bien reduce el error introducido por costillas y areolas, dependiendo del tipo de espécimen, no podría ser aplicado en cactus cuyo diámetro fuese menor de 1 cm, debido a la imposibilidad de medir los pequeños volúmenes que desplaza un cactus pequeño. Tampoco se podría aplicar en cactus con diámetro superior a 20 cm porque tanto la magnitud del peso del cactus como el volumen de agua desplazado representarían un obstáculo en la medición.

Estas ventajas, permiten realizar mediciones de grandes cantidades de plantas sin merma de las mismas, lo que permite a su vez conocer la variabilidad intrínseca de la especie a estudiar.

Análisis del crecimiento. Al evaluar el crecimiento, es necesario realizar un número alto de mediciones para que la medición

CUADRO 3. Volúmenes de cactus con forma de elipsoide completo y truncado medidos por el método de Arquímedes y estimados matemáticamente.[1]

Especie	Volumen real (ml)	Volumen estimado con areolas y costillas[2] (ml)	Volumen estimado con costillas[3] (ml)	Volumen estimado con el tallo[4] (ml)
Echinopsis 'Haku Jo' (completo, 8 meses)	3.00 ± 0.1	3.20 ± 0.39	2.70 ± 0.15	2.52 ± 0.79
Echinopsis 'Haku Jo' (completo, 18 meses)	8.93 ± 0.21	11.41 ± 0.44	10.11 ± 0.31	8.52 ± 0.30
Echinopsis 'Haku Jo' (completo, 24 meses)	40.33 ± 2.52	50.65 ± 4.33	42.14 ± 2.03	38.58 ± 0.74
Echinocereus rigidissimus (completo)	28.92 ± 2.76	34.16 ± 1.01	§[5]	§
Echinocereus rigidissimus (truncado 1)	26.76 ± 1.46	31.40 ± 1.57	§	§
Echinocereus rigidissimus (truncado 2)	22.28 ±2.00	27.11 ± 2.16	§	§

[1] Los datos representan el promedio de nueve mediciones, tres diferentes especímenes cada uno medido tres veces. Se muestra la media ± desviación estándar. Los volúmenes fueron estimados con la ecuación [5].
[2] Se usó la distancia entre dos areolas (D_3).
[3] Se usó la distancia entre dos crestas opuestas de las costillas (D_2).
[4] Se usó la distancia entre dos valles opuestos en el cactus (D_1).
[5] *E. rigidissimus* está provisto de una gran cantidad de espinas que solo permite medir el diámetro con areolas y costillas.

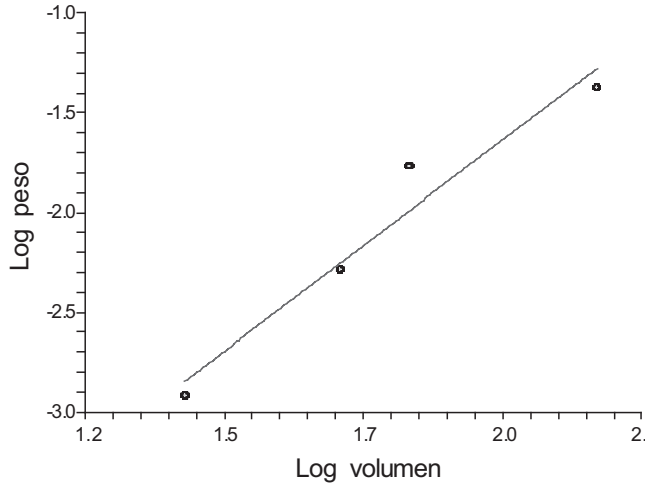


FIGURA 3. Correlación lineal entre las mediciones de peso y volumen, esta recta mostró una pendiente igual a 2.12 con una ordenada al origen de -5.77 y un coeficiente de correlación de 0.97.

sea confiable y la tasa de crecimiento (*R*) obtenida sea representativa de la población e incluya la variabilidad intrínseca de la población.

Si al igual que en el modelo de Blackman (1919) se supone que la tasa de asimilación y la tasa de respiración permanecen constantes y que el tamaño del sistema asimilatorio tiene una relación con el peso de la planta entera, la curva de crecimiento muestra cómo se modifica este sistema asimilatorio. Si la curva de crecimiento se construye con los datos de incremento del sistema asimilatorio, expresados en términos de volumen, permite evaluar la tasa de crecimiento de manera similar a como se evaluaría en términos de peso seco.

En cactáceas el sistema asimilatorio está constituido por el tallo de la planta, lo que representa en varias especies el 90% del peso total de la planta y guarda una relación directa peso seco raíz/peso seco tallo 10%/90% (Nobel 1988). Esto hace posible considerar el tamaño del sistema asimilatorio como la unidad fundamental de crecimiento.

La medida del volumen también requiere de un número alto de mediciones, pero como esta medida no implica matar a la planta es posible realizar muchas medidas de plantas individuales de manera aleatoria sin que esto altere el número de individuos presentes. Así, la medida del volumen nos ofrece las mismas ventajas de la medición del peso seco, ya que ambos métodos se basan en la comparación de magnitudes en intervalos de tiempo determinados.

Dado el tiempo que acostumbran vivir las cactáceas, el estudio se realizó al inicio de la región lineal de la curva de crecimiento y no se llegó a la porción final de la misma.

A pesar de esto, se pudo observar que las curvas de crecimiento expresadas tanto en peso seco como en volumen fueron similares y que tales variables presentan una correlación lineal (Fig. 3), lo que permite entonces proponer el cambio de variable de peso seco a volumen en la ecuación del modelo de Blackman.

La evaluación de la tasa de crecimiento empleando valores de volumen o peso

(ecuaciones [1] y [8]) es equivalente, 0.225 para los valores de peso seco y 0.1981 para los valores de volumen, lo que permite usar ambas mediciones para generar una curva de crecimiento, siendo la medición del volumen una medición que permite conservar las plantas intactas.

Conclusiones

La estimación matemática del volumen de cactáceas considerándolas superficies cuadráticas, es un modelo robusto y dinámico que permite tener medidas confiables, ya que considera los cambios de forma de la planta en todo instante de tiempo y, para el caso de la evaluación de la tasa de crecimiento, no se ve afectado por el error que genera la presencia de costillas y/o areolas, debido a que estas estructuras crecen de manera proporcional al tallo del cactus.

Esta forma de estimar el volumen permite medir volúmenes que no es posible determinar por el método de Arquímedes, ya sea porque estos son tan pequeños que no hay instrumentos para medirlos, o bien porque son tan grandes que no hay recipientes de tamaño adecuado para realizar la medición. Además, presenta la ventaja de ser un método no destructivo que permite evaluar el crecimiento sin perturbar la población, permitiendo así realizar mediciones repetidas las cuales son de gran utilidad en los procedimientos estadísticos relacionados a poblaciones.

En este trabajo, la curva de crecimiento fue analizada con el modelo de Blackman (1919), y la tasa de crecimiento obtenida con valores de peso seco fue similar a la obtenida con valores de volumen. La estimación del volumen de cactus considerándolos superficies cuadráticas permite generar curvas de crecimiento tan confiables como las que se generan empleando mediciones de peso seco, con la ventaja adicional de no ser un método destructivo.

Agradecimientos

Damos las gracias al Sr. Jorge Lodigiani por la realización y asesoría en la toma de las fotografías y la elaboración de los fotomontajes usados en este trabajo.

También queremos agradecer a la Dra. Laura Hidalgo y a la Ing. Bioq. Ind. Giuliana por la revisión crítica de este manuscrito.

Literatura citada

Anderson EF. 2001. *The cactus family*. Timber Press, INC. USA.

Blackman VH. 1919. The Compound Interest Law and Plant Growth. *Am Bot* **33**:353-360.

Guzmán U, Arias S, Dávila P. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. UNAM, Conabio. México.

Hoagland DR & Arnon DI. 1950. The Water Culture Method for Growth of Plants without Soil. *Calif Agric Exp stn Circ* **342**:1-32.

Hunt R. 1981. *Plant Growth Analysis*. Edward Arnold Publishers. Londres.

Kleinbaum DG, Lawrence LK, Muller KE & Nizam A. 1998. *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*. Duxbury Press. Pacific Grove, California.

Nobel PS. 1968. *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. New York.

Swokowski EW. 1981. *Cálculo con geometría Analítica*. Grupo Editorial Iberoamérica. México.

Recibido: agosto 2007; aceptado: marzo 2009.
Received: August 2007; accepted: March 2009.

NOTA

Saqueo en poblaciones naturales de *Ariocarpus*: el caso de *A. agavoides*

Martínez-Peralta Concepción, Mandujano María C

El género *Ariocarpus* Scheidweiler es un taxón de plantas geófitas, endémicas del desierto Chihuahuense. Las poblaciones naturales de este grupo han sido blanco de colecta y de tráfico ilegales ya que son sumamente apreciadas por cactófilos y coleccionistas nacionales y extranjeros, de ahí que sean especies consideradas por varias listas rojas. El

Concepción Martínez

FOTO 1. Floración de *A. agavoides* en el otoño de 2007 en Cd. Tula, Tamps. En este sitio se llevaron a cabo tratamientos de polinización para conocer el sistema de cruza de la especie.

Concepción Martínez

FOTO 2. Agujeros dejados por los ejemplares extraídos de *A. agavoides* en Cd. Tula, Tamps. En círculos se marcan restos de las plantas extraídas.

[1] Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Depto. Ecología de la Biodiversidad. Apdo. postal 70-275, 04510 México, D.F.
*Autor de correspondencia: cmartinez@ecologia.unam.mx

género completo está incluido en el Apéndice I del CITES, y las especies están enlistadas en categorías diferentes dentro de la NOM-ECOL-059 y la Lista Roja de la UICN (Arias *et al.* 2005). Se reconoce que estas especies presentan diferentes niveles de rareza, pero tres de ellas tienen distribuciones particularmente restringidas (Aguilar-Morales com. pers.): *A. scaphirostris*, *A. bravoanus* y *A. agavoides*. Esta última especie fue descubierta en la década de 1940 (Anderson 1962), y desde entonces esta población ha sido saqueada, ya que por mucho tiempo fue la única localidad conocida. La población de *A. agavoides* se extiende en la parte oeste de Ciudad Tula, Tamps., está fragmentada por la carretera 57 y por un camino de terracería de la cuidad. El terreno en que *A. agavoides* se distribuye es irregular, altamente erosionado y con grandes cantidades de basura, dada su cercanía a la ciudad y al basurero municipal. Asimismo, se ha iniciado la lotificación de terrenos a menos de 300 m de la población.

Durante 2007 se inició un estudio para conocer aspectos reproductivos de *A. agavoides* y de *A. kotschoubeyanus*, que también se distribuye en este municipio. En ambas se realizaron observaciones de los visitantes florales, medición de néctar, seguimiento de la conducta floral, así como diferentes tratamientos de polinización para conocer el tipo de cruza (Foto 1). Las plantas usadas en estos tratamientos fueron etiquetadas con marcas de chaquira, con el objetivo de revisar la producción de frutos y semillas en los meses subsecuentes, y así evaluar el éxito de los tratamientos realizados.

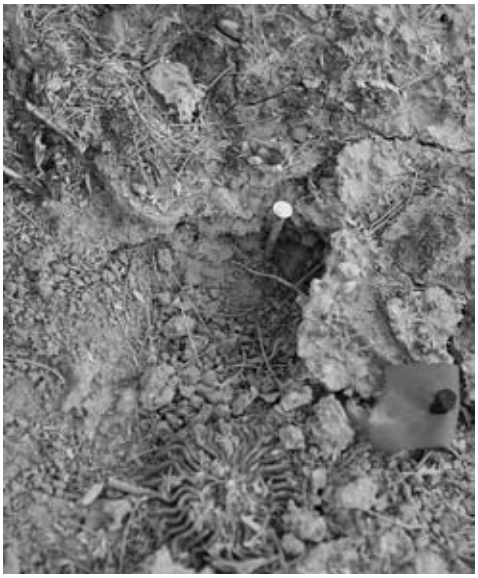
A principios de marzo de 2008 se realizó una visita para registrar la producción de frutos, e inmediatamente llamó la atención la gran cantidad de plantas faltantes. En algunos casos se encontraron restos de tubérculos en donde anteriormente estuvo la planta, pero en la gran mayoría la planta fue extraída completamente (Fotos 2 a 4). De 63 tratamientos realizados en 2007 sólo se encontraron 40 plantas; esto significa la extracción del 37% de una muestra de dicha población. Registros previos de la densidad de plantas en esta especie indican que hay 4.31 ind/m^2 (Aguilar Morales com. pers.), por lo que en 196 m^2 (área en la que se llevaron a cabo los estudios durante la floración) habría 845 individuos. Los agujeros dejados

Concepción Martínez

FOTO 3. Extracción de plantas de *A. agavoides* en Cd. Tula, Tamps. Sólo se encontraron las marcas de chaquira dejadas para la identificación de las plantas en otoño de 2007.

al sacar las plantas fueron contados en esta superficie y se hallaron 280. Esta estimación extrapolada indica que, al mes de marzo, 33% de la población fue extraída. Una segunda visita fue realizada un mes después, durante la cual hallamos sólo 34 plantas, lo cual significa que tuvimos una pérdida del 46% de la muestra original.

Este saqueo de la población de *A. agavoides* sucedió entre cuatro y cinco meses después de la floración, una situación particularmente grave ya que se conocen únicamente dos sitios de distribución de esta especie. Sotomayor *et al.* (2000) reportaron otra población de *A. agavoides* en San Luis Potosí, pero su ubicación exacta no fue publicada. En el otro sitio estudiado en Tula, Tamps., para la floración de *A. kotschoubeyanus*, la pérdida total de la muestra marcada fue de 11%. En un estudio similar con *A. fissuratus* en Cuatro Ciénegas, Coahuila, se detectó la extracción del 1% de plantas reproductivas en un periodo de un año (Martínez-Peralta 2007). Estas observaciones sugieren que la colecta está dirigida a las plantas reproductivas, afectando directamente la dinámica poblacional, ya que disminuye el reclutamiento de nuevos individuos vía semilla. Las especies de *Ariocarpus* tienen como características intrínsecas la dependencia demográfica en la reproducción sexual, el crecimiento lento y la especificidad del hábitat. Sin embargo, eventos extrínsecos como el disturbio antropogénico, el cambio de uso de suelo, el saqueo extraordinario y la falta de una legislación efectiva, ponen a estas especies a un paso de la extinción. Por lo tanto, es urgente la protección eficaz de estas especies por parte de las autoridades y de los aficionados, así como la propagación regulada por medio de viveros y jardines botánicos para disminuir la presión de colecta sobre las poblaciones naturales.



Concepción Martínez

FOTO 4. Extracción de plantas de *A. agavoides* en Cd. Tula, Tamps. Otros cactus (*Stenocactus* sp.) no resultaron dañados considerablemente.

Literatura citada

Anderson EF. 1962. A revision of *Ariocarpus* (Cactaceae) II. The status of the proposed genus *Neogomesia*. *Am J Bot* **49**:615-622.

Arias S, Guzmán, U, Mandujano, MC, Soto, M, Golubov, J. 2005. Las especies mexicanas de cactáceas en riesgo de extinción. I. *Cact Suc Mex* **50**:100-125.

Martínez-Peralta C. 2007. Biología floral de *Ariocarpus fissuratus* (Engelmann) Schumann (Cactaceae) en Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México D. F.

Sotomayor M, Arredondo, A Martínez, M. 2000. Neue fundorte von *Ariocarpus agavoides*. *Kakteen und andere Sukkulenten* **51**:113-118.

Recibido: noviembre 2008; aceptado: enero de 2009.
Received: November 2008; accepted: January 2009.

Mammillaria uncinata Zucc. *ex* Pfeiff.

Mariana Rojas

Mammillaria uncinata es una planta que suele encontrarse solitaria, aunque en ocasiones se encuentra agrupada. Sus tallos son napiformes, con la parte aérea subglobosa-aplanada, de 3 a 5 cm de altura y 5 a 12 de diámetro. Los tubérculos son de forma piramidal, con la base angulada, de consistencia firme, color verde azulado obscuro, con látex, lana blanca en las axilas de los tubérculos apicales y desnudos en los inferiores. La aréolas presentan una lana blanca y corta cuando son jóvenes, la cual pierden rápidamente. Presenta hasta 7 espinas radiales de longitud máxima de 6 mm, de estas 4 son gruesamente aciculares dispuestas en cruz. El resto de las espinas radiales son más cortas y delgadas, y se ubican en la parte superior de la aréola. El color de las espinas radiales va de carneo a blanquecino. Esta especie presenta de 1 hasta 3 espinas centrales, las cuales tienen una forma que va de acicular a sublobulada, aplanadas, con una longitud máxima de 12mm, ganchudas de un color carneo grisáceo a violáceo oscuro. Las flores son infundibuliformes y se producen lateralmente. Su longitud es de entre 15 y 20mm por 18 mm de diámetro; su color es amarillento o blanco con la base verde claro y el ápice rosado, con una vena central café rojiza. Fruto claviforme de color rojo, con una longitud de hasta 18mm (Bravo-Hollis H. & Sánchez Mejorada H. 1991. *Las Cactáceas de México*; Anderson E. 2001. *The Cactus Family*).

Mammillaria uncinata es una de las especies del género *Mammillaria* de más amplia distribución. Generalmente habita en mezquitales, matorrales espinosos, nopaleras y en izotales. Se ha encontrado que hibridiza con *M. lloydii*.

En México se distribuye en los estados de Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala y Zacatecas (Guzmán U. *et al*. 2003. *Catálogo de Cactáceas Mexicanas*).

García Morales Erick
Lab. Dinámica de Poblaciones y evolución de historias de vida
Instituto de Ecología, UNAM
Correo electrónico: gamoeck@yahoo.com