

CACTÁCEAS Y SUCULENTAS MEXICANAS

Volumen 51 No. 3 Julio-Septiembre 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

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 Ecologia Campus Hermosillo, UNAM Dr. Jafet Nassar Instituto Venezolano de Investigación Científica

Taxonomía y Sistemática

Dr. Fernando Chiang Instituto de Biología, UNAM Dr. Roberto Kiesling Instituto Darwinion, 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 e Impresión

e Impresion Gráfica, Creatividad y Diseño, S.A. de C.V. Se imprimieron 1000 ejemplares, Junio 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

Rosario del P. Camarena González

Bibliotecario

Raymundo García A.

Fotografía de portada:

Echinocereus schmollii
Foto: José Guadalupe Hernández-Oria



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 **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 \$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 para la publicación de este número al Proyecto 0350/A1 Conacyt - Semarnat de María C. Mandujano.

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 51 No. 3 junio - septiembre de 2006

Contenido

Estado de conservación de Echinocereus
schmollii (Weing.) N. P. Taylor en Cadereyta
de Montes, Querétaro, México

de Montes, Queretaro, Mexico	
Hernández-Oria, José Guadalupe;	
Chávez Martínez, Ruth Julieta &	
Sánchez Martínez, Emiliano	68
Opuntia tomentosa Salm-Dyck	
Aguilar Morales, Gisela	96



Contents

Conservation status of *Echinocereus* schmollii (Weing.) N. P. Taylor in Cadereyta de Montes, Queretaro, Mexico

de Montes, Queretaro, Mexico	
Hernández-Oria, José Guadalupe;	
Chávez Martínez, Ruth Julieta & Sánchez Martínez, Emiliano	68
Opuntia tomentosa Salm-Dyck	
Aquilar Morales, Gisela	96

Estado de conservación de *Echinocereus schmollii* (Weing.) N. P. Taylor en Cadereyta de Montes, Querétaro, México

Hernández-Oria, José Guadalupe; 1 Chávez Martínez, Ruth Julieta 1 & Sánchez Martínez, Emiliano 1

Resumen

Se presenta la aplicación del Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) en dos poblaciones de *Echinocereus schmollii*, cactácea endémica de Cadereyta de Montes, Querétaro. La especie presenta relativamente baja densidad y áreas de distribución extremadamente estrechas. La estructura de tamaños está dominada por individuos de tallas inferiores y se encontraron más individuos asociados con plantas nodriza que en espacio abierto. Se analizaron los patrones presencia/ausencia de *E. schmollii* con relación a la presencia/ausencia de otras especies de las comunidades acompañantes y a la variación de factores medioambientales. El microhábitat de la especie se caracteriza parcialmente por una combinación de: riqueza de especies homogénea, profundidad del suelo relativamente alta, baja proporción de rocas y piedras en la superficie del suelo, así como menores niveles de temperatura superficial del suelo y porcentaje de radiación fotosintética bajo el dosel de los arbustos. *E. schmollii* presenta las tres características básicas que identifican la rareza biológica de una especie: tamaño poblacional pequeño, área de distribución restringida y requerimientos específicos de hábitat. Estas características son complejas y plantean dificultades para la sobrevivencia del taxón, pero deben ser consideradas para su conservación biológica, dado que su estatus actual es en peligro de extinción.

Palabras clave: Cadereyta, conservación, Echinocereus schmollii, población, Querétaro.

Abstract

Two populations of *Echinocereus schmollii* (Weing.) N. P. Taylor, an endemic species from Cadereyta de Montes, Querétaro, México were analysed with the Mexican method for Evaluation of risk Extinction in Wild Species (MER). This species displays a relatively low density and extremely small areas of distribution. The size structure is dominated by individuals of small individuals and more individuals were established beneath nurse plants than in open spaces. Comparisons between plots with and without *E. schmollii* enabled a characterization of its habitat in relation to environmental factors and associated species. The microhabitat of the species is partially characterized by a combination of: homogeneous species richness, deep soils with low proportion of rocks and stones on the surface of the ground; as well as, levels of soil surface temperature and photosynthetic active radiation (PAR) under the canopy of the shrubs.

The results suggest that *E. schmollii* presents the three basic characteristics that identify the biological rarity in a species: small population size, restricted distribution area and specific habitat requirements. These complex traits create important restrictions for the survival of this taxon and for this reason must be considered for conservation.

Key words: Cadereyta, conservation, *Echinocereus schmollii*, population, Querétaro.

¹ Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío". Tel: 01 (441) 2760647, Correo-e: xerofilia@yahoo.com.mx

Introducción

La familia Cactaceae en México contiene una gran diversidad de especies, distribuidas mayormente en zonas áridas y semiáridas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1978, 1991; Hernández et al. 2001), no obstante, una proporción importante de estos taxones exhiben alguna etiqueta de amenaza en su sobrevivencia y se encuentran referidos

en las listas de CITES (Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) y la NOM-059 (Norma Oficial Mexicana) (Hunt 1999; Hernández & Godínez 1994; Hernández & Bárcenas 1996; Guzmán *et al.* 2003).

Se aduce que las causas principales que ponen en riesgo las poblaciones de cactáceas son aquellas relacionadas con la fragmentación del hábitat y cambios



FOTO 1. Díptero visitando la flor de Echinocereus schmollii

de uso del suelo, como el pastoreo y desmontes, además de la colecta ilegal de ejemplares (Hernández & Bárcenas 1995).

En particular los estudios sobre ecología de poblaciones de especies de cactáceas raras, amenazadas o en peligro de extinción son una herramienta fundamental para conocer la dinámica y estado de conservación de estos tipos de taxa (Rodríguez & Ezcurra 2000; Rosas & Mandujano 2002; Zavala-Hurtado & Valverde 2003: Godínez-Álvarez et al. 2003). Sin embargo, el estudio detallado de aspectos demográficos y otros atributos implicados en la dinámica poblacional requieren de un seguimiento a largo plazo (de Kroon et al. 1986), lo cual no siempre se logra en la mayoría de los estudios, entre otras causas porque actualmente se reconoce que la acelerada pérdida de hábitat reclama información inmediata para orientar medidas pertinentes para su conservación y manejo (Hernández-Oria et al. 2003).

Dada la actual transformación de hábitat y la colecta desmedida que acusan varias especies de cactáceas raras o amenazadas, lo conducente es desarrollar estudios que generen la información ecológica básica sobre parámetros poblacionales con carácter de urgentes; entre otros, la distribución de poblaciones remanentes, densidad de individuos y estructura poblacional y las variables ambientales que influencian la distribución y abundancia en su hábitat.

En este contexto, *Echinocereus schmollii* es una especie rara y endémica al

municipio de Cadereyta en la región semiárida del estado de Querétaro, citada en el apéndice I de CITES y la NOM-059 sobre la que existe incertidumbre respecto a su distribución actual y se carece de información ecológica y poblacional (Foto 1).

El presente trabajo describe y documenta dos nuevas áreas de distribución de *E. schmollii* en la región, y evalúa la densidad de individuos y la estructura poblacional (estática) por cada localidad. Adicionalmente se determinan algunos factores físicos y bióticos para dilucidar la especificidad del hábitat de la especie.

Material y Métodos

Descripción de la especie (Taylor 1986), (Fotos 1, 3 - 8).

Echinocereus schmollii: Tallo solitario, o escasamente ramificado (la ramificación aumenta en condición de cultivo), cilíndrico, hasta 15 (-25) cm de largo y 1.1 cm de diámetro (hasta 2 cm en cultivo), purpurino a negruzco-verdoso; el tallo es afilado y crece sobre un rizoma napiforme, de 7 cm de largo y 3 cm de diámetro, hinchado, de color gris-negruzco. Costillas 9-10, tuberculadas, redondeadas. Areólas de 0.5 mm de diámetro, 1.5-2 mm de separado. Espinas con pelos finos, en número cercano a 35, hasta de 7 mm de largo, al principio rosadas tornándose pronto blancas, grises o negruzcas, dándole al tallo una apariencia de lana suave. Flores infundibuliformes, de 3.5 (-4) cm de largo, hasta 5 cm de diámetro, presentándose mayormente cerca del ápice, aunque ocasionalmente son terminales. Tubo receptacular de 2 cm de longitud, con el exterior café a verde purpurino, llevando areólas con finas espinas capilares como las del tallo. Cámara nectarial de solamente 1.5 mm de largo por 2 mm de ancho. Segmentos del perianto en 2-3 series, angostamente elíptico-oblanceolados, de cerca de 2 cm de largo y de 3-6 mm de ancho, largamente acuminados, color rosa brillante. Estilo de hasta 2 cm de largo; estigmas 7-11, color verde brillante. Fruto ovoide a esférico, cerca de 1.8 cm de diámetro, jugoso, verde-purpurino. Semillas casi globulares, de cerca de 1 mm, tuberculadas.

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, dentro de la Subprovincia Carso Huasteco. Ocupa una pequeña porción en el noroeste del municipio de Cadereyta en el estado de Querétaro (Fig. 1). La región pertenece a la provincia florística Queretano-Hidalguense (Rzedowski 1978), conocida como semidesierto queretano y constituye la distribución extrema en el sur del Desierto Chihuahuense (Hernández & Bárcenas 1995).

Esta área queda comprendida entre los 20° 52′, 20° 55′ de latitud Norte y 99° 42′ 41′′ de longitud Oeste. La geología está representada por rocas sedimentarias (litología caliza y caliza-lutita) de edad Cretácica. El Clima predominante es del subtipo semiseco-templado (BS¹kw(w), con una precipitación media anual entre 400-450 mm y un rango de temperatura media anual entre 16-18°C. El suelo es del tipo Rendzina y Regosol calcárico. La altitud varía entre 1800 y 1900 m snm (INEGI 2001). La vegetación corresponde al matorral xerófilo micrófilo (sensu Zamudio et al. 1992). En el Cuadro 1 se muestran las características particulares de los dos sitios de estudio.

El trabajo se realizó en dos localidades de *E. schmollii* recientemente descubiertas, ubicadas en las comunidades de El Banco y La Tinaja,

municipio de Cadereyta de Montes. Actualmente se conocen once localidades (incluyendo las del presente trabajo) que conforman las áreas de distribución de *E. schmollii* en el semidesierto queretano (Fig. 1).

a) El Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México MER (Semarnat 2002) considera los siguientes aspectos:

Criterio A. Amplitud de distribución del taxón en México.

Es el tamaño relativo del ámbito de distribución natural actual en México.

Criterio B. Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón.

Es el conjunto actual estimado de efectos del hábitat particular, con respecto a los requerimientos conocidos para el desarrollo natural del taxón que se analiza, en términos de las condiciones físicas y biológicas.

Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón.

Es el conjunto de los factores relacionados con la historia o forma de vida propios del taxón, que lo hacen vulnerable.

Criterio D. Impacto de la actividad humana sobre el taxón.

Es una estimación numérica de la magnitud del impacto y la tendencia que genera la influencia humana sobre el taxón que se analiza. Considera aspectos como la presión por asentamientos humanos, fragmentación del hábitat, contaminación, uso, comercio, tráfico, cambio de uso de suelo, introducción de especies exóticas, realización de obras de infraestructura, entre otros. Asigna tres posibilidades: I) alto impacto, II) impacto medio y III) bajo impacto.

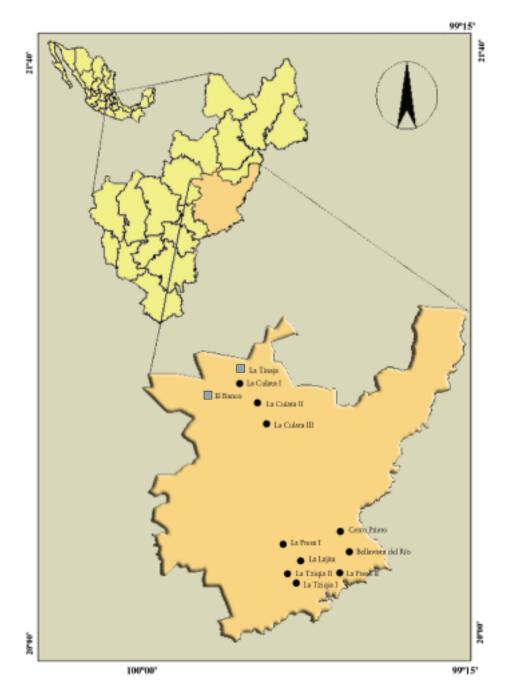


FIGURA 1. Localización del área de estudio y poblaciones evaluadas (\blacksquare) y registradas (\bullet) de *E. schmollii* en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, México.



FOTO 2. Hábitat de *Echinocereus schmollii* en La Tinaja, Cadereyta de Montes, Qro. Matorral micrófilo en suelos de tipo rendzina, sobre un basamento de carbonato de calcio con presencia de *Calliandra enophilla*, *Larrea tridentata* y *Phitecellobium revolutum*.

La sumatoria de los puntos asignados en cada categoría define el estatus de la especie: entre 12 y 14 puntos se encuentra en peligro de extinción; entre 10 y 11 la especie se considera amenazada.

En este trabajo se evalúan algunos aspectos señalados en el MER, pero se expresan cuantitativamente.

Trabajo de campo

b) Colecta de ejemplares de herbario

Se colectaron especimenes en las dos localidades para ser herborizados y posteriormente depositados en herbario (MEXU).

c) Localización y registro de áreas de distribución de E. schmollii

Cada localidad fue georeferenciada utilizando un geoposicionador (GPS Garmin) para trazar y estimar el área de distribución de las población y se acompañó de registro fotográfico y características generales físico-bióticas. Los datos se integraron al sistema de información geográfica del Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Manuel González de Cosío".

d) Densidad poblacional

En cada localidad fueron censados todos los individuos de *E. schmollii* mediante transectos de 50x10m subdivididos en cuadrantes contiguos de 10x10m (100 m²), y se determinó la

densidad de individuos por área de superficie. En cada población se identificó por cada individuo el tipo de ramificación, número de ramas y un cociente del número de ramas dañadas/ramas vivas expresado en porcentaje. El patrón de distribución espacial se determinó utilizando el método de varianza por cuadros agrupados (TTLQV-BQV), de acuerdo con Ludwig y Reynolds (1988), y se evaluó la hipótesis nula de un patrón aleatorio en la distribución según el Índice estandarizado (*Ip*) de Morisita (Krebs 1999).

e) Estructura poblacional

La estructura de tamaños se estimó con base en la morfología de *E. schmollii*, semejante a un cilindro sin base neilódica. El volumen/ individuo se calculó de acuerdo con Montes *et al.* (2000):

$$V = 0.25\pi d^2 h$$

donde:

 $V = \text{volumen (cm}^3)$ d = diámetro (cm)h = longitud (cm)

 $\pi = 3.1416$

El volumen total/individuo de una o más ramas (casos multicaules), corresponde a la sumatoria de los volúmenes (V_b) individuales de estas:

$$V_{\text{total}} = \sum_{l}^{h} Vh$$

CUADRO 1. Características fisico-bióticas de las poblaciones estudiadas.

Característica	Población	El Banco	Población La Tinaja		
Clima ¹	Semiseco tem	plado (BS ₁ k)	Semiseco templado (BS ₁		
Geología ¹	Sedimentaria ((caliza-lutita)	Sedimentaria (caliza-lutita)		
Suelo ¹	Rendzina-Reg	osol calcáreo	Rendzina-Regosol calcáreo		
Altitud (msnm)	195	59	1842		
Precipitación media anual (mm) ¹	457	'.4	457.4		
Temperatura media anual (°C)1	16	5.1	16.1		
Tipo de vegetación ²	Matorral xerófilo micrófilo		Matorral xerófilo micrófilo		
Localización geográfica	20° 52' 42.7"; 99° 42' 42.0"		20° 55′ 28.3″; 99° 41′ 30.1		
Pendiente (%)	2.5		2		
Área de distribución	0.0058 km^2	0.58 ha	0.0079 km^2	0.79 ha	
	(5.8 -6) *		(7.9 -6) *		

¹ Fuente: INEGI (2001).

² sensu Zamudio et al. (1992).

^{*} Indica el valor aproximado relativo al 5 % de la superficie del país.

Por cada individuo y en cada rama se registraron dos medidas del diámetro en su parte media (cm), longitud de ramas (cm) y dos medidas perpendiculares del diámetro de la cobertura (cm) en sus ejes mayor y menor para la planta entera. Con estas medidas se estimó el área (cm²) que ocupó cada individuo de una o más ramas, según el caso. Se efectuaron regresiones lineales (y = a + bx) para determinar la variable (número de ramas, cobertura, área de ramas o longitud de ramas) con más valor predictivo con relación al volumen/individuo.

f) Estado reproductivo

Se registró la presencia /ausencia de botones florales, flores abiertas, frutos y número de ramas reproductivas en cada individuo. (Foto 3 y 4).

g) Nodricismo y relaciones espaciales

Se identificó la ocupación espacial de hábitat por los individuos de E. schmo*llii* (bajo el dosel de nodrizas o espacio abierto). Cuando los individuos se encontraron en áreas cubiertas por el dosel de nodrizas, se determinó la orientación azimutal por cada individuo, la identidad de la especie nodriza y su cobertura (cm²). La frecuencia total de individuos asociados se acumularon por especie nodriza y en espacio abierto; y se hicieron comparaciones mediante pruebas de Chi-cuadrada y análisis de residuales (Zar 1999: Fowler et al. 1998) para determinar si hubo: 1) diferencias estadísticamente significativas entre nodrizas y espacio abierto. Los valores de χ^2 se obtuvieron comparando la distribución observada bajo la hipótesis de distribución homogénea y 2) diferencias en la frecuencia de distribución circular de *E. schmollii* con relación a nodrizas, aplicando la prueba de Rayleigh y una prueba *V* (Zar 1999) para contrastar la hipótesis de uniformidad en la orientación.

h) Variables ambientales

Por cada cuadrante con y sin presencia de *E. schmollii*, se determinó:

- 1) Número de especies arbustivas o arbóreas (presencia/ausencia). Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) para los datos binarios de sitios/especies basada en la matriz de varianza-covarianza para detectar los patrones espaciales en la matriz de la comunidad. La ordenación de la comunidad se realizó con MVSP 3.1 (Multivariate Statistical Package, Kovach 1999). El grado de similitud en la composición de especies entre las dos comunidades se determinó con el índice de Jaccard.
- 2) Profundidad del suelo (cm).
- 3) Porcentaje de rocosidad (material superficial consolidado > 20 cm de diámetro).
- 4) Porcentaje de pedregosidad (material superficial consolidado < 20 cm de diámetro).
- 5) Se evaluó la radiación fotosintética activa (PAR) (μmol m⁻² s⁻¹) bajo el dosel de una nodriza (con *E. schmollii*), comparada con un sitio abierto (sin *E. schmollii*) para estimar el porcentaje de PAR recibido con respecto a un área testigo. Las lecturas se tomaron cada hora por un período diurno de 8 horas (10:00 a 17:00 h), utilizando un quantómetro Apogee modelo BQM Q-Basic y se acumuló el promedio por tres días.

6) Se determinó la temperatura superficial del suelo bajo el dosel de una nodriza (con *E. schmollii*) y espacio abierto (sin *E. schmollii*) en las dos poblaciones, por un período diurno de 8 horas, utilizando un termómetro infrarrojo RadioShack.

Por cada variable se comparó el promedio en cuadrantes con y sin E. schmollii, utilizando pruebas para dos muestras de t-Student, si los datos siguieron una distribución normal; y una prueba no paramétrica (Mann-Whitney) si los datos no cumplieran con los supuestos de normalidad. debido a que se hicieron comparaciones múltiples, se utilizó la corrección de Bonferroni ($P_{\alpha c}$) con un nivel α de 95% para ajustar el nivel de significancia (Zar 1999).

i) Disturbio

Se aplicó el método de Martorell y Peters (2003; 2005) para evaluar el impacto del disturbio crónico en el hábitat de *E. schmollii*. Esta métrica determina un valor global de disturbio considerando como agentes causales las actividades humanas, la ganadería y el deterioro del hábitat. Regularmente toma valores entre 0 (sitios conservados) y 100 (sitios altamente perturbados).

Resultados

Criterio A. Amplitud de distribución del taxón en México.

Las trece poblaciones conocidas de *E. schmollii* se distribuyen en dos conglomerados, al parecer discontinuos (Norte y Sur) en una estrecha porción

del Municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro (Fig. 1). El área de distribución está caracterizada por piedemontes con depósitos aluviales en las inmediaciones de la Sierra del Doctor. que ocupan menos de 100 km². A la escala local las dos poblaciones estudiadas ocupan áreas extremadamente restringidas (Cuadro 1). Esta limitación de superficie ocupada identifica a la especie como microendémica y de acuerdo con el MER, es un taxón de distribución muy restringida, ya que su extensión abarca menos del 5% (alrededor de 100.000 km²) del territorio nacional.

Dada esta condición, le asignamos 4 puntos.

Criterio B. Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón

En algunas localidades la especie es afín al matorral de *Larrea tridentata* que se interpreta como un elemento relictual producto de la contracción y fragmentación antiguas del desierto Chihuahuense (Rzedowski & Calderón 1988), y en esta región presenta su distribución extrema sur (Medellín Leal 1982). Actualmente este matorral ha sido casi eliminado en las áreas de influencia de *E. schmollii*, debido al aprovechamiento excesivo y venta ilegal y construcción de infraestructura eléctrica. Los otros matorrales asociados se encuentran depauperados por colecta de leña y pastoreo desmedido. El resultado son comunidades relativamente pobres en especies arbustivas y apariencia antropomorfizada. La principal consecuencia de los cambios en el matorral es la calidad y disponibilidad de nodrizas para la especie, además de probables cambios físicos en el hábitat.

Variables ambientales

a) Composición de la vegetación

Se registró un total de 28 especies (10 exclusivas) en el área de la población El Banco y 31 especies (13 exclusivas) en La Tinaja, incluyendo a E. schmollii, para un total de 41 especies (18 compartidas) en los dos sitios. El grado de similitud entre ambas comunidades es relativamente bajo (Indice de Jaccard = 0.24). E. schmollii estuvo presente en 68 cuadrantes (23 en El Banco y 45 en La Tinaja) de un total de 137. Para la población El Banco la riqueza de especies en cuadrantes con E. schmollii fue mayor que en cuadrantes donde estuvo ausente, de acuerdo con la prueba de Mann-Whitney (media \pm e.e.; 6.9 \pm 0.52 y 5.4 \pm 0.36, respectivamente; P $< 0.01, P_{\alpha c} = 0.012$, Fig. 2). En cambio, la población La Tinaja no mostró diferencia significativa entre ambas condiciones (5.7 \pm 0.24 y 5.7 \pm 0.20, respectivamente; P = 0.49, $P_{\alpha c}$ = 0.52, Fig. 3), a pesar de que es una comunidad más rica que El Banco. Comparando la riqueza global de especies con y sin E. schmollii de las dos poblaciones, no existe diferencia significativa (6.1 ± $0.25 \text{ y } 5.6 \pm 0.19$, respectivamente; P = 0.14, $P_{\alpha c} = 0.19$, Fig. 2). Esto sugiere que las comunidades son relativamente homogéneas en su composición a la escala espacial evaluada y que en general, el contingente de especies pre-

sentes simultáneamente con E. schmollii también se encuentran cuando E. schmollii está ausente. Ello significa que las especies nodriza son relativamente comunes y sólo una fracción del total de especies son poco comunes, aunque su contribución a la semejanza entre comunidades es relativamente alto. como se expresa en el índice de Jaccard. La riqueza de especies en las comunidades donde se desarrolla E. schmollii no es, en consecuencia, un factor que revele alguna restricción o característica fundamental en el hábitat de la especie. En contraste, la abundancia de arbustos asociados a E. schmollii es mayor en La Tinaja que en El Banco y por consecuencia lógica, la cobertura (cm2) de nodrizas es significativamente mayor (t = 4.29, P = 0.0001, $P_{\alpha c} = 0.00013$), lo cual sugiere que mientras mayor sea la disponibilidad de nodrizas, potencialmente se esperaría mayor abundancia de E. schmollii.

b) Análisis de Componentes Principales (PCA)

La ordenación de las dos comunidades basada en la presencia/ausencia de especies en los 137 cuadrantes, se determinó con la varianza explicada por los dos primeros ejes de PCA que explicaron el 34.43 y 16.63 %, respectivamente (Fig. 3). El esquema de ordenación muestra que no hay segregación entre los cuadrantes con y sin la presencia de *E. schmollii* en los dos ejes. En el eje 1 la ordenación se determinó con *Karwinskia humboldtiana, L. tridentata, Condalia mexicana y Calliandra eriophylla* (calificaciones en el eje: 1.214, 0.917, 0.736 y 0.721, respectivamente)

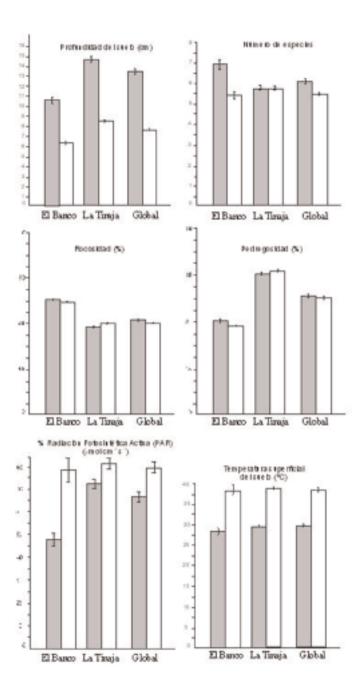


FIGURA 2. Valores promedio \pm e.e. de cuatro variables ambientales para cuadrantes con (barras grises y sin barras blancas) presencia de individuos de *E. schmollii* en dos poblaciones de Cadereyta de Montes, Querétaro. El global es el promedio conjunto para las dos poblaciones.

del lado positivo, y Agave difformis, Koeberlinea spinosa, Acacia vernicosa y Fouquieria splendens (calificaciones en el eje: -0.271, -0.265, -0.262 y -0.261, respectivamente) del lado negativo. El eje 2 estuvo determinado por P. revolutum (calificación: 0.720). Este análisis corrobora que la presencia o ausencia de E. schmollii en los cuadrantes no está estrictamente condicionada por un grupo particular de especies, y que la mayor presencia de E. schmollii ocurre asociada a las especies que son más frecuentes y que utiliza como nodrizas, las cuales pueden estar presentes aún en ausencia de aquella.

c) Profundidad del suelo

Los cuadrantes con presencia de *E. schmollii* tuvieron significativamente

mayor profundidad del suelo que en ausencia de ésta (El Banco: t = 3.0, P < 0.005, $P_{\alpha c} = 0.003$; La Tinaja: t = 9.6, P < 0.0001, $P_{\alpha c} = 0.002$ y Global: t = 8.4, P < 0.0001, $P_{\alpha c} = 0.003$; Fig. 2). Esta variable es consistente y sugiere relevancia sobre la especificidad de hábitat en la especie.

d) Porcentaje de rocosidad

No se detectaron diferencias significativas en el porcentaje superficial de rocas con y sin presencia de *E. schmollii* (El Banco: t = -1.21, P = 0.23, $P_{\alpha c} = 0.27$; La Tinaja: t = 0.86, P = 0.39, $P_{\alpha c} = 0.36$ y Global: t = -0.08, P = 0.93, $P_{\alpha c} = 0.98$; Fig. 2).

e) Porcentaje de Pedregosidad

Esta proporción resultó semejante entre los cuadrantes con presencia y ausencia de E schmollii (El Banco: t = -

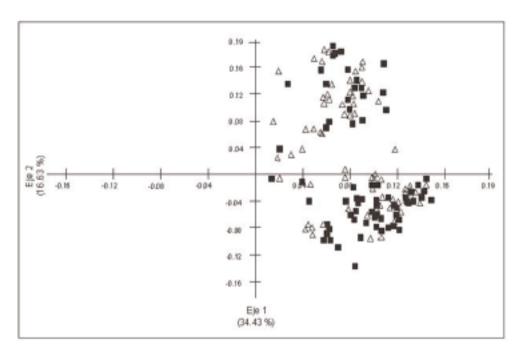


FIGURA 3. Análisis de Componentes Principales de 137 cuadrantes de muestreo basado en la presencia/ausencia de 41 especies. La presencia (■) y ausencia (Δ) de *E. schmollii* se indica por cada cuadrante.



FOTO 3. Individuo de *Echinocereus schmollii* con botones florales y flor en La Tinaja, Cadereya Querétaro.



 ${\tt FOTO~4.~Individuo~ramificado~de~\it Echinocereus~schmollii~con~fruto~inmaduro~subapical.}$

1.5, P = 0.13, $P_{\alpha c} = 0.11$; La Tinaja: t = 1.05, P = 0.29, $P_{\alpha c} = 0.31$ y Global: t = -0.60, P = 0.55, $P_{\alpha c} = 0.60$, Fig. 2).

f) Radiación fotosintética activa (PAR)

En promedio, fue menor en los dos sitios bajo nodrizas (con *E. schmollii*), los cuales consumieron el 47.4 %, 74.6 % y 67.8 % de PAR en las poblaciones de El Banco, La Tinaja y el global de ambas poblaciones, respectivamente. Las diferencias de PAR bajo nodrizas y sitios abiertos son significativamente diferentes (El Banco: t=-4.2, P=0.0001, $P_{\alpha c}=0.0023$; La Tinaja: t=-4.2, P=0.0001, $P_{\alpha c}=0.0014$ y Global: t=-4.8, P=0.00001, $P_{\alpha c}=0.0013$; Fig. 2).

g) Temperatura superficial del suelo

Fue mayor en los sitios abiertos (sin *E. schmollii*) que bajo el dosel de nodrizas (con *E. schmollii*). Las diferencias de temperatura entre las dos condiciones fueron de 8.3°C en El Banco, La Tinaja y el global en las dos poblaciones, siendo estadísticamente significativas (El Banco: t = -2.5, P = 0.001, $P_{\alpha c} = 0.01$; La Tinaja: t = -6.7, P = 0.0001, $P_{\alpha c} = 0.001$ y Global: t = -6.9, P = 0.0001, $P_{\alpha c} = 0.0012$, Fig. 2).

Tanto el porcentaje de rocas como el de piedras son parejos en áreas con y sin *E. schmollii*, lo cual sugiere que en general las áreas evaluadas son homogéneas en estas características edáficas superficiales. Aunque ambas variables alcanzan valores relativamente bajos (por ejemplo, el porcentaje máximo de rocas es alrededor de 35 por 40 de piedras), además, la dispersión de los valores es bastante estrecha (Fig. 2); por lo que cabría esperar cierto grado de especificidad de *E. schmollii* hacia áreas

con bajos niveles de piedras y rocas, así como una mayor profundidad del suelo. Los niveles de PAR y la temperatura superficial del suelo son considerablemente menores bajo nodrizas que en espacio abierto, y el efecto combinado de estas dos variables es una respuesta parcial sobre las preferencias y selectividad de microhábitat por *E. schmollii*.

El estado de hábitat es, por lo tanto, muy limitante y califica con 3 puntos. Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón

Parámetros demográficos

a) Densidad y distribución espacial de las poblaciones

La densidad de individuos fue mayor en la población La Tinaja (452) que en El Banco (103) y en general ambas poblaciones presentaron densidades bajas (0.017 ind./m² y 0.057 ind/m² respectivamente, para un promedio global de 0.040 ind./m²) pero el común en los dos sitios es la reducida área de distribución de *E. schmollii*.

El patrón de distribución espacial resultó relativamente uniforme en la población de El Banco y fuertemente agregado en La Tinaja, de acuerdo con el valor de la varianza relativa respecto al área muestreada (Fig. 4). En esta población la mayor agregación de individuos se observa a una escala espacial aproximada de $220~\text{m}^2$ (2 veces la varianza máxima relativa por 10m), indicando una dispersión intrapoblacional en parches. Sin embargo, el Índice estandarizado de Morisita indica que en las dos poblaciones y el global, la dispersión es agregada (Ip > 0) con un 95 % de confianza.

b) Estructura poblacional y relaciones alométricas

Para ambas poblaciones, el patrón general y más significativo indica que los individuos con mayor número de ramas acumulan valores mayores en cobertura ($r^2 = 0.58$, P < 0.0001) longitud de ramas ($r^2 = 0.54$, P < 0.0001) y volumen ($r^2 = 0.31$, P < 0.0001). Estas predicciones explican sólo las relaciones alométricas interespecíficas de la parte aérea, en función del grado de ramificación en los individuos de E. schmollii.

El modelo más significativo y que más contribuye para definir el tamaño para ambas poblaciones se encontró entre la longitud de ramas y el volumen. Esta asociación según el modelo el modelo ajustado para la población global explica que el volumen (tamaño/individuo) está dado por la sumatoria de la longitud de sus ramas. En La Tinaja el modelo resultó más significativo que en El Banco ($r^2 = 0.83$, P < 0.0001; $r^2 = 0.61$, P < 0.0001, respectivamente).

c) Estructura poblacional

La estructura de tamaños basada en categorías de volumen del componente aéreo/ind describe una distribución con una clara y mayor frecuencia de individuos de talla pequeña que intermedia, y una baja proporción de plantas de tallas mayores (Fig. 5). La suma global para las poblaciones siguió un patrón semejante en las fracciones por clase de tamaño.

Analizando la estructura en cada población, se encontró que tanto en El Banco como en La Tinaja, más del 50% de los individuos se integran en las tallas inferiores, lo cual supondría que existe reclutamiento en ambas poblaciones.

d) Estado reproductivo

Las observaciones estuvieron sesgadas hacia la floración e inicio de la fructificación, debido a que coincide con la época en que se efectuó el estudio. El número de individuos con alguna estructura reproductiva es considerablemente bajo en las dos poblaciones: 16 en El Banco (15.5 %) y 62 en La Tinaja (13.7 %), aunque la densidad de individuos es 4.3 veces mayor en La Tinaja que en El Banco. La distribución de las estructuras reproductivas (Fig. 6 y Foto 5) entre los individuos mostró que en la población El Banco las estructuras más frecuentes fueron los botones florales, mientras que en La Tinaja hubo mayor presencia de flores abiertas y frutos, por lo que su contribución al total de individuos reproductivos es considerablemente superior a El Banco. Proporcionalmente las dos poblaciones tuvieron similar cantidad de ramas reproductivas.

Se determinó si la presencia de estructuras reproductivas responde más o menos según las características alométricas de los individuos. La cobertura y el volumen resultaron más explicativas, y aunque tuvieron relaciones débiles (0.28 % de varianza explicada), son significativas (P = 0.002). Esto sugiere que el estado reproductivo no es una función decisiva de la talla de los individuos de E. schmollii.

e) Nodricismo

Se encontraron 99 (96.1 %) y 446 (98.6 %) individuos asociados con arbustos de la comunidad en las poblaciones de

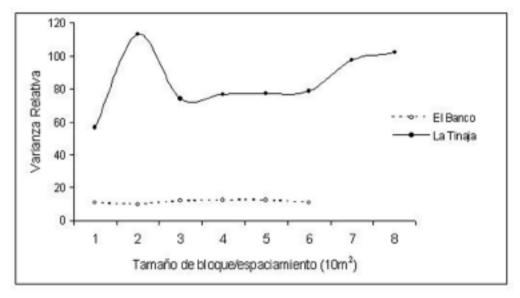


FIGURA 4. Patrón de distribución espacial de individuos de *E. shmollii* en las poblaciones de El Banco y La Tinaja, Cadereyta, Qro.

El Banco y La Tinaja, respectivamente. Comparando las frecuencias observadas de *E. schmollii* establecidos bajo el dosel de arbustos nodriza y en áreas desprovistas de cobertura en las áreas de muestreo, hubo significativamente más plantas asociadas con plantas nodriza que las esperadas en espacio abierto, fenómeno que no ocurre de un modo aleatorio (El Banco: χ^2 =131.6, P< 0.001, g.l.= 7; La Tinaja: χ^2 =1593.7, P< 0.0001, g.l.= 6).

La comparación detallada de los individuos de *E. schmollii* asociados con arbustos, mostró que en la población El Banco, *Pithecellobium revolutum*, *C. mexicana* y *K. humboldtiana* tuvieron más asociados que lo esperado por azar (Cuadro 2). El análisis de residuales indicó una asociación más significativa con *P. revolutum* y *C. mexicana*. En cam-

bio, para la población de La Tinaja, *C. eriophylla* fue el arbusto con mayor y más fuerte significancia en la asociación (Cuadro 2 y Foto 8). En esta especie se encontraron 4.1 veces más individuos de *E. schmollii* que en las demás especies nodriza en conjunto.

De los arbustos nodriza más importantes de la población El Banco con relación al número de asociados, se detectaron relaciones débiles entre el tamaño de la nodriza (en términos de cobertura del dosel) y el número de cactos asociados para P. revolutum ($r^2 = 0.09$, P = 0.24) y C. mexicana ($r^2 = 0.03$, P = 0.47); y fue positiva y significativa para K. humboldtiana ($r^2 = 0.63$, P = 0.01). En la población La Tinaja, para C. eriophylla la relación fue débil, aunque significativa ($r^2 = 0.04$, P = 0.004). El otro par de nodrizas relevantes en La

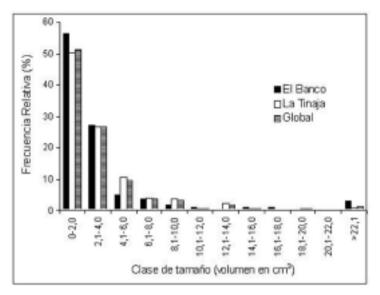


FIGURA 5. Estructura de tamaños de *E. schmollii* en dos poblaciones estudiadas en el municipio de Cadereyta, Qro. El global es la suma de la frecuencia porcentual de las dos poblaciones.

Tinaja exhibieron relaciones débiles y no significativas: L. tridentata ($r^2 = 0.008$, P = 0.65) y K. humboldtiana ($r^2 = 0.007$, P = 0.79). Esto sugiere que la abundancia de los individuos de E. schmollii no se explica por el tamaño del dosel de las nodrizas, que su contribución sólo es parcial y que además existen otros factores responsables de su abundancia bajo los arbustos nodriza.

La orientación azimutal de los individuos de E. schmollii no siguió un patrón aleatorio, de acuerdo con la prueba de Rayleigh (El Banco: V = 5.8, P = 0.003; La Tinaja: V = 18.7, $P = 7.5 \times 10^9$), Global: V = 19.0, $P = 5.1 \times 10^9$), hipotetizando una distribución homogénea entre las cuatro categorías básicas (norte $= 315^{\circ}-45^{\circ}$, este $= 46^{\circ}-135^{\circ}$, sur $= 136^{\circ}-225$ y oeste $= 226-314^{\circ}$). El análisis de residuales indicó que las plantas se

orientan más significativamente hacia el norte (El Banco: P< 0.01; La Tinaja: P< 0.01 y Global: P< 0.0001). Este patrón de preferencia en la orientación sugiere alguna condición particular y selectivi-



FOTO 5. Estructura floral de *Echinocereus* schmollii con el estigma verde, característico del género

José Gpe. Hdez-Oria

dad para el establecimiento de *E. schmo-llii* con respecto a su nodriza.

Criterio D. Impacto de la actividad humana sobre el taxón.

El valor del disturbio crónico en las poblaciones de *E. schmollii* varió de 68.40 en la población La Presa I a 119.85 en La Culata I. Las poblaciones del Banco y la Tinaja mostraron valores altos (75.12 y 88.73, respectivamente). Todos los sitios rebasan los niveles intermedios y en general señalan fuerte perturbación, particularmente en La Culata I, La Presa II (104.32), Cerro Prieto (99.71), La Culata III (92.03) y Tiziquia I y II (90.94), Bellavista del Río y Panteón, La Culata II y Panteón presentan valores superiores a 70.

La actividad humana tiene alto impacto sobre *E. schmollii*, por lo que califica con 4 puntos.

La sumatoria de calificaciones del MER alcanza 14 puntos, ubicando al *E.*

schmollii en la categoría de en Peligro de Extinción (P).

Discusión

La mayoría de las especies raras o amenazadas de la familia Cactaceae presentan áreas de distribución restringidas (Hernández & Godínez 1994; Hernández & Bárcenas 1996: Gómez-Hinostrosa & Hernández 2000: Hernández et al. 2001): además de una baja densidad poblacional (Rodríguez & Ezcurra 2000; Martínez et al. 2001; Navarro & Flores 2002: Hernández-Oria et al. 2003; Zavala-Hurtado & Valverde 2003). E. schmollii reúne también las dos características, y se apega a lo observado en particular para las cactáceas amenazadas del desierto Chihuahuense (Hernández & Bárcenas 1995).

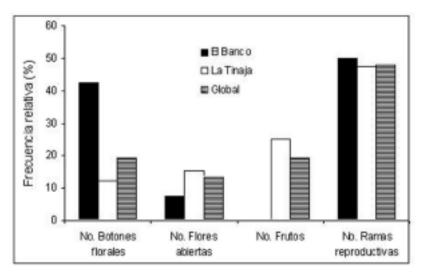


FIGURA 6. Distribución porcentual de estructuras reproductivas de *E. schmollii* en las poblaciones estudiadas. El global representa la suma de las dos poblaciones.

CUADRO 2. Frecuencia de individuos de *Echinocereus schmollii* observados (Obs), esperados (Esp), y valores asociados por especie nodriza en las dos poblaciones evaluadas. Los signos entre paréntesis señalan la dirección del valor de los residuales estandarizados.

El Banco	Obs.	Esp.	Residual	Residual estandarizado <i>a</i>	<i>x</i> ²	$_{P}b$
ESPECIES						
Pithecellobium revolutum (+**)	39	12.8	26.1	7.2	53.0	< 0.001
Condalia mexicana (+**)	35	12.8	22.1	6.1	38.0	< 0.001
Karwinskia humboldtiana	14	12.8	1.2	0.59	0.3	N.S.(+)
Jatropha dioica	5	12.8	-7.8	-2.19	4.8	N.S. (-)
Mimosa biuncifera	2	12.8	-10.8	-3.03	9.1	N.S. (-)
Eupatorium espinosarum	2	12.8	-10.8	-3.03	9.1	N.S.(-)
Croton aff. morifolius	1	12.8	-11.8	-3.31	10.9	N.S.(-)
Espacio abierto	5	12.8	-8.8	-2.47	6.1	N.S.(-)

	FE39	
La	Tin	aıa
Lu		uju

ESPECIES						
Calliandra eriophylla	360	64.5	295.4	36.7	1351.6	< 0.0001
(+**)						
Larrea tridentata	37	64.5	-27.5	-3.4	11.7	N.S. (-)
Karwinskia humboldtiana	30	64.5	-34.5	-4.3	18.5	N.S. (-)
Jatropha dioica	13	64.5	-51.5	-6.4	41.1	N.S (-)
Condalia mexicana	4	64.5	-60.5	-7.5	56.8	N.S (-)
Prosopis laevigata	2	64.5	-62.5	-7.7	60.6	N.S (-)
Espacio abierto	6	64.5	-58.5	-7.2	53.1	N.S (-)

a (+) = obs. > esp.; (-) = obs< esp.

 $^{^{}b}$ Haberman test: Z (1 %) = 2.57 **; Z (5 %) = 1.96 *; N.S. = no significativo.

Actualmente la fragmentación del hábitat donde crece E. schmollii es alta y evidente. Las poblaciones conocidas se congregan en dos áreas aparentemente disyuntas (Fig. 1) que probablemente en el pasado formaron un continuo, puesto que en la parte media de esta franja estrecha la especie está ausente, pero cabría esperar que esta zona representara un hábitat disponible debido a la semejanza físico-biótica con las otras dos áreas. La expansión de E. schmollii en esta zona es improbable, pues se trata de extensas áreas con población humana y el hábitat presumiblemente disponible se encuentra altamente transformado. El aislamiento y fragmentación de hábitat permanentes de las poblaciones parece ser el presente y futuro para la especie. Desafortunadamente en las localidades conocidas de E. schmollii existe una fuerte presión por asentamientos humanos y otros factores de disturbio antropogénico que han depauperado la vegetación acompañante. Lamentablemente una de las características de su área natural de distribución es el quehacer humano, por lo que en un futuro inmediato es probable que su sobrevivencia sea incierta y el hábitat experimentará un continuo deterioro. A estos efectos negativos debe sumarse la colecta ilegal de la especie, hecho que deprime reiteradamente el tamaño poblacional del taxón, así como otras características biológicas y ecológicas fundamentales para la supervivencia.

Al parecer los tamaños poblacionales encontrados en El Banco y La Tinaja son excepcionalmente altos, a juzgar por las



FOTO 6. Flor de *Echinocereus schmollii* mostrando estigma y estambres abiertos

observaciones de campo realizadas en las otras nueve localidades de distribución de *E. schmollii*; donde se ha observado un máximo de 50 individuos hasta unos cuantos, en algunos sitios. Casos extremos representan las localidades de La Culata I y II y Cerro Prieto, que hace 10 años albergaban a la especie (E. Sánchez y R. Hernández, com. per.) y en el presente no se han encontrado individuos. No es casual que los agentes de disturbio antropogénicos tengan un peso específico en la presunta extinción local y fragmentación del área de distribución de *E. schmollii*.

La estructura de tamaños encontrada es ampliamente dominada por los individuos de talla pequeña, lo cual sugiere un continuo reclutamiento y que dicho proceso conduciría a una situación favorable para su persistencia biológica. Los tamaños superiores inmediatos están más o menos repre-

sentados en las dos poblaciones, particularmente en La Tinaja, que tiene una mayor densidad poblacional. La estructura se interrumpe visiblemente en las categorías de tamaños medio y mayor en las dos localidades, lo que sugiere que la acumulación de un mayor número de ramas (variable directamente relacionada con el volumen) que produciría plantas presumiblemente más longevas, es un evento poco frecuente en estas poblaciones.

Sin embargo, si bien la especie presentó diferente densidad poblacional en áreas muy reducidas pero casi iguales en superficie, cabe destacar que un mecanismo frecuente de reproducción en E. schmollii parece ser la propagación vegetativa. Dado que el tamaño de las poblaciones se encuentra fuertemente relacionado con la contribución de los individuos más pequeños, podría sospecharse que las plantas de menor talla sean resultado de un mecanismo asexual porque a) se observó que varios individuos desprenden sus ramas y éstas desarrollan sistema radicular aún en la época seca del año, o bien, que alguna rama aérea se distorsiona y al tocar suelo se autoacoda; b) la distribución contagiosa alrededor de individuos con cicatrices causadas por el desprendimiento de tallos; c) la escasez de estructuras reproductivas que contrasta con la alta proporción de individuos de tallas inferiores y d) si esta fracción de la población fuera el resultado de un banco activo de semillas (lo cual se considera un fenómeno casi nulo en cactáceas, de acuerdo con Rojas-Aréchiga & Batis 2001), debiera



FOTO 7. Conclusión de la antesis en *Echinocereus schmollii*.

existir el respaldo de una abundante producción de frutos que alimenten la incorporación de semillas al suelo. Esta condición no sucede o no es observable cuando menos desde una visión instantánea y estática de la población, como en el presente estudio.

Es probable que la herbivoría estimule la liberación de tallos, en virtud de que a la escala temporal en que se evaluó el daño en ramas, éste es imper-

ceptible en la mayoría de los casos; es decir, el daño podría causar un rápido desprendimiento del tallo afectado y como consecuencia, producir un bajo porcentaje de daño observado en las ramas de los individuos, como se reporta en este estudio. La presencia de raíz napiforme podría ser un elemento clave en este fenómeno, ya que el hecho de producir tallos subterráneos supone que aún en casos de herbivoría intensa, queda la alternativa de desarrollar nuevas ramas desde el bulbo radicular, ramificar, desprender sus ramas y establecerse. El bulbo radicular es una estructura que podría aportar más información, pero al presente resulta impráctico y poco saludable para la especie conducir más indagaciones. Los experimentos en condiciones de cultivo son la alternativa para sortear esta dificultad.

Por otro lado, en las especies semejantes en hábitos y morfología (Cházaro et al. 1996; Bravo & Sánchez. Mejorada 1991) con E. schmollii, es relativamente común la propagación vegetativa. Adicionalmente no debe descartarse lo señalado para E. schmollii con relación a que tiende a ser dioica debido al frecuente atrofiamiento del gineceo (Bravo Hollis & Sánchez-Mejorada 1991). Asimismo, se desconoce si los requerimientos medioambientales específicos para los eventos reproductivos se han modificado, como consecuencia de las fluctuaciones climáticas del Pleistoceno que fueron particularmente importantes para el aislamiento de varios taxa de Cactaceae hoy endémicos al desierto Chihuahuense (Medellín-Leal 1982:

Hernández & Bárcenas 1995: Hernández et al. 2004) y el semidesierto queretano es considerado como un refugio de muchas paleoespecies de distribución restringida (Zamudio 1984). La serie de cambios climáticos fueron particularmente importantes para el centro de México e influenciaron la porción correspondiente al semidesierto queretano (Rzedowski & Calderón 1988; Buckler et al. 1998). Bajo estas consideraciones se podría establecer que la reproducción sexual en la especie es un evento inconstante y poco predecible, y que además no siempre experimenta un desarrollo óptimo. Por tanto, no es raro encontrar muy pocas estructuras reproductivas, en virtud de que evolutivamente podría pensarse que hay una mayor inclinación a la propagación vegetativa en detrimento de la sexual. La falta de estructuras reproductivas podría sustentar la hipótesis de un mayor establecimiento por vía vegetativa (clonal) que sexual, lo cual provoca un problema de depresión genética por endogamia (Mandujano et al. 1996, 1998). Detallar estudios sobre ecología reproductiva y dinámica poblacional, así como enfoques experimentales sobre las dos formas de establecimiento, son necesarios; aunque, de inicio plantean varias dificultades como el reducido número de estructuras reproductivas, tal vez insuficientes para conducir evaluaciones experimentales in situ confiables

Cerca del 100 % de los individuos de *E. schmollii* se asocian con plantas nodriza. *P. revolutum, C. mexicana* y *C. eriophylla* (Foto 8) tuvieron el mayor

número de asociados y las tres especies son perennes, de dosel compacto y comúnmente desarrollan un horizonte superficial del suelo relativamente grueso ("islas") y en estos sitios el suelo es más profundo que parece ser el óptimo para E. schmollii. Esta condición podría facilitar el establecimiento de E. schmollii, sin embargo, son plantas pequeñas en comparación con otras nodrizas como L. tridentata o K. humboldtiana que ofrecen doseles más amplios pero más abiertos; lo cual hace suponer que las especies bajas y compactas proveen un dosel más constante y durable que las grandes y abiertas. Adicionalmente las tres primeras son resistentes a la herbivoría por pastoreo y este factor hace que adquieran una forma más amacollada sin perder su cualidad perenne. Asimismo es probable que la morfología profusamente multicaule de estas especies tenga alguna acción mecánica para retener las ramas que desprende E. schmollii y eventualmente facilitar el establecimiento cuando el proceso se da por vía clonal.

Existe abundante literatura que da cuenta de la función del dosel de nodrizas como responsable de la asociación cacto-nodriza (McAuliffe 1984; Valiente-Banuet *et al.* 1991, 1991a, 1999b; Suzán *et al.* 1994; Mandujano *et al.* 2002). Entre las causas de esta asociación para cactos de tamaño pequeño, se ha encontrado que el dosel los protege de la radiación solar excesiva, tanto en la etapa de plántula como en fase adulta (Valiente-Banuet *et al.* 1991a); y genera un microclima más favorable en condiciones de tempera-

tura superficial del suelo (Valiente-Banuet & Ezcurra 1991, Suzán et al. 1994) y disponibilidad hídrica (Martínez 2003). Esto es consistente con lo encontrado para E. schmollii, ya que la temperatura del suelo y la radiación fotosintética activa (PAR) bajo el dosel de nodrizas es considerablemente menor que en espacio abierto y al parecer es más común que se oriente hacia el norte. Esta distribución circular con relación a las nodrizas disminuye la exposición a la radiación solar directa y confiere una condición menos seca (Valiente-Banuet & Ezcurra 1991). Otras modificaciones a nivel del suelo como la disponibilidad de nutrientes, protección contra depredadores, salinidad y pH (Camargo-Ricalde et al. 2002; Rossi & Villagra 2003, Chesson et al. 2004), parecen estar asociadas a los micrositios con sombra creados por plantas nodriza. En cambio, el establecimiento de E. schmollii en espacio abierto es muy escaso (casi raro), pero invariablemente estuvo asociado con rocas que hacen las veces de nodrizas (Larmuth & Harvey 1978). Es factible que la condición de nodrizaje casi absoluto en la especie sea en respuesta al estrés hídrico, ya que con frecuencia durante el estiaje se ha observado que pierde sus tallos aéreos, situación que no sucede en condiciones de cultivo (E. Sánchez, com. per.) y bajo la protección de nodrizas la probabilidad de establecimiento de los tallos liberados se incrementa. El factor hídrico podría ser entonces una variable que ha modificado a través del tiempo los hábitos de propagación y establecimiento en la



FOTO 7. Conclusión de la antesis en Echinocereus schmollii.

especie, y podría sospecharse que el gradiente de aridez en el semidesierto queretano no ha sido constante en épocas recientes y que se ha visto influenciado por las variaciones climáticas del México central: hace 12,000 años más fresco y seco que en la actualidad, entre 10,000 y 6,000 años más húmedo que el presente, para tornarse más seco hace alrededor de 4,000 años y pasar por un período húmedo hace 2,000 años hasta una condición semiseca actual (Buckler *et al.* 1998).

La relevancia de las diferencias detectadas entre cinco de seis variables ambientales con relación a la presencia/ausencia de *E. schmollii*, parecen definir una combinación de factores que favorecen y restringen su presencia,

que conjuntamente con su biología, enmarcan el diagnóstico de una especie rara (Rabinowitz 1981). Los micrositios de establecimiento de E. schmollii son entonces limitados y restringidos, y su abundancia depende de la disponibilidad de estos sitios. La combinación de factores in situ está influenciada a su vez por otros factores que operan a una escala espacial mayor. Por ejemplo, el área de distribución de las poblaciones conocidas tiene un rango altitudinal de 1665 a 1959 y nunca rebasa altitudes superiores, así como terrenos con pendiente no mayor a 3% y sus nodrizas son esencialmente las mismas especies (datos no publicados). Esto sugiere una primera discriminación de zonas potencialmente habitables por la especie. Sucede además que son áreas homogéneas en cuanto a sus atributos del medio físico y aunque difieren en la composición de la vegetación, la riqueza de especies no parece tener gran influencia en segregar sitios con y sin E. schmollii. La especificidad de hábitat encontrada sugiere que la especie al igual que otras cactáceas raras o endémicas, presenta una pobre dispersión más allá de sus áreas límite. Muchas otras cactáceas raras del desierto Chihuahuense integran una u otra característica en la especificidad de hábitat (Hernández & Bárcenas 1995; Gómez-Hinostrosa y Hernández 2000) y coinciden en la importancia de esta particularidad.

Sin embargo, aún existen otros muchos factores que podrían estar asociados con el hábitat particular de *E. schmollii*. Por ejemplo, la preferencia de suelos más profundos asociados con

nodrizas podría también tener efecto parcial sobre la retención de agua y con ello la disminución del estrés hídrico en la especie, así como la modificación de otras propiedades edáficas específicas que se presume le son favorables a *E. schmollii*. El papel de la herbivoría y otros enemigos naturales es totalmente desconocido.

En la actualidad *E. schmollii* tiene el estatus de en peligro de extinción, sin embargo la integración de sus característica de hábitat junto a las adversidades que se observan en el área de distribución (fragmentación, pastoreo, colecta ilegal), plantean serias dificultades para su conservación biológica. Por esta razón es deseable orientar más estudios desde muy diversos aspectos, por ejemplo, dinámica poblacional, interacción planta-herbívoro, nuevas y más específicas variables físicas, biología y ecología floral, perturbación de hábitat, los cuales ayudarán a definir estrategias que redunden en una efectiva conservación de este taxón emblemático del semidesierto queretano.

Agradecimientos

El Jardín Botánico Regional de Cadereyta agradece al explorador botánico Valente Rabell por habernos mostrado una de las poblaciones de este estudio. El trabajo se realizó gracias al apoyo del Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Querétaro y la Dra. María C. Mandujano de la UNAM mediante el convenio PREP-Cactáceas. Agradecemos al Dr. Alejandro Zavala-Hurtado y a un revisor anónimo la lectura crítica del manuscrito, lo cual mejoró con-

siderablemente la versión final del mismo. Las colectas fueron hechas bajo el permiso FLOR-0100 SGPA/DGVS /03337 y SPGA/DGVS/05915 expedido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Literatura Citada

- Bravo-Hollis H & Sánchez-Mejorada H. 1978. *Las Cactáceas de México.* Vol. 1. UNAM. D. F. México.
- Bravo-Hollis H & Sánchez-Mejorada H. 1991. *Las Cactáceas de México*. Vol. 2-3. UNAM. D. F. México.
- Buckler E, Pearsall L & Holtsford T. 1998. Climate, plant ecology, and Central Mexico archaic subsistence. Current Anthropology 39:152-164.
- Camargo-Ricalde S, Dhillion S & Grether R. 2002. Community structure of endemic *Mimosa* species and environmental heterogeneity in a semi-arid Mexican valley. *Journal of Vegetation Science* **13**:697-704.
- Cházaro M & Lomelí, J. A. 2001. Nyctocereus serpentinus. Notas sobre su origen silvestre. Cactáceas y Suculentas Mexicanas **41**:87-93.
- Chesson P, Renate L, Gebauer E, Schwinning S, Huntly N, Wiegand K, Morgan S, Sher A, Novoplansky A & Weltzin J. 2004. Resource pulses, species interactions, and diversity maintenance in arid and semi-arid environments. *Oecologia* **141**:236-253.
- de Kroon H, Plaiser H, van Groenendael JM & Caswell H. 1986. Elasticity: the relative contribution of demographic parameters to population growth rate. *Ecology* **67**: 1427-1431.
- Fowler J, Cohen L & Jarvis P. 1998. Statistical analysis for field biology. John Wiley & Sons. USA.
- Godínez-Álvarez H, Valverde T & Ortega-Baes P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. The Botanical Review 69:173-203.
- Gómez-Hinostrosa C & Hernández H. 2000. Diversity, geographical distribution, and

- conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, México. *Biodiversity and conservation* **9**:403-418.
- Guzmán U, Arias S & Dávila P. 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Hernández HM & Godínez H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Acta Botánica Mexicana 26: 33-52.
- Hernández HM & Bárcenas RT. 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution patterns. Conservation Biology 9:1176-1188.
- Hernández HM & Bárcenas RT. 1996. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: II. Biogeography and Conservation. *Conservation Biology*, **10**:1200-1209.
- Hernández H, Gómez-Hinostrosa C & Bárcenas RT. 2001. Diversity, spatial arrangement, and endemism of Cactaceae in the Huizache area, a hot spot in the Chihuahuan Desert. *Biodiversity and Conservation* **10**: 1097-1112.
- Hernández H, Gómez-Hinostrosa C & Goettsch B. 2004. Check list of Chihuahuan Desert Cactaceae. Harvard Papers in Botany 9:51 68.
- Hernández-Oria JG, Chávez R, Galindo G, Hernández M, Lagunas G, Martínez R, Mendoza T, Sánchez JL & Sánchez E. 2003. Evaluación de aspectos ecológicos de una nueva población de *Mammillaria mathildae* Kraehenbuehl & Krainz en Querétaro. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 48: 100-110.
- Hunt D. 1999. CITES Cactaceae checklist. Royal Botanic Gardens Kew & International Organization for Succulent Plant Study (IOS). Remous Limited, Milborne Port.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2001). Cuaderno Estadístico Municipal Cadereyta de Montes, Querétaro.
- Kovach WL. 1999. MVSP-A multivariate statistical Package for Windows ver. 3.1. Kovach Computing Services, Pentraeth, UK.

- Krebs CJ. 1999. *Ecological methodology*. Addison Wesley Longman. CA. USA.
- Larmuth J & Harvey HJ. 1978. Aspects of the occurrence of desert plants. *Journal of Arid Environments* 1:129-133.
- Ludwing J & Reynolds F. 1988. *Statistical Ecology*. A primer on methods and computing. John Wiley & Sons, USA.
- McAuliffe JR. 1984. Prey refugia and the distributions of two Sonoran desert cacti. Oecologia 65:82-85.
- Mandujano MC, Montaña C & Eguiarte L. 1996. Reproductive ecology and inbreeding depresión in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan Desert: Why are sexually derived recruitments so rare? *American Journal of Botany* **83**:63-70.
- Mandujano MC, Montaña C, Franco M, Golubov J & Flores-Martínez A. 2001. Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. *Ecology* **82**:344-359.
- Mandujano MC, Flores-Martínez A, Golubov J & Ezcurra E. 2002. Spatial distribution of three globose cacti in relation to different nurse-plant canopies and bare areas. *The Sothwestern Naturalist* **47**:162-168.
- Martínez D, Flores-Martínez A, López F & Manzanero G. 2001. Aspectos ecológicos de *Mammillaria oteroi* Glass & Foster en la región mixteca de Oaxaca, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **4**:32-40.
- Martínez L. 2003. Facilitation of seedling establishment by an endemic shrub in a tropical coastal sand dunes. *Plant Ecology* **168**:333-345.
- Martorell C & Peters E. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation* **124**:197-207.
- Medellín-Leal F. 1982. The Chihuahuan Desert, páginas 321-381. En: L. Bender Goprdan (ed.). Reference handbook on the deserts of North America 6. West Port. Greenwood Press.
- Montes N, Gauquelin T, Badri W, Bertaudiere V & Zaoui H. 2000. A non-destructive method for estimating above-ground biomass

- in threatened woodlands. *Forest Ecology* and Management **130**:37-46.
- Navarro MC & Flores A. 2002. Aspectos demográficos de *Echinocereus pulchellus var. pulchellus* en el Municipio de Chignahuapan, Puebla. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 47:24-32.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2002 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. Semarnat. Diario Oficial de la Federación. & de marzo de 2002.
- Rabinowitz D. 1981. Seven forms of rarity, páginas 205-217. En: Synge, H. (ed.) *The* biological aspects of rare plants conservation, pp 205-217. Wiley, Chichester, U.K.
- Rodríguez OC & Ezcurra E. 2000. Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea* en el valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **45**:4-14.
- Rojas-Aréchiga M & Batis A. 2001. Las semillas de cactáceas, ¿ forman bancos en el suelo? . Cactáceas y Suculentas Mexicanas 46:76-82.
- Rosas B & Mandujano MC. 2002. La diversidad de historias de vida de cactáceas, aproximación por el triángulo demográfico. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 47:33-41.
- Rossi E & Villagra P. 2003. Effects of *Prosopis flexuosa* on soil properties and the spatial pattern of understorey species in arid Argentina. *Journal of Vegetation Science* **14**: 543-550.
- Rzedowski J. 1978. La vegetación de México. Ed. Limusa.
- Rzedowski J & Calderón de Rzedowski G. 1988. Dos nuevas localidades de *Larrea tridentata* (Zygophyllaceae) en el centro de México y su interés fitogeográfico. *Acta Botánica Mexicana*, 1:7-9.
- Scheinvar L. 2004. Flora cactológica del estado de Querétaro: diversidad y riqueza. Fondo de Cultura Económica. México.

- Schenk J & Mahall B. 2002. Positive and negative plant interactions contribute to a northsouth-pattern association between two desert shrub species. *Oecologia* 132:402-410.
- Suzan H, Nabhan G & Patten D. 1994. Nurse plant and floral biology of a rare nightblooming cereus, *Peniocereus striatus* (Brabdegee) F. Buxbaum. *Conservation Biology* 8:461-470.
- Tielbörger K & Kadmon R. 2000. Temporal environmental variation tips the balance between facilitation and interference in desert plants. *Ecology* **81**:1544-1553.
- Taylor N. 1986. *The Genus Echinocereus (A Kew magazine monograph*). The Royal Botanic Gardens, Kew in association with Collingridge. Great Britain.
- Valiente-Banuet A, Bolongaro-Crevenna A, Briones O, Ezcurra E, Rosas M, Núñez H, Barnard G & Vázquez E. 1991a. Spatial relationships between cacti and nurse shrub in a semi-arid environment in central México. *Journal of Vegetation Science* **2**:15-20.
- Valiente-Banuet A & Ezcurra E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisiana* in the Tehuacan Valley, México. *Journal of Ecology* **79**:961-971.
- Valiente-Banuet A, Vite F & Zavala-Hurtado JA. 1991b Interaction between the cactus Neobuxbaumia tetetzo and the nurse shrub Mimosa luisiana. Journal of Vegetation Science 2:11-14.
- Zamudio S. 1984. La vegetación de la cuenca del río Estórax y sus relaciones fitogeográficas. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. México. D.F.
- Zamudio S, Rzedowski J, Carranza E & Calderón G. 1992. La vegetación en el estado de Querétaro. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. México.
- Zar JH. 1999. *Biostatistical Análisis*. Prentice Hall Inc. New Jersey, USA.
- Zavala-Hurtado JA & Valverde PL. 2003. Habitat restriction in *Mammillaria pectinifera*, a threatened endemic Mexican cactus. *Journal of Vegetation Science* **14**:891-898.

Opuntia tomentosa Salm-Dyck



Nopal arborescente de 3 a 5 m de altura. Ramificado formando una copa amplia. Artículos oblongos y angostamente obovados. Tienen 10 a 60 cm de longitud, con pubescencia aterciopelada, ligeramente tuberculados cuando jóvenes. Areólas pequeñas, ahuates amarillos, rara vez con espinas. Si las hay, son 1 a 3 en cada areola, amarillentas con forma de aguja o punzón. Las flores son anaranjadas a rojas, de 4 a 5.5 cm de longitud, estambres blancos a rosados y estigma carmín con lóbulos blancos, 5 o 6. Fruto rojo, ovoide, globoso, pubescente, sin espinas, de 3.5 a 5.2 cm de largo y 2.5 a 4.0 cm de diámetro. Se cree que a esta especie pertenece el llamado "nopal de San Gabriel" usado hasta principios del siglo pasado en el cultivo de la cochinilla. Se encuentra en el Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro y San Luis Potosí dentro de la República Mexicana y en Guatemala.

Al igual que en otras *Opuntia*, las semillas de esta especie tienen latencia endógena y son capaces de germinar, en condiciones naturales, hasta dos años después de enterradas en el suelo, lo cual sugiere que forma banco de semillas.

Gisela Aguilar Morales¹

¹ Laboratorio de Dinámica de Poblaciones y Evolución de Historias de Vida, Instituto de Ecología, UNAM. Correo electrónico: gaguilar@miranda.ecología.unam.mx