

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas



VOLUMEN 58 No. 2

ABRIL - JUNIO 2013

ISSN 0526-717X

Volumen 58 No. 2
Abril-junio 2013

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 Eguarte
Instituto de Ecología, UNAM

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

Florística
Dra. Raquel Galván
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN

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

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
Dr. John Rebman
Museo de Historia Natural, San Diego

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

Asistente editorial
M. en C. Mariana Rojas Aréchiga
Instituto de Ecología, UNAM
Dra. Guadalupe Malda Barrera
Facultad de Ciencias Naturales, UAQ, campus Juriquilla

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

Impresión
Impresora Múltiple SA de CV
Se imprimieron 1000 ejemplares, junio de 2013
SOCIEDAD MEXICANA DE CACTOLOGÍA, AC

Presidenta Fundadora
Dra. Helia Bravo-Hollis †

Presidente
Christian Brachet Ize

Vicepresidente
Alberto Pulido Aranda

Tesorera
Roxana Mondragón Larios

Vocal
Araceli Gutiérrez de la Rosa

Fotografía de portada:
Cylindropuntia fulgida
José F. Martínez



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, AC Aptdo. Postal 19-090, San José Insurgentes, 03901, México, D.F.

socmexcact@yahoo.com

www.somecacto.com

Consulta de normas editoriales y revistas en texto completo:

www.ecologia.unam.mx/laboratorios/dinamica_de_poblaciones/cac-sucmex/cacsucmex_main.html

La Sociedad Mexicana de Cactología, AC agradece el financiamiento de esta publicación a los fondos aportados por la Universidad Autónoma de Querétaro.



CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 58 No. 2 abril-junio 2013



Contenido

Mecanismos de propagación de una población de <i>Cylindropuntia fulgida</i> del Desierto Sonorense Martínez JF & Molina-Freaner F	36
Cuantificación de las áreas afectadas durante la construcción de un acueducto en una zona de alta diversidad biológica en Querétaro, México; hábitat prioritario para la conservación de cactáceas y suculentas amenazadas y endémicas Bayona Celis A & Chávez Martínez RJ	49
<i>Neobuxbaumia laui</i> Rojas-Aréchiga M	64

Contents

Propagation mechanisms of a <i>Cylindropuntia fulgida</i> population from the Sonoran Desert Martínez JF & Molina-Freaner F	36
Quantification of affected areas during the construction of an aqueduct in a high biological diversity area in Queretaro, Mexico: priority habitat for the conservation of threatened and endemic cacti and succulents Bayona Celis A & Chávez Martínez RJ	49
<i>Neobuxbaumia laui</i> Rojas-Aréchiga M	64

Mecanismos de propagación de una población de *Cylindropuntia fulgida* del Desierto Sonorense

Martínez José F¹ & Molina-Freaner Francisco^{1*}

Resumen

Una de las metas de los estudios ecológicos sobre plantas clonales es documentar la variación en el modo de reproducción entre poblaciones. *Cylindropuntia fulgida* es una cactácea que se propaga a través de diferentes propágulos: segmentos de tallos, frutos y semillas. En este trabajo describimos la estructura poblacional, evaluamos el potencial de regeneración de tres propágulos en una población del Desierto Sonorense y comparamos la producción de semillas de tres poblaciones. La población La Pintada está dominada por individuos jóvenes, y la gran mayoría de las plantas reproductivas (87%) no producen polen en las anteras y sólo un porcentaje pequeño (13%) de las plantas producen polen. Se detectaron diferencias significativas en la producción de semillas por fruto entre poblaciones. En la población de La Pintada, un porcentaje significativo de los frutos no producen semillas mientras que en la población de San Nicolás, todos los frutos producen semillas. La evidencia experimental muestra diferencias significativas entre propágulos: los segmentos de tallos mostraron mayor porcentaje de brotación y mayor crecimiento que los frutos y no se detectó evidencia de germinación de semillas. Nuestros resultados parecen indicar que existe variación interpoblacional en la importancia relativa de tallos y semillas en la regeneración de esta especie.

Palabras clave: Propagación clonal, Desierto Sonorense, *Cylindropuntia fulgida*.

Abstract

One of the goals of ecological studies on clonal plants is to gather information on the variation pattern in the mode of reproduction among populations. *Cylindropuntia fulgida* is a clonal cactus that regenerates through three different types of propagules: stem segments, fruits and seeds. In this paper we describe the population structure, evaluate the regeneration potential of the three types of propagules in a Sonoran Desert population and compare seed production among three populations. At La Pintada, the population is composed mainly of young individuals and most reproductive plants (87%) are male sterile while only 13% of the population producing pollen in anthers. Significant differences were recorded in the number of seeds per fruit among populations. At La Pintada, a significant percentage of the fruits are seedless, while at San Nicolas all fruits contain seeds. Our experimental evidence showed significant differences among propagules: stem segments showed greater rooting ability and growth than fruits and we were unable to detect evidence of seed germination. Our results seem to indicate interpopulation variation in the importance of stems and seeds in the regeneration of this species.

Key words: Clonal propagation, Sonoran Desert, *Cylindropuntia fulgida*.

¹ Departamento de Ecología de la Biodiversidad, Instituto de Ecología UNAM, Avenida Colosio s/n esq. Madrid, Colonia Los Arcos, Hermosillo, Sonora C.P. 83250

* Autor para correspondencia: freaner@unam.mx

José F. Martínez.

FOTO 1. Planta de *Cylindropuntia fulgida* de la población de San Nicolás.

Introducción

Muchas angiospermas combinan la reproducción sexual con la asexual y el balance entre los dos modos de reproducción varía considerablemente dentro y entre especies (Eckert 2002). La reproducción asexual no produce recombinación y por tanto la descendencia es genéticamente igual a las plantas progenitoras mientras que la reproducción sexual puede generar recombinación, y por lo tanto, la descendencia puede ser más diversa y capaz de enfrentar con mayor éxito los cambios en el medio ambiente. Una de las metas de los estudios ecológicos sobre plantas clonales es documentar la variación en el modo de reproducción entre poblaciones y especies, así como identificar los factores ecológicos (*i.e.* disponibilidad de polinizadores) y genéticos

(*i.e.* número de cromosomas) que subyacen a esta variación (Eckert 2002).

La familia de las cactáceas exhibe una gran diversidad de modos de reproducción, desde especies que se reproducen exclusivamente por la vía sexual hasta especies que combinan ambos modos de reproducción (Pimienta-Barrios & del Castillo 2002). Las especies de esta familia combinan la reproducción sexual con mecanismos de reproducción clonal que involucran estructuras tales como segmentos de tallos que se dispersan (Bobich & Nobel 2001), tallos postrados que enraízan (Gibson 1989), tallos que emergen de raíces laterales (Dubrobsky & North 2002) y frutos abortados con capacidad para producir plantas nuevas (Palleiro *et al.* 2006). La importancia relativa de la reproducción sexual y clonal ha sido documentada en varias cactáceas

(Mandujano *et al.* 1998; Molina-Freaner & Clark-Tapia 2005) y esta evidencia ha permitido identificar algunos de los factores que regulan el balance entre los modos de reproducción. Por ejemplo, cuando existen condiciones de limitación por polinizadores y el éxito de las flores es muy bajo, se espera que predomine la reproducción clonal (Clark-Tapia & Molina-Freaner 2004).

Cylindropuntia fulgida (Foto 1) es una cactácea del noroeste de México que produce cadenas de frutos (Foto 2) y que es conocida localmente como cholla. Los conteos del número de cromosomas se restringen al lado estadounidense de su distribución e indican que las poblaciones son diploides, triploides o combinan individuos diploides y triploides dentro de la misma población (Baker *et al.* 2009). Los individuos diploides son capaces de reproducirse sexualmente mientras que los individuos triploides son estériles y sólo pueden reproducirse por la vía clonal. En este contexto, se conoce que los individuos de esta especie pueden reproducirse sexualmente y/o pueden reproducirse clonalmente a través de segmentos de tallos (artículos) y de frutos (Turner *et al.* 1995). Las observaciones sobre el contenido de semillas en el fruto indican una gran variación, desde frutos sin semillas hasta frutos que producen cerca de 200 semillas (Johnson 1918; Bravo-Hollis 1978). Sin embargo, casi todos los estudiosos de esta especie han notado que la germinación de semillas y el reclutamiento por la vía sexual son raros en la naturaleza (Turner *et al.* 1995). Las propiedades biomecánicas de las uniones entre segmentos de tallos (artículos) indican que los artículos pueden desprenderse fácilmente, enraizar y producir nuevas plantas por la vía clonal (Kahn-Jetter *et al.* 2001; Bobich 2005). Se

creo que este mecanismo de propagación es el más importante en algunas poblaciones de esta especie (Turner *et al.* 1995). Al menos desde 1918, se conoce que los frutos de esta especie persisten en la planta durante varios años, formando nuevas flores y una cadena de frutos (Foto 2). Los frutos persistentes de esta especie tienen la capacidad para funcionar como propágulos clonales, ya que al caer al suelo pueden formar raíces adventicias, tallos y así formar una nueva planta (Johnson 1918). Las observaciones de Johnson (1918) sugieren que estos propágulos clonales son menos importantes en la regeneración que los segmentos de tallos. Bobich (2005) estudió la estructura poblacional y la propagación clonal por medio de artículos y frutos en una población de Arizona. Sus resultados indican que el reclutamiento de plantas que provienen de artículos es más importante que el reclutamiento proveniente de frutos (Bobich 2005); no encontró evidencia de reclutamiento por la vía sexual y por lo tanto se cree que en la población estudiada, la propagación clonal representa el principal mecanismo de regeneración. Sin embargo, no se conoce que tanta variación existe en los mecanismos de regeneración entre las poblaciones de esta especie a lo largo de su distribución en el desierto Sonorense. Nuestras observaciones de campo en el estado de Sonora (J. F. Martínez, observación personal) indican que las poblaciones difieren en el número de semillas por fruto y posiblemente en la importancia relativa de la reproducción sexual y asexual. En este trabajo estudiamos la estructura poblacional y los mecanismos de regeneración de una población de *Cylindropuntia fulgida* del estado de Sonora. Los objetivos particulares fueron: a) describir la estructura poblacio-

nal, b) evaluar si las plantas de la población estudiada son capaces de producir semillas y c) evaluar el potencial de regeneración de artículos, frutos y semillas

Materiales y metodos

Área de estudio.- Estudiamos una población de *C. fulgida*, en el área de la Sierra Libre, aproximadamente a 50 Km al sur de la ciudad de Hermosillo, Sonora, cerca del sitio arqueológico conocido como La Pintada. Las coordenadas geográficas corresponden a 28° 34.96' N y 111° 00.39' W, con una altitud de 190 msnm. La vegetación del área de estudio corresponde a la subdivisión conocida como Planicies de Sonora del desierto Sonorense (Shreve & Wiggins 1964).

Abundancia y estructura poblacional.- El 23 de marzo de 2009, establecimos 3 parcelas de 5 x 5 m en el sitio de estudio con el objeto de describir la estructura poblacional. Dentro de cada parcela contamos y medimos todos los individuos de *C. fulgida* desde la base del suelo a la parte más alta de la planta y obtuvimos una estimación de su abundancia y de su distribución de tamaños. Para los individuos muy pequeños (≤ 5 cm), se determinó si el origen de la planta era por artículo, por fruto o por semilla.

Atributos reproductivos de la población de La Pintada.- Durante la época de floración se hicieron observaciones de flores en el campo y en el laboratorio. Se colectaron flores (Foto 3) de 100 plantas escogidas al azar en la población de La Pintada, usando una flor por planta. Cada flor fue observada cuidadosamente con una lupa (6x) y se registró si las anteras producían polen para estimar la proporción de plantas que producían polen en la población. En el laboratorio, las anteras fueron examinadas en un microscopio de disección y en un microscopio óptico para corroborar las observaciones de campo. Asimismo, se hizo una disección del ovario para determinar el número de

óvulos por flor (Foto 4). En particular, se estimó el número de óvulos por ovario en una muestra de 5 flores de plantas que producen polen y 5 flores de plantas que no producen polen. Finalmente, se colectaron frutos de años previos de plantas que producen polen (n= 12) y de plantas que no producen polen (n= 23) con el objeto de evaluar si existen diferencias significativas en la producción de semillas entre los grupos de plantas.

Con el objeto de conocer si las plantas de la población tienen la capacidad de producir semillas sin la intervención de polinizadores, el 8 de junio de 2009 se embolsaron 90 botones de 35 plantas de la población. De cada planta usada se registró si las anteras producían o no producían polen. Los botones se embolsaron poco antes de abrir y las flores permanecieron excluidas de polinizadores todo el tiempo que permanecieron abiertas. Cada flor fue marcada y se siguió su desarrollo, ya sea que abortara o se formara el fruto. El 5 de noviembre de 2009 se cosecharon todos los frutos formados a partir de las flores embolsadas; cada fruto se abrió y se determinó el número de semillas vanas y enteras. De estos frutos se tomaron el total de las semillas enteras (14 semillas) para evaluar si eran viables usando la prueba de viabilidad con tetrazolium (Bonner 1974).

Variabilidad en la producción de semillas entre poblaciones.- Con el fin de caracterizar la variabilidad inter-poblacional en la producción de semillas, se colectaron frutos de tres poblaciones de *C. fulgida*. De la población La Pintada se colectó una muestra de 50 frutos de 50 plantas, usando frutos formados el año previo (2008). Otra muestra de 50 frutos se colectó de San Nicolás, una población localizada aproximadamente a 100 Km al oeste de Hermosillo, Sonora, con coordenadas geográficas de 28° 49.80' N y 111° 47.90' W, con una altitud de 27msnm. La tercera muestra se colectó de La Colorada, aproximadamente a 59 kilómetros al este de Hermosillo, con coordenadas geográficas de 28° 48.18' N y 110° 34. 71' O, con una altitud

FOTO 2. Cadena de frutos de una planta de *Cylindropuntia fulgida*.

de 397msnm. Cada fruto se abrió y se determinó el número de semillas vanas y enteras. De una muestra de 20 semillas enteras por población se hicieron pruebas de viabilidad con tetrazolio (Bonner 1974) para determinar si eran o no viables.

Potencial de regeneración.- Con el objeto de comparar el potencial de regeneración de semillas, artículos y frutos de *C. fulgida* de La Pintada, se montó un experimento en el Instituto de Ecología de la UNAM en Hermosillo, Sonora. Se estableció una cama de siembra de 5 cm. con suelo proveniente de la población de La Pintada. En esta cama de siembra se plantaron artículos, frutos y semillas, usando un diseño completamente al azar. Se usó material de 40 plantas de la población de La Pintada (2 artículos y 2 frutos por planta), mientras que para las semillas se usó una muestra compuesta de 200 semillas, provenientes de 50 plantas escogidas al azar. El experimento se montó el 4 de julio de 2009, justo antes de las lluvias de verano y se evaluó la brotación o germinación y el crecimiento de los diferentes tipos de propágulos. La evaluación del éxito de los propágulos se llevó a cabo el 2 de septiembre de 2009 y el 8 de octubre

del 2009, después de las lluvias de verano. El crecimiento se evaluó sumando la longitud de todos los brotes de cada artículo o fruto.

Análisis de datos

Los datos de número de óvulos por ovario y número de semillas por fruto de plantas que producen y no producen polen se analizaron con pruebas de *t*, después de verificar que cumplían con los supuestos de las pruebas paramétricas, usando el programa JMP versión 5.0.1.2 (SAS Institute 1997). Los datos del número de semillas por fruto entre poblaciones se compararon mediante un análisis de varianza, usando el programa JMP. Finalmente, la brotación y el crecimiento de los diferentes propágulos se evaluaron mediante pruebas de Ji cuadrado y de *t*, usando el programa JMP.

Resultados

Abundancia y estructura poblacional.- El número de plantas registrada en las tres parcelas arrojó una densidad de 119.6 ± 43.0 plantas/25 m². Un gran porcentaje (88.8 %)

FOTO 3. Flor de *Cyllindropuntia fulgida* de la población La Pintada.

de los individuos registrados tenían menos de 10 cm. de altura y las plantas más grandes no rebasan los 30 cm. de altura (Fig. 1). Sólo el 2.8 % de los individuos de las tres parcelas eran reproductivos a juzgar por la presencia de frutos en las plantas. Es decir la población está representada principalmente por individuos jóvenes. De los individuos menores de 5 cm. de altura, un gran porcentaje (98.14%) provenían aparentemente de artículos y sólo el 1.86% de los individuos parecen provenir de frutos. No se registraron plántulas que aparentemente provienen de semillas.

Atributos reproductivos de la población de La Pintada.- La muestra de flores colectadas en La Pintada, reveló que el 13% de las plantas de la población produjeron polen, mientras que el resto de los individuos (87%) no. En el laboratorio se corroboraron las observaciones de campo al registrar anteras con y sin polen en el microscopio (ver fotos 5 y 6). Al comparar el número de

óvulos por ovario entre plantas que producen y no producen polen, no se detectaron diferencias significativas ($t=0.15$, $p=0.88$). Con respecto a la producción de semillas por fruto, el 55% de los frutos provenientes de plantas que produjeron polen, produjeron semillas, mientras que el 54.2% de los frutos provenientes de plantas que no produjeron polen, produjeron semillas. Los resultados de la prueba estadística muestran que no hubo diferencias significativas ($t=1.09$, $p=0.28$) en la producción de semillas por fruto entre los grupos de plantas. Sin embargo, es evidente que el número de semillas producidas por fruto en una muestra aleatoria de la población (media \pm desviación estándar: 3.5 ± 6.6) es significativamente menor que el número de óvulos (171.1 ± 33.4) en el ovario ($t=28.9$, $p < 0.0001$).

Con respecto a la capacidad de las plantas de producir semillas sin visitas de polinizadores, el 13.7% de las flores aisladas

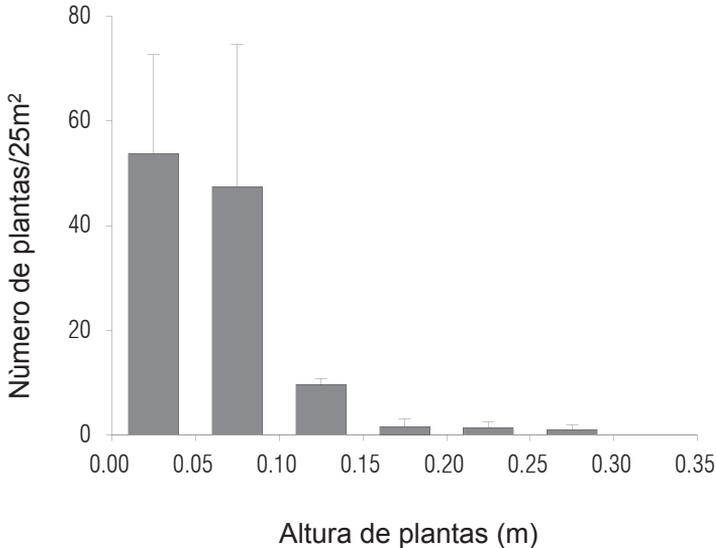


FIGURA 1. Estructura poblacional de *Cylindropuntia fulgida* en La Pintada.

de polinizadores produjeron frutos. De los frutos producidos, el 15.4% produjeron semillas. Sin embargo, el promedio de semillas por fruto (0.58 ± 1.97) fue muy bajo. Usando el total de las 14 semillas obtenidas, los resultados de la prueba de viabilidad mostraron que el 93% de las semillas producidas de esta forma fueron viables.

Variabilidad en la producción de semillas entre poblaciones.- Los frutos colectados mostraron diferencias significativas entre poblaciones en el número de semillas por fruto ($F=108.2$, $p<0.0001$, Fig. 2). En La Pintada, el número de semillas por fruto varió de 0 a 45 semillas (ver fotos 7 y 8), con un promedio de 6.3 ± 6.3 semillas por fruto. El 48% de los frutos de esta población no producen semillas y de una muestra de 20 semillas, el 75% resultaron viables. En contraste, en San Nicolás, el número de semillas por fruto varió de 4 a 440 semillas con un promedio de 185.1 ± 93.4 semillas

por fruto. En esta población, el 100% de los frutos producen semillas, y en una muestra de 20 semillas, el 95% resultaron viables. Por último, en la población de La Colorada, el número de semillas por fruto varió de 0 a 26 semillas, con un promedio de 3.4 ± 8.1 semillas por fruto, valores similares a los encontrados en La Pintada (Fig. 5).

Potencial de regeneración en La Pintada.- Los resultados del experimento que evaluó el potencial de regeneración de los diferentes propágulos mostró diferencias significativas en la brotación ($\chi^2= 40.07$, $p<0.0001$, Fig. 3). El 41.3% de los artículos brotaron (foto 9) y produjeron plantas; el 10% de los frutos brotaron (foto 10) y ninguna semilla germinó (Fig. 3). Con respecto al crecimiento de plantas provenientes de artículos y frutos, al final de dos meses se detectaron diferencias significativas entre plantas provenientes de artículos y frutos ($t=5.91$, $p<0.0001$, Fig. 4)

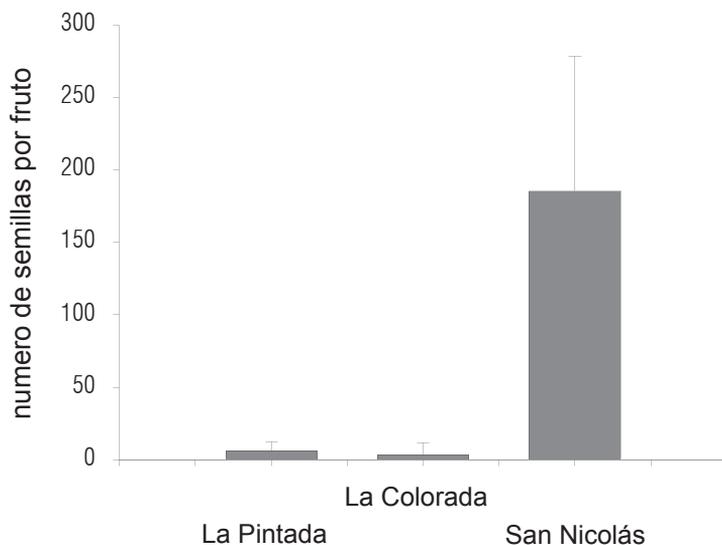


FIGURA 2. Comparación del número de semillas por fruto (+1 desviación estándar) de las tres poblaciones estudiadas: La Pintada, La Colorada y San Nicolás.

Discusión

Las poblaciones de *C. fulgida* estudiadas por Bobich (2005) en Arizona estuvieron representadas principalmente por individuos entre 0.5 y 1.5 m de altura. En contraste, la población de La Pintada estudiada en este trabajo estuvo dominada por individuos menores de 0.1 m y las más grandes no pasan de 0.3 m. Sin embargo, al igual que en otras poblaciones de Arizona (Turner *et al.* 1995; Bobich 2005), la regeneración en La Pintada parece depender principalmente de segmentos de tallos. No detectamos evidencia de establecimiento de plantas vía semillas en el área muestreada (75 m²). Los resultados del experimento sobre el potencial de regeneración mostraron que los segmentos de tallos brotan y crecen más que los frutos y semillas. Esta evidencia experimental es consistente con los datos de campo: no se observaron plántulas provenientes de

semillas y la gran mayoría de las plantas pequeñas provienen de segmentos de tallos. Asimismo, los resultados son consistentes con lo observado en otras cactáceas clonales, donde la sobrevivencia y el reclutamiento de propágulos clonales es mayor que en los propágulos de origen sexual (Mandujano *et al.* 1998; Clark-Tapia *et al.* 2005).

Con respecto a los atributos reproductivos, es evidente que la gran mayoría de las plantas de La Pintada muestran esterilidad masculina. Las causas proximales de la esterilidad masculina en plantas son diversas e incluyen mutaciones en la mitocondria o un número impar de cromosomas (Kaul 1988). Dado que se ha detectado variación en el nivel de ploidía (2x, 3x) entre los individuos de *C. fulgida* (Baker *et al.* 2009), es posible que la esterilidad esté asociada con la ploidía (3x). Este patrón de asociación entre nivel de ploidía (3x) y esterilidad ya ha sido reportado para otras especies como *Butomus umbellatus*

José F. Martínez.



FOTO 4. Corte de una flor de *Cyindropuntia fulgida* mostrando el ovario y los óvulos.

José F. Martínez.



FOTO 5. Antera de una flor de *Cyindropuntia fulgida* que no produce polen.

José F. Martínez.

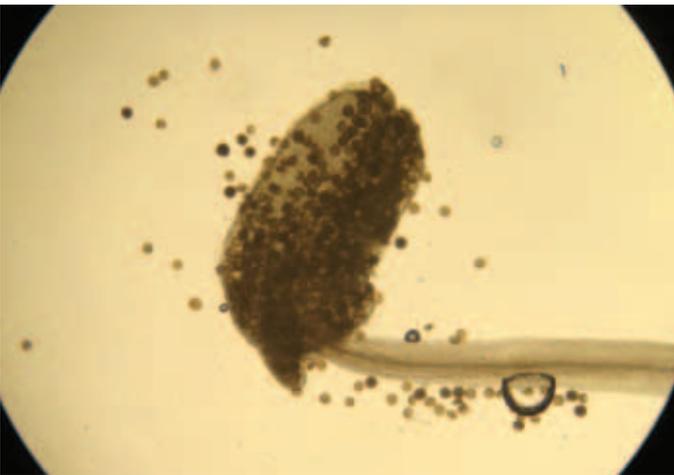


FOTO 6 Antera de una flor de *Cyindropuntia fulgida* que produce polen.

José F. Martínez.



FOTO 7. Fruto de una planta de La Pintada que no produce semillas.

José F. Martínez.



FOTO 8. Fruto de una planta de La Pintada que produce semillas.

José F. Martínez.



FOTO 9. Tallo de *Cylindropuntia fulgida* creciendo a partir de un segmento de tallo de la población La Pintada.

José F. Martínez.



FOTO 10. Tallo de *Cylindropuntia fulgida* creciendo a partir de un fruto de la población La Pintada.

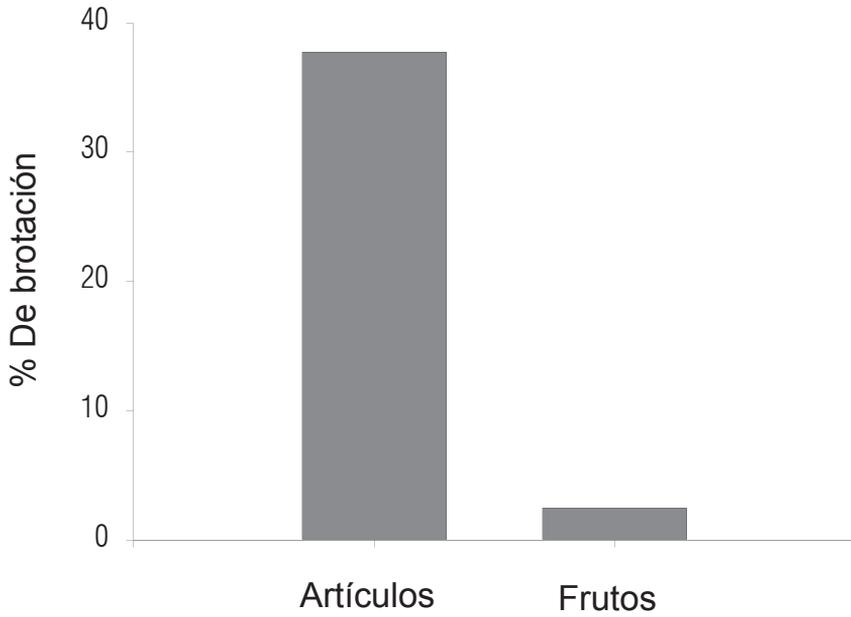


FIGURA 3. Comparación de la brotación de segmentos de tallos, frutos y germinación de semillas de la población La Pintada.

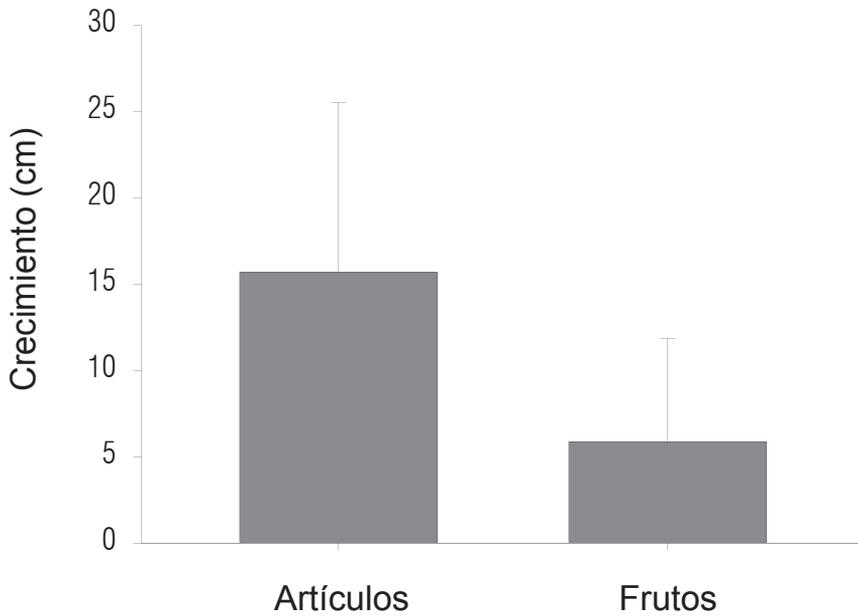


FIGURA 4. Crecimiento de plantas provenientes de segmentos de tallos y de frutos durante dos meses. No se registró crecimiento de plántulas provenientes de semillas debido a que no germinaron.

(Eckert *et al.* 2000) y *Cylindropuntia bigelovii* (Rebman 1995). Para el caso de La Pintada, una posible hipótesis es que los individuos triploides son estériles para la función masculina y que los individuos diploides son fértiles. Esta hipótesis requiere de un estudio para evaluar la correlación entre el número de cromosomas y la fertilidad masculina entre los individuos de la población.

Los datos sobre la producción de semillas en flores aisladas de polinizadores admiten al menos dos interpretaciones. Una posibilidad es que las plantas triploides produzcan semillas por agamosperma, tal y como se ha documentado en otras cactáceas (Pimienta-Barrios & del Castillo 2002). Esta hipótesis requiere de un estudio formal del desarrollo de los óvulos en flores sujetas a diferentes tratamientos de polinización. Sin embargo, una alternativa más parsimoniosa, es que las semillas formadas se deben a polinizadores que lograron entrar a las flores aisladas con bolsas de tul. Dado que sólo se obtuvieron dos frutos con semillas de 90 flores aisladas, esta alternativa parece más apropiada.

La comparación de la producción de semillas entre poblaciones mostró diferencias notables entre poblaciones. Es probable que parte de esta variación interpoblacional refleje diferencias en la importancia relativa de los diferentes propágulos en la regeneración de las poblaciones, tal y como se ha detectado en otras especies (Eckert *et al.* 2000). En poblaciones como La Pintada, las plantas producen pocas semillas y los segmentos de tallos parecen tener un papel preponderante en la regeneración. En cambio, en poblaciones como San Nicolás, las plantas producen relativamente más semillas y es probable que las semillas jueguen un papel más importante en la regeneración. La evaluación de esta hipótesis requiere de un estudio detallado de la

estructura poblacional, la polinización y la regeneración natural en esta última población.

En resumen, nuestros resultados muestran variación interpoblacional en la producción de semillas que quizás refleje variación en la importancia relativa de semillas y tallos en la regeneración de *C. fulgida*. Se requieren estudios que documenten la variación intra e interpoblacional de los niveles de ploidía y su asociación con la regeneración vía semillas y tallos para entender los mecanismos responsables de la variación en la producción de semillas entre poblaciones.

Agradecimientos

Agradecemos a Clara Tinoco y Daniel Morales por su ayuda en el trabajo de campo.

Literatura citada

- Baker MC, Rebman JP, Parfitt BD, Pinkava DJ & Zimmerman AD. 2009. Chromosome numbers in some cacti of western North America-VIII. *Haseltonia* **15**:117-134.
- Bobich EG. 2005. Vegetative reproduction, population structure, and morphology of *Cylindropuntia fulgida* var. *mamilata* in a desert grassland. *Int J Plant Sci* **166**:97-104.
- Bobich EG & Nobel PS. 2001. Vegetative reproduction as related to biomechanics, morphology and anatomy of four cholla cactus species in the Sonoran Desert. *Ann Bot* **87**:485-493.
- Bonner FT. 1974. Seed testing. En: *Seeds of woody plants in the United States*. C.S. Schopmeyer (Technical Coordinator). U.S. Department of Agriculture, Forest Service. U.S. D. A. Handbook 450. Washington D.C.
- Bravo-Hollis H. 1978. *Las cactáceas de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Clark-Tapia R & Molina-Freaner F. 2004. Reproductive ecology of the rare clonal cactus *Stenocereus eruca* in the Sonoran Desert. *Plant Syst Evol* **247**:155-164.
- Clark-Tapia R, Mandujano MC, Valverde T, Mendoza A & Molina-Freaner F. 2005. How important is clonal recruitment for population maintenance in rare plant species?: the case of the narrow endemic cactus, *Stenocereus eruca*, in Baja California, Mexico. *Biol Conserv* **124**:123-132.
- Dubrofsky JG & North GB. 2002. Root structure and function. En: *Cacti: Biology and Uses*. P. S. Nobel (Ed). Pp. 41-56. University of California Press, Berkeley.
- Eckert CG. 2002. The loss of sex in clonal plants. *Evol Ecol* **15**:501-520.
- Eckert CG, Massonnet B & Thomas JJ. 2000. Variation in sexual and clonal reproduction among introduced populations of flowering rush, *Butomus umbellatus* (Butomaceae). *Can J Botany* **78**:437-446.
- Gibson AC. 1989. The systematics and evolution of subtribe Stenocereinae. 7. The Machaerocerei of *Stenocereus*. *Cact Succ J* **61**:104-112.
- Johnson DS. 1918. The fruit of *Opuntia fulgida*: a study of perennation and proliferation in the fruits of certain Cactaceae. Carnegie Institution of Washington Publication No. 269. Washington.
- Kahn-Jetter Z, Evans LS, Licican E & Pastore M. 2001. Compressive/tensile stresses and lignified cells as resistance components in joints between stem segments of *Opuntia fulgida* and *Opuntia versicolor* (Cactaceae). *Int J Plant Sci* **162**:579-587.
- Kaul MLH. 1988. *Male sterility in higher plants*. Springer-Verlag, Berlin.
- Mandujano MC, Montaña C, Mendez I & Golubov J. 1998. The relative contributions of sexual reproduction and clonal propagation in *Opuntia rastrera* from two habitats in the Chihuahuan desert. *J Ecol* **86**:911-921.
- Molina-Freaner F & Clark-Tapia R. 2005. Clonal diversity and allelic relationships among two closely related species of columnar cacti from the Sonoran Desert : *Stenocereus eruca* and *S. gummosus*. *Int J Plant Sci* **166**:257-264.
- Palleiro N, Mandujano MC & Golubov J. 2006. Aborted fruits of *Opuntia microdasys* (Cactaceae): insurance against reproductive failure. *Am J Bot* **93**:505-511.
- Pimienta-Barrios E. & del Castillo RF. 2002. Reproductive Biology. En: *Cacti: Biology and Uses*. P. S. Nobel (Ed). Pp. 75-90. University of California Press, Berkeley.
- Rebman J. 1995. *Biosystematics of Opuntia subgenus Cyllindropuntia (Cactaceae), the chollas of Lower California, Mexico*. Ph.D. Dissertation. Arizona State University, Tempe, Arizona.
- SAS, Institute, 1997. *JMP statistical software package, version 3.1*. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Shreve F & Wiggins I. 1964. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, Standford.
- Turner RM, Bowers JE & Burgess TL. 1995. *Sonoran Desert Plants: an ecological atlas*. University of Arizona Press, Tucson.

Cuantificación de las áreas afectadas durante la construcción de un acueducto en una zona de alta diversidad biológica en Querétaro, México; hábitat prioritario para la conservación de cactáceas y suculentas amenazadas y endémicas

Armando Bayona Celis^{1*} & Ruth Julieta Chávez Martínez²

Resumen

En 2007 se inició la construcción de la obra denominada “Acueducto II”, con la finalidad de llevar agua potable desde el cauce del río Moctezuma hasta la capital del estado de Querétaro. Esta obra, cuestionada por diversos especialistas, requirió construir instalaciones, caminos y zanjas en varios municipios queretanos, particularmente en la Sierra de El Doctor, Cadereyta. Prácticamente todas las áreas naturales que fueron destruidas por la obra se encuentran en esta sierra, en una zona de pendientes muy pronunciadas y con un considerable registro de especies endémicas y/o en peligro de extinción, principalmente cactáceas. Para valorar los efectos de la obra sobre el paisaje y la cubierta vegetal, se realizó una cuantificación sistemática de las áreas en las que el suelo fue removido y la vegetación fue eliminada, mediante la interpretación de imágenes de satélite. El total de la superficie afectada en la Sierra de El Doctor es de 295 ha, superficie tres veces mayor que la programada y aprobada por el Gobierno Federal en el documento: “Manifestación de Impacto Ambiental 22QE2006H0006” de la obra; superficie que en su mayoría se encuentra sobre el hábitat de cactáceas prioritarias para la conservación en el estado de Querétaro.

Los resultados se presentan desglosados por tramos de la construcción y tipo de vegetación que se afectó en cada área.

Palabras clave: Acueducto II, Sierra de El Doctor, Cactáceas amenazadas, endemismos.

Abstract

In 2007 the construction of Aqueduct II began, to bring water from the Moctezuma river area to the state capital city of Querétaro, Mexico. This structure, questioned by various specialists, required to build facilities, roads and ditches through several municipalities, particularly in the Sierra de El Doctor, Cadereyta. Virtually all natural areas that were destroyed by the construction are there, in extremely steep and fragile zones, containing a considerable registry of endemic and/or endangered species, particularly cacti. To quantify the damage, a survey was made of all the areas where soil and vegetation were removed during the aforementioned construction by satellite

¹ Centro Queretano de Recursos Naturales, CONCYTEQ. Parque Tecnológico Querétaro, S.N., Sanfandila, Pedro Escobedo, Oro. C.P. 76600. México.

² Independiente. Morelos No. 3, Cadereyta de Montes, Oro. C.P. 76500, México.

*Autor de correspondencia: abayona@concyteq.edu.mx

image interpretation. The affected surface in El Doctor covers 295 ha, an area three times larger than the one specified and approved by the Federal Government, in the environmental impact statement of the aqueduct, "Manifestación de Impacto Ambiental 22QE2006H0006", most of it over the habitat of species for conservation priority in the State of Querétaro.

The results are broken down by sections of the structure, and type of vegetation affected in each area.

Key words: Aqueduct II, El Doctor Range, endangered cacti, endemisms.

Introducción

La sierra o macizo de El Doctor (coordenadas extremas: longitud de 99° 31'25" a 99° 42' Oeste; latitud de 20° 44'10" a 20° 56'31" Norte) es una unidad paisajística que destaca claramente de su entorno en el estado de Querétaro, México; tiene algo más de 20 Km de largo en su eje mayor NO-SE, cerca de 10 de ancho, una superficie de casi 19,000 ha y más de 3200 m de altitud. Se encuentra en su totalidad en el municipio de Cadereyta de Montes, dentro de los límites de una región natural que tradicionalmente se ha llamado Semidesierto Queretano (Fig. 1).

La cumbre de esta sierra está formada por un afloramiento de calizas de la formación de El Doctor, originadas en el Cretácico inferior (Carrillo-Martínez 1981), con estratos masivos que alcanzan unos 600 m de espesor, y que sobreyacen a rocas más recientes, calizas-lutitas de la formación Soyatal. La cumbre de la sierra tiene un relieve kárstico con pendientes suaves, mientras que las laderas en muchas áreas, especialmente en los frentes noreste y oriente, son muy abruptas, frecuentemente verticales, y que siguen el lineamiento de una falla.

Bajo el macizo hacia el este, corre el río Moctezuma, allí las laderas de caliza-lutita han sido intensamente esculpidas por la erosión natural de tipo hídrico, de modo que también se observan pendientes muy fuertes y numerosos cortes casi verticales en los que afloran tanto los estratos muy plegados de

estas rocas, como antiguos depósitos fluviales en los que se pueden encontrar desde cantos de caliza de más de un metro de diámetro hasta material fino derivado de las lutitas.

El macizo de El Doctor se ha estudiado extensivamente desde el punto de vista geológico, tanto por su interés científico como económico, ya que se trata de una zona de explotación de minerales metálicos y no metálicos, así como de bancos de mármol de gran calidad.

Biológicamente la zona presenta una notable variedad de ecosistemas que van desde el bosque de coníferas hasta el bosque tropical caducifolio, pasando por varios tipos de matorrales en los que es notable la presencia de endemismos vegetales de distribución regional y local (Rzedowski *et al.* 2012; Sánchez *et al.* 2006a), algunos de ellos referidos en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en alguna categoría de riesgo, por ejemplo: *Mammillaria herrerae* (Foto1), *Astrophytum ornatum* (Foto2) y *Strombocactus disciformis* (Foto 3), además de ser el hábitat de la especie recientemente descrita *Strombocactus corregidorae* (Arias & Sánchez-Martínez 2010) (Foto 4).

La relación de endemismos y especies amenazadas que habitan en esta zona se detalla en el Cuadro 1.

En gran medida estos ecosistemas se encuentran sobre zonas sumamente frágiles, con pendientes muy pronunciadas y sobre rocas con erosión natural considerable. Foto 5.

Desde los puntos de vista arqueológico y antropológico, esta zona también es de

gran importancia por albergar la localidad de uno de los hallazgos más importantes para el análisis del antiguo poblamiento del centro de México, una momia de 2300 años de antigüedad (Mejía *et al.* 2009).

En este mismo territorio, en el año 2007 se inició la construcción de la obra llamada “Acueducto II”, una obra para conducir el agua desde el manantial El Infiernillo (sobre el cauce del río Moctezuma), hasta la zona conurbada de la capital de Querétaro, obra que fue ampliamente cuestionada por diversos especialistas del estado que apuntaron que el manantial de donde se tomaría el agua no tiene un gasto suficiente (La Jornada 18/junio/2007; Diario Rotativo 5/octubre/2009), más otro estudio que plantea la posibilidad de que el agua que se llevaría a la ciudad de Querétaro contiene filtraciones de la presa Zimapán, es decir, aguas residuales de la ciudad de México (Cortés *et al.* 2008).

No obstante, la obra “Acueducto II” se llevó a cabo y se inauguró en febrero de 2011 y para su desarrollo se requirió de la construcción de diversas instalaciones, además de caminos y zanjas para tubería distribuidos por varios municipios del estado, pero particularmente sobre las laderas noreste y sur de la Sierra de El Doctor, lo que tuvo como consecuencia que prácticamente todas las áreas con vegetación natural que fueron destruidas o alteradas por la obra se localicen en esta sierra.

De acuerdo con el documento de Manifestación de Impacto Ambiental 22QE2006H0006 (MIA) que para este proyecto aprobó el Gobierno Federal (CEA 2006), la zona donde se llevaría a cabo la obra no tiene potencial turístico y el impacto visual provocado por la misma sería mínimo.

Con la finalidad de evaluar el impacto de la construcción de caminos y líneas de con-

ducción por la obra “Acueducto II”, sobre un hábitat de endemismos vegetales y cactáceas amenazadas, se conduce el presente análisis, enfocado principalmente sobre dos aspectos de importancia para la conservación: a) áreas con vegetación natural destruida o alterada y b) impacto visual sobre el paisaje de un hábitat de cactáceas y endemismos.

Materiales y métodos

Para cuantificar el área alterada por la construcción de la obra se usó una imagen de satélite SPOT 5 multispectral (XS) de febrero de 2010, con 4 bandas y 10 m de resolución sobre el terreno. Esta imagen georreferenciada se instaló en un SIG (Arcview 3.x) y se hizo una combinación de bandas en RGB que realzara lo más posible las respuestas altas de la roca o del suelo desnudo (IR 2, IR 1 y rojo). Este insumo se integró con diversos temas de la cartografía del INEGI 1:50,000 (INEGI 1997 y 1998) y el XII Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI 2011a), lo que sirvió para interpretar visualmente las áreas alteradas por el camino y el entierro de la tubería.

En algunas áreas fue posible observar y corroborar la interpretación a mayor resolución en imágenes de 2009 en Google Earth y de 2006 en ortofotografías obtenidas por la Dirección de Catastro del Gobierno del Estado de Querétaro, tanto de los tramos del camino ya existentes en esos años, como del estado de diversas áreas antes de la intervención. Se efectuaron también visitas de campo en toda la extensión del acueducto en el área de la Sierra de El Doctor (excepto al interior del túnel de conducción que corre bajo las rocas de la Sierra), desde la carretera federal 120 y hasta la presa de captación en El Infiernillo para documentar mediante lecturas GPS y fotografías lo interpretado. Fig 2

Para el análisis y la cuantificación de afectaciones se efectuaron algunas corridas de prueba



FIGURA 1. Localización de la Sierra de El Doctor en el estado de Querétaro y trazo del acueducto (en color blanco) construido para llevar agua desde el Cañón del Río Moctezuma hasta la ciudad de Querétaro.

para clasificación automática (supervisadas y no supervisadas), así como un proceso de vectorización de límites sobre bandas individuales o reales y el índice normalizado de vegetación (NDVI) (Lillesand & Kiefer 2000); sin embargo, en todas las pruebas se produjeron confusiones significativas por causa de las sombras y las

respuestas de los diferentes tipos de roca, lo que habría requerido de importantes correcciones interpretativas.

Por lo tanto fue el método de interpretación visual (fotointerpretación) el seleccionado para el análisis, debido a que el contraste entre las áreas intervenidas y su entorno es muy notable.

Ruth Chávez.



FOTO 1. *Mammillaria herrerae* cultivada por habitantes de la comunidad El Arbolito, Cadereyta, Qro. Comunidad cercana a la obra "Acueducto II" y una de las localidades más conocidas de esta especie.

Ricardo Ortiz.



FOTO 2. *Astrophytum ornatum* ubicado en el área de las obras de construcción del acueducto.

Ruth Chávez.



FOTO 3. *Strombocactus disciformis* en las paredes del cañón del Río Moctezuma, Cadereyta, Qro.

CUADRO 1 Lista de especies presentes en la zona afectada por la obra "Acueducto II", con su rango de endemismo y su estatus de conservación IUCN y NOM-059-SEMARNAT 2010. Referencias: Arias & Sánchez-Martínez (2010)¹, Guzmán *et al.* (2003)², Hernández & Bárcenas (1995; 1996)³, Hernández-Magaña *et al.* (2012)⁴, Hernández-Oria *et al.* (2007)⁵, Ortega (2004)⁶, Rzedowski *et al.* (2012)⁷, Sánchez *et al.* (2006a)⁸ y Scheinvar (2004)⁹.

Taxa	NOM-059	IUCN	Endemismo (referencia)
Asparagaceae			
<i>Dasyllirion acrotrichum</i> (Schiede) Zucc.	A		Desierto Chihuahuense (4)
<i>Dasyllirion longissimum</i> Lem.	A		Desierto Chihuahuense (4)
Asteraceae			
<i>Perymenium moctezumae</i> Rzed. & Calderón			Río Moctezuma (7)
Lentibulariaceae			
<i>Pinguicola elizabethiae</i> Zamudio			Río Moctezuma (7)
<i>Pinguicola moctezumae</i> Zamudio & R.Z. Ortega			Río Moctezuma (7)
Cactaceae			
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i> (Lem.) K. Schum.	Pr	NT	Desierto Chihuahuense (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Astrophytum ornatum</i> (DC.) F. A. C. Weber ex Britton & Rose	A		Zona Árida Queretano-Hidalguense extendida hacia Guanajuato y San Luis Potosí. (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Echinocactus grusonii</i> Hildm.	P	CR	Zona Árida Queretano-Hidalguense Cañón del Infiernillo (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto	Pr		Desierto Chihuahuense y Puebla-Oaxaca (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Echinocereus schmollii</i> (Weing.) N. P. Taylor	P		Semidesierto Queretano (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Ferocactus histrix</i> (DC.) G. E. Linds.	Pr		Centro de México, Durango y Zacatecas (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Lophophora diffusa</i> (Croizat) Bravo	A	V	Zona Árida Queretano-Hidalguense (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Mammillaria hahniana</i> Werderm.	A		Zona Árida Queretano-Hidalguense extendida hacia Guanajuato y San Luis Potosí. (2, 3, 6, 9)
<i>Mammillaria herrerae</i> Werderm.	P	CR	Semidesierto Queretano (2, 3, 4, 5, 6, 9)

<i>Mammillaria longimamma</i> DC.	A		Zona Árida Queretano-Hidalguense extendida hacia Guanajuato y San Luis Potosí. (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Mammillaria crinita</i> subsp. <i>scheinvariana</i> (Ortega-Varela & Glass) Fitz Maurice & B. Fitz Maurice			Cañón del Infiernillo (2, 6, 9)
<i>Mammillaria schiedeana</i> C. Ehrenb.	A		Tamaulipas y Zona Árida Queretano-Hidalguense extendida hacia Guanajuato y San Luis Potosí. (2, 3, 4, 6)
<i>Neobuxbaumia polylopha</i> (DC.) Backeb.			Zona Árida Queretano-Hidalguense extendida hacia Guanajuato y San Luis Potosí. (2, 6, 9)
<i>Stenocactus sulphureus</i> (A. Dietr.) Bravo	Pr		Zona Árida Queretano-Hidalguense (2, 4, 6, 8)
<i>Strombocactus corregidorae</i> S. Arias & E. Sánchez-Martínez			Río Moctezuma (1)
<i>Strombocactus disciformis</i> (DC.) Britton & Rose	A		Zona Árida Queretano-Hidalguense y Guanajuato (2, 3, 4, 5, 8, 9)
<i>Thelocactus hastifer</i> (Werderm. & Boed.) F. M. Knuth	A	VU	Zona Árida Queretano-Hidalguense (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Turbincarpus pseudomacrochele</i> (Backeb.) Buxb. & Backeb. subsp. <i>pseudomacrochele</i>	P	VU	Zona Árida Queretano-Hidalguense (2, 3, 4, 5, 8)
<i>Turbincarpus pseudomacrochele</i> subsp. <i>lausseri</i> (L. Diers & Gerhart Frank) Glass			Zona Árida Queretano-Hidalguense (2, 9)

Una vez contabilizada la superficie afectada sobre el plano de las imágenes (**superficie plana**), estas áreas se proyectaron sobre el modelo digital de elevación (INEGI 2011b), para calcular la **superficie real** de la afectación sobre las laderas, considerando pendiente y profundidad.

Resultados

Con la finalidad de medir las afectaciones reales causadas a los ecosistemas en la Sierra de El Doctor, y para este análisis en particu-

lar, el trazo de la obra en esta zona se dividió en tres tramos geográficos (Fig. 2), puesto que en la MIA no existe un desglose definido de las áreas que resultarían afectadas por la obra, sino una agregación de ellas según el uso al que se destinaron, por ejemplo: obras de conducción, caminos de acceso, líneas de transmisión eléctrica y bancos de materiales.

Los tramos en los que se explican los resultados del presente análisis son:

Intervenciones para pavimentar el camino de la comunidad de El Doctor a Maconí.



FIGURA 2. Áreas afectadas por la construcción de caminos y la instalación de tuberías para el “Acueducto II” sobre la sierra de El Doctor. Las áreas de afectación se aprecian como líneas de color rosa: Iramo 1, entre la comunidad de El Doctor y Maconí; Iramo 2, de Maconí hacia la presa de captación y el túnel; Iramo 3, del túnel a la carretera 120. La flecha negra señala el área que se muestra en la foto 6.

Ruth Chávez.



FOTO 4. *Strombocactus correjidorae* en áreas adyacentes a las de remoción de suelo causada por la construcción del “Acueducto II” de Querétaro.

Ruth Chávez.



FOTO 5. *Echinocactus platyacanthus* en áreas de pendiente pronunciada, en la confluencia del matorral rosetófilo y el matorral submontano.

Ruth Chávez.



FOTO 6. Camino hacia el túnel de la obra “Acueducto II” en la ladera oriental de la Sierra de El Doctor. Las flechas señalan los abanicos de escombros que dejaron las explosiones derivadas de su construcción.

CUADRO 2. Superficie afectada (ha) por la construcción de caminos y por la instalación de la tubería para el "Acueducto II" en la Sierra de El Doctor, según la zonificación geográfica adaptada para el presente análisis.

Tramos de camino y tubería	Superficie plana ha	Superficie real ha
1 Ampliaciones antes de Maconí	20.645	25.641
2 Maconí a la presa y el túnel	116.352	133.758
3 Túnel a carretera 120 (ladera Sur)	129.963	135.704
Total	266.96	295.103

CUADRO 3. Superficie (en hectáreas) que se afectarían por los diversos tipos de obra y por tipo de vegetación en la totalidad de la obra de "Acueducto II", según la MIA 22QE2006H0006. Para el presente estudio sólo se consideró la afectación causada por obras de conducción y caminos de acceso (en negritas).

Concepto	Permanente ha	Arbolado hc	No arbolado ha
Obras principales			
Obras de conducción (impulsión)	6.08	1.47	4.61
Obras de conducción (gravedad)	26.66	2.66	24
Obras complementarias			
Línea de transmisión eléctrica	80.73	46.09	34.64
Caminos de acceso	42.26	28.04	14.22
Bancos de material	35	35	0
Campamentos 10.29	0	5.29	5
Total conducción + caminos	75.00		

Caminos y tubería de Maconí hacia la presa de captación y hacia el túnel.

Camino y tubería desde la salida del túnel hasta la carretera 100, sobre la ladera Sur de la Sierra.

La afectación cuantificada sobre el terreno de estos tres tramos suma un total de 295 ha (Cuadro 2). En contra parte, en el

documento MIA se declaró que la afectación total por caminos y obras de conducción sería de 75 hectáreas para la obra completa (considerada desde el Infiernillo hasta la ciudad de Querétaro); por lo tanto, la **superficie real** afectada y contabilizada tan sólo en la Sierra de El Doctor representa más del 350% de lo que se declaró en el documento

de impacto ambiental. En el cuadro 3 se presentan los datos estipulados en la MIA como afectación por la totalidad de la obra.

Cabe aclarar que aunque en la MIA se menciona que habrá afectación por bancos de material y por líneas de transmisión eléctrica, los primeros no se encuentran en el área de la Sierra de El Doctor, mientras que el tendido de las líneas de transmisión eléctrica, según se observa tanto en el campo como en la imagen de satélite, no parecen tener vegetación dañada bajo ellas.

En la figura 3 se presenta el desglose de la afectación resultante por tipo de vegetación, según la carta de vegetación y uso del suelo del estado de Querétaro (CQRN 2011).

Discusión

En las zonas en las que el “Acueducto II” corre paralelo a la carretera 120 y en las zonas agrícolas de los municipios de Colón, Ezequiel Montes y El Marqués, su presencia es sólo apreciable por la vista exterior de pequeñas casetas o registros (espaciadas entre sí por unos cientos de metros).

Sin embargo, en las laderas noreste, oriente y sur de la Sierra de El Doctor (toda ella en territorio de Cadereyta), la obra ha dejado 295 hectáreas de superficie cubiertas por escombros provenientes de los materiales volados o arrastrados por la maquinaria, las cuales en varios puntos críticos forman conos de arrastre de hasta 200 m de profundidad sobre las barrancas (Foto 6). Debajo de estos abanicos quedaron sepultadas hectáreas de vegetación prácticamente inalterada, pues se trata de áreas relativamente alejadas de asentamientos humanos y que en gran medida tienen pendientes tan pronunciadas que incluso limitan la entrada del ganado.

Evidentemente el mayor impacto de esta obra ha ocurrido sobre el área que en diversos estudios florísticos y cactológicos ha sido señalada como de alta importancia o prioridad para la conservación, debido a su riqueza de endemismos, a la presencia de diversas especies vegetales en alguna categoría de la NOM-059 y porque carece de protección legal. Todo ello de acuerdo con las siguientes referencias:

Esta zona pertenece al Cuadrante Tolimán, que Hernández & Bárcenas (1995; 1996) señalaron como el segundo cuadrante con mayor número de especies de cactáceas amenazadas en el Desierto Chihuahuense (13 especies), entre las que destacan *Echinocactus grusonii* y *Thelocactus hastifer*, endémicas de esta zona.

Sánchez *et al.* (2006a), Hernández-Oria *et al.* (2007) y Hernández-Magaña *et al.* (2012) señalan que los subcuadrantes Mesa de León y Altamira del Cuadrante Tolimán (que corresponden geográficamente con la Sierra de El Doctor), son prioritarios para la conservación florística del Semidesierto Queretano por la presencia de especies microendémicas como *Mammillaria herrerae* y *Echinocactus grusonii*, además de otros endemismos regionales como *Strombocactus disciformis* y *Astrophytum ornatum*.

Rzedowski *et al.* (2012) apunta que el cañón del Río Moctezuma es el asiento de no pocos endemismos vegetales de distribución restringida del estado de Querétaro y que aún no ha sido suficientemente explorada. Entre los endemismos señalados por estos autores destacan suculentas como *Pinguicola moctezumae* y otras especies no suculentas como *Perymenium moctezumae*.

Con respecto a la afectación de las poblaciones, no se conocen estudios publicados que describan la demografía de



FOTO 7. Vista Sur de la sierra de El Doctor, desde la ruta Puerto del Salitre-Bellavista del Río, en donde se aprecia el camino al túnel del “Acueducto II” como una línea de color claro sobre la ladera.

las especies que habitan en la zona de El Doctor; sin embargo, es posible estimar que en cuanto a cactáceas, *Mammillaria herrerae* y *Strombocactus corregidora* sean las especies cuyos núcleos poblacionales hayan resultado más perjudicados con la obra, puesto que su distribución conocida hasta ahora, sólo se circunscribe a esta zona.

Con respecto a *Mammillaria herrerae*, Sánchez *et al.* (2006b), Sánchez *et al.* (2008) y Hernández-Oria *et al.* (2007) refieren que las poblaciones de esta especie se componen de entre 20 y 50 individuos, las cuales se extienden en superficies que no se pueden contar en hectáreas y que con nuevas exploraciones han documentado la existencia de cuatro poblaciones adicionales a las ya conocidas.

En el caso de *Strombocactus corregidora*, Arias & Sánchez-Martínez (2010) refieren que sólo se conocen tres localidades con poblaciones relativamente pequeñas.

Por otra parte, Sánchez *et al.* (2006a) señalan que las poblaciones de las cactáceas prioritarias para la conservación en la región que abarca a la Sierra de El Doctor (Cuadrante Tolimán), presentan tamaños poblacionales relativamente pequeños, de entre 50 y 500 individuos.

La relación de especies amenazadas y endémicas reportadas por los estudios referidos se presenta en el cuadro 1 (lista de especies, categoría NOM-059, IUCN y endemismo).

En adición a lo anterior, los paisajes de esta zona son uno más de los atributos que resultaron afectados por la obra hidráulica. Al respecto, en México no se considera la valoración del paisaje como uno de los elementos fundamentales del patrimonio natural y cultural, que ameritan protección, gestión y ordenación legal, además de que deberían ser considerados como un

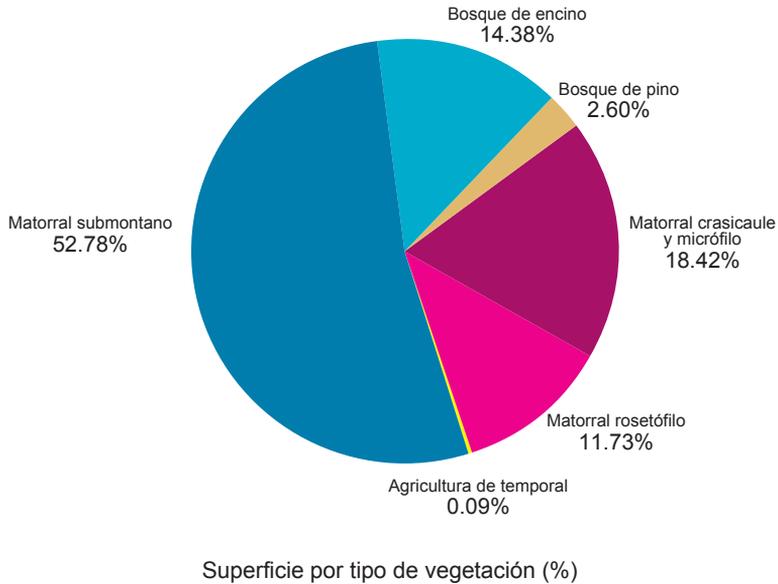


FIGURA 3. Proporción de las superficies afectadas por tipo de vegetación o uso del suelo.

derecho y una responsabilidad para todos, como ocurre en otros países del mundo, principalmente en Europa, donde existe el Convenio Europeo del Paisaje (2000).

México posee una gran riqueza de paisajes valiosos, entre ellos los de cactáceas y los de zonas áridas, que en muchos casos enfrentan diversas amenazas reales y potenciales que ponen en riesgo su diversidad y que producen lo que Zimmermann & Pérez Sandi Cuen (2010) señalan como daño estético a los paisajes únicos de cactus en México.

En este sentido, el análisis de afectación al paisaje presentado en la MIA minimiza el efecto del daño que causaría la obra en el área de la sierra pues en ella se apunta lo siguiente: “la puesta en marcha de la obra en la zona montañosa puede considerarse de bajo impacto, debido a que la topografía accidentada actúa como amortiguador del efecto del proyecto en el paisaje, además, la ausencia de vías de comunicación y la baja densidad de

población mantienen el proyecto “oculto” de potenciales observadores” (CEA 2006).

Por otra parte, no se consideró el efecto visual que la obra tendría sobre las áreas y las localidades que rodean a la Sierra de El Doctor en su entorno más visible y de mayor tránsito regional, como la ruta Puerto del Salitre- Bellavista del Río (sobre la carretera Cadereyta-Zimapán), en donde ahora el impacto visual sobre su horizonte es significativamente distinto (Foto 7).

Dados los resultados del presente análisis es evidente que las obras del “Acueducto II” no se ejecutaron de acuerdo a la Manifestación de Impacto Ambiental 22QE2006H0006 (MIA); que la MIA no fue adecuadamente supervisada y que ahora hace falta evaluar los impactos particulares causados sobre las poblaciones de las especies prioritarias para la conservación en la zona.

Con respecto a la evaluación de daños, cabe resaltar que es relativamente sencillo

y rápido evaluar las afectaciones causadas por la apertura de caminos y otras obras, mediante el empleo e interpretación de imágenes de satélite, mismas que se encuentran a disposición de los usuarios institucionales de forma gratuita en diversas instituciones gubernamentales y en Google Earth.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Ricardo Ortiz y Brenda Reséndiz por apoyar en el trabajo de campo y por proporcionar sus fotografías para este documento. Así como a la familia Ramírez Ramírez de El Arbolito, Cadereyta por permitirnos fotografías de su colección de *Mammillaria herrerae*. También agradecemos a nuestro revisor anónimo por sus enriquecedoras aportaciones y sus comentarios.

Literatura citada

- Anónimo. 2000. Convenio Europeo del Paisaje. Consejo de Europa: <http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/heritage/landscape/versionsconvention/spanish.pdf>. (Consultado en febrero de 2013).
- Arias S & Sánchez-Martínez E. 2010. Una especie nueva de *Strombocactus* (Cactaceae) del río Moctezuma, Querétaro, México. *Rev Mex Biodivers* **81**:619-624.
- Carrillo-Martínez M 1981. Contribución al Estudio Geológico del Macizo Calcáreo El Doctor, Querétaro *Rev Mex Cienc Geol* **5**:25-29.
- CEA. 2006. *Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular 22QE2006H0006. Abastecimiento de Agua Potable Infernillo Zona Conurbada Querétaro*. Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro. México. <http://tramites.semarnat.gob.mx/index.php/consulta-tu-tramite> con la clave 22QE2006H0006 (consultada en febrero de 2013).
- Cortés A, Lozano A, Pérez J & Martínez F. 2006. *Estudio Exploratorio de las condiciones isotópicas e hidrogeoquímicas de afloramientos en la comunidad de El Arbolito, Municipio de Cadereyta, Qro.* CONCYTEQ-UNAM. México.
- CORN. 2011. Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:50 000 del Estado de Querétaro, Versión 2. CONCYTEQ, México.
- Diario Rotativo. 5 de octubre de 2009. Advierte G5 problema de salud por agua de Acueducto II: <http://rotativo.com.mx/queretaro/advierte-g5-de-problemas-de-salud-por-agua-de-acueducto-ii/20401/html/> (consultada en febrero de 2013).
- Guzmán U, Arias S & Dávila P. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. UNAM, CONABIO. México, D.F.
- Hernández H M & Bárcenas R T. 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution patterns. *Conserv Biol* **5**:1176-1188.
- Hernández H M & Bárcenas R T. 1996. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: II. Biogeography and Conservation. *Conserv Biol* **4**:1200-1209.
- Hernández-Magaña R, Hernández-Oria J & Chávez R. 2012. Datos para la conservación florística en función de la amplitud geográfica de las especies en el Semidesierto Queretano. *Acta Bot Mex* **99**:105-140
- Hernández-Oria J, Chávez R & Sánchez E. 2007. Factores de riesgo en las Cactaceae amenazadas de una región semiárida en el sur del Desierto Chihuahuense, México. *Interciencia* **11**:1-8.
- INEGI. 1997 y 1998 Conjuntos de datos vectoriales de las cartas topográficas escala 1:50,000, versión 4, claves F14-C57, F14-C58, F14-C67 Y F14-C68. México.
- INEGI. 2011a. Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por locali-

- dad (ITER): http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est (consultada en abril de 2011).
- INEGI. 2011b. Continuo de Elevaciones Mexicano CEM (2.0): <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoElevaciones.aspx>. (consultada en junio de 2011).
- IUCN Red List of threatened species. 2012. <http://www.iucnredlist.org/> consultada en mayo de 2013.
- La Jornada. 18 de junio de 2007. Inviabile, el proyecto Acueducto II, que abastecería a Querétaro: <http://www.jornada.unam.mx/2007/06/18/index.php?section=estados&article=036n1est> (consultada en febrero de 2013).
- Lillesand T & Kiefer R. 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons. U.S.A.
- Mejía E, Chávez X & Chávez R. 2009. *Pepita, la momia de la Sierra Gorda de Querétaro*. *Arqueología Mexicana* **99**:70-75.
- Ortega R. 2004. Rescate y caracterización ecológica de especies vegetales en estatus crítico de conservación, en el área del Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.
- Rzedowski J, Calderón de Rzedowski G & Zamudio S. 2012. Flora vascular endémica en el estado de Querétaro. *Acta Bot Mex* **99**:91-104.
- Sánchez E, Chávez R, Hernández-Oria J & Hernández M. 2006a. *Especies de Cactaceae prioritarias para la conservación en la zona árida Queretano-Hidalgense*. Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Querétaro: Oro.
- Sánchez E, Arias S, Hernández M & Chávez R. 2006b. Ficha técnica de *Mammillaria herreriae*. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. CK016. México. D.F.
- <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/ise/fichasnom/Mammillariaherreriae00.pdf>
- Sánchez E, Hernández M, Hernández-Oria J & Torres L. 2008. *Mammillaria herreriae* Werderm., en el vórtice de la extinción. *Cact Suc Mex* **53**:123-127.
- Sánchez E, Arias S, Hernández M & Maruri B. 2011. *Strombocactus corregidorae* a new species from the Moctezuma River and its vanishing hábitat. XXXII Congreso de la IOS. Cartel. http://iosweb-org.glucan5.com/2012/poster/Strombocactus_corregidorae_-_a_new_species_from_the_Montezuma_River,_Sanchez_Martinez_et_al.pdf (consultada en febrero de 2013).
- Scheinvar L. 2004. *Flora cactológica del estado de Querétaro, diversidad y riqueza*. Fondo de Cultura Económica. D.F. México.
- SEMARNAT. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT 2010*. 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, Segunda Sección. 30 de diciembre de 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.
- Zimmermann H & Pérez Sandi Cuen M. 2010. La amenaza de los piojos harinosos (*Hypogeococcus pungens* e *Hypogeococcus festerianus* (Hemiptera: Pseudococcidae) a las cactáceas mexicanas y del Caribe. *Cact Suc Mex* **55**:4-17.

Neobuxbaumia laui (P.V. Heath) D.R. Hunt



Planta columnar de 7 a 12 m de altura, con 3 a 6 ramas erectas, paralelas. Tallo de color verde oscuro, liso de 4 a 6 m de largo a 10 cm en diámetro. Costillas 29 a 31, sin depresiones entre las areolas. Areolas redondeadas de 3.5 a 5 mm, de color blanco grisáceo en un inicio y después de color gris oscuro o negruzco. Espinas 10, 3-4 de mayor longitud, no diferenciadas en radiales y centrales, flexibles, rectas, de color negro a blanco grisáceo, de 3 cm de longitud. Flores nocturnas, numerosas, que permanecen abiertas hasta el siguiente día, de color blanco rojizo, de 3.5 cm de longitud y 1.3 cm de diámetro. Frutos elípticos, rojos, de 2.5 a 3 cm de longitud y diámetro (Anderson AF 2001. *The Cactus Family*). Distribución: Endémica del estado de Oaxaca.

Se encuentra en estribaciones de la Sierra Madre del Sur, donde hay una marcada influencia del bosque tropical caducifolio de la vertiente del Pacífico. Por ahora solo se conoce de un pequeño grupo de barrancas del distrito de Tlaxiaco, a una altitud de 2000 msnm, en afloramientos de rocas calizas con una pobre capa de suelo (Salvador Arias, com. pers.).

Rojas-Aréchiga Mariana

Depto. Ecología de Biodiversidad, Instituto de Ecología, UNAM, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F.

Correo- e: mrojas@ecologia.unam.mx