

FACTORES DE RIESGO EN LAS CACTACEAE AMENAZADAS DE UNA REGIÓN SEMIÁRIDA EN EL SUR DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE, MÉXICO

JOSÉ GUADALUPE HERNÁNDEZ-ORIA,
RUTH CHÁVEZ-MARTÍNEZ y EMILIANO SÁNCHEZ-MARTÍNEZ

RESUMEN

El Semidesierto Queretano, en el centro de México, alberga uno de las principales ensambles de cactáceas amenazadas en el Desierto Chihuahuense, la ecoregión con la mayor diversidad de Cactaceae en el mundo. Desde hace algunas décadas se reconoce una aguda y compleja problemática para la supervivencia de estas taxa, debido principalmente a las actividades antrópicas y la extracción ilegal. Las especies amenazadas comúnmente son biológicamente raras, dada sus limitadas áreas de distribución y abundancia. No obstante, se desconoce la influencia de elementos de riesgo potencial en el desarrollo natural de las especies. Por ello se evaluó un conjunto de potenciales factores de perturbación

para explorar su efecto en las poblaciones amenazadas. Se encontró que la transformación y destrucción de hábitat derivada de actividades antrópicas, al igual que características demográficas adversas como la baja densidad poblacional y de plántulas, representan los mayores riesgos para el contingente de cactáceas amenazadas. Los resultados sugieren que la modificación y pérdida de hábitat deben ser considerados factores de alto impacto para la supervivencia y vulnerabilidad de las especies amenazadas. La conservación de este ensamble cactológico implica la protección de los matorrales secos como ambiente natural fundamental para su salvaguarda, lo que podría evitar el riesgo de extinción.



México es el principal centro de diversidad cactológica en América y el mundo (Bravo y Sánchez-Mejorada, 1978, 1991a, 1991b; Arias, 1993; Hernández *et al.*, 2001, 2004) con una riqueza estimada en alrededor de 560 especies agrupadas en 50 géneros (Hunt, 1999; Guzmán *et al.*, 2003) y distribuidas principalmente en las zonas áridas y semiáridas del territorio mexicano. Desafortunadamente, una alta proporción de la familia Cactaceae presenta problemas de conservación (Hernández y Godínez, 1994; Arias *et al.*, 2005) y por ello se encuentra en listas de especies amenazadas, tanto nacionales (SEMARNAT, 2001) como internacionales (Hunt, 1999; IUCN, 2006).

El Desierto Chihuahuense, con ~500000km² (Medellín, 1982) es la eco-

región con la mayor contribución a la flora cactológica de México y el más rico ensamble (324 especies) de cactáceas en el mundo (Hernández *et al.*, 2001, 2004; Goettsch y Hernández, 2006). Sin embargo, concentra también al mayor número de especies amenazadas (Hernández y Bárcenas, 1995, 1996; Martínez-Ávalos y Jurado, 2005). Este patrón simultáneo de alta riqueza y amenaza de especies se presenta en las cactáceas del Semidesierto Queretano (Sánchez *et al.*, 2006; Chávez *et al.*, 2006), un segmento de la zona árida Queretano-Hidalguesa que es una región relativamente discontinua en el extremo sur del Desierto Chihuahuense (Hernández-Oria *et al.*, 2007). Dos estudios previos (Hernández y Bárcenas, 1995, 1996) determinaron la existencia de 14 especies amenazadas en el área denominada Cua-

drante Tolimán en el Semidesierto Queretano, la cual es un área de ~2750km² y que hasta entonces sustentó el segundo mayor contingente de taxa amenazados en el Desierto Chihuahuense. Actualmente se reconoce a un total de 17 especies ubicadas en alguna categoría de amenaza de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 059 (Arias *et al.*, 2005; Chávez *et al.*, 2006) y existen 6 taxa adicionales que, dadas sus características demográficas y de hábitat, podrían también estar incluidos (Sánchez *et al.*, 2006). Estas cifras convierten al Semidesierto Queretano en uno de los principales núcleos de especies amenazadas del Desierto Chihuahuense.

Las especies amenazadas plantean un interés dicotómico; por un lado, dada su rareza biológica, la prioridad para su conservación es mayor (Caldecott *et al.*,

PALABRAS CLAVE / Cactaceae / Conservación / Especies Amenazadas / Factores de Riesgo / Semidesierto Queretano /

Recibido: 10/05/2007. Modificado: 19/09/2007. Aceptado: 21/09/2007.

José Guadalupe Hernández-Oria. Biólogo, Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), México. M.C., Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), México. Investigador, Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío" (JBRC), México. Dirección: Camino a la Ex-Hacienda de Tovares s/n, Cadereyta de Montes, Querétaro. AP 17, CP 76500, México. e-mail: xerofilia@yahoo.com.mx

Ruth Julieta Chávez-Martínez. Bióloga, UAQ, México. M.C., UMSNH, México. Investigadora, JBRC, México.

Emiliano Sánchez-Martínez. Ingeniero Agrónomo, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. M.C., Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bioticos (INIREB), México. Director, JBRC, México.

1996; Buist *et al.*, 2002; Hartley y Kunin, 2003) y, por otra parte, interesa discernir e identificar los diferentes agentes causales de perturbación y detrimento de las especies (Martorell y Peters, 2005). Por consiguiente, es relevante conocer la respuesta diferencial de las especies amenazadas ante potenciales agentes de perturbación, además de sus características demográficas, para entender el papel que estos elementos juegan como factores de riesgo y su influencia en la distribución y abundancia de los taxa.

En el presente trabajo se evalúan, cualitativa y cuantitativamente, factores de riesgo potencial en poblaciones de cactáceas amenazadas del Semidesierto Queretano, incluyendo fuentes de origen antrópico y demográficas. El objetivo es identificar los factores de mayor riesgo e influencia para la supervivencia de las especies de cactus presentes en la región y su vulnerabilidad.

Área de Estudio

El área estudiada corresponde al cuadrante Tolimán, entre 20°30'-21°00'N y 99°30'-100°00'O, en la región conocida como el Semidesierto Queretano, que es una porción disgregada del Desierto Chihuahuense en su extremo sur (Figura 1). Forma parte de la provincia florística denominada Zona Árida Queretano-Hidalguesa (Rzedowski, 1978). El área se localiza mayormente en el Estado de Querétaro y una pequeña porción en el Estado de Hidalgo. Ocupa el área de confluencia entre las provincias fisiográficas Sierra Madre Oriental, Mesa del Centro y Eje Neo-volcánico, asociadas a una litología sedimentaria y volcánica, así como a suelos de poco y moderado desarrollo. La topografía está dominada por montañas de 1450-2100msnm, siendo el macizo El Doctor el complejo montañoso con las mayores elevaciones (2250-3300m) y precipitaciones (800-1000mm), y los valles de la cuenca del Río Estórax abarcan las zonas más bajas. El clima predominante es semiseco templado con lluvias en verano (BS_{kw}; García, 1988), caracterizado por una temperatura media anual de 16-18°C y precipitación media anual de 400-600mm. En las partes más bajas es mayor la temperatura, que desciende en las serranías más altas (INEGI, 1986). Las características heterogéneas del medio físico originan un mosaico variado de comunidades vegetales. La mayor parte de la vegeta-

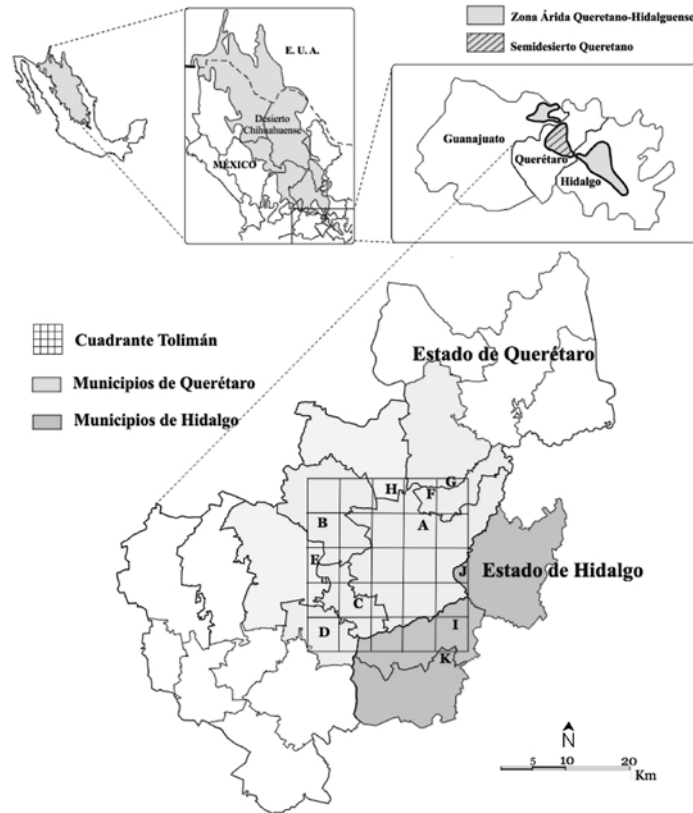


Figura 1. Localización del área de estudio en la región extrema Sur del Desierto Chihuahuense. Los municipios señalados en el estado de Querétaro son A: Cadereyta, B: Tolimán, C: Tequisquiapan, D: Ezequiel Montes, E: Colón, F: San Joaquín, G: Pinal de Amoles y H: Peñamillor. En el estado de Hidalgo son I: Tecozautla, J: Zimapán y K: Huichapan.

ción presenta diversas variantes del matorral xerófilo, tales como el micrófilo, rosetófilo y crasicale, distribuidos en lomeríos y piedemontes (Zamudio *et al.*, 1992). Los tipos menos secos como el matorral submontano, encinar arbustivo y los bosques mixtos de *Quercus*, *Pinus*, *Juniperus* y *Abies* ocupan áreas pequeñas y se establecen en las mayores elevaciones.

Métodos

Registro de especies

Se utilizó la metodología planteada por Bárcenas (1999) y por Gómez-Hinostrosa y Hernández (2000) para el registro de cactáceas de la región, la que consistió en dividir el área del cuadrante Tolimán en 25 sub-cuadrantes de 6x6min, equivalentes a ~110km² cada uno. Por cada sub-cuadrante se realizaron tres transectos de al menos 3km de longitud con la participación de dos o más observadores para registrar las especies. El total de recorridos fue de 75 y se construyó una matriz binaria (presencia= 1, ausencia= 0) de sitios y especies. Cada transecto fue referenciado con geoposicionador por satélite y los ejemplares colectados se depositaron en los siguientes

herbarios: Herbario Nacional de México (MEXU), Instituto de Ecología A. C. (IEB) y "Jerzy Rzedowski" (QMEX).

De la lista obtenida de especies se extrajo una sub-matriz con los taxa amenazados o en riesgo, exclusivamente. Se utilizó a la presencia de un taxón en alguna categoría de la Norma Oficial Mexicana 059 (Semarnat, 2001) como criterio de especie amenazada. Por cada taxón en riesgo observado en los transectos se precisaron variables cuantitativas y cualitativas.

Variables cuantitativas

Por cada especie amenazada se estimó *in situ* la distancia en metros desde el punto central de cada transecto hacia los siguientes elementos del paisaje: a) centros de población, b) áreas agrícolas, c) caminos (terraceras o pavimentados, d) minas (banco de extracción de material), y e) pendiente (%) del terreno.

Variables cualitativas

Por cada especie amenazada se registró la presencia (1) o ausencia (0) de variables divididas en:

- *Demográficas*. Se estimó *in situ* la abundancia de a) <50 individuos, b) 50-500 individuos, c) >500 individuos, y d) plántulas.

- *De perturbación* (*sensu* Rykiel, 1985; Martorell y Peters, 2003, 2005). En las poblaciones se registró la presencia (1) o ausencia (0) de agentes de deterioro ambiental, a saber: a) deforestación (áreas $\geq 100\text{m}^2$ en el transecto, cuya cobertura vegetal haya sido eliminada por causas antrópicas, y b) sobrepastoreo (evidencias de ramoneo y excretas de ganado caprino, ovino o bovino en secciones $\geq 100\text{m}^2$ en al menos una sección del transecto). Otras variables fueron evaluadas a través de distancias medidas *in situ* desde el punto de registro de la especie hasta el agente perturbador; estas fueron la presencia de evidencias de agricultura en c) 0-500m, d) 501-1000m y e) >1km; de centros de población humana en f) 0-500m y g) 501-1000m; de caminos (pavimentados, terracerías) en h) 501-1000m e i) >1km. Finalmente, se registró la presencia de minas de materiales pétreos ubicadas entre los j) 0-500m y k) >1km.

Análisis de datos

La información obtenida en campo se analizó mediante técnicas mul-

TABLA I
LISTA DE ESPECIES DE CACTACEAE AMENAZADAS DEL SEMIDESIERTO
QUERETANO, CLASIFICADAS SEGÚN SU CATEGORÍA DE RIESGO

| Especie | Categorías | | |
|--|------------|-------|------|
| | NOM-059 | CITES | IUCN |
| <i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i> (Lem.) K. Schum. | Pr | I | NT |
| <i>Astrophytum ornatum</i> (DC.) Britton & Rose | A | II | |
| <i>Echinocactus grusonii</i> Hildm. | P | II | CR |
| <i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto | Pr | II | |
| <i>Echinocereus schmollii</i> (Weing.) N. P. Taylor | P | I | |
| <i>Ferocactus histrix</i> (DC.) Lind. | Pr | II | |
| <i>Lophophora diffusa</i> (Croizat) Bravo | A | II | VU |
| <i>Mammillaria crinita</i> subsp. <i>painteri</i> (Rose ex Quehl) U. Guzmán | Pr | II | DD |
| <i>Mammillaria herrerae</i> Werderm. | P | II | CR |
| <i>Mammillaria longimamma</i> DC | A | II | |
| <i>Mammillaria microhelia</i> Werderm. | Pr | II | VU |
| <i>Mammillaria parkinsonii</i> C. Ehrenb. | Pr | II | |
| <i>Mammillaria schiedeana</i> subsp. <i>dumetorum</i> (J.A. Purpus) D.R. Hunt | Pr | II | |
| <i>Strombocactus disciformis</i> (DC.) Britton & Rose | A | I | |
| <i>Thelocactus hastifer</i> (Werderm. & Boed.) F. M. Knuth | Pr | II | VU |
| <i>Turbinicarpus pseudomacroleche</i> subsp. <i>pseudomacroleche</i> (Backeb.) Buxb. & Backeb. | Pr | I | VU |
| <i>Stenocactus sulphureus</i> (A. Dietr.) Bravo * | Pr | II | |

* Especie no incluida en este estudio, pero registrada en el área del 'Cuadrante Tolimán'. La nomenclatura usada es de acuerdo con Guzmán *et al.* (2003). NOM-059 (SEMARNAT, 2001). Pr: sujeta a protección especial, A: amenazada, P: en peligro de extinción. CITES (Hunt, 1999). I: taxón incluido en Apéndice I, II: taxón incluido en Apéndice II. IUCN (2006). CR: en peligro crítico, DD: datos insuficientes, NT: casi amenazada, VU: vulnerable.

tivariadas de ordenación, utilizando MVSP (*Multivariate Statistical Package*; Kovach, 1999). Se utilizó el análisis de factores (empleando la probabilidad máxima como método de extracción factorial y varianza máxima para rotación de factores), para conocer las interrelaciones de las variables cuantitativas. Además, se empleó el análisis de gradiente indirecto (Jongman *et al.*, 2000) para relacionar y explorar la distribución de las especies con variables demográficas y de disturbio (matrices asimétricas) mediante análisis de componentes principales (ACP). Por último, se usó análisis de varianza para detectar si hubo diferencias significativas entre el grupo de cinco variables cuantitativas (el % de pendiente fue transformado mediante la función arcoseno) con relación a su incidencia comparativa entre las 16 poblaciones (grupos) de especies amenazadas (Zar, 1999).

Resultados

Se registraron 16 especies (Tabla I) consideradas amenazadas en su supervivencia (Semarnat, 2001), de las cuales 3 se encuentran listadas como tales en el apéndice CITES I y 13 en CITES II (Hunt, 1999) y 8 en el libro Rojo de la IUCN (2006). La región sustenta 43 taxa adicionales de Cactaceae, cifra que la convierte en un centro de diversidad en el Desierto Chihuahuense (Chávez *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2006). La presencia de minas (bancos de extracción de pétreos) en el hábitat de las especies resultó significativamente diferente respecto a su

TABLA II
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA COMPARAR EL EFECTO DE FACTORES
DE RIESGO POTENCIAL ENTRE POBLACIONES DE CACTÁCEAS
AMENAZADAS DEL SEMIDESIERTO QUERETANO

| | Factores | | | | |
|------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------|---------|-----------|
| | Bancos de extracción (minas) | Centros de población | Áreas agrícolas | Caminos | Pendiente |
| F _(15, 123) | 2,34 | 1,16 | 0,98 | 1,19 | 1,7 |
| p | 0,008 * | 0,31 | 0,46 | 0,29 | 0,07 |

* Significativo.

incidencia como agente de perturbación, tanto a nivel intraespecífico como interespecífico. El resto de las variables inciden homogéneamente entre todas las especies (Tabla II), lo que es indicativo de procesos de perturbación semejantes entre el contingente de cactáceas amenazadas.

Análisis multivariado de la comunidad

El análisis de factores reveló un efecto sinérgico entre algunas variables (Figura 2). En el primer factor (30,8% de variación explicada) están mejor representados los centros de población y las áreas agrícolas, implicados en la transformación de hábitat. Por su parte, los caminos y minas en el segundo factor (23% de variación), relacionados con la destrucción de hábitat; mientras que la pendiente está pobremente representada en ambos factores.

Análisis de componentes principales

De acuerdo con los ejes 1 y 2 del ACP (78% de varianza acumulada), la densidad extremadamente baja de individuos y la ausencia de plántulas en el 69% de las especies tuvieron una influencia notoria (Figura 3), mientras que el

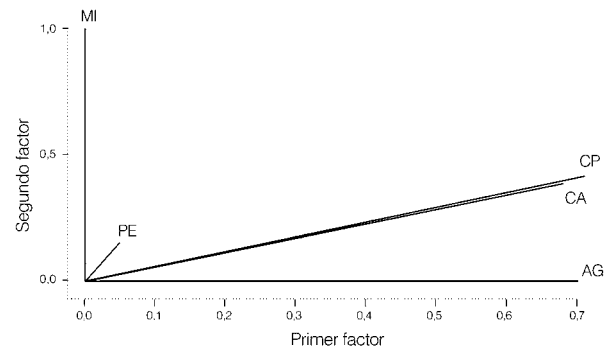


Figura 2. Análisis de factores en poblaciones de cactáceas del Semidesierto Queretano. MI: minas, PE: pendiente, CP: centros de población, CA: caminos, y AG: áreas agrícolas.

12% se encontraron asociadas a una mayor abundancia y sólo tres especies (19%) parecen no estar vinculadas estrechamente a las limitantes demográficas evaluadas.

Las variables de perturbación antrópica explicadas por los dos primeros ejes de ACP (62% de la variación) estuvieron bien representadas entre las especies (Figura 4). Los agentes de disturbio inciden de manera importante entre las especies, ya sea de manera individual o combinada. Las especies acusan pérdida, fragmentación o modificación de hábitat generados principalmente por causas antrópicas. Esta tendencia se presentó de modo relativamente homogéneo entre las especies. las fuentes de perturbación se encuentran a menos de 1 km de distancia de las poblaciones de cactáceas.

Discusión

La mitad del contingente de cactáceas estudiado se ubica en categorías con riesgo de extinción y el resto alcanza estatus de especies protegidas según las leyes mexicanas, las cuales son relativamente consistentes con las leyes internacionales (Arias *et al.*, 2005). No obstante, un análisis reciente en la región de estudio (Sánchez *et al.*, 2006) señaló que dado el nivel de riesgo local de las especies protegidas, la mayoría de éstas cambiarían su actual estatus de conservación hacia categorías con mayor riesgo de extinción. En consecuencia, el Semidesierto Queretano podría alcanzar un número alarmante de especies amenazadas, el mayor en el Desierto Chihuahuense.

Debe advertirse la existencia de atributos demográficos generalmente inherentes a los taxa amenazados, como son la baja densidad de individuos y una reducida área de distribución, a los que debe agregarse el efecto de los factores de disturbio. En este contexto, hay grupos de especies asociadas a densidades poblacionales extremadamente bajas (<50 individuos; e.g. *E. grusonii*, *M. herrerae*, *T. hastifer*), bajas (50-500 individuos; e.g. *E. schmollii*, *L. diffusa*) y a la escasez de plántulas (e.g. *T. pseudomacrolele*, *M. microhelia*), aunque en este patrón demográfico se entremezclan especies en las tres categorías de riesgo: protegidas, amenazadas y en peligro de extinción. En cambio, las abundancias >500 individuos (e.g. *S. disciformis* y *A. ornatum*) son muy poco frecuentes, o aquellas especies sin relación aparente con esta serie de características demográficas (e.g. *E. platyacanthus*, *F. histrix*), las cuales, aunque con estatus de protegidas, son de amplia distri-

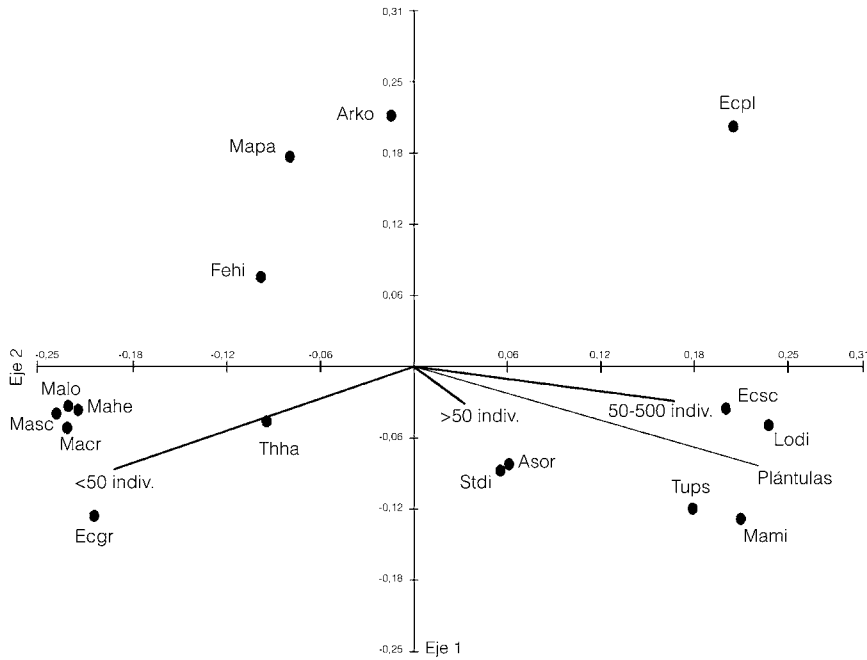


Figura 3. Diagrama de ACP para variables demográficas (vectores) y especies (●). Arko: *Ariokarpus kotschoubeyanus*, Asor: *Astrophytum ornatum*, Ecgr: *Echinocactus grusonii*, Ecpl: *E. platyacanthus*, Ecsc: *Echinocereus schmollii*, Fehi: *Ferocactus histrix*, Macr: *Mammillaria crinita*, Mahe: *M. herrerae*, Malo: *M. longimama*, Mami: *M. microhelia*, Mapa: *M. parkinsonii*, Masc: *M. schiedeana*, Lodi: *Lophophora diffusa*, Stdi: *Strombocactus disciformis*, Thha: *Thelocactus hastifer*, Tups: *Turbinicarpus pseudomacrolele*.

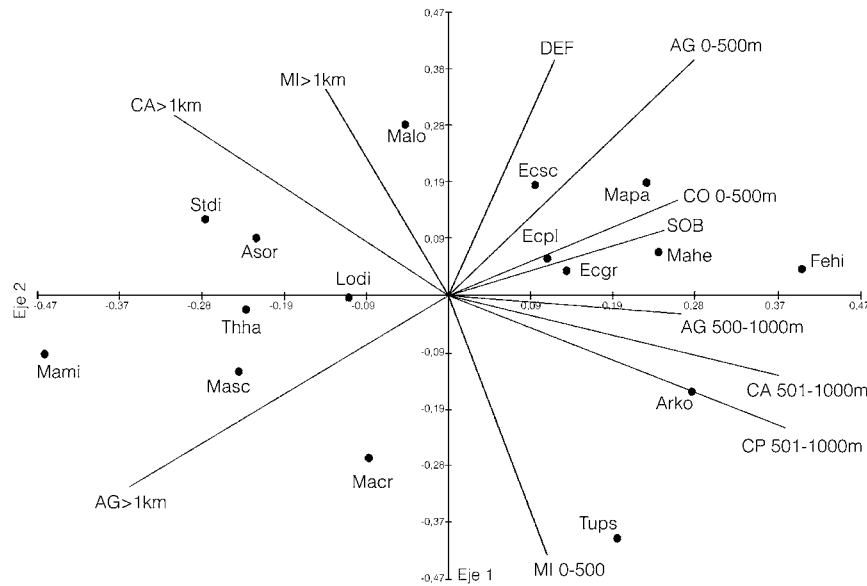


Figura 4. Diagrama de ACP para agentes de disturbio relevantes (vectores) y especies (●). DEF: deforestación, SOB: sobrepastoreo, AG: áreas agrícolas, CA: caminos, MI: minas, y CP: centros de población. Para la identificación de las especies, ver Figura 3.

bución y abundancia relativamente alta en el territorio mexicano. Por lo tanto, para fines de conservación y manejo en la región debe considerarse i) el nivel de amenaza de las especies más abundantes y de rango geográfico amplio, en contraste con ii) los rasgos demográficos y el reducido ámbito de distribución de los taxa con mayor riesgo de extinción. Ambas características definen el grado de endemismo y/o microendemismo, el cual se concentra en las porciones sureste

y noroeste del 'Cuadrante Tolimán', que representan las áreas prioritarias para la protección de esta flora cactológica.

Considerando un escenario demográfico instantáneo, algunos de los taxa amenazados presentan densidades poblacionales extremadamente bajas (Hernández-Oria *et al.*, 2003; Hernández-Oria *et al.*, 2006), así como escasez de plántulas, lo que podría reflejar un pobre o nulo reclutamiento durante largos períodos de tiempo; además de una estructura de tamaños con baja proporción de individuos pequeños (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Ortega, 2004) y, consecuentemente, un tamaño efectivo poblacional muy reducido (Rosas y Mandujano, 2002).

Por otra parte, se argumenta que las cactáceas en riesgo o amenazadas son más vulnerables a la extinción (Hernández y Godínez, 1994; Hernández y Bárcenas, 1996; Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000) como resultado de i) áreas de distribución y abundancia restringidas (Martínez-Ávalos *et al.*, 1993; Martínez *et al.*, 2001; Hernández-Oria *et al.*, 2003; Martínez-Ávalos y Jurado, 2005; Matías-Palafox y Jiménez-Sierra, 2006) y ii) rareza de aspectos reproductivos, fenológicos o ecológicos (Valiente Banuet *et al.*, 1991; Suzán *et al.*, 1994; Rodríguez y Ezcurra, 2000; Mandujano *et al.*, 2002).

El presente estudio corrobora que en términos de perturbaciones (*sensu* Rykiel, 1985 y Liu *et al.*, 2006), la transformación y destrucción de hábitat de origen antropogénico es la principal causa de riesgo para la supervivencia de las cactáceas amenazadas del Semidesierto Queretano. Este factor por sí solo representa una seria limitante que afecta de manera aditiva y negativa al desempeño natural de los taxones amenazados; sin embargo el patrón de perturbación encontrado no debe asumirse como el responsable exclusivo de los atributos demográficos observados en las

especies. En trabajos anteriores se había especulado sobre este causal de perturbación en otras regiones de México (Arias, 1993; Hernández y Bárcenas, 1995, 1996).

Todas las especies estudiadas están afectadas directamente por factores de riesgo antrópico, prevaleciendo bajo un patrón relativamente homogéneo y regular en cuanto a la incidencia y tipo de perturbación, el cual en apariencia es independiente del estatus de conservación, formas de vida o características demográficas. Si bien es posible distinguir grupos más o menos asociados con ciertas variables de perturbación, la sinergia de éstas tiene un impacto semejante en todo el contingente de cactáceas. Esta interacción genera un esquema significativo donde pueden diferenciarse dos grandes factores: los que transforman el hábitat (centros de población, agricultura, deforestación, sobrepastoreo) y los que destruyen el hábitat (minas o bancos de extracción de pétreos, caminos), de modo que el resto de los agentes inciden en una u otra forma de perturbación, pero su efecto global como factor potencial es esencialmente el mismo, tanto cualitativa como cuantitativamente. Únicamente las minas estuvieron representadas diferencial y significativamente, ya que el hábitat de *T. pseudomacroleche* y *A. kotschoubeyanus* está desapareciendo debido a su proximidad de bancos de materiales pétreos. Salvo esta excepción, y a diferencia de lo que ocurre con los efectos puramente biológicos, en el patrón de perturbación no destacan zonas con mayor o menor impacto dentro del 'Cuadrante Tolimán'.

Los factores de perturbación humana han ejercido presión considerable sobre las Cactaceae al menos en las últimas tres décadas (Arias *et al.*, 2005) y se considera que este patrón de perturbación trae consecuencias negativas netas en varios aspectos de las especies afectadas. Por ejemplo, la sinergia entre la fragmentación y el deterioro de hábitat suelen actuar de manera crónica o regular (Martorell y Peters, 2005), de modo que el impacto se refleja tanto en las especies como en las comunidades acompañantes, estructural y funcionalmente (Marvier *et al.*, 2004). La incidencia y prevalencia de esta forma de perturbación se ha reconocido históricamente en las zonas áridas y semiáridas de México en general (Flores y Gerez, 1988; Challenger, 1998), y de Querétaro en particular (Balbóltin, 1993). Se asume además que en Latinoamérica y en general en el tercer mundo, el deterioro ambiental se caracteriza por ser continuo-acumulativo (crónico; e.g. extracción de leña, sobrepastoreo, expansión de la frontera agrícola), cuyo efecto local y global es la transformación y/o destrucción de hábitat en mayor o menor medida (Gunderson, 2000). En particular, el sobrepastoreo y el ganado feral equino y vacuno son reconocidos como

una seria amenaza para la flora de zonas semiáridas (Abdel-Raouf, 2001; Hernández *et al.*, 1999). Aunque en el presente trabajo este factor solo es analizado cualitativamente, se ha demostrado con parámetros medibles y cuantificables que el sobrepastoreo sí afecta negativamente la densidad de especies amenazadas en el territorio mexicano (Martorell y Peters, 2005; Hernández-Oria *et al.*, 2007).

Actualmente, el consenso general es que en las últimas décadas las diversas y aceleradas modificaciones ambientales de origen antrópico en las regiones áridas y semiáridas, han ejercido un severo y negativo impacto sobre varias especies de cactáceas (Bravo y Sánchez-Mejorada, 1991a; Arias 1993; Scheinvar, 2004). Existen estudios específicos que dan cuenta del papel directo o indirecto del deterioro de hábitat en la supervivencia de cactáceas mexicanas (Martínez-Ávalos *et al.*, 2004; Carrillo *et al.*, 2005; Matías-Palafox y Jiménez-Sierra, 2006). Históricamente, estas plantas también han sido objeto de colecta ilegal excesiva, tanto para fines comerciales como de colección (Arias, 1993; Hernández y Bárcenas, 1995; Ortega, 2004; Arias *et al.*, 2005). Estos estudios y nociones apoyan la idea que la fragmentación y pérdida de hábitat son componentes críticos para la supervivencia de cactáceas en México; y son convergentes con los factores de riesgo antrópico que inciden en taxa amenazados encontrados en este trabajo.

El contingente cactológico observado en la zona de estudio posee una u otra de las características que definen rareza (Rabinowitz, 1981), y la degradación y/o destrucción de hábitat podría acelerar esta condición. Por ejemplo, numerosas especies exhiben alta especificidad de hábitat (Zavala-Hurtado y Valverde, 2003) y su ocurrencia podría restringirse aún más por la pérdida de hábitat. En el caso de aquellas en las que el establecimiento depende de fenómenos planta-planta-nodrizas (Hernández-Oria *et al.*, 2006), la eventual carencia de nodrizas podría limitar el proceso de expansión y reclutamiento. En general, se aduce que los taxa amenazados son altamente sensibles a la calidad y cantidad de hábitat (Martorell y Peters, 2003), condición estrechamente asociada a la abundancia. Se ha demostrado que una baja densidad poblacional sí está vinculada a un mayor disturbio y que el tamaño poblacional reducido implica un alto riesgo de disminución de la abundancia por efecto de una mayor presión del disturbio. (Martorell y Peters, 2005; Hernández-Oria *et al.*, 2007). Esto sugiere que una condición demográfica crucial para las especies es sumamente vulnerable ante este agente perturbador.

La rareza en términos del área de ocupación es notoria entre la comu-

nidad de cactáceas amenazadas, dado que la mayoría de las especies tienen distribuciones muy restringidas (microendémicas y endémicas regionales de la zona árida Queretano-Hidalguense) y solo dos especies (*E. platyacanthus* y *F. histrix*) tienen una distribución relativamente amplia (Guzmán *et al.*, 2003; Chávez *et al.* 2006). El gradiente de rareza y la abundancia observados parecen estar correlacionados: las especies más raras tienden a ser menos abundantes y viceversa, como se evidenció en la ordenación. Las variables del ambiente biofísico por sí solas no parecen influir decisivamente en el patrón de distribución y abundancia de las especies. Una mayor proporción geográfica del Semidesierto Queretano se enclava en la cuenca del Río Estórax, una región heterogénea en condiciones biofísicas (Zamudio, 1984; Sánchez *et al.*, 2006); sin embargo, casi la totalidad del ensamble de taxa amenazados se distribuye en condiciones de temperatura y precipitación relativamente homogéneas (Sánchez *et al.*, 2006). En cambio, la región presenta un mosaico variado de formaciones xerófitas asociadas a sustratos calizos de edad cretácica principalmente, que reúnen al mayor número de especies amenazadas (Chávez *et al.*, 2006). Más importantes al parecer son las condiciones existentes a escala microclimática, dado que se especula que esta condición ha propiciado que un número importante de cactáceas microendémicas sean hábitat-especialistas. Sobre este aspecto, algunos estudios confirman una alta especificidad de hábitat en taxa amenazados y microendémicos (Hernández-Oria *et al.*, 2003, 2006; Zavala-Hurtado y Valverde, 2003).

En conclusión, los patrones de perturbación encontrados en las especies de cactáceas amenazadas del Semidesierto Queretano sugieren que: i) los factores de riesgo para su supervivencia son, en esencia, de origen antrópico y demográfico; sin embargo, es necesario dilucidar experimentalmente el impacto neto que podrían tener estos factores, con respecto a una condición natural, en la supervivencia de individuos; ii) ambos causales podrían poner en riesgo de extinción al ensamble de especies en la región; iii) las causas de perturbación antrópica prevalecen en el medio rural semiárido, como consecuencia de una situación socioeconómica determinada históricamente (Painter y Durham, 1995), a juzgar por los modos de apropiación de la naturaleza que han tenido lugar en la región desde el s. XVII hasta el presente (Olvera, 1996; Meyer, 2001); y iv) la baja abundancia es una característica demográfica generalizada en la mayor parte de las especies amenazadas.

Desafortunadamente, la región del Semidesierto Queretano no está incluida en alguna reserva natural protegida en la actualidad, a pesar de su alta diversi-

dad y endemismo, distribuidos heterogéneamente en la zona, condición que plantearía dificultades para su conservación. Al respecto, Sánchez *et al.* (2006) mostraron mediante un análisis de complementariedad multicriterio que esta riqueza biológica quedaría incluida en un área <900km² dentro del 'Cuadrante Tolimán'. Sin protección oficial, el ambiente natural donde se desarrolla este ensamblaje cactológico está sujeto al constante disturbio crónico y el depauperamiento gradual de las comunidades vegetales que coexisten con las cactáceas. Dada la relevancia de los factores de disturbio, la alta especificidad de hábitat y el número de microendemismos, es también de importancia plantear un manejo a nivel regional y local de uso de suelo. Si no se conducen acciones efectivas para la conservación de esta riqueza biológica en el corto plazo, el riesgo de extinción está latente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Leia Scheinvar la traducción del resumen al portugués y el financiamiento del Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Querétaro (proyecto FOMIX-QRO-2003-CO1-10152).

REFERENCIAS

- Abdel-Raouf M (2001) Impact of grazing intensity and human disturbance on the population dynamics of *Alkanna orientalis* growing in Saint Catherine Mountains, South SINAB, Egypt. *J. Biol. Sci.* 4: 1020-1025.
- Arias S (1993) Cactáceas: Conservación y diversidad en México. En Gío-Argáez R, López-Ochotena E (Eds.) *Diversidad Biológica en México*. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. Vol. Esp. (XLIV). pp. 109-115.
- Arias S, Guzmán U, Mandujano MC, Soto M, Golubov J (2005) Las especies mexicanas de cactáceas en riesgo de extinción. I. Una comparación entre los listados NOM-059-ECOL-2001 (México), La Lista Roja (IUCN) y CITES. *Cact. Suc. Mex.* 50: 100-125.
- Balbotín JM (1993) *Estadística del estado de Querétaro (1854-1855)*. Gobierno del estado de Querétaro. México. 127 pp
- Bárceñas RT (1999) *Patrones de distribución de cactáceas en el Estado de Guanajuato*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 24 pp.
- Bravo-Hollis H, Sánchez-Mejorada H (1978) *Las Cactáceas de México*. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 643 pp.
- Bravo-Hollis H, Sánchez-Mejorada H (1991a) *Las Cactáceas de México*. Vol. II. Universidad Nacional Autónoma de México. 404 pp.
- Bravo-Hollis H, Sánchez-Mejorada H (1991b) *Las Cactáceas de México*. Vol. III. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. 743 pp.
- Buist M, Coates D, Yates C (2002) Rarity and threat in relation to the conservation of *Acacia* in Western Australia. *Cons. Sci. W. Aust.* 4: 36-53.
- Caldecott JO, Jenkins MD, Johnson TH, Groombridge B (1996) Priorities for conserving global species richness and endemism. *Biol. Cons.* 5: 699-727.
- Carrillo I, Golubov J, Rojas-Aréchiga M, Mandujano MC (2005) Distribución y estatus de conservación de *Ferocactus robustus* (Pfeiff.) Britton & Rose. *Cact. Suc. Mex.* 50: 36-55.
- Challenger A (1998) *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. CONABIO/IBUNAM/Agrupación Sierra Madre. México. 847 pp.
- Chávez R, Sánchez E, Hernández M, Hernández-Oria JG, Hernández R (2006) Propagación de especies amenazadas de la familia Cactaceae del Semidesierto Queretano. *Bol. Soc. Latinam. Carib. Cact. Suc.* 3: 9-13.
- Flores O, Gerez P (1988) *Conservación en México: síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso de suelo*. INIREB. Xalapa, México. 302 p.
- García E (1988) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Larios. México. 71 pp.
- Godínez-Álvarez H, Valverde T, Ortega-Baes P (2003) Demographic trends in the Cactaceae. *Bot. Rev.* 69: 173-203.
- Goettsch B, Hernández H (2006) Beta diversity and similarity among cactus assemblages in the Chihuahuan Desert. *J. Arid Env.* 65: 513-528.
- Gómez-Hinostrosa C, Hernández H (2000) Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, México. *Biodiv. Cons.* 9: 403-418.
- Gunderson LH (2000) Ecological resilience in theory and application. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 31: 425-439.
- Guzmán U, Arias S, Dávila P (2003) *Catálogo de cactáceas mexicanas*. UNAM/CONABIO, México. 315 pp.
- Hartley S, Kunin E (2003) Scale dependency of rarity, extinction risk, and conservation priority. *Cons. Biol.* 17: 1559-1570.
- Hernández HM, Bárceñas RT (1995) Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution patterns. *Cons. Biol.* 9: 1176-1188.
- Hernández HM, Bárceñas RT (1996) Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: II. Biogeography and conservation. *Cons. Biol.* 10: 1200-1209.
- Hernández HM, Godínez H (1994) Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Bot. Mex.* 26: 33-52.
- Hernández L, Barral H, Halffter G, Sánchez S (1999) A note on the behavior of feral cattle in the Chihuahuan Desert of Mexico. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 63: 259-267.
- Hernández HM, Gómez-Hinostrosa C, Bárceñas RT (2001) Diversity, spatial arrangement, and endemism of Cactaceae in the Huizache area, a hot spot in the Chihuahuan Desert. *Biod. Cons.* 10: 1097-1112.
- Hernández H, Gómez-Hinostrosa C, Goettsch B (2004) Check list of Chihuahuan Desert Cactaceae. *Harvard Pap. Bot.* 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. *Cact. Suc. Mex.* 48: 100-110.
- Hernández-Oria JG, Chávez R, Sánchez E (2006) Estado de conservación de *Echinocereus schmollii* (Weing.) N. P. Taylor en Cadereyta de montes, Querétaro, México. *Cact. Suc. Mex.* 51: 68-95.
- Hernández-Oria JG, Chávez R, Sánchez E (2007) Efecto del disturbio crónico en *Echinocereus schmollii* (Weing.) N. P. Taylor, una cactácea en peligro de extinción en el Semidesierto Queretano. *Zonas Áridas* 10: 59-67.
- Hunt D (1999) *CITES Cactaceae checklist*. Royal Botanic Gardens Kew/IOS. Remous Milborne Port, RU. 315 pp.
- INEGI (1986) *Nomenclator y Anexo cartográfico del Estado de Querétaro, México*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. 143 pp.
- IUCN (2006) *Red List of Threatened Species*. International Union for Conservation Nature. <http://www.iucnredlist.org>.
- Jongman RHG, Ter Braak CJF, Van Tongeren OFR (2000) *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University Press. Londres, RU. 299 pp.
- Kovach WL (1999) *MVSP-A multivariate statistical Package for Windows, ver. 3.1*. Kovach Computing Services. Pentraeth, RU.
- Liu HY, Lin ZS, Wen T (2006) Responses of metapopulation dynamics to two different kinds of habitat destruction caused by human activities. *Plant Ecol.* 188: 53-65.
- 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. *Southwest. Nat.* 47: 162-168.
- Martínez-Ávalos JG, Jurado E (2005) Geographic distribution and conservation of Cactaceae from Tamaulipas Mexico. *Biodiv. Cons.* 14: 2483-2506.
- Martínez-Ávalos JG, Suzán H, Salazar CA (1993) Aspectos ecológicos y demográficos de *Ariocarpus trigonus* (Weber) Schumann. *Cact. Suc. Mex.* 38: 30-38.
- Martínez-Ávalos JG, Mandujano MC, Golubov J, Soto M, Verhulst J (2004) Análisis del método de evaluación de riesgo (MER) del "falso peyote" (*Astrophytum asterias* (Zucc) Lem.) en México. *Cact. Suc. Mex.* 94 118-127.
- Martínez D, Flores-Martínez A, López F, Manzanero G (2001) Aspectos ecológicos de *Mammillaria oteroi* Glass & Foster en la región mixteca de Oaxaca, México. *Cact. Suc. Mex.* 4: 32-40.
- Martorell C, Peters E (2003) *Disturbiómetro*. Taller sobre cactáceas mexicanas en el Apéndice I de CITES. Oaxaca, México.
- Martorell C, Peters E (2005) The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biol. Cons.* 124: 197-207.
- Marvier M, Kareiva P, Neubert M (2004) Habitat destruction, fragmentation and disturbance promote invasion by habitat generalists in a multispecies metapopulation. *Risk Anal.* 24: 869-878.
- Matías-Palafox ML, Jiménez-Sierra C (2006) Evaluación del riesgo de extinción de las poblaciones de *Turbincarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha, cactácea endémica de la Barranca de Metztitlán, México. *Cact. Suc. Mex.* 51: 100-110.

- Medellín LF (1982) The Chihuahuan Desert. En Bender L (Ed.) *Reference handbook on the deserts of North America* 6. Greenwood Press. West port, EEUU. pp. 321-381.
- Meyer F (2001) *Querétaro árido en 1881. Una visita gubernamental a Tolimán, Colón y Peñamiller*. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 143 pp.
- Olvera MO (1996) *Los tiempos del patrón. Danza de mil soles: Nivel de vida y reparto agrario en una zona rural de comunidades campesinas en los municipios de Colón y El Marqués, Qro.* Tesis. Universidad Autónoma de Querétaro. 186 pp.
- Ortega VR (2004) *Rescate y caracterización ecológica de especies vegetales en estatus crítico de conservación, en el área del proyecto hidroeléctrico Zimapán, México.* Tesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 72 pp.
- Painter M, Durham WH (1995) *The social causes of environmental destruction in Latin America*. University of Michigan Press. Ann Arbor, MI, EEUU. 265 pp.
- Rabinowitz D (1981) Seven forms of rarity. En Syngé H (Ed) *The Biological Aspects of Rare Plants Conservation*. Wiley. Chichester, UK. pp 205-217
- Rodríguez OC, Ezcurra E (2000) Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea* en el valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Cact. Suc. Mex.* 45: 4-14.
- Rosas B, Mandujano MC (2002) La diversidad de historias de vida de cactáceas, aproximación por el triángulo demográfico. *Cact. Suc. Mex.* 47: 33-41.
- Rykiel EJR (1985) Towards a definition of ecological disturbance. *Aust. J. Ecol.* 10: 361-365.
- Rzedowski J (1978) *La vegetación de México*. Limusa. México. 432 pp.
- Sánchez E, Chávez R, Hernández-Oria JG, Hernández MM (2006) *Especies de Cactaceae prioritarias para la conservación en la zona árida Queretano-Hidalguesa*. Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Querétaro. 97 pp.
- SEMARNAT (2001) *Norma Oficial Mexicana NOM-059-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*. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación. México. 85 pp.
- Scheinvar L (2004) *Flora cactológica del estado de Querétaro: diversidad y riqueza*. Fondo de Cultura Económica. México. 390 pp.
- Suzán H, Habhan G, Patten D (1994) Nurse plant and floral biology of a rare night-blooming cereus, *Peniocereus striatus* (Brabdegee) F. Buxbaum. *Cons. Biol.* 8: 461-470.
- Valiente-Banuet A, Bolongaro-Crevenna A, Briónes O, Ezcurra E, Rosas M, Núñez H, Barnard G, Vázquez E (1991) Spatial relationships between cacti and nurse shrub in a semi-arid environment in central México. *J. Veget. Sci.* 2: 15-20.
- Zamudio S (1984) *La vegetación de la cuenca del río Estórax y sus relaciones fitogeográficas*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 275 pp.
- 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. 92 pp.
- Zar JH (1999) *Biostatistical Análisis*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ, EEUU. 718 pp.
- Zavala-Hurtado JA, Valverde PL (2003) Habitat restriction in *Mammillaria pectinifera*, a threatened endemic Mexican cactus. *J. Veg. Sci.* 14: 891-898.

FACTORS FOR ENDANGERED CACTACEAE IN A SEMI-ARID REGION OF THE SOUTHERN CHIHUAHUAN DESERT, MEXICO

José Guadalupe Hernández-Oria, Ruth Chávez-Martínez and Emiliano Sánchez-Martínez

SUMMARY

The Querétaro semi-arid region, in central Mexico, harbors one of the main threatened cacti assemblages in the Chihuahua Desert, the richest cactus diversity area in the world. For several decades, endangered cacti have been associated with a complex problem for their survival, including mainly anthropogenic disturbance and illegal collecting. Threatened species are frequently recognized as biologically rare, given their limited special distribution and abundance. Nevertheless, the influence of potential risk factors on the natural development of threatened cacti is largely unknown. Thus, a set of disturbance factors was evaluated to assess their effects on threatened

populations. Fragmentation and destruction of habitat derived from human activities, as well as the lack of seedlings and the extremely low density of some species, were found to be the major causes influencing the natural development of plants and threatening the cacti community. Results suggest that partial and total habitat transformation, as well as adverse demographic features should be considered as the major risk for cacti vulnerability and survival. Conservation measures should also include protection of the dry environment, since it is a critical and key element and could decrease the extinction risk of this cacti assemblage.

FATORES DE RISCO NAS CACTACEAE AMEAÇADAS DE UMA REGIÃO SEMIARIDA NO SUL DO DESERTO CHIHUAHUENSE, MÉXICO

José Guadalupe Hernández-Oria, Ruth Chávez-Martínez e Emiliano Sánchez-Martínez

RESUMO

A região semi-árida Queretaroana, no centro do México, abriga uma das principais coleções de espécie ameaçadas do Deserto Chihuahuense, área mais rica do mundo em diversidade de cactos. Há várias décadas, complexos problemas de sobrevivência estão associados aos cactos ameaçados, incluindo principalmente distúrbios antropogênicos e coletas ilegais. Em adição, os cactos ameaçados frequentemente são reconhecidos biologicamente como espécies raras, devido a seu estreito rango de distribuição geográfica e pequena densidade nas populações. Sem embargo, desconhece-se a influência de fatores com risco potencial, tais como atividades humanas e demográficas, relacionadas com a presença dos cactos ameaçados. Avaliamos um grupo de fatores de distúrbio para explorar seus efeitos nas populações de cactos ameaçados e analisamos relações de

desenvolvimento de espécies, por análise multivariada. Encontramos que a fragmentação e destruição de habitats derivados de atividades humanas são fatores de grande influência no desenvolvimento natural de plantas, assim como a falta de plântulas e a extremamente baixa densidade de algumas espécies, são a maior causa de ameaça para as comunidades de cactos. Os resultados sugerem que uma transformação parcial ou total do habitat, assim como características demográficas deveriam ser consideradas como o maior risco para a sobrevivência e vulnerabilidade dos cactos. Por tanto, conservação biológica também deveria incluir proteção do meio ambiente bio-físico, já que é um elemento crítico e chave para a permanência desta coleção de cactos. Esta condição poderia evitar o risco de extinção.