



# CAUSAS DE MORTALIDAD INDIVIDUAL DEL “FALSO PEYOTE” *ASTROPHYTUM ASTERIAS* (CACTACEAE); UNA CACTÁCEA AMENAZADA: EL EFECTO DE DAÑO POR HERBIVORÍA EN POBLACIONES MEXICANAS

Dr. José G. Martínez-Ávalos, [jmartin@uat.edu.mx](mailto:jmartin@uat.edu.mx);

Dr. Jordan Golubov, [gfordan@correo.xoc.uam.mx](mailto:gfordan@correo.xoc.uam.mx);

Dra. María C. Mandujano, [mcommandu@miranda.ecologia.unam.mx](mailto:mcommandu@miranda.ecologia.unam.mx)\*\* y

Dr. Enrique Jurado, [ejurado@fcf.uanl.mx](mailto:ejurado@fcf.uanl.mx)\*\*\*

## RESUMEN

El conocimiento sobre las causas de mortalidad en poblaciones naturales de cactáceas en peligro de extinción no está documentado. En particular en este estudio nos enfocamos en cuatro poblaciones de *Astrophytum asterias* en donde se encuentra el mayor número de individuos de esta especie. En dos tipos de vegetación en donde se encuentra *A. asterias* (matorral espinoso tamaulipeco [MET] y matorral submontano [MS]) medimos la mortalidad individual por tres causas: el fitopatógeno *Phytophthora infestans*, un cerambícido sp. y la ardilla terrestre *Spermophilus mexicanus*. Encontramos que el daño causado por la combinación de patógeno y herbívoro generó la reducción del 50% del tamaño de la población. De estos factores, la causa más importante fue mortalidad por *S. mexicanus* seguido del cerambícido en MET y *P. infestans* en MS. La mortalidad se concentró en los individuos de tamaño pequeño, aunque los individuos de tamaños grandes también fueron afectados. Se necesitan más estudios cuantitativos en condiciones naturales para establecer las causas de mortalidad y apuntalar los esfuerzos de conservación para mejorar los planes de manejo de esta especie amenazada.

## ABSTRACT

Little is known about the causes of mortality in natural populations of threat-

ened cactus species. In particular we focus on the endangered *Astrophytum asterias* in four populations where most individuals of the species are found. At two sites one of each vegetation type (Tamaulipan Thornscurb [MET] and Piedmont thornscurb [MS]) we measured individual mortality by three causes: the plant pathogen *Phytophthora infestans*, a cerambicide beetle and the terrestrial squirrel *Spermophilus mexicanus*. We found that damage by the combination of pathogen and herbivore meant a reduction of more than 50% in population size. From these factors, the most important cause of death was *S. mexicanus* followed by the tenebrionid beetle in MET and *P. infestans* in MS. Mortality was concentrated in the small size categories, even though large size plants were also affected albeit to a lesser extent. More quantitative studies in field conditions are necessary to establish sound conservation efforts that could improve the recovery plans for this endangered plant species.

Palabras clave: cactaceae; mortalidad; *Phytophthora infestans*; hongo patógeno; *Spermophilus mexicanus*; cerambycidae.

## INTRODUCCIÓN

La familia Cactáceas está compuesta por una lista larga de especies (≈ 1800 especies) muchas de ellas amenazadas o en riesgo de extinción, debido a di-

versos factores que disminuyen las poblaciones (Arias et ál., 2005). Entre las actividades principales se encuentra la colecta ilegal de plantas por aficionados, la pérdida de poblaciones por diversas actividades humanas (cambio de uso del suelo) y la pérdida de individuos por mortalidad. Numerosos estudios demográficos realizados en cactáceas de diferentes formas biológicas han manifestado este impacto sobre poblaciones de cactáceas en riesgo de extinción (Contreras y Valverde, 2002; Clark-Tapia et ál., 2005; Esparza-Olguín et ál., 2005; Mandujano et ál., 2001; Rae y Ebert, 2002). Estudios comparativos entre formas de vida y autocrusa en cactáceas han determinado que el proceso demográfico más importante es la sobrevivencia y el establecimiento de individuos (Godínez-Álvarez et ál., 2003; Rosas y Mandujano, 2002). Sin embargo, pocos estudios han observado la mortalidad presentada anualmente de individuos juveniles y adultos (Esparza-Olguín et ál., 2005; Schmalzel et ál., 1995; Steenbergh y Lowe, 1974; Valverde y Zavala-Hurtado, 2006), mientras que muchos estudios han intentado cuantificar la edad y mortalidad de individuos en etapas juveniles y adultas mediante observaciones directas en poblaciones naturales de cactáceas de larga vida (Godínez-Álvarez et ál., 2003; Leirana-Alcocer y Parra-Tabla, 1999; Steenbergh y Lowe, 1974). Aunado a esto, los modelos

\*Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. \*\*Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México

\*\*\*Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

demográficos no incluyen los factores ecológicos que son la causa del aumento o disminución de la sobrevivencia de plantas, necesarios para un plan de recuperación (Schemske et ál., 1994) y solamente pocos estudios se han dirigido a evaluar el efecto de los factores sobre la sobrevivencia de individuos adultos (Esparza-Olguín et ál., 2005; Mandujano et ál., 1998; Valverde et ál., 2004).

Por lo tanto, poco se conoce sobre el daño natural por herbivoría y enfermedad que pueden tener algunas poblaciones de cactáceas. Solamente pocos casos han identificado a esta causa, pero la mayoría son en especies de cactáceas cultivadas o invasoras tales como *Hylocereus* y *Opuntia* (Bashan et ál., 1995; Hoffman et ál., 1998; Valencia-Botín et ál., 2003). En poblaciones naturales de cactáceas, el daño por enfermedad o herbivoría no ha sido bien documentado ya que sólo pocos estudios reportan el impacto por insectos (Blom, 1987; Burger y Louda, 1995), mamíferos (Hoffman et ál., 1993; Kass, 2001) y por hongos patógenos (Bashan et ál., 1995). Sin embargo, hay pocos estudios enfocados sobre especies de cactáceas amenazadas, cuando el número de especies a nivel nacional e internacional es alto (Kass, 2001; Stiling y Moon, 2001; Valverde y Zavala-Hurtado, 2006).

En especies amenazadas, muchas de las cuales tienen poblaciones pequeñas, el efecto de patógenos y herbivoría puede ser un factor que incrementa el riesgo de extinción por ser poblaciones de tamaño pequeño, limitadas por una variabilidad genética (la cual reduce la habilidad por la respuesta a patógenos y por la herbivoría), lo que hace a las poblaciones más susceptibles a fluctuaciones de eventos estocásticos demográficos (De Castro y Bolker, 2005). Sin embargo, la sobrevivencia tiene un papel de relevancia en las interacciones bióticas (competencia y predación) ya que una pequeña parte es un factor de amenaza en las especies de plantas (Foin et ál., 1998; Smith et ál., 2006). La identi-

ficación de causas biológicas (u otras) o factores que influyen en la vulnerabilidad o importancia de la edad de vida de plantas amenazadas o raras, podría contribuir con la conservación de plantas. La importancia de los factores biológicos podrían ser especialmente importantes cuando las tasas vitales se ven afectadas en cualquier edad de vida (ej. plántulas) o en plantas adultas que decrecen la sobrevivencia y aumentan la reproducción. El propósito de este estudio fue: 1) documentar el daño por un patógeno y herbivoría sobre *Astrophytum asterias*; y 2) determinar los niveles de daño por comunidad vegetal y tamaño de individuos de la especie.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

*Astrophytum asterias* (Zucc.) Lem. es una planta pequeña, globosa de 6-10 cm de diámetro de color verde grisáceo, con tricomas, sin espinas y con 6-9 areolas (figura 2A). Las flores son amarillas con el centro rojizo. El fruto es de color rojizo, alargado y carnoso, y produce de 56-95 semillas de color café oscuro (Rocha, 1995). Esta especie fue enlistada en octubre de 1993 como especie con prioridad 2 por el U. S. Fish and Wildlife Service (USFWS, 1993), en CITES en el Apéndice 1 (figura 2) (Lüthy, 2001) y por las leyes mexicanas como en peligro de extinción por la NOM-059 (Semarnat, 2003). El principal riesgo de amenaza es por la colecta ilegal por aficionados (Sánchez-Mejorada 1987a; b) ya que es bien apreciada en horticultura (Sakato, 1992) así como por la destrucción de su hábitat natural (Martínez-Ávalos et ál., 2004; USFWS, 2003). *Astrophytum asterias* es una de las dos especies de *Astrophytum* que se distribuye fuera del desierto chihuahuense (Velasco-Macías y Nevarez et ál., 2002), y se distribuye desde el sur del estado de Texas (Star County) hasta el noreste de México (Nuevo León y Tamaulipas) (Anderson, 2001). La especie puede ser encontrada en dos tipos de comunidades vegetales: matorral espinoso tamaulipeco (MET)

y matorral submontano (MS). Se encuentra en áreas bajo diferentes tipos de suelos, ricos en materia orgánica, en pendientes con alta pedregosidad así como en sitios susceptibles a inundaciones (Martínez-Ávalos et ál., 2004). El hábitat es muy homogéneo y está representado por una estructura de la vegetación compuesta por *Karwinskia humboldtiana*, *Parkinsonia texana*, *Schaefferia cuneifolia*, *Prosopis glandulosa*, *Porlieria angustifolia* y *Ziziphus obtusifolia* (Gonzalez-Medrano, 1972). Se distribuye en altitudes de 50 a 180 msnm, en sitios con temperatura promedio anual de 21-24 °C.

Para obtener una estimación del daño por herbivoría y enfermedad, se establecieron cuatro cuadrantes permanentes de *Astrophytum asterias* en poblaciones de México. Dos de éstos fueron establecidos en el matorral espinoso tamaulipeco MET y los dos restantes en el matorral submontano MS. El MET está asociado a sitios planos dominado por arbustos de 0.5-1.5 m de altura (ej. *Karwinskia humboldtiana*, *Parkinsonia texana*, *Schaefferia cuneifolia*, *Prosopis glandulosa*, *Porlieria angustifolia* y *Ziziphus obtusifolia*), en altitudes entre 55 y 190 msnm. Los suelos presentan buen drenaje. El MS está asociado a bajadas y pequeñas lomas con una vegetación dominada por arbustos con alturas de 2-4 m (ej. *Acacia berlandieri*, *Acacia coulteri*, *Acacia rigidula*, *Acacia greggii*, *Astrocasis neurocarpa*, *Chloroleucon pallens*, *Chloroleucon frutescens*, *Cordia boissieri*, *Castela tortuosa*, *Forstiera angustifolia*, *Fraxinus gregii*, *Gochnatia hypoleuca*, *Helietta parvifolia*, *Lycium berlandieri*, *Mimosa leucaenoides*, *Rhus virens*, *Nephrilea integrifolia*, *Yucca filifera*), en altitudes entre los 150 y 2200 msnm. Los suelos son una mezcla de arena y arcillas sobre calizas. En total el monitoreo se realizó en un área de aproximadamente cinco hectáreas. Las poblaciones fueron seleccionadas debido a su alta densidad de individuos de los diez sitios conocidos

en México. Cada población fue censada anualmente y todos los individuos fueron mapeados y etiquetados siendo además medidos los diámetros de cada individuo con un *vernier* para futuras referencias. Los individuos fueron agrupados en cinco categorías de tamaño (figura 1), de acuerdo al diámetro de la planta y fueron agrupadas en dos categorías de tamaño (chica y grande) para posteriormente ser analizadas estadísticamente y así poder analizar el riesgo de mortalidad entre tamaños de  $\leq 6$  cm (chica) y  $> 6$  cm (grande).

En todos los sitios se reportó la mortalidad por los tres factores principales (por un coleóptero: *cerambycidae*; por el hongo [oomiceto] *Phytophthora infestans* y por una ardilla de tierra [mamífero] *Spermophilus mexicanus*) en cada tipo de vegetación (MET y MS). Además, se determinó si la mortalidad está asociada a plantas pequeñas o plantas grandes. Las causas de mortalidad fueron claramente identificadas bajo condiciones de campo. El nivel de daño por el cerambícido es característico por un hoyo en el centro de la planta; el nivel de daño por *Phytophthora infestans* por un daño de tejido externo y el daño por *Spermophilus mexicanus* por el daño de una sección aérea de la planta y marcada con dos incisiones sobre el tejido de la planta.

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se utilizó un modelo generalizado log-lineal asumiendo una distribución de error de Poisson, sobre una tabla de contingencia de tres vías, la proporción de daño de las plantas por cada tipo de mortalidad (por el coleóptero *cerambycidae*, *Phytophthora infestans* y *Spermophilus mexicanus*) y por cada tipo de comunidad vegetal (MET y MS). Se determinó, además, el grado de mortalidad asociado a plantas pequeñas y grandes. Una vez realizado el modelo, éste fue ajustado, eliminando condiciones hasta obtener el modelo adecuado (Crawley, 2002). Por último se efectuaron, además, pruebas de t para determinar diferencias entre niveles de cada factor. Todos los análisis fueron hechos con la ayuda del GLIM 4 (Royal Statistical Society).

#### RESULTADOS

Un total de 210 individuos (MS) y 317 individuos (MET) fueron encontrados afectados por los tres tipos de daño (tabla 1). El total de individuos encontrados en los cuadrantes realizados para cada tipo de comunidad vegetal fueron 318 para el MS y 541 para el MET, determinándose una mortalidad relativamente alta para cada comunidad vegetal (66% y 59%, respectivamente). El modelo determinó diferencias significativas entre los principales factores analizados (tipo de vegetación = TV, daño = D y tamaño de la planta = T) así como entre las interacciones TV x D y TV x T (tabla 2). Sin embargo, el modelo no registró diferencias significativas entre la mortalidad y el tamaño de la planta, por lo que no se analizó y fue posteriormente incluido en otros análisis realizados (tabla 2). Sólo se encontraron diferencias significativas entre causas de mortalidad por la ardilla terrestre *S. mexicanus*, por el coleóptero *cerambycidae* en el MS ( $t = 7.57$ ,  $P = 0.017$ ; tabla 1) y la mortalidad por *P. infestans* entre hábitats ( $t = 6.156$ ,  $P = 0.02$ ; tabla 1). La muerte total causada por *P. infestans* y *S. mexicanus* fue de 40.5% en el MS y un 62.2% para el MET. No obstante, la mortalidad producida por *P. infestans* fue dos veces mayor en el MS que en el MET. Se pudo observar claramente que la causa de muerte principal de los individuos en las poblaciones presentes en el MET fue por *S. mexicanus*, la cual dramáticamente redujo el tamaño de las poblaciones, seguido por el coleóptero *cerambycidae* y por *P. infestans* en el MS. Se encontraron diferencias significativas muy marcadas en la mortalidad entre categorías de tamaño de la planta y tipo de vegetación ( $t = 5.27$ ,  $P = 0.006$ ) y entre las clases de tamaño pequeño y grande en el MET ( $t = 6.95$ ,  $P = 0.002$ ) y MS ( $t = 3.94$ ,  $P = 0.016$ ). Se determinó una mortalidad baja entre individuos de categoría grande y el tipo de vegetación, no encontrando diferencias significativas entre estos dos factores ( $t = 2.64$ ,  $P = 0.057$ ).

#### DISCUSIÓN

Pocos estudios documentan la mortalidad por herbivoría o por enfermedad en poblaciones naturales de cactáceas, principalmente en especies pequeñas en peligro de extinción (Kass, 2001; Stiling y Moon 2001; Valverde y Zavala-Hurtado, 2006). En un revisión efectuada por Zimmerman et ál., (2002) reportan aproximadamente 58 especies de insectos de los grupos *pyralidae* y *cerambycidae* que consumen diferentes especies de cactáceas. El estudio hace énfasis en el grupo de los *cerambycidae* ya que tiene un alto impacto sobre poblaciones reportadas de la subfamilia *Opuntioideae*. El posible efecto de mortalidad causado por herbivoría o enfermedad por patógenos podría tener un impacto importante sobre las poblaciones naturales de especies de cactáceas amenazadas. Este trabajo es el primer documento que reporta el efecto de daño que se causa por un patógeno (*P. infestans*) y dos herbívoros (*S. mexicanus* y el coleóptero *cerambycidae*) sobre la especie amenazada *Astrophytum asterias*. En otra especie de cactácea amenazada, *Sclerocactus wrightiae*, se demostró una mortalidad alta en ciertas clases de tamaño (40%) por *Moneilema semipunctatum* (*cerambycidae*) (Kass, 2001); mientras que para *Opuntia corallicola* fue atacada en un 25% por *Cactoblastis cactorum* (*lepidoptera: pyralide*) (Stiling and Moon, 2001). Así mismo, Valverde y Zavala-Hurtado (2006) encontraron un importante caso de muerte por herbivoría causado por larvas de un coleóptero (*cerambycidae; coleoptera*) particularmente en individuos de *Mammillaria pectinifera*, reportando un 7.4% y 17.6% de muerte en individuos por debajo de la categoría adulta reproductiva.

En *Astrophytum asterias* el daño fue alto para las clases de tamaño pequeño (probablemente porque son individuos más vulnerables a los tres tipos de daño) y fue significativamente más alto en individuos de clases de tamaño pequeño presentes en el MS. Este tipo de comunidad vegetal es dominado por plantas de tallas grandes las cuales podrían suministrar una defensa menor a individuos pequeños de *Astrophytum asterias* por lo que son

más propensas al daño. Otras cactáceas amenazadas (*Turbincarpus horripilus* y *Ariocarpus scaphirostris*) son atacadas por un coleóptero de la familia Tenebrionidae) el daño por coleóptero ha sido observado solamente sobre estructuras florales, afectando en un 50% la producción de semillas (Martínez-Peralta, 2007) e impactando fuertemente en la dinámica de las poblaciones. El incremento en la mortalidad de individuos de *Astrophytum asterias* por *P. infestans* en el MS posiblemente responde a que este hábitat es más propenso a inundaciones que el MET debido a que el tipo de suelo presenta un alto contenido de arcillas. La mortalidad más significativa fue presentada por *S. mexicanus* en el MS. Sin embargo, se presentó por primera vez el reporte cuantitativo del daño causado por un coleóptero de la familia Cerambycidae en poblaciones naturales, aunque este daño no fue más alto que el daño presentado por *S. mexicanus*. Sin embargo, el daño causado por el coleóptero cerambycidae fue cuantificado en un 19.9% del total de la mortalidad registrada en este trabajo.

### CONCLUSIONES

El plan estatal de recuperación de poblaciones de *Astrophytum asterias* (USWS, 1993) requiere de una evaluación de la depredación como un importante grado de amenaza (USFWS, 2003), especialmente sobre aquellas poblaciones conformadas por individuos extensivamente dañados, no recuperados en condiciones de campo. Aquí se cuantificó el efecto de dos herbívoros y un patógeno (hongo) y se demostró que los tres factores de daños son un importante componente que puede determinar la dinámica poblacional de *Astrophytum asterias*. Para estas poblaciones que están sólo sujetas a una mortalidad alta apresurada es recomendable hacer un rescate de individuos y reubicar los ejemplares a sitios más conservados. Así mismo, una manera ordenada de proteger las plantas de herbívoros es mediante la prevención del acceso de *S. mexicanus*, lo anterior podría ayudar a recobrar particularmente a las poblaciones de *Astrophytum asterias*. ■

Categoría de tamaño	Matorral espinoso tamaulipeco (MET)			Matorral submontano (MS)		
	<i>P. infestans</i>	<i>S. mexicanus</i>	Cerambycidae	<i>P. infestans</i>	<i>S. mexicanus</i>	Cerambycidae
Pequeños (≤ 6 cm)	36	61	61	104	148	16
Grandes (> 6 cm)	3	27	22	17	26	6
<b>Total</b>	<b>39</b> (7.4%)	<b>88</b> (16.7%)	<b>83</b> (15.7%)	<b>121</b> (23%)	<b>174</b> (33%)	<b>22</b> (4.2%)

Tabla 1. Mortalidad por categoría de tamaño de *Astrophytum asterias* dañados por *P. infestans*, *S. mexicanus* y el cerambycidae en dos tipos de vegetación del norte de México. Los números en paréntesis indican el porcentaje de daño del total de individuos dañados por cada especie en cada sitio.

Términos del modelo	Devianza	df	Valor de P
T	215.58	1	0.001
D	71.51	2	0.001
TV	21.88	1	0.001
TV x D	88.74	2	0.001

Tabla 2. Análisis de devianza considerando el modelo mínimo adecuado sobre el daño y tamaño de *Astrophytum asterias* en dos tipos de vegetación del norte de México. T = tamaño (plantas pequeñas y grandes), D = daño (*P. infestans*, *S. mexicanus* y el cerambycidae), TV = tipo de vegetación (matorral espinoso tamaulipeco [MET] y matorral submontano [MS]).

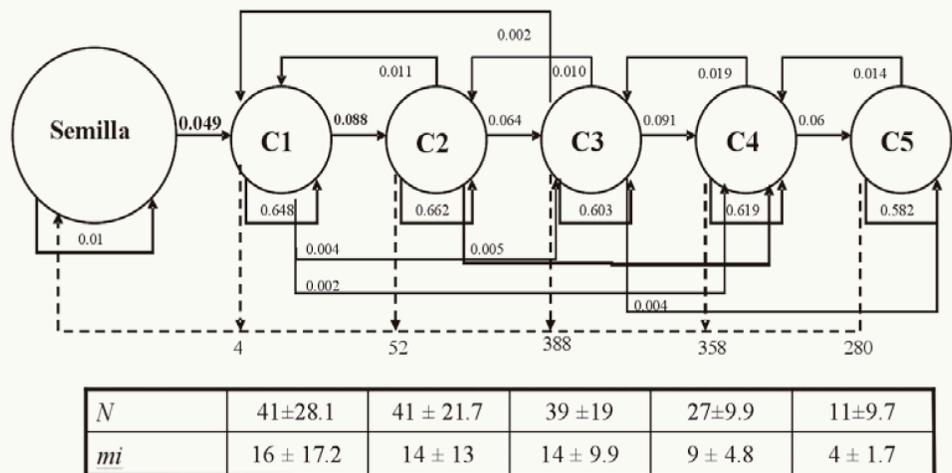


Figura 1. Diagrama del ciclo de vida de *Astrophytum asterias* perteneciente a las cuatro poblaciones estudiadas. La tasa de sobrevivencia corresponde a los periodos de estudio de los años 2004-2005 y 2005-2006. Los círculos (nodos) representan las clases de tamaño. Los datos del centro de cada nodo indican el número de clase con los siguientes intervalos: 1)  $0 < x \leq 2$  cm; 2)  $2 < x \leq 4$  cm; 3)  $4 < x \leq 6$  cm; 4)  $6 < x \leq 8$  cm; 5)  $x > 8$  cm; los datos de abajo son la probabilidad de cada categoría de permanecer en cualquier clase; la línea inferior punteada representa la fecundidad individual de cada categoría de tamaño (número de semillas por individuo por cada año). La línea sólida de la parte superior que conecta a los nodos contiene la probabilidad de regresos de individuos de una categoría de tamaño menor a la clase. La línea corta entre nodos muestra la probabilidad de crecer a la siguiente categoría de tamaño. *N* = número de individuos promedio ( $\leq$  SE) y *mi* = número de muertes promedio en cada clase de tamaño ( $\leq$  SE). Para el análisis, las clases C1-C3 y C4-C5 fueron agrupadas.

## Bibliografía

- Anderson EF. *The Cactus Family*. Oregon: Timber Press. 2001.
- Arias S, Guzmán U, Mandujano MC, Soto-Galván M, Golubov J. Las especies mexicanas en riesgo de extinción. Una comparación entre los listados NOM-059-ECOL-2001 (México), la lista roja (IUCN) y CITES. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 50, 2005: 100-125.
- Bashan Y, Toledo G. Flat top decay syndrome of the giant cardon cactus (*Pachycereus pringlei*): description and distribution in Baja California Sur, Mexico. *Canadian Journal of Botany* 73, 1995: 683-692.
- Blom PE. Host plants of *Moneilema michelbacheri* Linsley in Baja California Mexico (Coleoptera: Cerambycidae). *Coleopterists Bulletin* 41, 1987: 358-360.
- Burger JC, Louda SM. Interaction of diffuse competition and insect herbivory in limiting brittle prickly pear cactus, *Opuntia fragilis* (Cactaceae). *American Journal of Botany* 82, 1995: 1558-1566.
- Clark-Tapia R, Mandujano MC, Valverde T, Mendoza A, Molina-Freaner F. 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. *Biological Conservation* 124, 2005: 123-132.
- Contreras C, Valverde T. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. *Journal of Arid Environments* 51, 2002: 89-102.
- Crawley MJ. *Statistical computing. An introduction to data analysis using S-Plus*. West Sussex: John Wiley and Sons. 2002.
- De-Castro F, Bolker B. Mechanisms of disease-induced extinction. *Ecology Letters* 8, 2005: 117-126.
- Esparza-Olguín L, Valverde T, Mandujano MC. Comparative demographic analysis of three *Neobuxbaumia* species (Cactaceae) with differing degree of rarity. *Population Ecology* 47, 2005: 229-245.
- Foin TC, Riley SPD, Pawley AL, Ayres DR, Carlsen TM, Hodum PJ, Switzer PV. Improving recovery planning for threatened and endangered species. *BioScience* 48, 1998: 177-184.
- Godínez-Álvarez H, Valverde T, Ortega-Baes P. Demographic trends in the Cactaceae. *Botanical Review* 69, 2003: 173-203.
- González-Medrano F. La vegetación del nordeste de Tamaulipas. *Anales del Instituto de Biología* 1, 1972: 11-50.
- Hoffman MT, James CD, Kerley GIH, Whitford WG. Rabbit herbivory and its effect on cladode, flower and fruit production of *Opuntia violacea* var. *macrocentra* (Cactaceae) in the northern Chihuahuan Desert, New Mexico. *Southwestern Naturalist* 38, 1993: 309-315.
- Hoffmann JH, Moran VC, Zeller DA. Evaluation of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Phycitidae) as a biological control agent of *Opuntia stricta* (Cactaceae) in the Kruger National Park, South Africa. *Biological Control* 12, 1998: 20-24.
- Kass RJ. Mortality of the endangered fishhook cactus (*Sclerocactus wrightiae*) by an *Opuntia*-borer beetle (Cerambycidae: *Moneilema semipunctatum*). *Western North American Naturalist* 61, 2001: 495-497.
- Leirana-Alcocer J, Parra-Tabla V. Factors affecting the distribution, abundance and seedling survival of *Mammillaria gaumeri*, an endemic cactus of coastal Yucatán, México. *Journal of Arid Environments* 41, 1999: 421-428.
- Lüthy J. The cacti of CITES appendix 1. Bern: Bundesamt für Veterinärwesen. 2001.
- Mandujano MC, Montaña C, Mendez I, Golubov J. The relative contributions of sexual reproduction and clonal propagation in *Opuntia rastrojera* from two habitats in the Chihuahuan Desert. *Journal of Ecology* 86, 1998: 911-921.
- Mandujano MC, Montaña C, Franco M, Golubov J, Flores-Martínez A. Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. *Ecology* 82, 2001: 344-359.
- Martínez-Avalos JG, Mandujano MC, Golubov J, Soto M, Verhulst J. Análisis del método de evaluación de riesgo (MER) del "falso peyote" (*Astrophytum asterias* [Zucc.] Lem.) en México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 49, 2004: 118-127.
- Martínez-Peralta C. *Biología floral de Ariocarpus fissuratus* (Engelmann) Suman (Cactaceae) en Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. Bsc. Dissertation, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 2007.
- Rae JG, Ebert TA. Demography of the endangered fragrant prickly apple cactus, *Harrisia fragrans*. *International Journal of Plant Sciences* 163, 2002: 631-640.
- Rocha L. Estudio poblacional del "falso peyote" *Astrophytum asterias* (Zucc.) Lem. (Cactaceae) en una fracción del matorral espinoso tamaulipeco en Villagrán, Tamaulipas, México. MSc. Dissertation. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 1995.
- Rosas-Barrera MD, Mandujano MC. La diversidad de historias de vida de cactáceas, aproximación por el triángulo demográfico. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 47, 2002: 33-41.
- Sakato J. Cultivation of "kabuto" *Astrophytum asterias*. *Journal of the Japan Succulent Society* 5, 1992: 188-189.
- Sánchez-Mejorada H. Sanciones por violación del CITES. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 32, 1987: 19-20.
- Sánchez-Mejorada H. Observación sobre el estado de conservación de doce especies de cactáceas amenazadas del norte de México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 32, 1987: 19-20.
- Schemske DW, Husband BC, Rockelshaus MH, Goodwillie C, Parker JM, Bishop JG. Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology* 75, 1994: 584-660.
- Semamat. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2003, que determina las especies y subespecies de fauna y flora silvestre terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. *Diario Oficial de la Federación* 438, 2003: 2-60.
- Smith KE, Sax DE, Lafferty KD. Evidence of the role of infectious disease in species extinction and endangerment. *Conservation Biology* 20, 2006: 1349-1357.
- Steembergh WF, Lowe CH. *Ecology of the saguaro*. National Park Service Scientific Monograph Series 8 National Park Service, UAS. 1974.
- Stiling P, Moon DC. Protecting rare Florida cacti from the exotic cactus moth, *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist* 84, 2001: 506-509.
- U.S. Fish and Wildlife Service. *Endangered and threatened wildlife and plants; Final rule to list *Astrophytum asterias* (star cactus) as endangered*. *Federal Register* Vol. 58. No. 199:53804. 1993.
- U.S. Fish and Wildlife Service. *Recovery plan for star cactus (*Astrophytum asterias*)*. U.S. DOI Fish and Wildlife Service, Albuquerque, New Mexico. i-vii+38 pp., A1-19, B1-8. 2003.
- Valencia-Botín AJ, Sandoval-Islands JS, Cárdenas-Soriano E, Michailides TJ, Rendón-Sánchez G. *Botryosphaeria dothidea* causing stem spots on *Hyllocereus undatus* in Mexico. *Plant Pathology* 52, 2003: 803.
- Valverde PL, Zavala-Hurtado JA. Assessing the ecological status of *Mammillaria pectinifera* Weber (Cactaceae), a rare and threatened species endemic of the Tehuacán-Cuicatlán region in Central Mexico. *Journal of Arid Environments* 64, 2006: 193-208.
- Valverde T, Quijas S, López-Villavicencio M, Castillo S. Population dynamics of *Mammillaria magnimamma* Haworth. (Cactaceae) in a lava-field in central México. *Plant Ecology* 170, 2004: 167-184.
- Velazco-Macías C, Narváez M. *Digitostigma caput-medusae* (Cactaceae) una nueva especie para Nuevo León, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 47, 2002: 76-86.
- Zimmermann HG, Granata G. *Insect pests and diseases*. In P. S. Nobel (Ed.) *Cacti, Biology and Uses*. University of California Press. 2002: 235-254.