



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE BOTÁNICA

**ATRIBUTOS DEMOGRÁFICOS Y BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE
CORYPHANTHA CORNIFERA Y *STENOCACTUS ANFRACTUOSUS* CON
FINES DE CONSERVACIÓN**

VLADIMIR FUENTES MAYO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2012

La presente tesis titulada: “**Atributos demográficos y biología reproductiva de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus* con fines de conservación**” realizada por el alumno: **Vladimir Fuentes Mayo**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
BOTÁNICA
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO _____

Dr. Edmundo García Moya

ASESOR _____

Dr. Lauro López Mata

ASESOR _____

Dra. Angélica Romero Manzanares

ASESOR _____

Dra. Teresa Terrazas Salgado

ASESOR _____

Dr. Gerardo Ortiz Montiel

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2012

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado para cursar los estudios de Doctorado en Ciencias, en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

Al Dr. Edmundo García Moya, Dra. Angélica Romero Manzanares, Dr. Lauro López Mata, Dra. Teresa Terrazas Salgado y al Dr. Gerardo Ortiz Montiel, por sus valiosas asesorías durante el trabajo de investigación y las actividades académicas realizadas en mis estudios de doctorado.

A la familia Fuentes Mayo, por su apoyo en actividades de campo y de gabinete.

A la familia Reyes Puebla, por su colaboración durante el trabajo de campo.

DEDICATORIA

A Ivan...

A mi mamá, a mi papá y a mi hermano

A Cony

CONTENIDO

<u>INTRODUCCIÓN GENERAL</u>	1
-----------------------------	---

ASPECTOS DEMOGRÁFICOS Y PATRONES DE ASOCIACIÓN DE

<u><i>Coryphantha cornifera</i> Y <i>Stenocactus anfractuosus</i></u>	22
---	----

RESUMEN	22
---------	----

ABSTRACT	22
----------	----

INTRODUCCIÓN	23
--------------	----

MATERIALES Y MÉTODOS	25
----------------------	----

RESULTADOS	27
------------	----

DISCUSIÓN	32
-----------	----

CONCLUSIONES	37
--------------	----

LITERATURA CITADA	39
-------------------	----

BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE *Stenocactus anfractuosus* Y *Coryphantha*

<u><i>cornifera</i> CON FINES DE CONSERVACIÓN</u>	45
---	----

RESUMEN	45
---------	----

SUMMARY	46
---------	----

INTRODUCCIÓN	46
--------------	----

MATERIALES Y MÉTODOS	48
RESULTADOS	52
DISCUSIÓN	61
CONCLUSIONES	68
LITERATURA CITADA	69

GERMINACIÓN Y REINTRODUCCIÓN DE *Stenocactus anfractuosus* Y

***Coryphantha cornifera*: RECOMENDACIONES PARA SU CONSERVACIÓN** 78

RESUMEN	78
ABSTRACT	79
INTRODUCCIÓN	79
MATERIALES Y MÉTODOS	81
RESULTADOS	84
DISCUSIÓN	86
CONCLUSIONES	87
LITERATURA CITADA	90

DISCUSIÓN GENERAL 93

CONCLUSIONES GENERALES 97

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las contribuciones sobre ecología y conservación de la familia Cactaceae, hasta el día de hoy han ido en aumento (Rojas-Aréchiga y Arias, 2007). Sin embargo, existen numerosas especies para las que, a pesar de su inminente amenaza por desaparecer, solo se cuenta con su descripción taxonómica. Tal es el caso de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractusus*, las cuales (al menos hace 10 años) se distribuían en pastizales y matorral xerófito del Distrito Federal y los estados de Hidalgo, Guanajuato, México, Tlaxcala, Puebla y Querétaro (Dicht y Lüthy, 2004; Rzedowski y Rzedowski, 2001); las áreas de distribución de estas especies han sufrido cambios drásticos en el uso de la tierra, a lo que se han aunado otros problemas como el cada vez más frecuente saqueo y la comercialización ilegal de varios ejemplares, destinados a diversos establecimientos del Valle de México y en el estado de Hidalgo (observaciones personales).

Ante la escasa información sobre la distribución geográfica de ambas especies de cactus y la falta de conocimiento en los diversos patrones de asociación, densidad y estructura demográfica, así como de los periodos de floración y fructificación, los procesos de polinización, dispersión y germinación de *C. cornifera* y *S. anfractusus*, fue que se decidió abordar esta investigación. El presente trabajo, pretende generar información sobre el estado actual de las poblaciones de ambas especies; además de brindar información básica para su gestión y conservación.

Diversos trabajos sobre patrones de distribución y abundancia de cactus han mostrado que estos atributos varían tanto espacial como temporalmente. La alta variación que ocurre en el ambiente representada por diversos factores topográficos, edáficos, así como en gradientes de

temperatura y precipitación, pueden determinar los límites de distribución cactáceas a una escala regional (Anderson *et al.*, 2010; Brailovsky-Signoret *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2008; Teixeira *et al.*, 2004).

A una escala local, los patrones de distribución en forma agregada, son más comunes que de manera uniforme o al azar (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). Autores como Esparza-Olguín *et al.* (2002), Martínez *et al.* (2001) y Valverde *et al.* (1999), mencionan que la distribución de individuos en forma de conglomerados está relacionada con la restricción en la dispersión, la germinación, el establecimiento y el crecimiento de las plantas. También, se ha demostrado que diversas especies de cactáceas requieren de plantas nodriza, para propiciar su germinación y el establecimiento (Drezner, 2010; Peters *et al.*, 2008; López y Valdivia, 2007; Mandujano *et al.*, 2002; Golubov *et al.*, 2000).

La densidad de una población está determinada por sus tasas de germinación y de muertes, las cuales son afectadas por factores abióticos y bióticos. A nivel regional se ha demostrado que los periodos de lluvia están asociados con mayores tasas de germinación e incorporación de individuos, mientras que, periodos largos de sequía y temperaturas bajo cero, propician tasas más elevadas de muertes en plántulas y en individuos adultos (Nobel, 2011; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). En periodos de estiaje la prevalencia de incendios es también una causal en el incremento de la mortalidad (Rideout-Hanzak *et al.*, 2009; Ansley y Castellano, 2007).

A nivel local, la disponibilidad de sitios seguros para el establecimiento y crecimiento de los cactus, la erosión del suelo, la prevalencia de depredadores y enfermedades, y la presencia

de árboles, arbustos y rocas en el hábitat, pueden determinar su densidad (Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Pierson y Turner, 1998; Nobel, 1989).

Para que una especie pueda persistir dentro de la comunidad, es crucial que incorpore nuevos individuos, de tal manera que, al menos, cada planta adulta deje un reemplazo de sí misma. La falta de incorporación puede ocasionar la disminución poblacional de una especie, debido a procesos estocásticos generados por cambios ambientales, o por fallas en alguna de las etapas del proceso reproductivo (Flores-Martínez *et al.*, 2010; Rae y Ebert, 2002).

Desde el punto de vista reproductivo, *C. cornifera* y *S. anfractuosus*, presentan flores hermafroditas, diurnas (Dicht y Lüthy, 2004; Rzedowski y Rzedowski, 2001), casmógamas y fragantes (observaciones personales); atributos que se han documentado en otras especies de cactáceas y que muestran síndromes de polinización por zoofilia (Valiente-Banuet *et al.*, 1997; Mandujano *et al.*, 1996). La polinización es una de las interacciones biológicas más importantes entre plantas y animales, en particular, para aquellas especies de cactus que son exógamos estrictos, y que por lo tanto, dependen del constante flujo de polen entre sus poblaciones, función que realizan los polinizadores y que determinará en gran medida su éxito reproductivo (Tepedino *et al.*, 2010; Blair y Williamson, 2008; Ibarra-Cerdeña *et al.*, 2005). Entre los polinizadores más frecuentes que polinizan a los cactus se encuentran las abejas solitarias (Mandujano *et al.*, 1996), los murciélagos en especies columnares (Dar *et al.*, 2006; Valiente-Banuet *et al.*, 1997), polillas (Suzán *et al.*, 1994) y, las menos frecuentes mariposas y colibríes (Dar *et al.*, 2006; Nassar y Ramirez, 2004). Estos polinizadores mientras consumen el néctar de las flores, colectan el polen en sus cuerpos, el que depositaran en otras flores en sus visitas posteriores. Los sistemas de polinización en la familia Cactaceae enfrentan el problema global

de la destrucción y fragmentación del hábitat, además, los insectos son muy susceptibles a la presencia de pesticidas y herbicidas (Kearns *et al.*, 1998). Se ha demostrado que en algunos casos la introducción de la abeja europea ha afectado negativamente la actividad de los polinizadores nativos, lo que atenuaría la eficacia de la polinización (Butz, 1997).

Debido a que las especies estudiadas presentan flores hermafroditas, la cercanía entre los estambres y el pistilo incrementa la probabilidad de autopolinización (y por consiguiente de autofecundación). El pistilo juega un papel esencial en el proceso de selección sexual, ya que además de recibir los granos de polen en la superficie de su estigma, permitirá su hidratación, germinación, nutrición y conducción (por medio de los tubos polínicos) al ovario, o bien, los rechazará mediante reconocimiento químico, si es que hubiese autoincompatibilidad, de manera que la respuesta sería discriminar el polen producido por la misma planta, de aquel que proviene de individuos genéticamente relacionados y de otras especies (McClure y Frankling-Tong, 2006).

Diversas especies de angiospermas desarrollaron adaptaciones morfológicas como la separación espacial del pistilo y los estambres (hercogamia), y fisiológicas, como la maduración diferencial de los órganos reproductivos (dicogamia), para promover la polinización cruzada. Aunque estas modificaciones evitan en gran medida la autofecundación, aún existe la posibilidad de flujo génico a través del polen con los padres o con otros individuos de la progenie (Jiménez-Durán y Cruz-García, 2011).

La germinación es una de las fases más críticas en el ciclo de vida de las cactáceas, debido a que son más vulnerables al estrés ambiental, la depredación, la competencia y al ataque por patógenos. Los factores más importantes que influyen en su germinación son: la humedad,

la luz y la temperatura; sin embargo, la madurez del embrión, la salinidad, la edad de la semilla y la domesticación de las plantas, también afectan este proceso (Baskin y Baskin, 1998).

El agua ha sido considerada por diversos autores como el factor más importante en el proceso de germinación, debido a su baja disponibilidad en las zonas secas y muy secas donde se distribuyen la mayoría de las cactáceas (Contreras y Valverde, 2002; Bowers y Pearson, 2001).

Dubrovsky (1996), encontró que las semillas de algunas cactáceas columnares como: *Carnegiea gigantea*, *Pachycereus pecten-aboriginum*, *Stenocereus gumossus* y *S. thurberi*, germinan más rápidamente y acumulan mayor cantidad de biomasa, cuando están bajo ciclos de hidratación-deshidratación.

Por otro lado, se ha sugerido que la presencia de luz para la germinación de semillas en cactáceas puede estar correlacionada con las formas biológicas. Por ejemplo, se ha demostrado que las cactáceas globosas *Coryphantha cornifera*, *Stenocactus anfractuosus* (Fuentes-Mayo *et al.*, datos no publicados) *Mammillaria mazatlanensis* (Sánchez-Soto *et al.*, 2010), *M. haageana*, *M. carnea*, *M. mystax*, *M. supertexta* (Benítez-Rodríguez *et al.*, 2004), *M. fuauxiana*, *M. durispina*, *M. potosina*, *M. zeilmanniana*, *M. ingens*, *M. longimamma*, *M. ritteriana* *M. magnimamma* (Ruedas *et al.*, 2000), *Melocactus curvispinus*, *Mammillaria aureilanata*, *M. bocasana*, *M. crinita*, *M. orcuttii*, *M. plumosa*, *M. candida* (Flores *et al.*, 2006), *Gymnocalycium bruchii*, *G. capillaense*, *G. monvillei* y *G. quehlianum* (Gurvich *et al.*, 2008), entre otras, son fotoblásticas positivas, es decir, su germinación ocurre siempre en presencia de luz.

En contraste, algunas cactáceas arbóreas y arbustivas como: *Stenocereus griseus* (López-Gómez y Sánchez-Romero, 1989), *Pachycereus pringlei* (Nolasco *et al.*, 1996) *Opuntia engelmannii* (Bowers, 2000) y *Pachycereus pecten-aboriginum* (Vega-Villasante, 1996) tienen la capacidad de germinar en condiciones de obscuridad, mientras que existen otras especies de cactáceas en las que no se ha observado un requerimiento de luz en especial. En particular, Flores *et al.*, (2011), señalan que las especies que generan semillas más pequeñas presentan requerimientos de luz para su germinación, en contraste con las especies cuyas semillas son más grandes.

La mayoría de los cactus presentan un patrón de germinación máximo a los 25°C, mientras que las temperaturas menores de 17°C y las superiores a 34°C provocan una disminución en la velocidad y porcentaje de semillas germinadas (De la Barrera y Nobel, 2003; Flores y Briones, 2001).

Diversos estudios señalan que la germinación, establecimiento e incorporación de cactus es favorecida por el dosel de plantas nodriza o por la asociación a rocas (Drezner, 2010; Peters *et al.*, 2008; López y Valdivia 2007). Entre las especies globosas que se asocian con plantas nodriza destacan: *Coryphantha pallida*, *Mammillaria casoi*, *M. carnea*, *M. colina*, *M. gaumeri*, *M. microcarpa*, *M. oteroi* y *M. thornberi*; y entre las especies arbóreas y arbustivas se pueden mencionar a *Carnegiea gigantea*, *Pachycereus pringlei*, *Cephalocereus hoppenstedtii*, *Escontria chiotilla*, *Lophocereus schottii*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Stenocereus thurberi*, *Opuntia streptacantha*, *O. rastrera* y *Trichocereus atacamensis* (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). Debido a la gran variación en las especies nodriza identificadas -que incluyen árboles, arbustos, agaves, pastos, e incluso otras especies de cactáceas- Callaway (1998), se ha sugerido que la asociación

cacto-nodrizza puede estar relacionada con cierto grado de especificidad como la fenología, la morfología y la estructura del cacto.

Aunque las evidencias sugieren que la asociación entre nodrizza-cacto es más frecuente en la familia Cactaceae, diversos trabajos han demostrado que algunas especies se establecen en espacios abiertos, como *Ariocarpus fissuratus*, *Epithelantha bokei*, *Mammillaria magnimmama*, *M. lasiacantha*, *M. pectinifera* y *Turbincarpus pseudopectinatus* (Rodríguez-Ortega y Ezcurra, 2001; Valverde *et al.*, 1999; Martínez *et al.*, 1994; Arriaga *et al.*, 1993; Nobel *et al.*, 1986).

En México, instituciones de investigación científica, educación superior, dependencias gubernamentales y asociaciones civiles, han desarrollado acciones encaminadas a la gestión y conservación de las especies en sus hábitats (*in situ*) y fuera de las áreas donde crecen de forma natural (*ex situ*) (Aguilar *et al.*, 2000; CONABIO, 1997).

La conservación *in situ* está diseñada para mantener el ambiente natural representativo del lugar, es decir, la diversidad genética de las especies en conjunto con la dinámica del ecosistema donde habitan. Los esfuerzos de protección se han enfocado, en particular, con las especies endémicas, amenazadas y en peligro de extinción. Este esquema de conservación, opera mediante la designación de Áreas Naturales Protegidas (ANP) localizadas en ecosistemas terrestres y acuáticos donde el entorno no ha sido significativamente alterado por las actividades humanas y en las cuales se proveen diversos servicios ambientales (Valdéz *et al.*, 2006). Aunque las ANP cuentan con un marco legal en el que se prohíbe la extracción de flora y fauna de los hábitats protegidos; existen evidencias de que el saqueo desmedido, ha provocado un declive poblacional en diversas especies. En particular, la familia Cactaceae ha resentido la colecta clandestina dentro y fuera de las ANP (Portilla-Alonso y Matorrell, 2011; Hernández-

Oria *et al.*, 2007; Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000). Existen evidencias documentadas sobre la extracción ilegal de cactus por parte de colectores locales que, habitan, inclusive dentro de las ANP, incluidas aquellas que limitan con la frontera de EEUU. (Robbins, 2003). La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT) ha implementado el Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (SUMA), que es un esquema de gestión y administración el cual busca promover el desarrollo de alternativas de producción compatibles con el cuidado de la biodiversidad y el ambiente, a través del uso racional, ordenado y planificado de la vida silvestre. El sistema se integra a partir de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) y desde su concepto, modifica sustancialmente los modelos restrictivos tradicionalmente empleados en México para la gestión de la vida silvestre, con el propósito de crear oportunidades de aprovechamiento sustentable legales y viables que sean complementarias con otras actividades productivas convencionales como la agricultura, la ganadería, la pesca o la silvicultura (www.semarnat.gob.mx, 2012). El objetivo de dicho sistema es favorecer el manejo integral y la conservación de la vida silvestre; en el caso que nos ocupa, mediante programas de educación y difusión sobre técnicas de cultivo, gestión y conservación de cactus. Algunos ejemplos son el Cactario Regional y Jardín Botánico “Hernando Sánchez-Mejorada” en el estado de Querétaro, el Jardín Botánico del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara, el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM, y algunas asociaciones civiles como el grupo CANTE, entre otros; los cuales tienen a su vez, facultades para la venta de cactáceas propagadas, previo permiso del Instituto Nacional de Ecología (INE) -legalmente constituidas como UMA- y apoyado por la normatividad interna de cada centro. Según datos del INE, dentro de los jardines botánicos de todo el país se encuentran ejemplares de 454 especies de la familia Cactaceae.

Actualmente es posible comprar por Internet ejemplares de cactus cultivados en viveros que portan un certificado de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres -CITES, por sus siglas en inglés- (www.ine.gob.mx, 2012; Glass, 1998; CONABIO, 1997; Convention on International Trade in Endangered Species. 1990).

La conservación *ex situ* pretende mantener colecciones vivas que actúan como reservorios de germoplasma y con las cuales se realizan actividades de investigación, propagación y educación, lo que permite la protección y supervivencia de una parte de la variabilidad genética. Éstas constituyen las más importantes acciones que impiden o disminuyen la extracción de especies silvestres (Havens *et al.*, 2006). Además de que son una buena alternativa para países que carecen de tecnologías y recursos económicos (como México) que les permitan aprovechar con fines comerciales sus recursos naturales, ya que tienen la ventaja de ser métodos de muy bajo costo (CONABIO, 1997).

Cabe señalar que *Coryphantha cornifera* se encuentra enlistada con el estatus de *Least Concern* en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza -IUCN, por sus siglas en inglés- (IUCN, 2012), mientras que *Stenocactus anfractuosus* junto con el resto de especies de la familia Cactaceae se encuentra protegida en el Apéndice II de la CITES. Ambas especies se pueden localizar en las ANP Sierra de Guadalupe, (estado de México y D.F), en la Sierra de Tepozotlan-Coyotepec, (estado de México), en el Parque Nacional Tula y en el Parque Estatal “Cubitos” (estado de Hidalgo). Los Jardines Botánicos (JB) donde se han observado plantas adultas de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* son: JB de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala y el JB del Instituto de Biología (UNAM); el JB Regional de Cadereyta

“Ing. Manuel Gonzales Cosío” en el estado de Querétaro; y el JB del Parque Estatal “Cubitos”. Sin embargo, solo los JB de la UNAM, mantienen programas de propagación de las especies estudiadas, y en ninguno de los casos, se han realizado esfuerzos para el repoblamiento de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* en sus lugares de distribución.

Coryphantha cornifera (Figura 1), es una planta obcónica, aislada, hasta de 12 cm de altura y ± 8.5 cm de diámetro, con el ápice poco hundido, raíces napiformes, paralelas entre sí, de las cuales salen numerosas raíces fibrosas. Los tubérculos están dirigidos hacia afuera, rómbicos de 1.5 a 2.5 cm de alto y 1.5 a 2.5 cm de ancho en la base, verde-grisáceo oscuros, con surco completo, bien marcado y sin glándulas en la base. Las aréolas son circulares a elípticas de 3 a 4 mm de diámetro; con espinas radiales de 7 a 11, subuladas, siendo 5 a 9 divergentes, de 9 a 12 mm de largo, grisáceas, ambarinas en la base, variegadas, de negro en la parte mediana, con la punta negruzca, las superiores son más o menos conniventes; espina central 1 (3), subulada, rígida, con la base ensanchada, encorvada hacia abajo, las superiores cuando existen, divergentes de ± 2 cm de largo, de color castaño claro en la base y negruzcas en la parte terminal. Las flores de 5 a 6 cm de largo y de ± 6 de ancho en la antesis, el pericarpelo es elipsoide, desnudo, de ± 1.2 cm de largo, verde claro; tubo de ± 1 cm de largo del mismo color del pericarpelo. Los segmentos exteriores del perianto son angostamente oblongos, apiculados, redondeados hacia el ápice, de ± 1.8 cm de largo, verde-grisáceos con banda mediana roja-verdosa, segmentos anteriores oblanceolados, bordes finamente dentados hacia el ápice, de ± 2.7 cm de largo, amarillo-verdosos. Los estambres ligeramente introrsos, alcanzando la mitad del largo de los segmentos interiores del perianto, antera amarilla oscura. El estilo de ± 2 cm de largo, amarillo muy claro, lóbulos del estigma 9, de ± 4 mm de largo. Fruto elipsoide a obovoide, de ± 2 cm de largo, desnudo, o a veces con escasas y pequeñas escamas. Semillas

piriformes a obovoides, de ± 2 mm de largo y ± 1 mm de ancho en la parte superior y ± 0.6 mm de ancho en la base, de color anaranjado-cobrizo claro (Rzedowski y Rzedowski, 2001).



Figura 1. *Coryphantha cornifera* en la Sierra de la Purificación Tepetitla, estado de México.

Stenocactus anfractuosus (Figura 2), es una planta subglobosa o globosa, de 8 a 14 cm de diámetro y solitaria. Presenta de 30 a 36 (46) costillas verde oscuras, muy aplanadas, delgadas y onduladas. Aréolas distantes entre sí, de 7 a 8 mm de largo y 4 a 5 mm de ancho, con lana blanquecina, caduca con la edad, espinas grisáceas o ambarinas con las puntas castaño-rojizas; espinas radiales (0) 4 (6), de las cuales 2 a 4 se encuentran en la parte inferior de la aréola, a veces con 1 o 2 en la parte superior, aciculares o subuladas, rectas o encorvadas, de 6 a 13 mm de largo; espinas centrales 3 (4) aplanadas, ensanchadas en la base, la de en medio es ascendente, algo anulosa, con una quilla longitudinal poco prominente, de 18 a 40 mm de largo y 1 a 2 mm de ancho en la base. Flor campanulada de 2.6 a 3.5 cm de largo; pericarpelo desnudo en la base, de 4 a 8 mm de largo y de 3 a 5 mm de ancho, verde, tubo de ± 1.8 cm de largo y ± 6 mm de ancho, con podarios dispuestos en pocas series de espirales, con aréolas distantes ± 3 mm de largo y ± 4 mm de ancho en la base, color blanco, las inferiores y las superiores verde-

amarillentas con banda mediana ancha, las superiores color púrpureo, más oscuras hacia el ápice. Segmentos exteriores del perianto oblongos, con el ápice deltoide, mucronado, de ± 13 mm de largo y 4 a 5 mm de ancho, margen blanco, pero a veces de color violeta y banda mediana ancha, púrpurea, segmentos interiores semejantes a los exteriores. Filamentos blancos o amarillentos. Estilo emergente sobre los estambres, púrpureo o de color lila, lóbulos del estigma de 5 a 8 (11) de ± 1.5 mm de largo, amarillos. Fruto deprimido-globoso a elipsoide, de 6 a 8 mm de diámetro, recubierto de escasas aréolas con escasas escamas basales. Las semillas son obovoides, de ± 1.5 mm de diámetro (Rzedowski y Rzedowski, 2001).



Figura 1. *Stenocactus anfractuosus* en la Sierra de Guadalupe, estado de México.

Literatura citada

Aguilar, R.P., R.T. Van Devender y R.S. Felger. 2000. Cactáceas de Sonora, México: su Diversidad, Uso y Conservación. IMADES. Tucson Az. EEUU. 143 pp.

- Anderson, G., S. Rutman y S. M. Munson. 2010. Plant population and habitat characteristics of the endemic sonoran desert cactus *Peniocereus striatus* in Organ Pipe Cactus National Monument, Arizona. *Madroño*. 57:220-228.
- Ansley, R.J. y M.J. Castellano. 2007. Prickly pear cactus responses to summer and winter fires. *Rangeland Ecology and Management*. 60:244-252.
- Arriaga, L., Y. Maya, S. Díaz y J. Cancino. 1993. Association between cacti and nurse perennials in a heterogeneous tropical dry forest in northwestern Mexico. *Journal of Vegetation Science*. 4:349-356.
- Baskin, C.C. y J.M. Baskin. 1998. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press. San Diego, CA, EEUU. 666 pp.
- Benítez-Rodríguez, J.L., A. Orozco-Segovia y M. Rojas-Aréchiga. 2004. Light effect on seed germination of four *Mammillaria* species from the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *The Southwestern Naturalist* 49:11-17.
- Blair, W.A. y S.P. Williamson. 2008. Effectiveness and importance of pollinators to the star cactus (*Astrophytum asterias*). *The Southwestern Naturalist*. 53:423-430.
- Bowers, E.J. 2000. Does *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae) have a between-year seed bank? *Journal of Arid Environment*. 45:197-205.
- Bowers, J.E. y Pierson E.A. 2001. Implications of seed size for seedling survival in *Carnegiea gigantea* and *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae). *The Southwestern Naturalist*. 46:272-281.

- Brailovsky-Signoret, D. y H. Hernández. 2010. Mazapil, Zacatecas: Diversity and conservation cacti in a poorly-know arid region in northern Mexico. *Cactus and Succulent Journal* 82:197-202.
- Butz, V.M. 1997. Ecological impacts of introduced honey bees. *Quart. Rev. Ecol.* 72:275-297.
- Callaway, R.M. 1998. Are positive interactions species-specific? *Oikos*. 82:202-207.
- CONABIO. 1997. *Suculentas Mexicanas: Cactáceas*. Ed. CVS. México, D. F. 141 pp.
- Contreras, C. y T. Valverde. 2002. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. *Journal of Arid Environments* 51:89-102.
- Convention on International Trade in Endangered Species. 1990 Appendice I and II to the Convention. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC.
- Dar, S., M. Del Coro Arizmendi, A. Valiente-Banuet. 2006. Diurnal and nocturnal pollination of *Marginatocereus marginatus* (Pachycereeae: Cactaceae) in Central Mexico. *Ann. Bot.* 97:423-427.
- De la Barrera, E. y P. Nobel. 2003. Physiological ecology of seed germination for the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis*. *Journal of Arid Environment*. 53:297-306.
- Dicht, R.F. y A.D. Lüthy. 2004. *Coryphantha: Cacti of Mexico and southern USA*. Springer-Verlag, Berlin. pp: 63-65.
- Drezner, T.D. 2010. Nurse tree canopy shape, the subcanopy distribution of cacti, and facilitation in the Sonora Desert. *Journal of the Torrey Botanical Society*. 137:277-286.

- Dubrovsky, J.G. 1996. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. *American Journal of Botany*. 83:624-632.
- Esparza-Olguín, L., T. Valverde y E. Vilchis-Anaya. 2002. Demographic analysis of a rare columnar cacti (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, México. *Biological Conservation*. 103:349-359.
- Flores, J. y O. Briones. 2001. Plant life-form and germination in a Mexican Inter-tropical desert: effects of soil water potential and temperature. *Journal of Arid Environment*. 47:485-497.
- Flores, J., E. Jurado y A. Arredondo. 2006. Effect of light on germination of seeds of Cactaceae from the Chihuahuan Desert, Mexico. *Seed Science Research*. 16:149-155.
- Flores, J., E. Jurado, L. Chapa-Vargas, A. Ceroni-Stuva, P. Dávila-Aranda, G. Galíndez, D. Gurvich, P. León-Lobos, C. Ordóñez, P. Ortega-Baes, N. Ramírez-Bullón, A. Sandoval, C. E. Seal, T. Ullian y H. W. Pritchard. 2011. Seeds photoblastism and its relationship with some plant traits in 136 cacti *taxa*. *Environmental and Experimental Botany*. 71:79-88.
- Flores-Martínez, A., G.I. Manzanero-Medina, J. Golubov, C. Montaña y M.C. Mandujano. 2010. Demography of an endangered endemic rupicolous cactus. *Plant Ecology*. 210:53-66.
- Glass, E.C. 1998. Guía para la identificación de cactáceas amenazadas de México. CANTE-CONABIO. México, D. F.

- Godínez-Álvarez, H., T. Valverde y P. Ortega-Báez. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review*. 69:173-203.
- Golubov, J., C. Mandujano y C. Montaña. 2000. Cactáceas asociadas a pastizales de *Hilaria mutica* (Buckl.) Benth. en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 45:84-89.
- Gómez-Hinostrosa, C. y H. Hernández. 2000. Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega Region, Mexico. *Biodiversity and Conservation*. 9:403-418.
- Gurvich, E.D., Funes G., A.M. Giorgis y P. Demaio. 2008. Germination characteristics of four Argentinean endemic *Gymnocalycium* (Cactaceae) species with different flowering phenologies. *Natural Areas Journal*. 28:104-108.
- Havens, K., P. Vitt, M. Maunder, O.E. Guerrant Jr. y K. Dixon. 2006. *Ex situ* plant conservation and beyond. *BioScience*. 56:525-531.
- Hernández, H. M., B. Goettsch, C. Gómez-Hinostrosa y H.T. Arita. 2008. Cactus species turnover and diversity along a latitudinal transect in the Chihuahuan Desert Region. *Biodiversity and Conservation*. 17:703-720.
- Hernández-Oria, J.G., M. Chávez-Martínez y M. Sánchez-Martínez. 2007. Factores de riesgo en las Cactaceae amenazadas de una región semiárida en el sur del desierto Chihuahuense, México. *Interciencia* 32:728-734.

- Ibarra-Cerdeña, C.N., L.I. Iñiguez-Dávalos, V. Sánchez-Cordero. 2005. Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a Chiropterophilous columnar cactus, in a tropical dry forest of Mexico. *American Journal of Botany*. 92:503-509.
- IUCN. 2012. IUCN Red List of threatened species. <http://www.iucnredlist.org>. Consultada: marzo 2012.
- Jiménez-Durán, K. y F. Cruz-García. 2011. Incompatibilidad sexual, un mecanismo genético que evita la autofecundación y contribuye a la diversidad vegetal. *Revista de Fitotecnia Mexicana*. 34:1-9.
- Kearns, A.C., W.D. Inouye y M.N. Waser. 1998. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 29: 83-112.
- López, R. P. y S. Valdivia. 2007. The importance of shrub cover for four cactus species differing in growth form in an Andean semi-desert. *Journal of Vegetation Science*. 18:263-270.
- López-Gómez, R. y P. Sánchez-Romero. 1989. Germinación de dos variedades de pitaya *Stenocereus griseus* (Haworth) Buxbaum. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 34:34-40.
- Mandujano, M.C., Montaña C., Eguiarte L. 1996. Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan desert: why are sexually derived recruitments so rare? *American Journal of Botany*. 83:63-70.

- Mandujano, M.C., A. Flores-Martínez, J. Golubov y E. Ezcurra. 2002. Spatial distribution of three globose cacti in relation to different nurse-plant canopies and bare areas. *The Southwestern Naturalist*. 47:162-168.
- Martínez, D., A. Flores-Martínez, F. López y G. Manzanero. 2001. Aspectos ecológicos de *Mammillaria oteroi* Glass y R. Foster en la región mixteca de Oaxaca, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 46:32-39.
- Martínez, J.G., H. Suzán y C.A. Salazar. 1994. Aspectos ecológicos y demográficos de *Neolloydia pseudopectinata* (Backeberg) E. F. Anderson. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 39:27-33.
- McClure, B. y V. Frankling-Tong. 2006. Gametophytic self-incompatibility: understanding the cellular mechanisms involved in self pollen tube inhibition. *Planta*. 224:233-245.
- Nassar, J.M. y N. Ramírez. 2004. Reproductive biology of the melón cactus, *Melocactus curvispinus* (Cactaceae) *Plant. Syst. Evol.* 248:31-44.
- Nobel, P.S. 2011. Sabiduría del desierto, agaves y cactus: CO₂, agua, cambio climático. Biblioteca Básica de Agricultura. Méx. DF. pp: 160.
- Nobel, P.S. 1989. Temperature, water availability, and nutrient levels at various soil depths: Consequences for shallow-rooted desert succulents, including nurse plant effects. *American Journal of Botany*. 76:1486-1489.

- Nobel, P.S., G.N. Geller, S.C. Kee y A.D. Zimmerman. 1986. Temperatures and thermal tolerances for cacti exposed to high temperatures near the soil surface. *Plant Cell Environment*. 9:279-287.
- Nolasco, H., Vega-Villasante F., H.L. Romero-Schmidth y A. Díaz-Rondero. 1996. The effects of salinity, acidity, light and temperature on the germination of cacton *Pachycereus pringlei* (S. Wats.) Britton y Rose, Cactaceae. *Journal of Arid Environment*. 33:87-94.
- Peters, E. M., C. Martorell y E. Ezcurra. 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environment*. 72:593-601.
- Pierson, E.A. y R.M. Turner. 1998. An 85 years study of sahuaro (*Carnegiea gigantea*) demography. *Ecology*. 79:2676-2693.
- Portilla-Alonso, R.M. y C. Martorell. 2011. Demographic consequences of chronic anthropogenic disturbance on three populations of the endangered globose cactus *Coryphantha werdermannii*. *Journal of Arid Environments*. 75:509-515.
- Rae, G.J. y A.E. Ebert. 2002. Demography of the endangered fragrant prickly apple cactus, *Harrisia fragans*. *International Journal of Plant Sciences*. 163:631-640.
- Rideout-Hanzak, S., D.B. Wester, G. Perry y C.M. Britton. 2009. *Echinocereus viridiflorus* var *viridiflorus* mortality in shortgrass plains on Texas: observations following wildfire and drought. *Haseltonia*. 15:102-107.

- Robbins, S.C. 2003. Comercio Espinoso. Comercio y conservación de cactus en el Desierto Chihuahuense. TRAFFIC Norteamérica. Fondo Mundial para la Naturaleza. Washington D.C., EEUU. 143 pp.
- Rodríguez-Ortega, C. E. y E. Ezcurra. 2001. Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea* en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 45:4-14.
- Rojas-Aréchiga, M. y S. Arias. 2007. Avances y perspectivas en la investigación biológica de la familia Cactaceae en México. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*. 1:1-3.
- Ruedas, M., T. Valverde y S. Castillo-Arguero. 2000. Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 66:25-35.
- Rzedowski, C. y J. Rzedowski. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. 2da. ed., Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Michoacán. Méx. p. 435-466.
- Sánchez-Soto, B., A. Reyes-Olivas, E. García-Moya, T. Terrazas. 2010. Germinación de tres cactáceas que habitan la región costera del noroeste de México. *Interciencia*. 35:299-305.
- Suzán, H., G.P. Nabhan y D. Patten. 1994. Nurse plant and floral biology of a rare night-blooming cactus. *Peniocereus striatus* (Brandege) F. Buxbaum. *Conservation Biology*. 8:461-470.

- Teixeira-Roth, V., V. Castro-Cepero, A. Ceroni-Stuva y R. Eyzaguirre-Pérez. 2004. Diversidad y densidad de la comunidad de cactáceas en el cerro Umarcata y quebrada Orobel en el valle del río Chillón (Lima) y su relación con los factores edáficos. *Ecología Aplicada* 3:1-8.
- Tepedino, V.J., T.L. Griswold, W.R. Bowlin. 2010. Reproductive biology, hybridization, and flowering visitors of rare *Sclerocactus taxa* in Utah's Uintah basin. *West. N. Am. Naturalist* 70:377-386.
- Valdez, R., J. Guzmán-Aranda, F. Abarca, L. Tarango-Arámbula y F. Clemente-Sánchez. 2006. Wildlife conservation and management in Mexico. *Wildlife Society Bulletin*. 34:270-282.
- Valiente-Banuet, A., A. Rojas-Martínez, M. Arizmendi, P. Davila. 1997. Pollination biology of two columnar cacti (*Neobuxbaumia mezcalensis* and *Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Central Mexico. *American Journal of Botany*. 84:452-455.
- Valverde, T., M.L. Trejo y S. Castillo. 1999. Patrón de distribución y abundancia de *Mammillaria magnimamma* en la reserva del pedregal de San Ángel, México D.F. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 44:64-74
- Vega-Villasante, F., H. Nolasco, C. Montaña, H.L. Romero-Schmidth y E. Vega-Villasante. 1996. Efecto de la temperatura, acidez, iluminación, salinidad, irradiación solar y humedad sobre la germinación de semillas de *Pachycereus pecten-aboriginum* "carbon barbon" (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 41:51-61.

CAPITULO I

Aspectos demográficos y patrones de asociación de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus*

Resumen

Se estudió la distribución geográfica, asociación, densidad, supervivencia *in situ* y factores de riesgo para las poblaciones de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus*. La búsqueda de las especies se hizo mediante recorridos de campo en los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Querétaro. En los sitios donde se encontraron estas especies, se registraron las coordenadas geográficas y altitud. Se establecieron parcelas de 400 m² donde se marcaron todos los individuos presentes; para cada uno se obtuvieron datos morfométricos y número de costillas o tubérculos; también se registró la ocupación del hábitat, el estado fenológico y la condición sanitaria. Las plantas fueron censadas cada tres meses. *C. cornifera* y *S. anfractuosus* se encontraron solo en dos de los cinco estados visitados: Hidalgo y México, de los 2, 136 hasta los 2, 443 m snm. La densidad para cada especie varió de una hasta 366 plantas en 400 m². Ambas especies comparten el hábitat y se establecen en sitios con luz plena. En todas las unidades de muestreo evaluadas, la supervivencia *in situ* fue decreciendo. El clandestinaje fue la principal causa de desaparición de ambas especies. Este es el primer diagnóstico sobre poblaciones de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* que pretende brindar información básica sobre la gestión y conservación de estas cactáceas.

Abstract

We studied the geographical, spatial distribution, density, *in situ* survival, and risk factors of the populations of *Coryphantha cornifera* and *Stenocactus anfractuosus in situ*. Trips were taken in the states of México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla and Querétaro. At sites where species were

studied, we recorded the geographic coordinates and altitude. Four hundred m² plots were established which marked all individuals present, for each obtained morphometry, habitat occupation, phenology and health status. Plants were censused every three months. *C. cornifera* and *S. anfractuosus* were found only in the states of Hidalgo and Mexico from 2,136 up to 2,443 m. The density of each species ranged from one to 366 plants per 400 m². Both species share the habitat and prefer the open spaces. It was observed that *in situ* survival was decreasing in all the plots evaluated. The illegal extraction was the main cause of disappearance or death of both species. This is the first diagnosis of the populations of *C. cornifera* and *S. anfractuosus* which aims to provide the basic information of management and conservation programs of these cacti.

Palabras clave: cactáceas, distribución geográfica, densidad, riesgo.

Introducción

La familia Cactaceae es nativa del Continente Americano (Anderson, 2001). México alberga cerca del 37% de la riqueza total de cactáceas, de las cuales, el 84% de ellas son endémicas (Arias *et al.*, 2005). Esta familia comprende plantas perennes, de lento crecimiento, con ciclos de vida largos y con frecuente variación en los periodos de floración y fructificación. La incorporación de nuevos individuos es escasa y, por lo común, presentan patrones de distribución restringidos (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). Se ha sugerido que la heterogeneidad ambiental y los requerimientos fisiológicos de cada especie determinan los límites de la distribución a una escala regional (Hernández *et al.*, 2008; Martínez-Ávalos y Jurado, 2005; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Gómez-Ministros y Hernández, 2000; Salas de León *et al.*, 1999). Por otro lado, se ha observado que varias especies de cactáceas se distribuyen en forma

agregada, como resultado de una dispersión limitada y de la germinación y establecimiento de plántulas en sitios particulares (Esparza-Olguín *et al.*, 2002). La literatura sobre ecología de cactáceas, da cuenta, que la mayoría de las especies se encuentran frecuentemente asociadas a plantas nodrizas y rocas, las cuales propician microambientes más húmedos y menos cálidos; además, brindan protección contra la radiación solar y el consumo por herbívoros (Drezner, 2010; Peters *et al.*, 2008; Valiente-Banuet y Verdú 2007; Reyes Olivás *et al.*, 2002).

Los estudios demográficos y ecológicos son herramientas muy importantes para diseñar programas de gestión y conservación de cactáceas (Portilla-Alonso y Martorell, 2011; Hernández-Oria *et al.*, 2007; Zavala-Hurtado y Valverde, 2003) y, por lo tanto, estos son muy frecuentes en especies que enfrentan un inminente riesgo de extinción, ya sea por su baja densidad o distribución muy restringida. Sin embargo, son escasos los trabajos realizados en cactáceas cuyos antecedentes señalan una amplia distribución, como es el caso de *Coryphantha cornifera* (DC.) Lem y *Stenocactus anfractuosus* (Mart. ex Pfeiff.) A. Berger., especies que de acuerdo con Rzedowski y Rzedowski (2001), pueden localizarse en varios estados del centro y norte de la República Mexicana.

A la fecha, se carece de un diagnóstico sobre la distribución, densidad, supervivencia *in situ* y factores de riesgo para las poblaciones de ambas especies; por lo que este trabajo tiene como objetivos documentar los atributos mencionados, partiendo de los supuestos: *C. cornifera* y *S. anfractuosus* comparten el hábitat y presentarían densidades semejantes, se esperaría que la mayoría de los individuos se encuentran asociados a plantas nodrizas o rocas, y que, la supervivencia *in situ* de ambas especies se mantiene constante durante los dos años de evaluación.

Este trabajo, pretende ser el primero en brindar un diagnóstico general sobre el estado actual de las poblaciones de *C. cornifera* y *S. anfractuusus*, con el propósito de que las instancias involucradas en la gestión y conservación de estas especies, tengan información oportuna, para la toma de decisiones.

Materiales y métodos

De abril de 2008 hasta febrero de 2011, se realizaron 85 recorridos en 26 localidades de los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Querétaro. Todos los sitios visitados se ubicaron entre los 2, 000 y 2, 600 m snm y presentaron vegetación secundaria dominada por pastizal y matorral xerófito. En las zonas donde se encontraron ejemplares de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuusus* se establecieron tres unidades de muestreo (UM) de 20 x 20 m para cada sitio. En cada UM se marcaron, con etiquetas de aluminio (de 1.5 cm de ancho por 4 cm de largo), todos los ejemplares que ahí se encontraron. Para cada planta se recabaron los siguientes datos: nombre de la localidad; coordenadas geográficas y altitud estimadas mediante un geoposicionador Garmin serie eTrex HC; altura y diámetro máximo del tallo estimados con un vernier; número de costillas ó mamilas; asociación con nodrizas, rocas o a luz plena, estadio fenológico y sanidad (presencia/ausencia de daños mecánicos, enfermedades y daño por incendios).

a) Distribución geográfica y altitudinal. Se registró la presencia ó ausencia de ejemplares de *C. cornifera* y *S. anfractuusus*, las coordenadas geográficas y la altitud de los sitios donde se encontraron las especies, de acuerdo con los recorridos de campo efectuados en las siguientes localidades: La Purificación Tepetitla, Tultepec, Ojo de Agua y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) Sierra de Tepotzotlán-Huehuetoca, Sierra Hermosa y Sierra de Guadalupe en el estado de

México; Tinajas 1^{ra} y 2^{da} secc., Cerro San Mateo, Santa María Ilucan, ANP Parque Nacional Tula y Parque Estatal Cubitos en el estado de Hidalgo; Calpulalpan, Sanctórum, Tetla, Texcalac, Cuapiaxtla, Cuexcontzi y Tequexquitla en el estado de Tlaxcala; Oriental y Libres en el estado de Puebla; El Sitio, Villa Progreso, Cadereyta, Villa Guerrero y El Jagüey en el estado de Querétaro.

b) Densidad y estructura de tamaños. Entre febrero de 2009 y junio de 2010, se establecieron 20 UM de 400 m² cada una, y se estimó la densidad de plantas para cada UM. Los ejemplares marcados en todos los cuadros fueron clasificados (con base en el diámetro máximo de tallo) en cuatro categorías de tamaños: 0.3-0.7, 0.8-4.1, 4.2-7, 7.1-9.3 para *C. cornifera* y 0.3-1, 1.1-3.5, 3.6-8, 8.1-12.6 para *S. anfractuoso*. El diámetro de tallo se relacionó con el número de costillas o mamilas según la especie. Se contó el número de brotes por planta para ambas especies.

c) Patrones de distribución espacial. La ocupación del hábitat por ambas especies se determinó con base en los censos realizados. Para esto, se registraron todas las plantas que se encontraron asociadas a nodrizas, a rocas mayores de 50 cm³ y en espacios desprotegidos a luz plena.

d) Supervivencia in situ y factores de riesgo para la permanencia de las poblaciones. Las cactáceas marcadas fueron censadas cada tres meses durante un periodo de dos años. En cada visita se contó el número de supervivientes y se registró la presencia de brotes vegetativos, botones, flores y frutos, con el propósito de documentar el estadio fenológico. En el caso de los individuos muertos se registró la causa probable de muerte.

e) Análisis de datos. Para la relación diámetro de tallo con el número de costillas o tubérculos se estimó con una correlación de Pearson. La ocupación del hábitat se analizó en términos

porcentuales. Para los análisis de supervivencia se usó el método de tablas de vida, con el procedimiento LIFETEST (SAS, 2002).

Resultados

a) Distribución geográfica y altitudinal

Se encontraron individuos de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus* en dos entidades. Como se muestra en el Cuadro 1, en cuatro de las nueve localidades estudiadas, ambas especies compartieron el hábitat.

Cuadro 1. Ubicación geográfica de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus*

Estado	Ciudad o Municipio	Localidad y coordenadas geográficas	Spp. observadas	
			<i>C. cornifera</i>	<i>S. anfractuosus</i>
México	Coacalco de Berriozabal	ANP Sierra de Guadalupe 19°37'N, 99°06'O	+	+
	Tepetzotlán	ANP Tepetzotlán 19°47'N, 99°14'O	+*	+
	Texcoco de Mora	Sierra de la Purificación 19°31'N, 98°49'O	+ [§]	+
Hidalgo	Tepeji del Río	Tinajas 1 ^{ra} Sección 19°54'N, 99°22'O	+ [§]	-
	Tepeji del Río	Tinajas 2 ^{da} Sección 19°53'N, 99°23'O	+ [§]	+
	Tepeji del Río	Cerro "San Mateo" 19°54'N, 99°19'O	-	+ [§]
	Tula de Allende	Santa María Ilucan 19°59'N, 99°20'O	+ [§]	-
	Tula de Allende	Parque Nal. Tula 20°03'N, 99°20'O	+*	-
	Pachuca de Soto	Parque Ecol. "Cubitos" 20°05'N, 98°44'O	+*	-

+, Presencia de plantas; -, ausencia de plantas; [§] nuevo registro a nivel local ; * < 1 planta/km².

C. cornifera se distribuye desde los 2, 136 hasta los 2, 423 m snm, mientras que *S. anfractuosus* se ubica a partir de los 2, 367 hasta los 2, 443 m snm.

b) Densidad y estructura de tamaños

S. anfractuosus fue ocho veces más numeroso que *C. cornifera*, En tres localidades esta especie fue muy escasa, a razón de una planta por cada km². *C. cornifera* presentó desde una hasta 18 plantas en 400 m² (densidades de 0.0025-0.0450 ind. m⁻²), mientras que *S. anfractuosus* tuvo densidades que oscilaron desde cinco hasta 366 plantas en 400 m² (densidades de 0.0125-0.9150 ind. m⁻²), Figura 1.

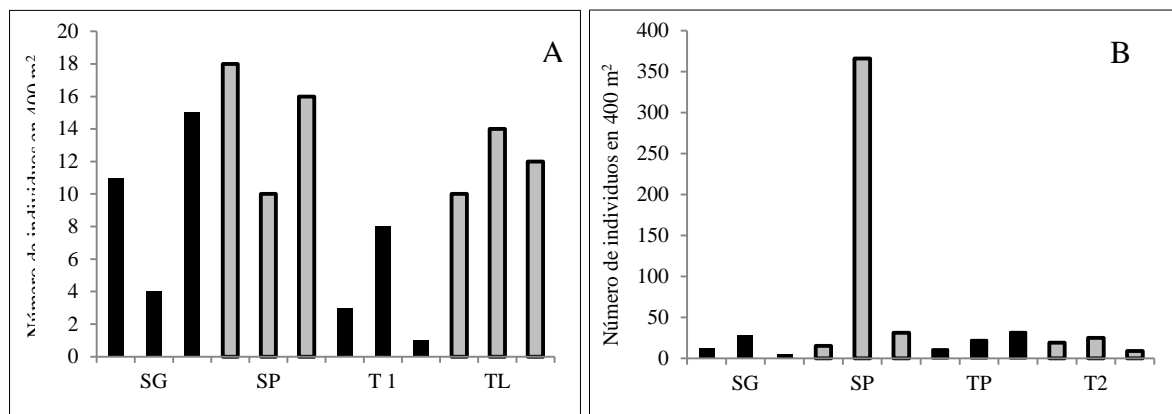


Figura 1. Densidades por localidad de las dos cactáceas estudiadas A, *Coryphantha cornifera*. B, *Stenocactus anfractuosus*. Cada barra representa el número de individuos por UM de 400 m². SG, Sierra de Guadalupe; SP, Sierra de la Purificación Tepetitla; T1, Tinajas 1^a secc. Tepeji del Río; T2, Tinajas 2^a secc. Tepeji del Río; TL, Santa María Ilucan, Tula; TP, Sierra de Tepetzotlán.

La Figura 2 muestra que, más del 85% de las plantas de *C. cornifera* (n=104) presentaron diámetros del tallo superiores a 4.2 cm, las cuales tuvieron entre 18 y 40 mamilas, éstas, desarrollaron flores y frutos durante la primavera. A medida que aumentó el diámetro del tallo se incremento el número de mamilas ($r=0.62$, $y=12.669e^{0.11x}$, $p< 0,0001$). En *S. anfractuosus*

96.5% de las plantas (n=557) tuvieron diámetros del tallo mayores de 3.6 cm y presentaron entre 22 y 56 costillas; todas las plantas ubicadas en esta categoría produjeron flores y frutos durante el invierno. Se observó que a mayor diámetro del tallo se incrementó el número de costillas ($r=0.76$, $y=12.924x^{0.57}$, $p< 0,0001$). En *C. cornifera* el 13% de plantas (n=16) produjeron brotes mientras que en *S. anfractuosus* el 14.5% de las plantas (n=84) generaron brotes.

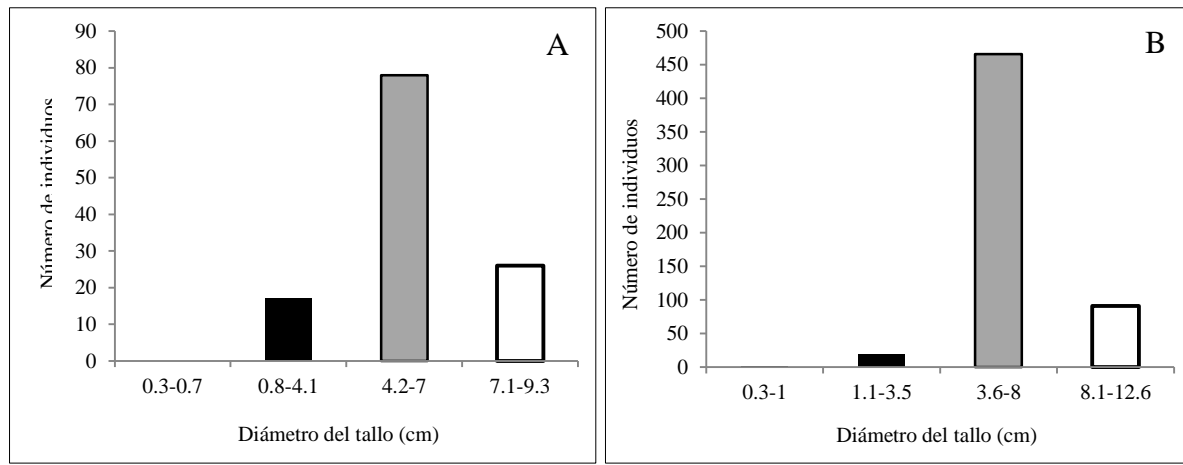


Figura 2. Diámetro máximo de tallo en cuatro categorías de tamaños. A, *Coryphantha cornifera* (n=122) y B, *Stenocactus anfractuosus* (n=577).

c) Patrones de distribución espacial

C. cornifera y *S. anfractuosus* prefieren los micro sitios que reciben radiación solar directa (Figura 3), pero, la presencia de *S. anfractuosus* también se pudo observar en áreas rocosas y bajo plantas nodrizas.

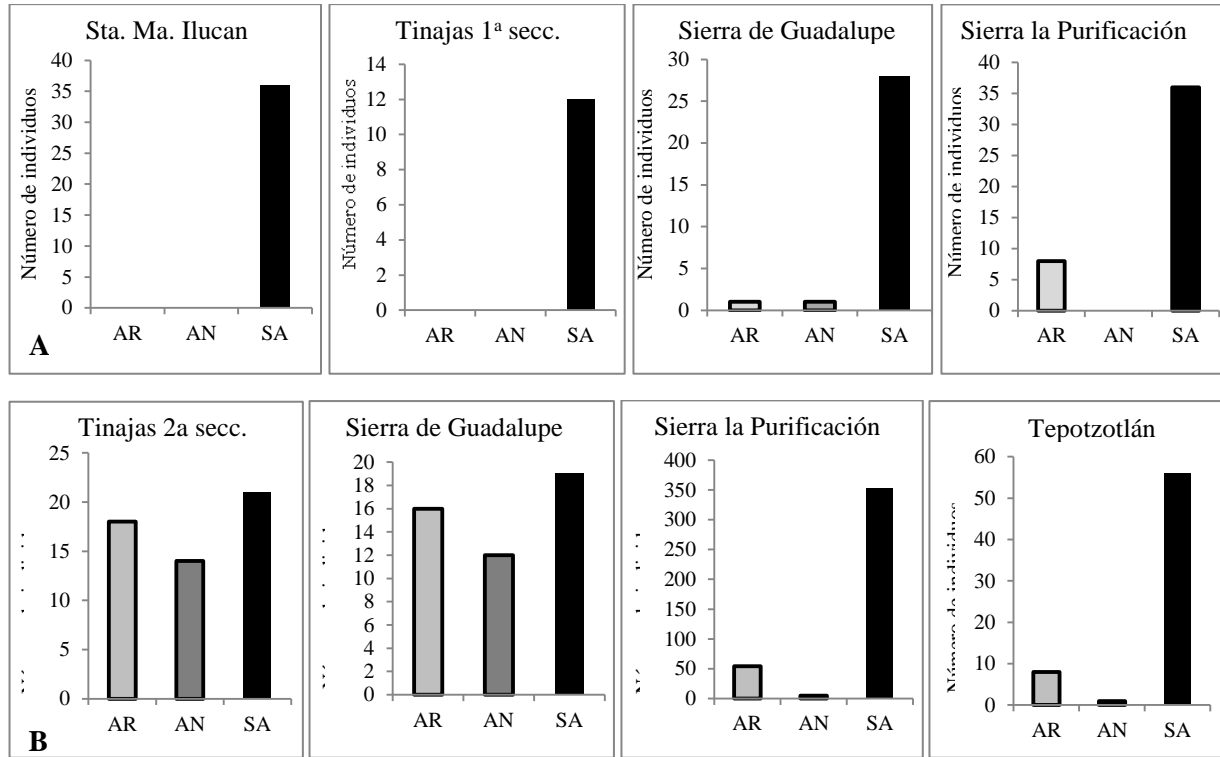


Figura 3. A, hábitats ocupados por *Coryphantha cornifera* y B, por *Stenocactus anfractuosus* en los estados de Hidalgo y México. AR, plantas asociadas a rocas; AN, plantas asociadas a nodrizas; SA, plantas sin asociación.

d) Supervivencia in situ y factores de riesgo para la permanencia de las poblaciones

En todas las localidades estudiadas se observó para ambas especies una tendencia decreciente en el número de individuos (Figura 4). Cabe destacar que el ANP Sierra de Guadalupe presentó las mayores tasas de mortalidad y desaparición de plantas.

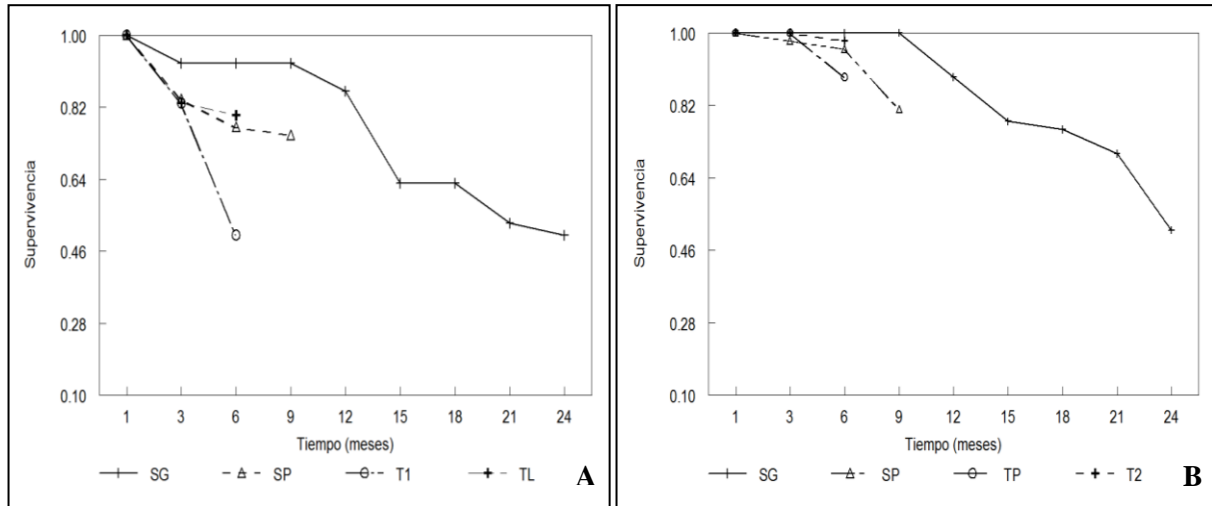


Figura 4. A, Curvas de supervivencia de *Coryphantha cornifera* y B, de *Stenocactus anfractuosus*. SG, Sierra de Guadalupe; SP, Sierra de la Purificación Tepetitla; T1, Tinajas 1^a secc. Tepeji del Río; T2, Tinajas 2^a secc. Tepeji del Río; TL, Santa María Ilucan, Tula; TP, Sierra de Tepotzotlán.

La principal causa de muerte o desaparición de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* en todos los sitios, fue el saqueo con 69% y 65% respectivamente, seguidas por enfermedades (16% y 23%) y por incendios (15% y 8%).

En *C. cornifera* se observó que 26% de las plantas (n=32) presentaron daños mecánicos, mientras que para *S. anfractuosus* fue de 65% (n=375).

Discusión

a) Distribución geográfica y altitudinal

La distribución geográfica de *C. cornifera* coincide con lo mencionado por Dicht y Lüthy (2004), para el estado de Hidalgo. Sin embargo, Golubov *et al.* (2000) indican la presencia de *C. cornifera* en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango. Rzedowski y Rzedowski (2001)

señalan que *C. cornifera* y *S. anfractuosus* se encuentran en los estados de Coahuila, Hidalgo, México, Querétaro, Puebla y Distrito Federal, aunque, en varias de las localidades mencionadas por estos autores, no fue posible ubicarlas, debido a cambios en el uso de la tierra hacia desarrollos urbanos.

La distribución altitudinal de ambas especies (2, 136 - 2, 443 m snm) es diferente a lo consignado por Rzedowski y Rzedowski (2001), ya que para *C. cornifera* la ubican desde los 2, 300 hasta los 2, 800 m snm y para *S. anfractuosus* a los 2, 650 m snm, es decir, en lugares con mayor elevación que los registrados en las observaciones de campo. En los sitios visitados con elevaciones superiores a los 2, 500 m snm, no se observó ninguna de las especies estudiadas, debido probablemente a que conforme aumenta la altitud las precipitaciones son mayores y la temperatura disminuye. Esto sugiere que *C. cornifera* y *S. anfractuosus* presentan requerimientos particulares de humedad y temperatura relacionados con la altitud, del mismo modo que ha sido observado en otras especies de cactáceas (Hernández *et al.*, 2008).

b) Densidad y estructura de tamaños

La densidad de una población es el resultado de los índices de la incorporación y de mortalidad de las plantas, los cuales, son afectados por factores bióticos y abióticos a escala local y regional (Anderson *et al.*, 2010; Flores-Martínez *et al.*, 2010; Teixeira-Roth *et al.*, 2004; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Fox y Gurevitch, 2000); por lo que se considera importante, conocer qué variables ambientales y bióticos determinan la dinámica poblacional de las especies estudiadas.

La gran variación en las densidades registradas para *C. cornifera* y *S. anfractuosus* también ha sido observada en otras especies globosas y semiglobosas. Por ejemplo, Golubov *et al.* (2000)

encontraron una planta ha^{-1} de *C. cornifera* densidad menor que la encontrada en este estudio. Thomas (2006) menciona que *C. vivipara* presentó una densidad promedio de 0.08 plantas m^{-2} , *Echinocereus pectinatus* de 0.11 plantas m^{-2} y *Echinomastus intertextus* de 0.02 plantas m^{-2} . También, Schmalzel *et al.* (1995) encontraron que en *Coryphantha robbinsorum* la densidad promedio fue de 1.11 plantas m^{-2} .

Los resultados de la estructura de tamaños para ambas especies son semejantes a los encontrados para *Coryphantha werdermannii* (Portilla-Alonso y Martorrel, 2011), en *Mammillaria huitzilopochtli* (Flores-Martínez *et al.*, 2010) y en *Pterocereus gaumeri* (Méndez *et al.*, 2004) quienes refieren que la mayor frecuencia de individuos se ubicó en las categorías intermedias y que las plantas con mayor tamaño estuvieron pobremente representadas. No se observaron plantas de la categoría uno, por lo tanto, no existió incorporación en ninguno de los sitios. Aunque es común encontrar este tipo de estructura de tamaños en poblaciones de cactáceas (Portilla-Alonso y Martorell, 2011; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003), se observó que el saqueo de individuos con las mayores tallas fue de hasta el 80% en algunos sitios, lo que explica, en parte, la baja prevalencia de estos en algunas lugares. Además, la ausencia de incorporación en al menos dos años de seguimiento (en las parcelas censadas en la ANP Sierra de Guadalupe), puede estar influida por la elevada depredación de las semillas de ambas especies, la frecuencia de incendios y el pisoteo constante de ganado vacuno (Fuentes-Mayo *et al.*, en revisión).

c) Patrones de distribución espacial

La Figura 3A, muestra que, *C. cornifera* evita establecerse en asociación con plantas nodrizas o rocas. Estos resultados son semejantes a los encontrados en *Echinocereus sciurus* var *floressi* (Reyes-Olivas *et al.*, 2002) y en *Mammillaria lanata* (Peters *et al.*, 2008). Los pocos individuos que se observaron asociados a estos componentes, presentaron ahilamiento y síntomas de pudrición en sus tallos, relacionados con la falta de radiación solar. Por otra parte, *S. anfractuosus* puede establecerse bajo las tres condiciones evaluadas, sin embargo, se observó la mayor proporción de individuos en espacios con radiación solar plena y en asociación a rocas, resultados que también han sido documentados para *Mammillaria hernandezii*, *M. napina*, *M. pectinifera* y *M. solisioides* (Peters *et al.*, 2008). El nodrizaje de plantas y de rocas en la germinación y establecimiento de cactáceas, se ha mencionado como un fenómeno muy común en especies globosas, y ha sido demostrada en *Obregonia denegrii* (Martínez-Berdeja y Valverde, 2008), *Mammillaria kraehenbuehlii* (Peters *et al.*, 2008), *Lophophora diffusa* (Zúñiga *et al.*, 2005), *Coryphantha pallida*, *Mammillaria haageana* y *M. carnea* (Mandujano *et al.*, 2002), *M. colina* y *M. casoi* (Valiente-Banuet *et al.*, 1991). No obstante, las evidencias de este trabajo, demuestran que las especies estudiadas están adaptadas a condiciones ambientales más desfavorables, caracterizadas por mayores niveles de radiación solar, evapotranspiración y consumo, y sugieren que evaden la competencia de otras especies vegetales, estableciéndose en sitios desprotegidos. López y Valdivia (2007) señalan que la presencia de algunas especies de cactáceas en espacios abiertos, puede estar relacionada con la propagación vegetativa, más que con la tolerancia de las plántulas al calor; sin embargo, *C. cornifera* y *S. anfractusus*, se

reproducen básicamente por la vía sexual, además, sus semillas no germinan bajo el dosel de las escasas plantas nodrizas registradas (Fuentes-Mayo *et al.*, en revisión).

d) Supervivencia in situ y factores de riesgo para la permanencia de las poblaciones

Las poblaciones de las especies estudiadas disminuyeron de forma dramática, en particular, en la ANP Sierra de Guadalupe se perdieron el 50% de individuos de *C. cornifera* y el 35% de *S. anfractuosus* en dos años. Durante este periodo, no se observaron evidencias del establecimiento de plántulas. Estos resultados sugieren que, en menos de cuatro años, las especies estudiadas estarían extintas en la ANP mencionada. En la Figura 4, se muestra que todas las poblaciones estudiadas presentan la misma tendencia. La declinación en las poblaciones de otras cactáceas han sido demostradas en *Coryphantha werdermanni* por Portilla-Alonso y Martorell (2011), en *Mammillaria huitzilopochtli* por Flores-Martínez *et al.* (2010), en *Conseola corallicola* por Stiling (2010), en *Astrophytum asterias* por Martínez-Ávalos *et al.* (2007) y en *Harrisia fragrans* por Rae y Ebert (2002). Las causas que contribuyen al decremento poblacional están frecuentemente asociadas a factores antropógena, como se ha documentado por primera vez para *C. cornifera* y *S. anfractuosus*. La extracción ilegal de plantas en ambas especies fue el principal factor de desaparición. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado en la familia Cactáceae y es una de las razones por las cuales, diversas especies se encuentran enlistadas en la NOM-059, en la lista roja de la IUCN y en los Apéndices I y II de la CITES (IUCN, 2011; Arias *et al.*, 2005; SEMARNAT, 2002; Convention on International Trade in Endangered Species, 1990). La colecta ilegal en las especies estudiadas fue dirigida, debido a que los colectores optaron por los individuos que estuvieran en floración y que presentaran las mayores tallas. Estas observaciones coincidieron con lo encontrado en *Strombocactus disciformis* por Álvarez

et al. (2004) y *Turbinicarpus pseudomacroechele*. Fuentes-Mayo *et al.* (en revisión) refiere que las plantas con mayor diámetro de tallo generan mayor número de flores, frutos y semillas, las cuales se observan frecuentemente en mercados locales cuando están en floración.

La segunda causa de muerte y desaparición de plantas en ambas especies, fue la prevalencia de plagas y enfermedades. Se observó que todos los individuos que murieron por infecciones, presentaron previamente daños mecánicos en sus tallos, ocasionados por consumo y por el pisoteo de ganado vacuno y humanos. La exposición de los tallos dañados, facilitó la invasión de patógenos que causaron la muerte a su huésped. Esto ha sido demostrado por Martínez-Ávalos *et al.* (2007) en *Astrophytum asterias* y por Stiling (2010) en *Conseola corallicola*.

La tercera causa de muerte en las especies estudiadas fueron los incendios. Rideout-Hanzak *et al.* (2009) y Ansley *et al.* (2007) mencionan que la mortalidad ocasionada por incendios en *Echinocereus viridiflorus* var *viridiflorus* y en *Opuntia phaeacantha* fue del 91% y de más del 80% respectivamente. Thomas (2006) menciona que *Coryphantha vivipara*, *Echinocereus pectinatus* y *Echinomastus intertextus* son afectadas por este causal, al igual que *Opuntia imbricata* y *O. clavata* (Parmenter, 2008) y *Carnegiea gigantea* (Emming, 2006).

Conclusiones

Se registraron cuatro nuevas localidades para *Coryphantha cornifera* y una para *Stenocactus anfractuosus* en los estados de Hidalgo y México. Contrario a lo publicado, en los estados de Puebla, Querétaro y Tlaxcala no se observó la presencia de estas especies. Los intervalos de distribución altitudinal para ambas especies son diferentes a los mencionados en la literatura y corresponden a partes más bajas que coinciden con la frontera urbana y agropecuaria en todos los sitios. Ambas especies comparten el hábitat, sin embargo, *S. anfractuosus* es más abundante

que *C. cornifera*. Más del 85% de los individuos censados presentaron flores y frutos en los dos *taxa*. En este trabajo se documenta por vez primera que *C. cornifera* se establece en lugares desprovistos de vegetación, mientras que *S. anfractuosus* también lo puede hacer en asociación a rocas, y muy pocos individuos, con nodrizas. Los resultados de supervivencia *in situ*, muestran una tendencia decreciente de todas las poblaciones evaluadas, resultado del saqueo de individuos reproductivos y de la presencia de enfermedades e incendios, además de la inexistencia de germinación y establecimiento de nuevos individuos. Se observó que las especies estudiadas presentan mayor resistencia a incendios en comparación con otras cactáceas globosas. Los resultados muestran que es factible realizar programas de conservación *in situ*, poniendo especial énfasis en la erradicación de la colecta ilegal, el apacentamiento de ganado vacuno y en el control de incendios. Los programas de repoblación artificial en las ANP estudiadas, deberán considerar que en los hábitats de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* no se deberán establecer y promover especies arbóreas cuya sombra afectaría negativamente el establecimiento y desarrollo de estas cactáceas. Los resultados de este trabajo dan pauta para considerar la pertinencia de que ambas cactáceas tengan mayor protección legal tanto en las regulaciones mexicanas como internacionales.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor para la realización de estudios de Doctorado en Ciencias en el Colegio de Postgraduados (No. de Becario: 1086002).

Literatura citada

- Álvarez, R., H. Godínez-Álvarez, U. Guzmán y P. Dávila. 2004. Aspectos ecológicos de dos cactáceas mexicanas amenazadas: implicaciones para su conservación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75:7-16.
- Anderson, E.F. 2001. *The cactus family*. Timber Press, Portland, Oregon, USA.
- Anderson, G., S. Rutman y S. M. Munson. 2010. Plant population and habitat characteristics of the endemic sonoran desert cactus *Peniocereus striatus* in Organ Pipe Cactus National Monument, Arizona. *Madroño* 57:220-228.
- Ansley, R. J. y M. J. Castellano. 2007. Prickly pear cactus responses to summer and winter fires. *Rangeland Ecology and Management* 60:244-252.
- Arias, S., U. Guzmán, M.C. Mandujano, G.M. Soto y J. Golubov. 2005. Las especies mexicanas de cactáceas en riesgo de extinción I: Una comparación entre listados NOM-059-ECOL-2001 (México), la lista roja (UICN) y CITES. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 50:100-125.
- Convention on International Trade in Endangered Species. 1990 Appendice I and II to the Convention. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC.
- Dicht, R. F. y A. D. Lüthy. 2004. *Coryphantha: Cacti of Mexico and southern USA*. Springer-Verlag, Berlin. p. 63-65.
- Drezner, T. D. 2010. Nurse tree canopy shape, the subcanopy distribution of cacti, and facilitation in the Sonora Desert. *Journal of the Torrey Botanical Society* 137:277-286.

- Emming, J. 2006. The threat that invasive weeds and wildfires pose to our North American desert biomes. *Cactus and Succulent Journal* 78:15-21.
- Esparza-Olguín, L., T. Valverde y E. Vilchis-Anaya. 2002. Demographic analysis of a rare columnar cacti (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, México. *Biological Conservation* 103:349-359.
- Flores-Martínez, A., G. I. Manzanero-Medina, J. Golubov, C. Montaña y M. C. Mandujano. 2010. Demography of an endangered endemic rupicolous cactus. *Plant Ecology* 210:53-66.
- Fox, A. G. y J. Gurevitch. 2000. Population numbers count: tools for near-term demographic analysis. *The American Naturalist* 156:242-256.
- Godínez-Álvarez, H., T. Valverde y P. Ortega-Báez. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review* 69:173-203.
- Golubov, J., C. Mandujano y C. Montaña. 2000. Cactáceas asociadas a pastizales de *Hilaria mutica* (Buckl.) Benth. en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 45:84-89.
- Gómez-Hinostrosa, C. y M. H. Hernández. 2000. Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega Region, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 9:403-418.

- Hernández, H. M., B. Goettsch, C. Gómez-Hinostrosa y H. T. Arita. 2008. Cactus species turnover and diversity along a latitudinal transect in the Chihuahuan Desert Region. *Biodiversity and Conservation* 17:703-720.
- Hernández-Oria, J. G., M. Chávez y M. Sánchez. 2007. Factores de riesgo en las Cactaceae amenazadas de una región semiárida en el sur del desierto Chihuahuense, México. *Interciencia* 32:728-734.
- IUCN. 2011. IUCN Red List of threatened species. <http://www.iucnredlist.org>. Consultada: junio 2011.
- Lopez, R. P. y S. Valdivia. 2007. The importance of shrub cover for four cactus species differing in growth form in an Andean semi-desert. *Journal of Vegetation Science* 18:263-270.
- Mandujano, M. C., A. Flores-Martínez, J. Golubov y E. Ezcurra. 2002. Spatial distribution of three globose cacti in relation to different nurse-plant canopies and bare areas. *The Southwestern Naturalist* 47:162-168.
- Martínez-Avalos, J. G. y E. Jurado. 2005. Geographic distribution and conservation of Cactaceae from Tamaulipas Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14:2483-2506.
- Martínez-Ávalos, J. G., J. Golubov, M. C. Mandujano y E. Jurado. 2007. Causes of individual mortality in the endangered star cactus *Astrophytum asterias* (Cactaceae): the effect of herbivories and disease in Mexican populations. *Journal of Arid Environments* 71:250-258.

- Martínez-Berdeja, A. y T. Valverde. 2008. Growth response of three globose cacti to radiation and soil moisture: An experimental test of the mechanism behind the nurse effect. *Journal of Arid Environments* 72:1766-1774.
- Méndez, M., R. Durán, I. Olmsted y K. Oyama. 2004. Population dynamics of *Pterocereus gaumeri*, a rare and endemic columnar cactus of Mexico. *Biotropica* 36:492-504.
- Parmenter, R. R. 2008. Long-term effects of a summer fire on desert grassland plant demographics in New Mexico. *Rangeland Ecology and Management* 61:156-168.
- Peters, E. M., C. Martorell y E. Ezcurra. 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* 72:593-601.
- Portilla-Alonso, R. M. y C. Martorell. 2011. Demographic consequences of chronic anthropogenic disturbance on three populations of the endangered globose cactus *Coryphantha werdermannii*. *Journal of Arid Environments* 75:509-515.
- Rae, G. J. y A. E. Ebert. 2002. Demography of the endangered fragrant prickly apple cactus, *Harrisia fragans*. *International Journal of Plant Sciences* 163:631-640.
- Reyes-Olivas, A., E. García-Moya y L. López-Mata. 2002. Cacti-shrub interactions in the coastal desert of northern Sinaloa, Mexico. *Journal of Environments* 52:431-445.
- Rideout-Hanzak, S., D. B. Wester, G. Perry y C. M. Britton. 2009. *Echinocereus viridiflorus* var *viridiflorus* mortality in shortgrass plains on Texas: observations following wildfire and drought. *Haseltonia* 15:102-107.

- Rzedowski, C. y J. Rzedowski. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. 2da. ed., Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Michoacán. Méx. p. 435-466.
- Salas de León, S. N., A. García-Mendoza, A. Reyes-Aguero y M. C. Villar. 1999. Distribución geográfica y ecológica de la flora amenazada de extinción en la zona árida del estado de San Luis Potosí, México. *Polibotánica* 10:1-21.
- SAS (2002) SAS/STAT user's guide. Ver.9.00. SAS Institute. Cary, NC, EEUU.
- Schmalzel, J., W. Reichenbacher y S. Rutman. 1995. Demographic study of the rare *Coryphantha robbinsorum* (Cactaceae) in southeastern Arizona. *Madroño* 42:332- 348.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Diario Oficial de la Federación. 2ª sección. 06 marzo 2002.
- Stiling, P. 2010. Death and decline of a rare cactus in Florida. *Castanea* 75:190-197.
- Teixeira-Roth, V., V. Castro-Cepero, A. Ceroni-Stuva y R. Eyzaguirre-Pérez. 2004. Diversidad y densidad de la comunidad de cactáceas en el cerro Umarcata y quebrada Orobel en el valle del río Chillón (Lima) y su relación con los factores edáficos. *Ecología Aplicada* 3:1-8.
- Thomas, P. A. 2006. Mortality over 16 years of cacti in a burnt desert grassland. *Plant Ecology* 183:9-17.
- Valiente-Banuet, A. y M. Verdú. 2007. Facilitation can increase the phylogenetic diversity of plant communities. *Ecology Letters* 10:1029-1036.

- Valiente-Banuet, A., C. Bolongaro-Crevenna, O. Briones, E. Ezcurra, M. Rosas, H. Nuñez, G. Barnard G. y E. Vazquez. 1991. Spatial relationships between cacti and nurse shrubs in a semi-arid environment in central Mexico. *Journal of Vegetation Science* 2:15-20.
- Zavala-Hurtado, J. A y P. L. Valverde. 2003. Habitat restriction in *Mammillaria pectinifera*, a threatened endemic Mexican cactus. *Journal of Vegetation Science* 14:891-898.
- Zúñiga, B., G. Malda y H. Suzán. 2005. Interacciones planta-nodriza en *Lophophora diffusa* (Cactaceae) en un desierto subtropical de México. *Biotropica* 37:351-356.

CAPITULO II

Biología reproductiva de *Stenocactus anfractuosus* y *Coryphantha cornifera* con fines de conservación

Resumen

Las cactáceas *Stenocactus anfractuosus* y *Coryphantha cornifera* son endémicas de México, sus poblaciones están en riesgo de desaparecer por causas antropógena. Se estudió la fenología reproductiva, la expresión sexual, los sistemas de cruzamiento, la polinización, la dispersión y la germinación de semillas de ambas especies. El trabajo observacional y experimental se realizó en el Área Natural Protegida “Sierra de Guadalupe”, estado de México. *S. anfractuosus* florece durante el invierno y *C. cornifera* durante la primavera. Las flores de ambas plantas son hermafroditas (>60%), casmógamas, diurnas, hercógamas y xenógamas estrictas. A medida que aumentó la talla de las plantas se incrementó el número de flores en ambas especies. *S. anfractuosus* produce flores con longevidad de hasta 13 días y maduración de frutos de tres meses en promedio. *C. cornifera* produce flores con longevidad constante de tres días y maduración de frutos de 12 meses en promedio. Ambas especies comparten a *Ceratina* sp. como único polinizador. La germinación de semillas con un mes de cosecha, fue superior al 60% en las dos especies. Las semillas dispersadas en lugares a cielo abierto germinaron hasta 50% en temporada de lluvias. La información consignada es el primer diagnóstico de atributos reproductivos en las especies estudiadas y permite determinar los tiempos de cosecha, almacenamiento y siembra de semillas, aspectos cruciales para llevar al cabo programas de gestión y conservación de estas especies.

Palabras clave: cactáceas globosas, México, sistemas de cruzamiento, atributos reproductivos.

Summary

The cacti *Stenocactus anfractuosus* and *Coryphantha cornifera* are endemic to Mexico, whose populations are at risk of disappearing due to anthropogenic causes. We studied the reproductive phenology, sexual expression, mating systems, pollination, seed dispersal and germination of both species. Observational and experimental work was carried out in “Sierra de Guadalupe”, a protected natural area in the state of Mexico. *S. anfractuosus* blooms during winter and *C. cornifera* during the spring. The flowers of both plants were hermaphrodites (>60%), chasmogamous, diurnal, herkogamic, and with cross pollination. Size of the plants is related to highest number flowers in both species. *S. anfractuosus* produces flowers with longevity up to 13 days and the ripening of the fruit was three months on average. *C. cornifera* produces flowers with constant three-day longevity and the ripening of the fruit was 12 months on average. The two taxa share to *Ceratina* sp. as the only pollinator. Germination of seeds after a month of harvest, was over 60% in the two cacti. Seeds dispersed in open sites germination up to 50% in rainy season. The information reported in this study is the first diagnosis of reproductive attributes for the species. Furthermore, determination of attributes such as time of harvesting of seeds, storage and germination, are crucial for the implementation of the management and conservation programs of these cacti.

Keywords: globose cacti, Mexico, reproductive traits, mating systems

Introducción

México es uno de los centros de diversificación de cactáceas. Se reconocen cerca de 66 géneros y 850 especies, de las cuales 80% de ellas son endémicas (Hernández y Godínez, 1994). Entre

los principales problemas que enfrentan estas plantas, destacan la fragmentación de los hábitats debido a cambios en el uso de la tierra y a la comercialización indiscriminada de la mayoría de las especies. Esto, ha originado que en las últimas décadas las poblaciones silvestres hayan disminuido de manera radical; por ello, más de la tercera parte de la flora cactológica de México se encuentra amenazada o en alguna categoría de riesgo (SEMARNAT, 2002; Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000). Ante esta tendencia devastadora, diversos autores han estudiado aspectos ecológicos y factores de riesgo para las poblaciones de cactáceas mexicanas (Álvarez *et al.*, 2004; Hernández-Oria *et al.*, 2007; Valverde *et al.*, 2009). En particular, Contreras y Valverde (2002), Valiente-Banuet *et al.*, (2004), Blair y Williamson (2008) y Ramírez-Freire *et al.* (2010) concentraron sus esfuerzos en conocer algunos atributos de la biología reproductiva de cactáceas endémicas o bajo algún estatus de protección. La comprensión de los procesos reproductivos en cactáceas es importante en el establecimiento de planes de gestión y conservación para cada *taxón* (Gurvich *et al.*, 2008 a), sobre todo, en aquellas poblaciones afectadas negativamente por disturbios de origen antropógeno (Eckert *et al.*, 2009).

Stenocactus anfractuosus (Mart. ex Pfeiff.) A. Berger. y *Coryphantha cornifera* (DC.) Lem. son cactáceas globosas apreciadas como ornamentales. En décadas pasadas presentaban una amplia distribución en los estados de Hidalgo, México, Querétaro y Distrito Federal (Dicht y Lüthy, 2004; Rzedowski y Rzedowski, 2001). Sin embargo, de acuerdo con censos realizados entre 2009 y 2011, sólo se han localizado en algunas zonas de agostaderos y en Áreas Naturales Protegidas. Sus poblaciones se han visto diezmadas hasta en un 50% debido a la colecta ilegal, los incendios inducidos y la fragmentación del hábitat (Fuentes-Mayo *et al.*, en revisión). Ambas especies coexisten en el mismo hábitat y crecen de forma solitaria (Dicht y Lüthy, 2004;

Rzedowski y Rzedowski, 2001), muy rara vez en conglomerados, por lo tanto, su éxito reproductivo radica en la reproducción sexual. A la fecha se desconoce su fenología reproductiva (floración y fructificación), sus sistemas de cruzamiento, polinización, dispersión y germinación en ambas especies. El objetivo del trabajo es documentar los aspectos mencionados, asumiendo que ambas especies presentan un sistema de cruzamiento exogámico, con flores que estructuralmente favorecen la polinización cruzada. La información obtenida, tiene como finalidad contribuir, en el corto plazo, en la toma de decisiones sobre la gestión y conservación de estas especies.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó en el paraje “Xolo” del Área Natural Protegida (ANP) Sierra de Guadalupe, localizada a los 19°37’N y 99°06’O, altitud de 2 423 m snm, clima templado subhúmedo y lluvias en verano; precipitación media anual de 627 mm y temperatura media anual de 16.7°C (Cedillo *et al.* 2007). La zona de estudio presenta vegetación secundaria dominada por pastizal y fragmentos de matorral xerófito.

a) Floración y fructificación.

Las observaciones fenológicas iniciaron en diciembre de 2008 y concluyeron en mayo de 2011. En el área de estudio se marcaron 35 plantas de *Stenocactus anfractuosus* y 31 de *Coryphantha cornifera*, sanos y con diámetro de tallo mayor de 4.5 cm. Las plantas etiquetadas fueron censadas cada 15 días. Durante tres años consecutivos y para cada taxón se registró el periodo de floración y de maduración de frutos. Durante un año se cuantificó el número de flores en

antes, longevidad de la flor y diámetro de la flor, obteniendo los valores máximo, mínimo y promedio para cada una. Se estimó la relación entre el diámetro de tallo y número de flores, dinámica de la apertura floral (por hora y día, desde las 7 hasta las 21 h), horario de máxima antes, expresión sexual, depredación parcial o total de flores, número de semillas promedio por fruto y tamaño promedio de semillas.

b) Sistemas de cruzamiento

Con el propósito de conocer el sistema reproductivo de *S. anfractuosus* y *C. cornifera* -entre diciembre de 2009 y junio de 2010- se aplicaron los siguientes tratamientos en forma manual (inducida) para cada especie, simulando la situación indicada entre paréntesis: PCM= Polinización Cruzada Manual entre flores de distintos individuos (xenogamia), APM= Autopolinización Manual por unidad de polinización (autogamia estricta), APMV= Autopolinización Manual entre unidades de polinización del mismo individuo (autogamia por geitonogamia) y PN=Polinización Natural como grupo testigo. Cada tratamiento se efectuó en 10 plantas marcadas al igual que todos sus botones, flores y frutos. El movimiento de polen entre plantas, se evitó mediante el aislamiento de flores con una campana plástica y malla de tul. Para el tratamiento de PCM se transfirió polen de las flores de una planta a las flores de otra planta, por medio de un palillo de madera; entre plantas hubo una separación de al menos tres metros de distancia; la APM se llevó a cabo transfiriendo polen al estigma de la misma flor y, la APMV, se realizó llevando polen de una flor a otra pero ambas pertenecientes al mismo individuo. La emasculación en los tres tratamientos se realizó dos veces por día entre las 12 y 15 h durante el periodo de floración de cada especie. Las plantas con PN no se intervinieron y fueron revisadas cada siete días, para asegurar que no existieran daños en sus órganos

reproductivos. Al concluir la época de maduración de frutos, se contó su número por cada tratamiento, así como el número de semillas por fruto, y se estimó la eficiencia reproductiva en comparación con el grupo testigo (PN).

c) Polinización y dispersión

Para determinar las especies polinizadoras de *S. anfractusus* y *C. cornifera*, se realizaron colectas entomológicas durante los meses de diciembre a junio (periodos de floración) del 2009, en un horario de 9 a 18 h. De los ejemplares censados para el estudio fenológico, se eligieron cinco plantas que presentaran más de 10 m de separación entre una y otra, en las cuales se colectaron todos los insectos que tocaran los estambres y el estigma de la planta, mismos que fueron preservados y transportados en frascos de vidrio con alcohol etílico a 70%. La identificación se llevó a cabo en el Laboratorio de Morfología de Insectos del IFIT (Colegio de Postgraduados).

Los cinco ejemplares marcados para el trabajo de polinización fueron observados desde abril de 2009 hasta julio del 2010 (periodos de fructificación), por intervalos de 15 días. Con la ayuda de equipo fotográfico, redes y pinzas entomológicas; se registraron y colectaron todos los animales que dispersaran frutos o semillas de ambas especies. Las observaciones se realizaron entre las 10 y 18 h, por lo que no fue posible detectar potenciales dispersores nocturnos.

Entre mayo y diciembre de 2009 y 2010 se excavaron 16 calas de 20 cm² de superficie por 20 cm de profundidad en hormigueros ubicados en el hábitat de los individuos censados, el suelo fue tamizado para detectar semillas de las especies bajo estudio. También, con base en la técnica seguida por Angoa-Román *et al.*, (2005), alrededor de cada planta marcada se removió una

capa de suelo de 10 cm² de superficie por 10 cm de profundidad y se tamizo mediante una malla fina, con el propósito de conocer si existían semillas dispersadas de cada especie.

d) Germinación y tiempo de almacenamiento de semillas

En septiembre de 2008 se realizaron los experimentos de germinación *ex situ*, que consistieron en sembrar 100 semillas -con 10 repeticiones para *S. anfractuosus* y seis repeticiones para *C. cornifera*- en una mezcla de tezontle y tierra de monte (1:1) esterilizada, almacenadas en charolas de germinación previamente desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 3%, las cuales permanecieron cerradas, con una humedad relativa del 80% bajo condiciones de invernadero.

Los experimentos de germinación *in situ* se llevaron a cabo en septiembre de 2009. Se eligieron tres micro sitios contrastantes para realizar la siembra de las semillas de ambas especies: planta nodriza (*Opuntia streptacantha* Lem.), rocas mayores de 50 cm³ y espacios abiertos. En cada sitio se establecieron tres parcelas de 50 x 30 cm en las que se colocaron 100 semillas de cada especie con tres repeticiones.

La germinación *in situ* protegida se llevo a cabo en los sitios ya mencionados, sin embargo, las semillas fueron colocadas en charolas de plástico con perforaciones de 1 mm aproximadamente, para evitar su depredación. Se utilizó el sustrato propio de cada lugar y las charolas fueron cerradas y selladas con cinta adhesiva transparente. Se establecieron tres repeticiones por sitio por especie.

Con la finalidad de conocer el tiempo que pueden almacenarse las semillas colectadas en campo (sin perder la capacidad de germinar) se cosecharon semillas de ambas especies y se germinaron

bajo las mismas condiciones ya descritas en el apartado de germinación *ex situ*. Sin embargo, para este experimento, se sembraron semillas con cuatro, ocho, 12 y 16 meses de cosecha que fueron comparadas con el grupo testigo con un mes de cosecha.

e) Análisis de los datos

Para los datos morfológicos, longevidad y flores en antesis, se utilizó estadística descriptiva. Se midió el éxito reproductivo en términos porcentuales con respecto al número de frutos producidos. Para relacionar alometría con número de flores se hizo el análisis de correlación de Pearson. Para las cuatro situaciones experimentales de germinación y tiempo de almacenamiento de las semillas, se registró el porcentaje de germinación después de 40 días, calculado por la media y desviación estándar de todas las repeticiones. Los valores de germinación superaron la prueba de normalidad de Shapiro y Wilk (1965) y fueron analizados por un ANOVA de una vía seguido de un análisis de prueba de rangos estudentizados de Tukey al 5%. Todos los análisis estadísticos se realizaron con SAS versión 9.00. (SAS, 2002).

Resultados

a) Floración y fructificación

Stenocactus anfractuosus florece durante el invierno, desde finales de diciembre hasta marzo; la fructificación ocurre entre marzo y junio. Como se puede observar en la Tabla I, los ejemplares en estadio reproductivo pueden producir desde una hasta 19 flores por ciclo.

Cuadro 1. Producción, duración y tamaño (mínimo, promedio y máximo) de las flores de *Stenocactus anfractuosus* y *Coryphantha cornifera* en Sierra de Guadalupe, estado de México.

Especie	Flores en antesis (No. planta ⁻¹ año ⁻¹)	Longevidad (días)	Diámetro (cm)
<i>Stenocactus anfractuosus</i>	1, 7, 19	4, 8, 13	2.1, 3.6, 5.0
<i>Coryphantha cornifera</i>	1, 5, 9	3, 3, 3	3.8, 5.7, 7.5

Es importante señalar que *Stenocactus anfractuosus* mantiene flores en antesis hasta por 13 días, aspecto que se documenta por vez primera para este taxón. A medida que el diámetro del tallo aumentó, el número de flores se incrementó. Las plantas que tuvieron el mayor diámetro (12 a 12.6 cm) produjeron hasta 19 flores en un año, en contraste con las plantas que tuvieron diámetros por debajo de 3.6 cm, las cuales no desarrollaron flores (Figura 1a).

Las flores de *S. anfractuosus* presentaron tépalos blancos con franjas centrales de color violeta, fueron diurnas, casmógamas y con estigmas exertos. Abrieron a partir de las 8 horas y cerraron a las 20 horas. La Figura 2a muestra que la antesis máxima se presenta a las 15 horas y decae fuertemente a partir de las 17 h.

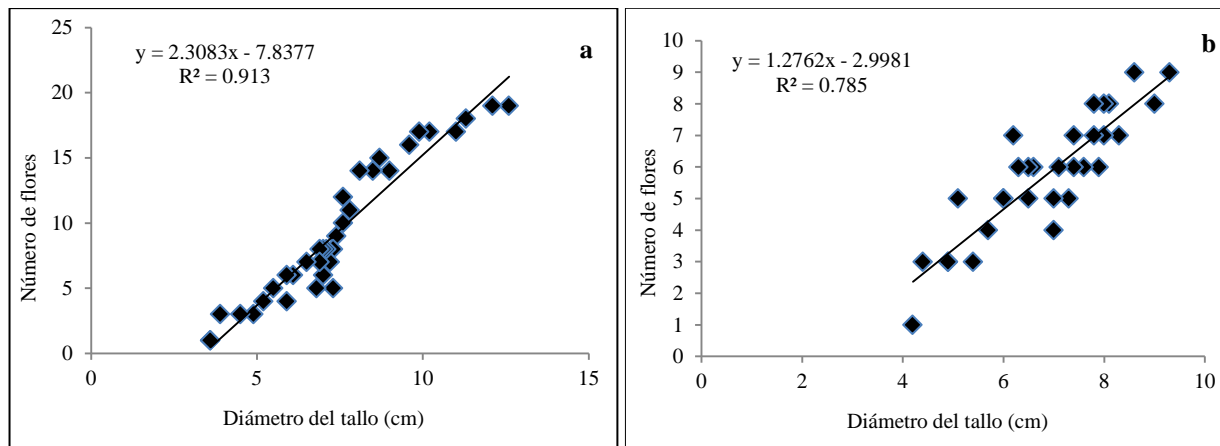


Figura 1. a) Relación entre diámetro de tallo y número de flores en *Stenocactus anfractuosus*. ($p < 0,0001$), $n=35$ plantas. b) Relación entre diámetro de tallo y número de flores en *Coryphantha cornifera*. ($p < 0,0001$), $n=31$ plantas.

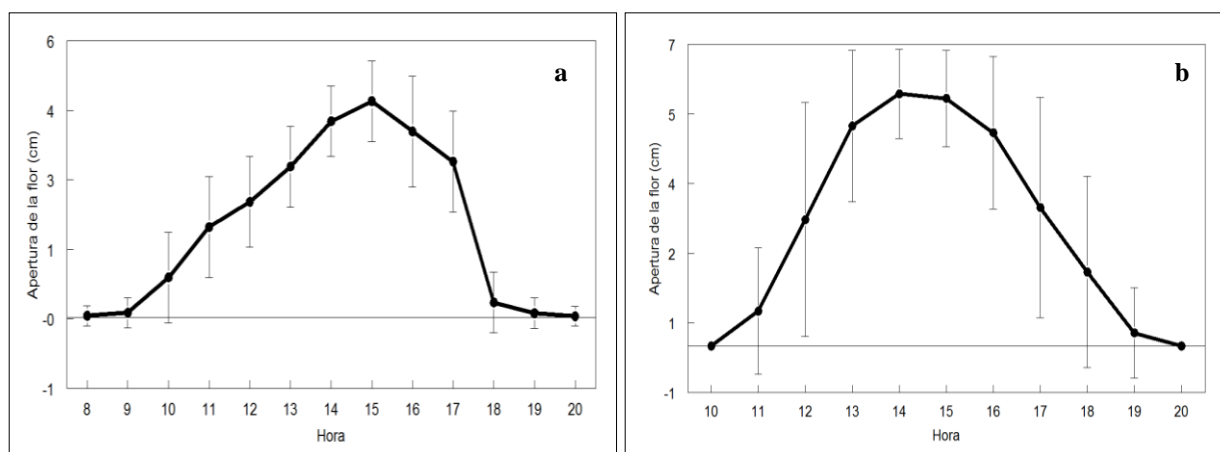


Figura 2. a) Curva de apertura y cierre de flores de *Stenocactus anfractuosus*. Cada barra representa el promedio de 252 observaciones ± 1 desviación estándar ($n=40$ flores). b) Curva de apertura y cierre de flores de *Coryphantha cornifera*. $n=33$ flores. Cada barra representa el promedio de 204 observaciones ± 1 desviación estándar.

De diciembre a marzo del 2010 esta especie presentó flores hermafroditas (n=90); sin embargo, 36% de éstas, fueron funcionalmente masculinas, debido a que su estigma permaneció cerrado todo el periodo de floración; 3% fueron funcionalmente femeninas ya que el androceo se mantuvo atrofiado y, 61% fueron flores hermafroditas simultáneamente funcionales. En febrero de 2010 se observó que en 100 flores marcadas, el 28% de ellas presentaron daños por herbívoros en filamentos, tecas, estilos y estigmas. Por otro lado, cada fruto tuvo en promedio 79 ± 38.7 semillas obovoides de 1.6 ± 0.36 mm de diámetro y de color negro.

Coryphantha cornifera presenta polimorfismo del color de flores, desde el blanco hasta diversas tonalidades de rosa; son casmógamas y con estigmas exertos. Las plantas florecieron desde marzo hasta junio. Sus flores presentaron una longevidad constante de tres días y el diámetro en antesis máxima superó los 5.5 cm (Cuadro 1). La maduración de frutos inicia en junio y tarda hasta 12 meses en promedio. La Figura 1b muestra la relación entre diámetro del tallo y número de flores; después de los 4.2 cm de diámetro, a mayor diámetro mayor número de flores. Las plantas con menos de 4.2 cm de diámetro no produjeron flores, por lo que fueron consideradas como inmaduras. Esta especie exhibe flores diurnas, cuya apertura inició desde las 10 h y terminó a las 20 h, con antesis máxima entre las 14 y 15 h (Figura 2b).

En *C. cornifera* el 86% de las flores (n=58) fueron hermafroditas con ambos sexos funcionales, 7% fueron funcionalmente masculinas, 3% funcionalmente femeninas y 4% de hermafroditismo estructuralmente atrofiado. En los meses de mayo y junio del 2010 se marcaron y observaron 47 flores, de las cuales el 40% presentó daños mecánicos (por herbivoría) en sus estructuras reproductivas. Cada fruto generó, en promedio, 75 ± 29.8 semillas de 1.7 ± 0.34 mm de largo y de color café.

b) *Sistemas de cruzamiento*

Las dos especies estudiadas fueron exógamas y presentaron mayor eficiencia reproductiva con el tratamiento de PCM (diferencias significativas, $p < 0,05$) en comparación con la PN; en cambio, el sistema de cruzamiento autógamo, evaluado mediante los tratamientos APM y APMV no causó efectos (Figura 3).

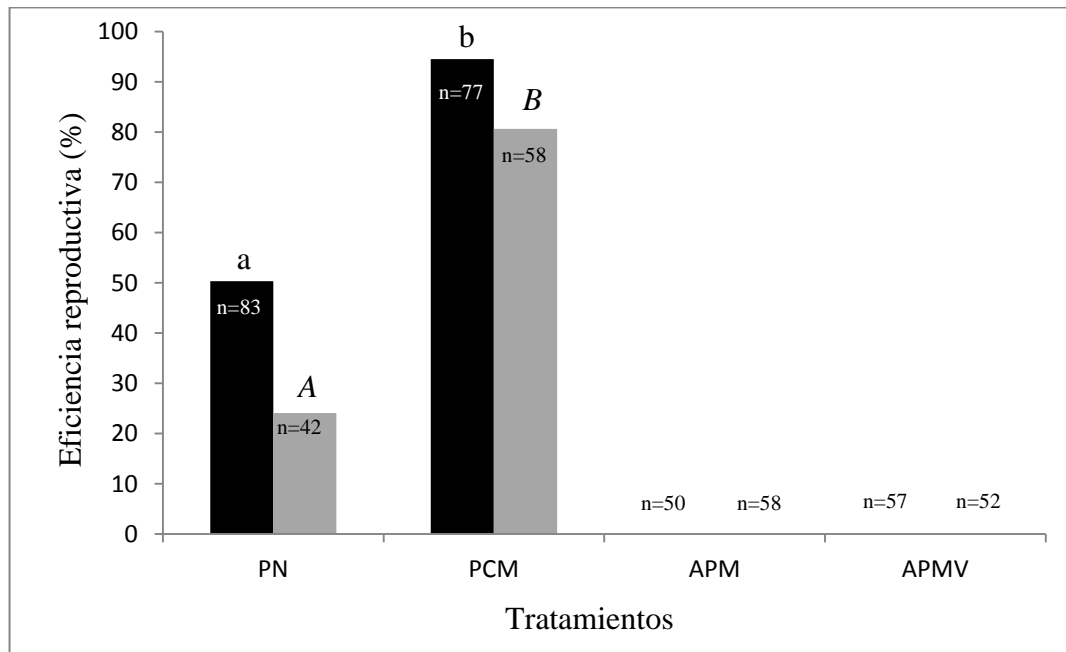


Figura 3. Eficiencia reproductiva en *Stenocactus anfractuosus* (barra negra) y *Coryphantha cornifera* (barra gris): PN= Polinización Natural; PCM=Polinización Cruzada Manual; APM=Autopolinización Manual y APMV=Autopolinización Manual Geitonogámica. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Tukey). n=número de flores evaluadas.

c) *Polinización y dispersión*

El único polinizador observado y colectado en ambas especies de cactáceas fue *Ceratina* sp. (familia Apidae, orden Hymenoptera). Esta abeja nectívora y solitaria, inició su actividad en sincronía con la dinámica de apertura floral; el número de visitas aumentó cuando las flores llegaban a su máxima antesis. Todos los insectos observados en *Stenocactus anfractusosus* (n=46) y *Coryphantha cornifera* (n=42) acarrearón granos de polen, de forma más evidente en patas y tórax (Figura 4 a, b). En *S. anfractusosus* el 76% de las abejas tocaron los estambres y el estigma de la misma flor, en tanto que para *C. cornifera* esto ocurrió en el 66% de los casos. Es relevante señalar que en *C. cornifera* se observaron movimientos tigonásticos en las cinco plantas marcadas. Para comprobar que dichos movimientos eran ocasionados por el contacto de las abejas sobre las tecas y los filamentos; se tocaron los estambres de diez flores en plantas no marcadas, con un palillo, dando como resultado un movimiento en espiral de los estambres hacia el estilo en todas las flores.



Figura 4. a) *Ceratina* sp. en una flor de *Stenocactus anfractuosus*. b) *Ceratina* sp. con granos de polen de *Coryphantha cornifera*.

En las 16 calas realizadas y en el suelo de los ejemplares evaluados, no se observaron semillas de ninguna especie. La depredación de éstas, fue más evidente en *S. anfractuosus* que en *C. cornifera*. En menos de 24 h todas las semillas expuestas en los frutos fueron removidas (n=36 frutos). En contraste, se lograron registrar 11 frutos de *C. cornifera*, en el suelo, los que permanecieron *in situ* hasta un máximo de tres días.

d) Germinación y tiempo de almacenamiento de semillas

La germinación *ex situ* (80%) en *Stenocactus anfractuosus* fue significativamente mayor ($p < 0,05$) que en el resto de los tratamientos. En los experimentos de germinación *in situ*, todas las semillas fueron removidas de los sitios a los siete días de siembra. Se desconoce el agente que causó dicha remoción. Con base en los resultados, la germinación *in situ* fracasó, mientras que en la situación *in situ* protegida, se demostró que las semillas tienen la capacidad para germinar en las zonas de distribución de estas especies, después de la dispersión. *C. cornifera* germina

mejor bajo condición soleada (68%) y en asociación a rocas (62%); mientras que la germinación en asociación con nodrizas fue significativamente menor al resto (0.6%, $p < 0,05$), en contraste con *S. anfractusus*, que aunque presentó mayor porcentaje de germinación a cielo abierto (52%), también tiene la capacidad de germinar bajo la sombra de rocas y plantas nodrizas (Figura 5).

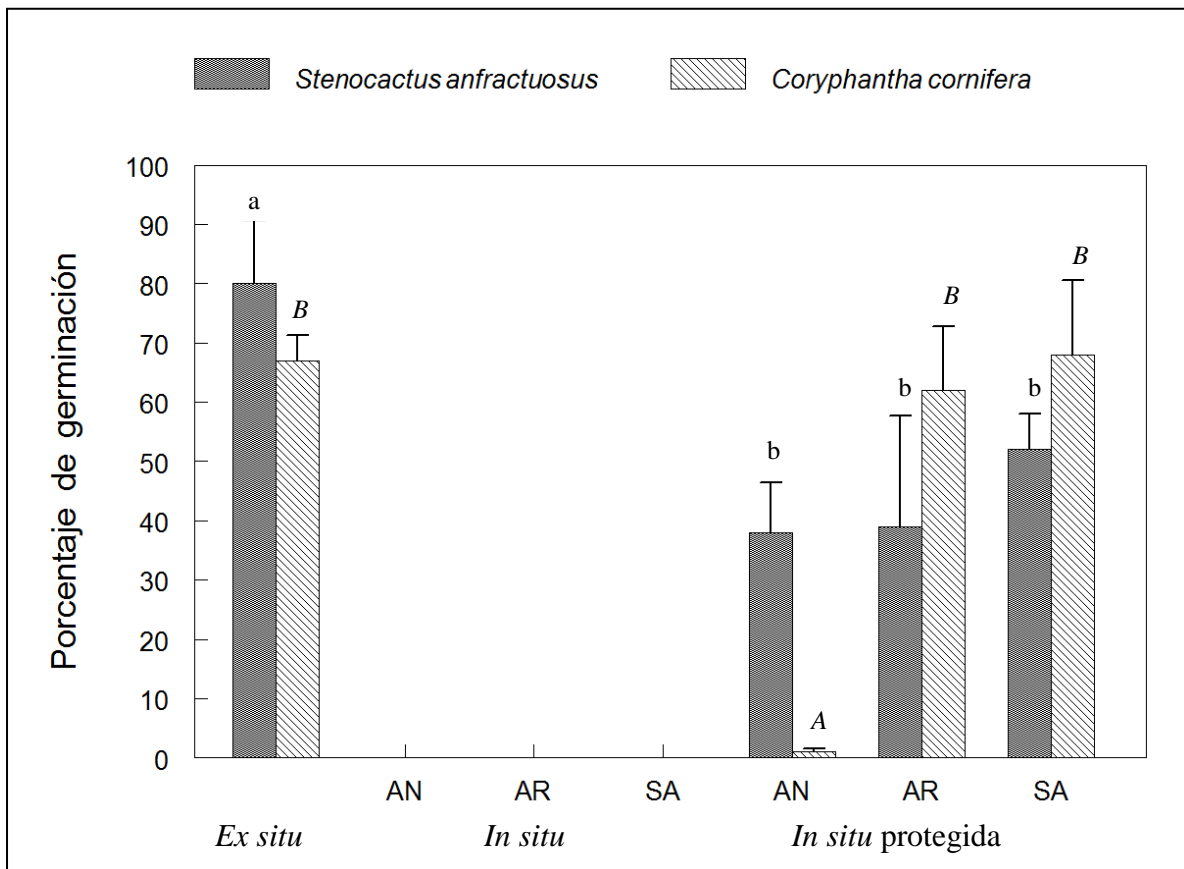


Figura 5. Porcentaje de germinación de semillas de *Stenocactus anfractusus* y *Coryphantha cornifera*, bajo tres condiciones ambientales: AN plantas asociados a nodrizas, AR asociadas a rocas, SA sin asociación. Cada barra representa el valor promedio ± 1 desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Tukey)

El periodo de almacenamiento de semillas de *S. anfractusus* tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) ya que éstas perdieron la capacidad de germinación conforme transcurre el tiempo de cosecha, en contraste con lo observado en *C. cornifera*, cuyas semillas no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la germinación, en ninguno de los tratamientos evaluados (Figura 6).

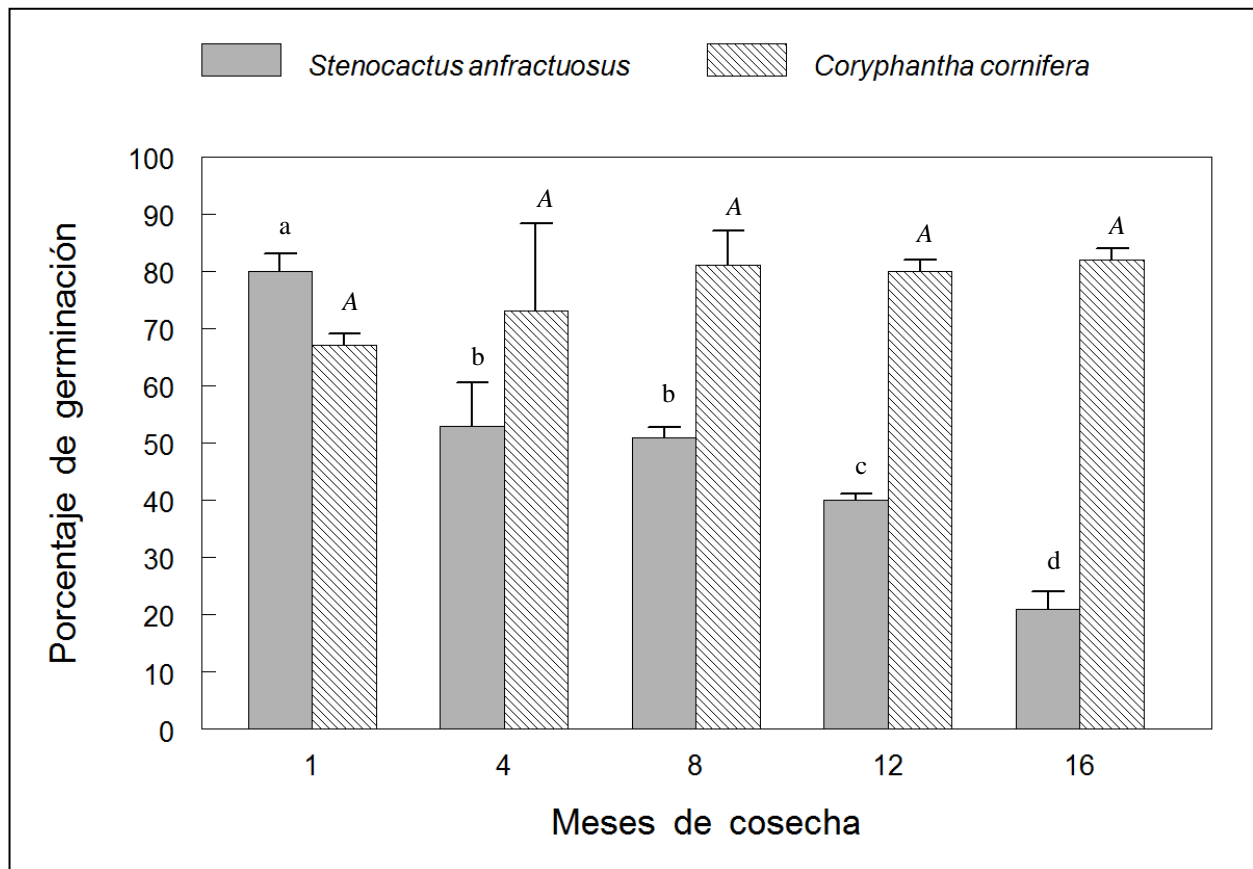


Figura 6. Tiempo de almacenamiento de semillas de *Stenocactus anfractusus* y *Coryphantha cornifera* después de uno, cuatro, ocho, 12 y 16 meses de colecta. $n=300$ semillas. Cada barra representa el valor promedio ± 1 desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Tukey).

Discusión

a) Floración y fructificación

Las cactáceas estudiadas presentan flores atractivas, de colores vistosos y fragantes que favorecen el sistema de cruzamiento exogámico. El polimorfismo del color de los tépalos en flores de *Coryphantha cornifera*, en opinión de Clegg y Epperson (1988), funciona como un mecanismo adaptativo a las diversas formas de “servicio” de los polinizadores. En cuanto a los patrones fenológicos entre especies, se observaron diferencias contrastantes: *Stenocactus anfractuosus* completa su ciclo reproductivo en seis meses (de enero a junio) mientras que *Coryphantha cornifera* durante todo el año se encuentra en alguna etapa reproductiva. Godínez-Álvarez *et al.* (2003) señalan que la mayoría de cactáceas globosas tienen periodos reproductivos superiores a cinco meses, en coincidencia con lo observado en cinco especies de *Gymnocalycium* (Gurvich *et al.*, 2008 b). La marcada separación en los tiempos de floración y fructificación, indican que aunque ambas cactáceas coexisten en el mismo hábitat, evitan la competencia por insectos polinizadores. La presencia de fragancia en las flores de ambos taxones supone una relación estrecha entre la producción de aceites volátiles y la atracción de *Ceratina* sp. aunque este pronunciamiento merece comprobación. De acuerdo con Scumpberger *et al.* (2004) en flores diurnas, la emisión de estos compuestos volátiles ocurre en el perianto de diversas cactáceas durante la antesis máxima. Por otra parte, *Coryphantha cornifera* generó flores de hasta 7.5 cm de diámetro, morfometría con valor taxonómico, diferente a lo mencionado por Rzedowski y Rzedowski (2001), acerca de que esta especie presenta flores con 6 cm de ancho (20% menos que los diámetros máximos encontrados).

En las dos especies estudiadas existe una correlación positiva entre el tamaño de los individuos y el número de flores producidas; las plantas de mayor tamaño producen más flores y pueden generar más frutos que los individuos pequeños. Este patrón reproductivo ha sido también documentado para otras especies de cactáceas. Por ejemplo en *Coryphantha robbinsorum* (Earle) A.D. Zimmerman (Schmazel *et al.*, 1995); *Mammillaria crucigera* Mart. (Contreras y Valverde, 2002); *Ferocactus cylindraceus* (Engelm.) Orcutt y *F. wislizeni* (Engelm.) Britt. y Rose (McIntosh, 2002 b).

La totalidad de flores observadas en *S. anfractuosus* y *C. cornifera* presentaron hercogamia, es decir, separación espacial entre el gineceo y androceo; lo que inhibe, a nivel estructural, la autopolinización y favorece la exogamia (Barrett, 1988).

b) Sistemas de cruzamiento

Los resultados experimentales sobre sistemas de cruzamiento en *S. anfractuosus* y *C. cornifera* demostraron que aún con el posible contacto entre androceo y gineceo vía tigmonastia o por geitonogamia, hay incompatibilidad, y revelan que, la exogamia es el sistema de cruzamiento único y eficiente que mantiene la sexualidad de los individuos en la población. La autoincompatibilidad en otras cactáceas ha sido reconocida por Valiente-Banuet *et al.* (1997) en *Neobuxbaumia mezcalaensis* y *N. macrocephala*, por Valiente-Banuet *et al.* (2004) en *Pachycereus pecten-aboriginum*, por Ibarra-Cerdeña *et al.* (2005) en *Stenocereus queretaroensis*, por Blair y Williamson (2008) en *Astrophytum asterias* y por Tepedino *et al.*, (2010) en *Sclerocactus wetlandicus* Hochstätter y *S. brevispinus* K.D. Heil y J.M. Porter. Por otra parte, Lichtenzveig *et al.*, (2000), sugieren la existencia de autoincompatibilidad gametofítica tardía en *Hylocereus polyrhizus*. (F.A.C.Weber) Britton y Rose.

En algunas especies hay factores químicos de señalización (receptores-ligando a nivel genes) que inhiben la germinación de granos de polen cuando éstos contienen alelos de igual genotipo que el gineceo (misma identidad alélica), lo que genera autoincompatibilidad esporofítica (McClure y Franklin-Tong, 2006; Jiménez-Durán y Cruz-García, 2011). No obstante esta mención, queda propuesta como una posibilidad y a nivel de hipótesis, para *S. anfractuosus* y *C. cornifera*, ya que el proceso de autoincompatibilidad esporofítica de origen genético solo ha sido documentado para las familias Asteraceae, Brassicaceae, Convolvulaceae y Rubiaceae, en tanto que el sistema de autoincompatibilidad gametofítico (postfertilización) se ha reconocido en Chenopodiaceae, Fabaceae, Onagraceae, Papaveraceae, Plantaginaceae, Poaceae, Ranunculaceae, Rosaceae y Solanaceae (Brewbaker, 1957; Barret, 1988; Igit y Kohn, 2001; Kachroo *et al*, 2002).

El entrecruzamiento obligado promueve la recombinación genética en las poblaciones y habilita la permanencia de las mismas al poseer mayor capacidad de respuesta ante cambios ambientales desfavorables (Charlesworth y Charlesworth, 1987; Pannell, 2002). La ausencia de dicogamia (asincronía sexual) y la prevalencia de flores hermafroditas con ambos sexos funcionales en las especies estudiadas puede asegurar que, aun cuando las densidades poblacionales sean muy bajas (Fuentes-Mayo *et al.*, en revisión), los individuos están facultados para producir buena cantidad de semillas.

Los datos sobre destrucción completa o parcial de estructuras reproductivas en *Stenocactus anfractuosus* (28%) y en *Coryphantha cornifera* (40%), son consistentes con la menor producción de frutos en plantas con PN, en comparación con los ejemplares manejados bajo PCM (Figura 3). McIntosh (2002a, b) menciona que en *Ferocactus cylindraceus* y *F. wislizeni* la mayoría de flores tempranas y frutos fueron destruidos por orugas; de este modo, la

florivoría, en particular, el consumo del gineceo en las especies estudiadas, puede afectar de manera importante la formación de frutos y semillas.

c) Polinización y dispersión

Algunas abejas han sido consideradas por varios autores como un gremio especializado en la polinización de diversas cactáceas (Mandujano *et al.*, 1996). McIntosh, (2005); encontró que los himenópteros *Ashmeadiella opuntiae*, *Diadasia rinconis* y *Svastra duplocincta* fueron las especies más abundantes en *Ferocactus wislizeni* y *F. cylindraceus*, mientras que para *Astrophytum asterias* la abeja *D. rinconis* fue considerada como el polinizador más eficiente (Blair y Williamson, 2008). El género *Ceratina* fue el único polinizador observado en *S. anfractuosus* y *C. cornifera*, presente tanto en invierno como en primavera, hecho que lo convierte en generalista temporal de acuerdo con la floración de las dos cactáceas estudiadas. *Ceratina* también fue registrada como polinizador de otras cactáceas como *Mammillaria gaumeri* (Britton y Rose) Orcutt (Giovanetti *et al.*, 2007) y en *Stenocactus multicosatus* (Hildmann ex K.Schumann) A. Berger (Ramírez-Freire *et al.*, 2010). Dalmazzo (2010) encontró que el género *Ceratina* también poliniza a *Grabowskia duplicata* Arn. (Solanaceae) y a *Cichorium intybus* L. (Asteraceae). El hecho de que se identificara a *Ceratina* sp. como único polinizador puede deberse a la fragmentación del hábitat y a la prevalencia del uso de herbicidas y pesticidas utilizados en Sierra de Guadalupe. Diversos estudios señalan que los factores mencionados contribuyen a la desaparición o disminución de insectos polinizadores y, por lo tanto, pueden comprometer el éxito reproductivo de las especies vegetales asociados a ellos (Kearns *et al.*, 1998; Aizen *et al.*, 2002; Valiente-Banuet, 2002). Además, se esperaría que los sistemas reproductivos exógamos con el tiempo derivaran por evolución, hacia ciertas

frecuencias de autofertilización (Eckert *et al.*, 2009), en respuesta a los movimientos tigmomásticos observados, con la consecuente pérdida de variación genética y tendencia a la depresión endogámica.

La ausencia de semillas en las muestras de suelo analizado está relacionada con una elevada depredación de éstas (Rojas-Aréchiga y Batis, 2001). De acuerdo con evidencias observacionales es posible que especies de hormigas (sin identificar) sean las dispersoras en *S. anfractuosus*, datos similares a lo encontrado en semillas de *Stenocereus stellatus* (Pfeiffer) Riccobono, las cuales fueron removidas por las hormigas *Pogonomyrmex barbatus* y *Pheidole* spp. (Godínez-Álvarez *et al.*, 2005). Sin embargo, al realizar las pruebas en los hormigueros cercanos no se detectó la presencia de semillas de *S. anfractuosus* ni de *C. cornifera*. No se logró demostrar la presencia de una reserva de semillas en la zona de estudio; por lo que se deduce que estas especies no presentan una reserva de semillas en el suelo (Bowers, 2005).

d) Germinación y tiempo de almacenamiento de semillas

Los resultados de germinación *ex situ* demostraron que no es necesario aplicar tratamientos pregerminativos para inducirla, toda vez que el porcentaje promedio de germinación en semillas de *S. anfractuosus* y *C. cornifera* fue de 73%. Este porcentaje es similar a lo encontrado por Álvarez y Montaña (1997) en *Cephalocereus hoppenstedtii* (Weber) Shumann, *Ferocactus latispinus* (Haworth) Britt. y Rose, *Stenocereus stellatus* y *Wilcoxia viperina* (Weber) Britt. y Rose que promediaron 79%; así como los obtenidos por Ayala-Cordero *et al.* (2004) y Nassar y Emaldi (2008) en *Stenocereus beneckeii* (Ehrenb.) Buxb. (mayor de 75% de germinación) y en *S. griseus* (Haw.) Buxb. y *Cereus repandus* (L.) Mill. (80% y 90% de germinación promedio respectivamente). Los experimentos de germinación *in situ* desprotegida, demostraron que las

semillas de ambas especies son depredadas en su totalidad; resultados idénticos registrados para *Cereus repandus* y *Stenocereus griseus* (Nassar y Emaldi, 2008). Mientras que los datos obtenidos sobre germinación *in situ* protegida, muestran que *S. anfractusus* y *C. cornifera* germinan mejor bajo condiciones de cielo abierto, en contraste con lo documentado por Sánchez-Soto *et al.*, (2010) para *Mammillaria mazatlanensis* K.Shum. Ex Gürke, *Stenocereus alamosensis* (J.M.Coul.) A.C.Gibson y K.E.Horak, y *S. thurberi* subsp. *thurberi* (Engelm.) Buxb., donde las rocas superficiales favorecieron su germinación. El bajo porcentaje de germinación en semillas de *S. anfractusus* con más de un año de cosecha, fue similar a lo documentado por Flores-Martínez *et al.*, (2008) en *Mammillaria huitzilopochtli* D.R.Hunt, mientras que en *C. cornifera*, las semillas presentaron mayor germinación después del cuarto mes de almacenamiento, datos similares a lo encontrado por Flores *et al.*, (2005) en *Turbincarpus lophophoroides* (Werderm.) y *T. pseudopectinatus* (Backeb.) Glass y R.C.Foster.

Ambas especies estudiadas están ubicadas en el Apéndice II de la CITES (Convention on International Trade in Endangered Species, 1990). Además, *Coryphantha cornifera* se encuentra catalogada como “Least Concern” en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2011). Aún con la existencia de regulaciones internacionales y nacionales sobre conservación y comercio de estas plantas, durante el trabajo de investigación, más del 20% de los ejemplares marcados de ambas especies fueron extraídos de su hábitat. En particular, fueron removidos los ejemplares en floración y con mayor talla; es importante resaltar que el Programa de Manejo de la ANP “Parque Estatal Sierra de Guadalupe” considera la protección de micro sitios donde se distribuyen estas especies y otras especie de cactáceas, así como el rescate de ejemplares que deberán establecerse en zonas de resguardo

(Cedillo *et al.*, 2007). Sin embargo, dicho programa carece de la información básica sobre la biología reproductiva de las especies estudiadas; por ello, los resultados aquí generados deberán de incorporarse en las políticas y prácticas de gestión y conservación al corto plazo de *S. anfractusus* y *C. cornifera*. Por ejemplo, es necesario mantener el seguimiento de las plantas marcadas, en particular, las de mayor talla, que servirían como donadoras de germoplasma. Es prioritario mantener los afloramientos rocosos, ya que en sus cavidades anida *Ceratina* sp. (Reyes-Novelo *et al.*, 2009; Dalmazzo, 2010). Las semillas colectadas de *S. anfractusus* deberán germinarse dentro del primer mes, mientras que es factible almacenar las semillas de *C. cornifera* por más de un año, para su posterior germinación.

e) Viviparidad

Cabe destacar que, aunque todo el trabajo de biología reproductiva se realizó en Sierra de Guadalupe, se observaron tres ejemplares de *S. anfractusus* con semillas vivíparas en la localidad de Tinajas 2^{da} secc., Mpio de Tepeji del Río, Hgo., por lo que es posible advertir este proceso en poblaciones de otras localidades (Figura 7).

El primer registro de viviparidad en poblaciones naturales de *Stenocactus anfractusus* en Hidalgo, Méx., se suma a los hallazgos encontrados en los géneros: *Cereus*, *Parodia*, *Pfeiffera*, *Rhipsalis*, *Cleistocactus*, *Echinopsis*, *Gymnocalycium* y *Harrisia*, distribuidos en el noroeste de Argentina (Ortega-Baes *et al.*, 2010); *Cephalocereus* y *Pachycereus* distribuidos en Oaxaca y Puebla, Méx. (Rojas-Aréchiga y Mandujano-Sánchez, 2009), y en *Epiphyllum* (Cota-Sánchez y Abreu, 2007). La viviparidad ha sido poco estudiada en cactáceas, y es considerado como un mecanismo que provee mayor eficacia en la germinación y en el establecimiento de las plántulas (Cota-Sánchez *et al.*, 2011; Cota-Sánchez *et al.*, 2007; Cota-Sánchez, 2004). Consideramos

importante profundizar en las observaciones de campo, para conocer con mayor detalle cuáles mecanismos están involucrados en la germinación de semillas de *S. anfractusus* dentro de los frutos, y si, en efecto, este proceso confiere ventajas en la supervivencia y el establecimiento de sus plántulas.



Figura 7. Viviparidad de *Stenocactus anfractusus* en ejemplares distribuidos en Tinajas 2^{da} sección, Tepeji del Río, Hgo., México.

Conclusiones

Stenocactus anfractusus y *Coryphantha cornifera* presentan diferentes periodos de floración y fructificación, evitando la competencia por polinizadores. Mientras *S. anfractusus* completa su ciclo reproductivo en seis meses en promedio, *C. cornifera* se encuentra todo el año en algún estadio reproductivo. En ambas especies, las plantas de mayor tamaño producen mayor número de flores y frutos. Las dos especies estudiadas son exógamas estrictas, con polinización cruzada por melitofilia, llevada a cabo por *Ceratina* sp. En el caso de *C. cornifera* se observaron

movimientos tigmomásticos una vez que el polinizador hacia contacto con los estambres. La producción de semillas viables y los valores de germinación *ex situ* e *in situ* (superiores a 60%) son buenos indicadores de que las poblaciones estudiadas aún preservan variabilidad genética. Se registró por vez primera viviparidad en *S. anfractuosus*. Debido a la elevada extracción furtiva de plantas de ambas especies, se sugiere reubicar los ejemplares de mayor talla (con mayor potencial reproductivo) en jardines botánicos regionales, y llevar al cabo programas de propagación *ex situ* con el objetivo de conservar, en el corto plazo, estas especies.

Agradecimientos

Al M.C. Jorge Valdéz Carrasco (IFIT, Colegio de Postgraduados) por el procesamiento de imágenes del género *Ceratina*. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor para la realización de estudios de Doctorado en Ciencias en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (No. de Becario: 1086002).

Literatura citada

Aizen AM, Ashworth L, Galetto L (2002) Reproductive success in fragmented habitats: do compatibility systems and pollination specialization matter? *J. Veg. Sci.* 13: 885-892.

Álvarez A M, Montaña C (1997) Germinación y supervivencia de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán: implicaciones para su conservación. *Acta Bot. Mex.* 40: 43-58.

Álvarez R, Godínez-Álvarez H, Guzmán U, Dávila P (2004) Aspectos ecológicos de dos cactáceas mexicanas amenazadas: implicaciones para su conservación. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 75: 7-16.

- Angoa-Román MJ, Bullock SH, Kawashima T (2005) Composition and dynamics of the seed bank of coastal scrub in Baja California. *Madroño* 52: 11-20.
- Ayala-Cordero G, Terrazas T, López-Mata L, Trejo C (2004) Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia* 29: 692-697.
- Barrett SCH (1988) The evolution, maintenance and loss of self-incompatibility systems. En Lovett-Doust y Lovett-Doust (Eds.). *Plant reproductive ecology: patterns and strategies*. Oxford. New York. NY, EE.UU. pp: 98-124.
- Blair WA, Williamson SP (2008) Effectiveness and importance of pollinators to the star cactus (*Astrophytum asterias*). *Southwest. Nat.* 53: 423-430.
- Bowers EJ (2005) New evidence for persistent or transient seed banks in three Sonoran Desert cacti. *Southwest. Nat.* 50: 482-487.
- Brewbaker JL (1957) Pollen cytology and self-incompatibility systems in plants. *J. Hered* 48: 271-277.
- Cedillo A, Rivas S, Rodríguez C (2007) El Área Natural Protegida sujeta a Conservación Ecológica “Sierra de Guadalupe”. *Rev. Sist. Amb.* 1: 1-14.
- Charlesworth D, Charlesworth B (1987) Evolution of low female fertility in plants: pollen limitation, resource allocation and genetic load. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 18: 237-268.

- Clegg MT, Epperson BK (1988) Natural selection of flower color polymorphism in morning glory populations. En. Gotlieb LD, Jain SK (Eds.) Plant evolutionary biology. Chapman and Hall. London pp: 253-273.
- Contreras C, Valverde T (2002) Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. *J. Arid Env.* 51: 89-102.
- Convention on International Trade in Endangered Species (1990) Appendice II to the Convention. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC.
- Cota-Sánchez JH (2004) Vivipary in the Cactaceae: its taxonomic occurrence and biological significance. *Flora* 199:481-490.
- Cota-Sánchez JH, Abreu DD (2007) Vivipary and offspring survival in the epiphytic cactus *Epiphyllum phyllacantus* (Cactaceae). *J. Exp. Bot.* 54:123-127.
- Cota-Sánchez JH, Reyes-Olivas Á, Abreu DD (2011) Vivipary in the cactus family: A reply to Ortega-Baes´ et al. evaluation of 25 species from northwestern Argentina. *J Arid Env.* 75:878-880.
- Cota-Sánchez JH, Reyes-Olivas A, Sánchez-Soto B (2007) Vivipary in coastal cacti: a portential reproductive strategy in halophytic environments. *Am. J. Bot.* 94:1577-1581
- Dalmazzo M (2010) Diversidad y aspectos biológicos de abejas silvestres de un ambiente urbano y otro natural de la región central de Santa Fe, Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Arg.* 69: 33-44.

- Dicht RF, Lüthy AD (2004) *Coryphantha*: Cacti of Mexico and southern USA. Springer-Verlag, Berlin. pp: 63-65.
- Eckert GC, Kalisz S, Geber AM, Sargent R, Elle E, Pierre-Oliver C, Goodwillie C, Johnston OM, Kelly KJ, Moeller AD, Porcher E, Ree HR, Vallejo-Marin M, Winn AA (2009) Plant mating systems in a changing world. *Trends Ecol. Evol.* 25: 35-43.
- Flores J, Arredondo A, Jurado E (2005) Comparative seed germination in species of *Turbinicarpus*: An endangered cacti genus. *Nat. Areas. J.* 25: 183-187.
- Flores-Martínez A, Manzanero MI, Rojas-Aréchiga M, Mandujano CM, Golubov J (2008) Seed age germination responses and seedling survival of an endangered cactus that inhabits cliffs. *Nat. Areas J.* 28: 51-57.
- Giovanetti M, Cervera JC, Andrade JL (2007) Pollinators of an endemic and endangered species, *Mammillaria gaumeri* (Cactaceae), in its natural habitat (coastal dune) and in a botanical garden. *Madroño* 54: 286-292.
- Godínez-Alvarez H, Ríos-Casanova L, Pérez F (2005) Characteristics of seedling establishment of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Southwest. Nat.* 50: 375-407.
- Godínez-Alvarez H, Valverde T, Ortega-Baes P (2003) Demographic trends in the Cactaceae. *Bot. Rev.* 69: 173-203.
- Gómez-Hinostrosa C, Hernández MH (2000) Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, Mexico. *Biodiv. Conserv.* 9: 403-418.

- Gurvich ED, Funes G, Giorgis AM, Demaio P (2008a) Germination characteristics of four Argentinean endemic *Gymnocalycium* (Cactaceae) species with different flowering phenologies. *Nat. Areas J.* 28: 104-108.
- Gurvich ED, Giorgis AM, Cingolani MA (2008b) Biología, ecología y conservación de cactus globulares en las Sierras de Córdoba, Argentina. *Bol. Soc. Latin Carib. Cact. Suc.* 5: 9-12.
- Hernández MH, Godínez AH (1994) Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Bot. Mex.* 26: 33-52.
- Hernández-Oria GJ, Chávez-Martínez JR, Sánchez-Martínez E (2007) Factores de riesgo en las cactáceas amenazadas de una región semiárida en el sur del desierto chihuahuense, México. *Interciencia* 32: 1-16.
- Ibarra-Cerdeña CN, Iñiguez-Dávalos LI, Sánchez-Cordero V (2005) Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a Chiropterophilous columnar cactus, in a tropical dry forest of Mexico. *Am. J. Bot.* 92: 503-509.
- Igic B, Kohn J R (2001) Evolutionary relationships among self-incompatibility. *R. Nases. Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98: 13167-13171.
- IUCN (2011) IUCN Red List of threatened species. <http://www.iucnredlist.org>. Consultada: junio 2011.
- Jiménez-Durán K, Cruz-García F (2011) Incompatibilidad sexual, un mecanismo genético que evita la autofecundación y contribuye a la diversidad vegetal. *Rev. Fitotec. Mex.* 34: 1-9.

- Kachroo A, Nasrallah EME, Nasrallah JB (2002) Self-incompatibility in the Brassicaceae: receptor-ligand signaling and cell-to-cell communication. *Plant Cell Sup.* 2002: 227-238.
- Kearns AC, Inouye WD, Waser MN (1998) Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 29: 83-112.
- Lichtenzweig J, Abbo S, Nerd A, Tel-Zur N, Mizrahi Y (2000) Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. *Am. J. Bot.* 87: 1058-1065.
- Mandujano MC, Montaña C, Eguiarte L (1996) Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan desert: why are sexually derived recruitments so rare? *Am. J. Bot.* 83: 63-70.
- McClure BA, Franklin-Tong V (2006) Gametophytic self-incompatibility: understanding the cellular mechanisms involved in “self” pollen tube inhibition. *Planta* 224: 233-245.
- McIntosh EM (2002a) Flowering phenology and reproductive output in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae) *Plant Ecol.* 159: 1-13.
- McIntosh EM (2002b) Plant size, breeding system, and limits to reproductive success in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae). *Plant Ecol.* 162: 273-288.
- McIntosh EM (2005) Pollination of two species of *Ferocactus*: interactions between cactus-specialist bees and their host plants. *Functional Ecol.* 19: 727-734.
- Nassar MJ, Emaldi U (2008) Fenología reproductiva y capacidad de regeneración de dos cardones, *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. and *Cereus repandus* (L.) Mill. (Cactaceae). *Acta Bot. Venez.* 31: 495-528.

- Ortega-Baes P, Aparicio M, Galíndez G (2010) Vivipary in the cactus family: An evaluation of 25 species from northwestern Argentina. *J. Arid Env.* 30:1-3.
- Pannell RJ (2002) The evolution and maintenance of androdioecy. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 33: 397-425.
- Ramírez-Freire L, Glafiro A, Alvarado M, Quiroz H, Velazco C (2010) Polinización de *Stenocactus multcostatus* (Hildmann ex K. Schumann) A. Berger en el municipio de García, N.L. *Ciencia UANL* 8: 184-189.
- Reyes-Novelo E, Meléndez-Ramírez V, Delfín-González H, Ayala R (2009) Wild bees (Hymenoptera:Apoidea) as bioindicators in the neotropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 1-13.
- Rojas-Aréchiga M, Mandujano-Sánchez MC (2009) Nuevo registro de semillas vivíparas en dos especies de cactáceas. *Cact. Sucul. Mex.* 54:123-127.
- Rojas-Aréchiga M, Batis IA (2001) Las semillas de cactáceas ¿forman bancos en el suelo? *Cact. Sucul. Mex.* 46: 76-82.
- Rzedowski C, Rzedowski J (2001) Flora Fanerogámica del Valle de México. 2da. ed., Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Michoacán. Méx. 1406 pp.
- Sánchez-Soto B, Reyes-Olivas A, García-Moya E, Terrazas T (2010) Germinación de tres cactáceas que habitan la región costera del noroeste de México. *Interciencia* 35: 299-305.

- SAS (2002) SAS/STAT user's guide. Ver.9.00. SAS Institute. Cary, NC, EEUU.
- Schmalzel JR, Reichenbacher WF, Rutman S (1995) Demographic study of the rare *Coryphantha robbinsorum* (Cactaceae) in southeastern Arizona. *Madroño* 42: 332- 348.
- Slumpberger OB, Jux A, Kunert M, Boland W, Wittmann D (2004) Musty-earthly scent in cactus flowers: characteristics of floral scent production in Dehydrogeosmin-producing cacti. *Int. J. Plant Sci.* 165: 1007-1015.
- SEMARNAT (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Diario Oficial de la Federación. 2ª sección. 06 marzo 2002.
- Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 591-611.
- Tepedino VJ, Griswold TL, Bowlin WR (2010) Reproductive biology, hybridization, and flowering visitors of rare *Sclerocactus* taxa in Utah's Uintah basin. *West. N. Am. Naturalist* 70: 377-386.
- Valiente-Banuet A (2002) Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de cactáceas columnares de México. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 75: 99-104.
- Valiente-Banuet A, Molina-Freaner, Torres A, Arizmendi MC, Casas A (2004) Geographic differentiation in the pollination system of the columnar cactus *Pachycereus pecten-aboriginum*. *Am. J. Bot.* 91: 850-855.

Valiente-Banuet A, Rojas-Martinez A, Arizmendi M, Davila P (1997) Pollination biology of two columnar cacti (*Neobuxbaumia mezcalensis* and *Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Central Mexico. *Am. J. Bot.* 84: 452-455.

Valverde LP, Zavala-Hurtado AJ, Jiménez-Sierra C, Rendón-Aguilar B, Cornejo-Romero A, Rivas-Arancibia S, López-Ortega C, Pérez-Hernandez AM (2009) Evaluación del riesgo de extinción de *Mammillaria pectinifera*, cactácea endémica de la región de Tehuacán-Cuicatlán. *Rev. Mex. Biodiv.* 80: 214-230.

CAPITULO III

Germinación y reintroducción de *Stenocactus anfractuosus* y *Coryphantha cornifera*: recomendaciones para su conservación

Resumen

Los objetivos de este trabajo fueron determinar si las semillas de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus* pueden germinar en condiciones de obscuridad y si el proceso de germinación se ve afectado por los incendios; así mismo, se evaluó la supervivencia de plántulas reintroducidas en la ANP Sierra de Guadalupe, México; para un periodo de 24 meses. Se seleccionaron frutos sin efecto del fuego y otros con daños por fuego. A las semillas seleccionadas se aplicaron tres tratamientos; control (luz), obscuridad y fuego. Las semillas de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* son fotoblásticas positivas, característica que no favorece la formación de un reservorio de semillas persistente. Los incendios que se presentan cada año en las zonas de distribución de las especies estudiadas, reducen hasta cuatro veces su capacidad de germinación. Los experimentos de reintroducción demostraron que es viable establecer plántulas de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* en zonas de resguardo siempre y cuando se eviten los incendios y el paso de ganado vacuno y de humanos. Los planes de conservación para *C. cornifera* y *S. anfractusus* deben considerar la germinación y el establecimiento, debido a que son fases críticas en el mantenimiento de las poblaciones. Este trabajo demuestra que es posible mantener la incorporación de ambas especies, mientras se combinen prácticas de gestión *in situ* y *ex situ*.

Abstract

The objectives of this work were to determine if the seeds of *Coryphantha cornifera* and *Stenocactus anfractuosus* can germinate in dark conditions and to evaluate if the seeds of both species are negatively affected by fire. We evaluated the survival of seedlings reintroduced into the ANP Sierra de Guadalupe, Mexico. The seeds of *C. cornifera* and *S. anfractuosus* were positively photoblastic, characteristic that does not favor the formation of a persistent seed bank. Fires that occur each year in the distribution areas of the species studied, reduce to four times their ability to germinate. Reintroduction experiment showed that it is feasible to establish seedling of *C. cornifera* and *S. anfractuosus* in their natural distribution areas; as long as it avoid the fires and the passage the cattle and humans. Conservation plans for *C. cornifera* and *S. anfractuosus* should consider the germination and establishment, because they are the critical phases in maintaining populations. This paper shows that it is possible to maintain the dynamics of recruitment of both species, while combine *in situ* and *ex situ* management practices.

Palabras claves: cactáceas, semillas, plántulas, supervivencia, incendios.

Introducción

La germinación y el establecimiento en la familia Cactaceae, son consideradas como las fases más críticas en su ciclo de vida (Bowers y Pearson, 2001; Contreras y Valverde, 2002), debido a que la depredación por herbívoros, la desecación y las enfermedades reducen las posibilidades de que ocurran estos procesos (Flores *et al.*, 2004; Cervera *et al.*, 2006). Los principales factores que influyen en la germinación de las semillas son el agua, la temperatura y la luz (Dubrovsky, 1996; Rojas-Arechiga y Batis, 2001). Diversos estudios han demostrado que algunas especies de cactáceas necesitan de luz para germinar, a las cuales se les ha denominado como fotoblásticas positivas (Benítez-Rodríguez *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2006; Gurvich *et al.*, 2008). El

requerimiento de luz para la germinación cobra importancia debido a que el fotoblastismo positivo es una de las características morfológicas y fisiológicas que favorecen la formación de reservorios de semillas en el suelo (Bowers, 2005).

Coryphantha cornifera y *Stenocactus anfractuosus* son especies endémicas de México (Rzedowski y Rzedowski, 2001), se distribuyen a una altitud de 2, 136 hasta los 2, 443 m snm en pastizales y matorral xerófito. Se encuentran como individuos aislados y su reproducción es exogámica estricta; hasta la fecha, solo ha sido identificado un polinizador para ambas cactáceas. La germinación en campo y la incorporación de estas especies no ha sido observada en poblaciones de los estados de Hidalgo y México. Debido al saqueo y a la fragmentación de su hábitat, las poblaciones de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* están disminuyendo rápidamente, incluyendo aquellas que se encuentran en ANP (Fuentes-Mayo *et al.*, en revisión).

Godínez-Álvarez *et al.* (2003) y Álvarez *et al.* (2004), mencionan que la incorporación de nuevos individuos en poblaciones de cactáceas es escaso y, por lo tanto, la reintroducción puede ser una práctica que incremente el número de individuos que eventualmente serán adultos reproductivos. Existen pocos trabajos enfocados en reintroducir plántulas de cactáceas en sus áreas naturales de distribución; en la mayoría de ellos, la supervivencia de los individuos es menor del 50% después de los primeros seis meses de su establecimiento (Álvarez *et al.*, 2004; Méndez *et al.*, 2004); sin embargo, Fuentes-Mayo (2003) encontró que la supervivencia de plántulas de *Coryphantha elephantidens* propagadas *in vitro* y establecidas en campo fue del 100% después de siete meses de su implante.

Con base en lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron, conocer si las semillas de las especies estudiadas son fotoblásticas positivas, determinar si las semillas afectadas por

incendios presentan menores porcentajes de germinación en contraste con las semillas no afectadas y evaluar la supervivencia de plántulas reintroducidas en al Área Natural Protegida (ANP) Sierra de Guadalupe, México.

Los resultados de este trabajo, serán fundamentales para diseñar y llevar a cabo prácticas de gestión y conservación, en las primeras fases del ciclo vital de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*, en particular, en las ANP de los estados de Hidalgo y México, donde no existe, ningún programa para la protección de estas especies.

Materiales y métodos

a) Germinación

Las semillas de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus* pueden germinar *in situ*, (Fuentes-Mayo *et al.*, en revisión); sin embargo, se desconoce si estas lo pueden hacer en condiciones de obscuridad y con ello, formar reservorios de semillas. También, refiere que entre el 8 y 15% de plantas reproductivas sufren quemaduras por incendios inducidos y, por lo tanto, se desconoce si las semillas afectadas por el fuego (Figura 1), mantienen la capacidad de germinar.



Figura 1. Plantas en estadio reproductivo de A) *Coryphantha cornifera* y B) *Stenocactus anfractuosus* afectadas por incendios.

Con base en lo anterior, se realizaron dos experimentos: en el primero, se colectaron semillas de ambas especies entre mayo y junio de 2011 en dos localidades del estado de México. Se sembraron 100 semillas -con tres repeticiones para cada una de las especies estudiadas- en una mezcla de tezontle y tierra de monte (1:1) esterilizada, almacenadas en charolas de germinación previamente desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 3%, las cuales permanecieron cerradas, con una humedad relativa del 80% y se cubrieron con plástico negro. Las charolas fueron depositadas bajo condiciones de invernadero. El grupo testigo consistió en las mismas repeticiones y condiciones señaladas, a excepción de la cubierta con plástico negro.

El segundo experimento consistió en colectar frutos de ambas especies con evidencias de afectaciones por incendios. Los frutos maduros de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*, fueron colectados entre los meses de abril y junio de 2011, en tres localidades del estado de México. En junio de 2011, se sembraron 100 semillas con tres repeticiones para cada especie, bajo las condiciones ya descritas para el grupo control.

b) Reintroducción y supervivencia in situ

En los meses de mayo a octubre de 2008 se colectaron y germinaron más de 700 semillas de *C. cornifera* y 1,200 semillas de *S. anfractuosus*, con las mismas condiciones ya mencionadas para el grupo control. Después de dos meses, las plántulas de ambas especies fueron trasplantadas a charolas de plástico de 25 x 25 cm, con sustrato de la ANP Sierra de Guadalupe (zona natural de distribución de estas especies). Las plántulas se regaron cada 14 días y después del cuarto mes, se regaron cada 30 días a capacidad de campo. Los individuos de ambas especies permanecieron en condiciones de invernadero y a los nueve meses de edad se eligieron 450 plántulas de cada especie para su establecimiento en la ANP Sierra de Guadalupe.

Los experimentos de reintroducción iniciaron en julio de 2009, para esto, se eligieron tres micro sitios: bajo planta nodriza (*Opuntia streptacantha* Lem.), bajo rocas mayores de 50 cm³ y espacios abiertos. En cada sitio se establecieron tres parcelas de 50 cm² en las que se colocaron 50 plántulas de cada especie con tres repeticiones. Cada mes, se revisó la supervivencia de las plántulas, durante un periodo de dos años. El grupo testigo consistió en 50 plántulas de cada especie con tres repeticiones, mantenidas en condiciones de invernadero durante dos años.

c) Análisis de datos

Para las dos situaciones experimentales de germinación, se registró el porcentaje de esta después de 40 días, estimado por la media y desviación estándar de todas las repeticiones. Los valores de germinación superaron la prueba de normalidad de Shapiro y Wilk (1965) y fueron analizados por un ANOVA de una vía seguido de un análisis de prueba de rangos estudentizados de Tukey al 5%. Los análisis estadísticos se realizaron con SAS versión 9.00. (SAS, 2002).

Resultados

a) Germinación

Las semillas de *C. cornifera* y *S. anfractuoso* sometidas a condiciones de obscuridad y con afectaciones por fuego, presentaron valores de germinación por debajo de 2.5% y 20% respectivamente (Figura 2); con diferencias significativas en comparación con el grupo testigo ($p < 0,05$). Estos resultados muestran que las semillas de ambas especies, requieren de luz para su germinación, además, este proceso se ve comprometido cuando las plantas son afectadas por incendios.

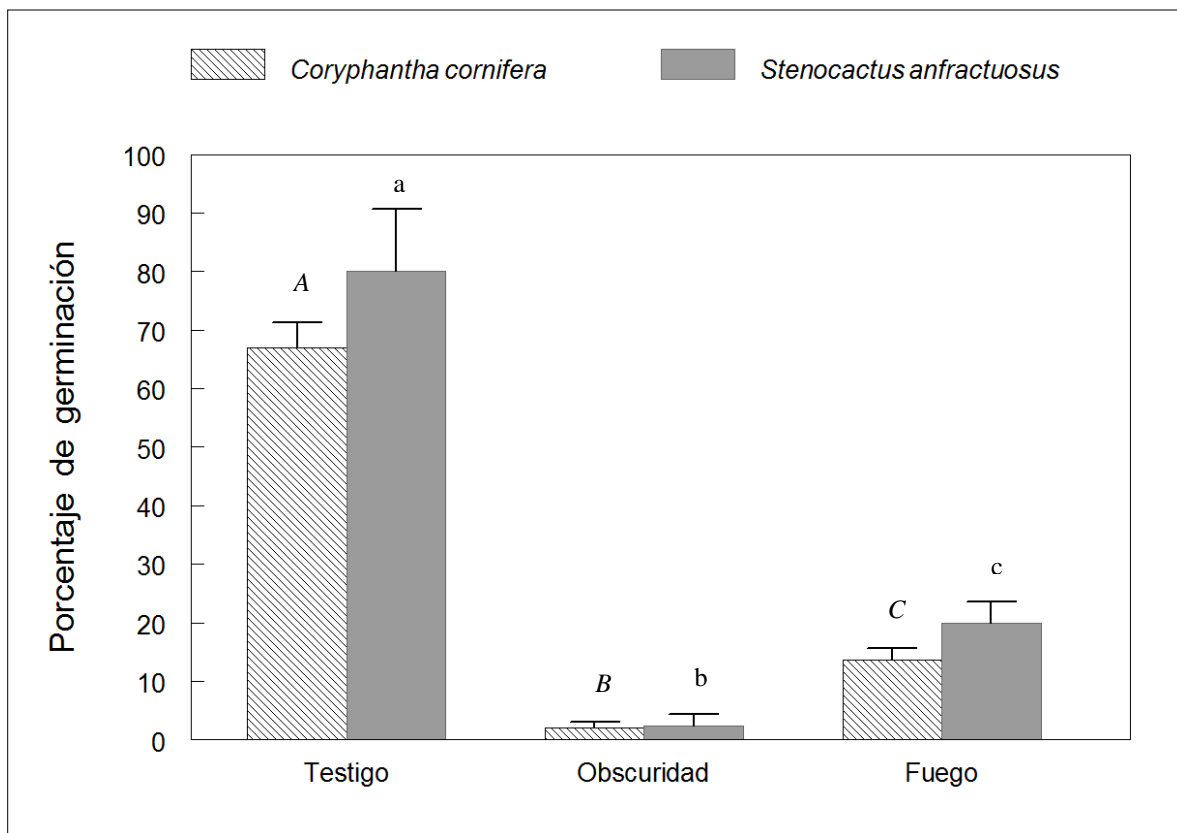


Figura 2. Porcentaje de germinación de semillas de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuoso*, en condiciones de obscuridad y fuego; el testigo tuvo luz. Cada barra representa el

valor promedio ± 1 desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Tukey).

b) *Reintroducción y supervivencia in situ*

La Figura 3, muestra que las plántulas de las especies estudiadas empezaron a morir prácticamente desde el inicio de su establecimiento. No obstante, a los 21 meses, los individuos de *C. cornifera* y *S. anfractuoso* implantados a cielo abierto, presentaron los mayores valores de supervivencia (34% y 14%, respectivamente), en comparación con los micro sitios protegidos con rocas y plantas nodrizas.

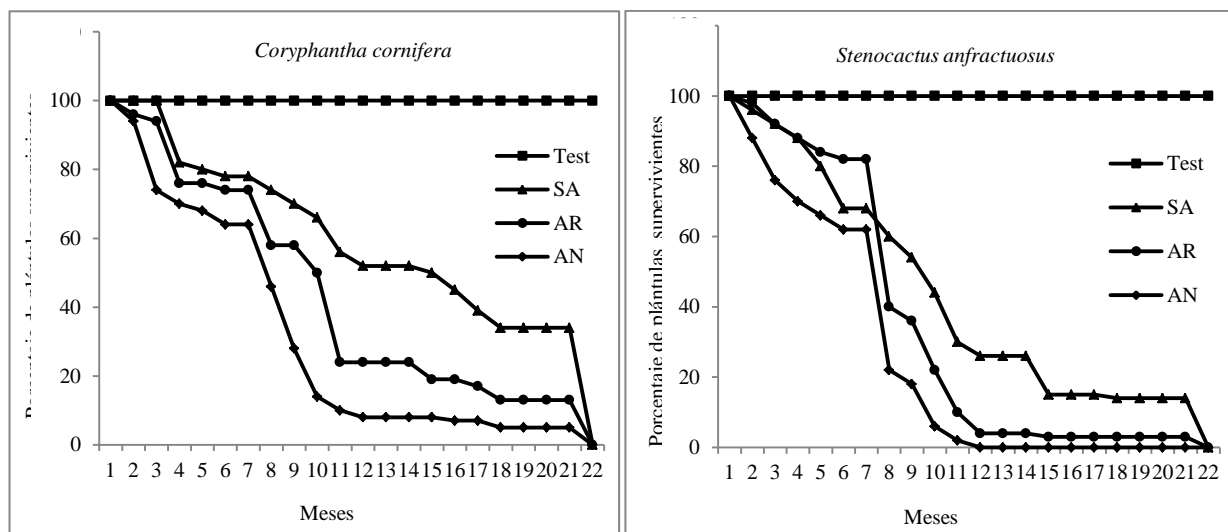


Figura 3. Porcentaje de supervivencia de plántulas reintroducidas en el ANP Sierra de Guadalupe, bajo tres condiciones: AN plantas asociados a nodrizas, AR asociadas a rocas, SA sin asociación, Test grupo testigo en condiciones de invernadero.

Discusión

El fotoblastismo positivo que presentan las semillas de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*, también ha sido demostrado en *Mammillaria mazatlanensis*, *Stenocereus alamosensis* y *S. thurberi* (Sánchez-Soto *et al.*, 2010), en *Gymnocalycium bruchii*, *G. capillaense*, *G. monvillei* y *G. quehlianum* (Gurvich *et al.*, 2008), en 28 especies de cactáceas del Desierto Chihuahuense, México (Flores *et al.*, 2006) y en cuatro especies del genero *Mammillaria* del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México (Benítez-Rodríguez *et al.*, 2004).

Las semillas fotoblásticas solo pueden germinar cuando se encuentran en la superficie del suelo, con la consecuente deshidratación y mayor depredación (Angoa-Roman *et al.*, 2005; Bowers, 2005; Rojas-Aréchiga y Batis, 2001). Los requerimientos de luz para la germinación de las semillas estudiadas, en conjunto con su elevada depredación (Fuentes-Mayo *et al.*, en revisión), son evidencias que sugieren que las semillas de estas especies deberán germinar inmediatamente ocurrida la dispersión, ya que no podrán formar un reservorio persistente.

Los incendios que se presentan cada año en las zonas de distribución de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*, tienen un efecto negativo sobre la germinación. Como se muestra en la Figura 2 menos de la cuarta parte de las semillas que sobreviven a un incendio, logran germinar. En contraste, Angoa-Roman *et al.* (2005) mencionan que diversas especies de arbustos dependen del fuego para su germinación.

Aunque se ha evaluado el efecto de los incendios sobre el crecimiento y la supervivencia en algunas especies de cactáceas (Rideout-Hanzak *et al.*, 2009; Parmenter, 2008; Thomas, 2006), esta es la primera evidencia del efecto que tiene el fuego sobre la germinación en especies del género *Coryphantha* y *Stenocactus*.

Como no es factible dispersar semillas de *C. cornifera* y de *S. anfractus* debido a su elevada depredación (Fuentes-Mayo *et al.*, en revisión), la reintroducción de plántulas es un método que brinda resultados exitosos para las especies estudiadas, en contraste con los resultados obtenidos para *Strombocactus disciformis* y *Turbinicarpus pseudomacrolele* cuyas plántulas murieron antes del primero y noveno mes de la reintroducción (Álvarez *et al.*, 2004) y en *Pterocereus gaumeri* en la que más del 88% de las plántulas murieron después de 12 meses de su establecimiento (Méndez *et al.*, 2004).

En la Figura 3, se observa que los valores de supervivencia de ambas cactáceas, se redujo durante la temporada de estiaje; la elevada mortalidad registrada en este lapso pudo deberse a al incremento en la deshidratación de las plántulas. Sin embargo, la mayoría de los individuos que lograron sobrevivir, murieron en la segunda temporada de estiaje debido a los incendios inducidos. No obstante, los valores de supervivencia de las plántulas reintroducidas, demuestran una tendencia favorable en el establecimiento de estas especies por un lapso de al menos dos años.

Conclusiones

Las cactáceas *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractus* son fotoblásticas positivas estrictas, por lo que requieren de luz para su germinación; las semillas expuestas a incendios germinaron por debajo del 20% en ambas especies, por lo que, este fenómeno afecta de forma negativa su proceso reproductivo. La reintroducción de *C. cornifera* y *S. anfractus* fue exitosa hasta los 21 meses de su implantación. A casi dos años de la reintroducción, todas las plántulas murieron por un incendio, lo que confirma que, los incendios prevalentes en las áreas

de distribución de estas especies, afectan a los individuos en los diferentes estadios del ciclo vital.

Recomendaciones

Conservación *in situ*

Reintroducir plántulas de ambas especies -con más de nueve meses de edad- en las áreas verdes del Centro Ecoturístico y de Educación Ambiental (CEEA) del ANP Sierra de Guadalupe. La reintroducción debe realizarse entre junio y julio, en espacios a cielo abierto y protegidas de la depredación por herbívoros.

Establecer barreras contra fuego y ganado en los parajes “Xolo” y “El Fraile” debido a que la mayor densidad de plantas de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* se encuentra en esos sitios (Fuentes-Mayo *et al.*, en revisión).

Trasladar, al menos 20 ejemplares adultos de ambas especies al interior del CEEA. Con esta densidad se pueden obtener aproximadamente 7, 500 semillas para *C. cornifera* y 11, 000 semillas para *S. anfractuosus* por año.

Mantener los afloramientos rocosos debido a que en estos, la abeja *Ceratina* sp. (único polinizador registrado para las cactáceas estudiadas) anida; para lo cual, es crucial detener la extracción de rocas que ha sido observada en el interior de la ANP Sierra de Guadalupe (Cedillo *et al.*, 2007).

Evitar el establecimiento de especies leñosas en las zonas de distribución de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*, debido a que los árboles y arbustos proveen condiciones de sombreado, las cuales afectan negativamente del crecimiento de las especies estudiadas.

Conservación *ex situ*

Colectar y alojar plantas de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* en Jardines Botánicos de los estados de México e Hidalgo.

Propagar *in vitro* ambas especies, usando como explantes areólas de plántulas, ya que se ha demostrado que los tejidos de individuos juveniles presentan mayor potencial de propagación (Sarasan *et al.*, 2006; Fuentes-Mayo, 2003). También, es posible germinar semillas bajo condiciones *in vitro* dada la disponibilidad de estas.

Germinar y mantener plántulas de ambos *taxa* en invernaderos de las ANP Sierra de Guadalupe y Sierra de Tepetzotlán en el estado de México; Parque Nacional Tula y Parque Estatal Cubitos en el estado de Hidalgo.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor para la realización de estudios de Doctorado en Ciencias en el Colegio de Postgraduados (No. de Becario: 1086002).

Literatura citada

- Álvarez R., Godínez-Álvarez H., Guzmán U. y Dávila P. 2004. Aspectos ecológicos de dos cactáceas mexicanas amenazadas: implicaciones para su conservación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **75**:7-16.
- Angoa-Román M.J., Bullock S. y Kawashima T. 2005. Composition and dynamics of the seed bank of coastal scrub in Baja California. *Madroño* **52**:11-20.
- Benítez-Rodríguez J.L., Orozco-Segovia A. y Rojas-Aréchiga M. 2004. Light effect on seed germination of four *Mammillaria* species from the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *The Southwestern Naturalist* **49**:11-17.
- Bowers E.J. 2005. New evidence for persistent or transient seed banks in three Sonoran Desert cacti. *The Southwestern Naturalist* **50**: 482-487.
- Bowers J.E. y Pierson E.A. 2001. Implications of seed size for seedling survival in *Carnegiea gigantea* and *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae). *The Southwestern Naturalist* **46**:272-281.
- Cedillo A., Rivas S. y Rodríguez C. 2007 El Área Natural Protegida sujeta a Conservación Ecológica “Sierra de Guadalupe”. *Revista Sistemas Ambientales* **1**: 1-14.
- Cervera J.C., Andrade J.L., Simá J.L. y Graham E. 2006. Microhabitats, germination and establishment for *Mammillaria gaumeri* (Cactaceae), a rare species from Yucatan. *International Journal of Plant Science* **167**:311-319.

- Contreras C. y Valverde T. 2002. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. *Journal of Arid Environments* **51**:89-102.
- Dubrovsky J.G. 1996. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. *American Journal of Botany* **83**:624-632.
- Flores J., Briones O., Flores A. y Sánchez-Colon S. 2004. Effect of predation and solar exposure on the emergency and survival of desert seedlings of contrasting life-forms. *Journal of Arid Environments* **58**:1-18.
- Flores J., Jurado E., Arredondo A. 2006. Effect of light on germination of seeds of Cactaceae from the Chihuahuan Desert, Mexico. *Seed Science Research* **16**:149-155.
- Fuentes-Mayo V. 2003. Reintroducción de *Coryphantha elephantidens* (Lem.) Lem. a partir de plántulas propagadas *in vitro*. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 56 pp.
- Godínez-Álvarez H., Valverde T. y Ortega-Baés P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review* **69**:173-203.
- Gurvich E.D., Funes G., Giorgis A.M. y Demaio P. 2008. Germination characteristics of four Argentinean endemic *Gymnocalycium* (Cactaceae) species with different flowering phenologies. *Natural Areas Journal* **28**:104-108.
- Méndez M., Durán R., Olmsted I. y Oyama K. 2004. Population dynamics of *Pterocereus gaumeri*, a rare and endemic columnar cactus of Mexico. *Biotropica* **36**:492-504.

- Parmenter R.R. 2008. Long-term effects of a summer fire on desert grassland plant demographics in New Mexico. *Rangeland Ecology and Management* **61**:156-168.
- Rzedowski C. y Rzedowski J. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. 2da. ed., Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Michoacán. Méx. p. 435-466.
- Rideout-Hanzak, S., D. B. Wester, G. Perry y C. M. Britton. 2009. *Echinocereus viridiflorus* var *viridiflorus* mortality in shortgrass plains on Texas: observations following wildfire and drought. *Haseltonia* **15**:102-107.
- Rojas-Aréchiga M. y Batis I.A. 2001. Las semillas de cactáceas ¿forman bancos en el suelo? *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **46**: 76-82.
- Sánchez-Soto B, Reyes-Olivas A, García-Moya E, Terrazas T. 2010. Germinación de tres cactáceas que habitan la región costera del noroeste de México. *Interciencia* **35**:299-305.
- SAS. 2002. SAS/STAT user's guide. Ver.9.00. SAS Institute. Cary, NC, EEUU.
- Shapiro S.S. y Wilk M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* **52**: 591-611.
- Thomas P.A. 2006. Mortality over 16 years of cacti in a burnt desert grassland. *Plant Ecology* **183**:9-17.
- Sarasan V., Cripps R., Ramsay M., Atherton C., McMichen M., Prendergast G. y Rowntree J. 2006. Conservation in vitro of threatened plants-progress in the past decade. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* **42**:206-214.

DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados consignados en los tres capítulos anteriores, dan cuenta de diversos atributos biológicos y ecológicos de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus* que hasta la fecha se desconocían.

Existen varios aspectos que por su relevancia en términos de gestión y conservación de las especies estudiadas, merecen una mención particular.

Las observaciones realizadas en los cinco estados de la República Mexicana sobre la presencia de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*, indican que su distribución geográfica en las últimas décadas se ha reducido de forma considerable. Las evidencias documentadas en los ejemplares del Herbario Nacional MEXU (Instituto de Biología de la UNAM) y lo mencionado por Dicht y Lüthy (2004) y Rzedowski y Rzedowski (2001), establecen la presencia de estas especies en 17 localidades (en cinco estados de México), de las cuales, en ninguna, fue posible observar individuos de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*; debido principalmente a la ampliación de frontera urbana. El germoplasma que existía en esos lugares se perdió, y por lo tanto, es posible considerar que en los sitios donde aún se encuentran poblaciones remanentes y que no están protegidas por ley, como es el caso de la Sierra de la Purificación-Tepetitla, Texcoco, estado de México (donde se encontraron las densidades más altas de todos los sitios estudiados) tengan la misma suerte; es decir, que los cambios en el uso de la tierra destruyan poblaciones completas de los cactus estudiados en muy poco tiempo. Lo anterior también ha sido observado en otras especies de cactáceas por Portilla-Alonso y Martorrell (2011), Flores-Martínez *et al.* (2010), Stiling (2010), Martínez-Ávalos *et al.* (2007) Rae y Ebert (2002). Además, los valores de supervivencia de las plantas marcadas dentro de las ANP estudiadas, demuestran que, de

mantenerse con la dinámica de extracción furtiva de estas especies, las poblaciones podrían desaparecer en menos de cuatro años.

Las observaciones sobre patrones de asociación, fueron reveladores, debido a que la mayoría de los individuos de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* se encuentran a cielo abierto; y por lo tanto, pueden germinar, establecerse y reproducirse en sitios con mayor radiación solar y elevadas tasas de evapotranspiración (características de estos sitios); mientras que, el paradigma de que la germinación de cactus bajo el dosel de plantas nodriza o asociadas a rocas, son necesarias para su reclutamiento y establecimiento de plántulas (Drezner, 2010; Peters *et al.*, 2008; López y Valdivia 2007); en este caso, no aplica.

Si bien, toda la información recabada sobre biología reproductiva en ambas especies, es novedosa, existen hallazgos muy interesantes que no se han documentado en otros *taxa* de la familia Cactaceae como: a) la longevidad máxima de la flor de *S. anfractuosus* es de 13 días; b) el periodo de fructificación de *C. cornifera* es de 12 meses en promedio; y, c) al hacer contacto el polinizador con las estructuras masculinas existen movimientos tigmotácticos de los estambres en *C. cornifera*.

Coryphantha cornifera y *Stenocactus anfractuosus* son foblásticas positivas, datos que se suman a otras especies que comparten esta característica (Flores *et al.*, 2011; Sánchez-Soto *et al.*, 2010; Gurvich *et al.*, 2008). Los experimentos sobre germinación *ex situ* e *in situ* protegida a cielo abierto, indican que ambas especies carecen de problemas para germinar en sus zonas de distribución, y en programas de propagación, cualidad que favorece al propósito de conservación y reincorporación en sitios propios para las especies pero degradados o expoliados.

Literatura citada

- Dicht, R.F. y Lüthy A.D. 2004. *Coryphantha*: Cacti of Mexico and southern USA. Springer-Verlag, Berlin. pp: 63-65.
- Drezner, T.D. 2010. Nurse tree canopy shape, the subcanopy distribution of cacti, and facilitation in the Sonora Desert. *Journal of the Torrey Botanical Society*. 137:277-286.
- Flores, J., E. Jurado, L. Chapa-Vargas, A. Ceroni-Stuva, P. Dávila-Aranda, G. Galíndez, D. Gurvich, P. León-Lobos, C. Ordóñez, P. Ortega-Baes, N. Ramírez-Bullón, A. Sandoval, C. E. Seal, T. Ullian y H. W. Pritchard. 2011. Seeds photoblastism and its relationship with some plant traits in 136 cacti *taxa*. *Environmental and Experimental Botany*. 71:79-88.
- Flores-Martínez, A., G. I. Manzanero-Medina, J. Golubov, C. Montaña y M.C. Mandujano. 2010. Demography of an endangered endemic rupicolous cactus. *Plant Ecology* 210:53-66.
- Gurvich, E.D., G. Funes, A.M. Giorgis y P. Demaio. 2008. Germination characteristics of four Argentinean endemic *Gymnocalycium* (Cactaceae) species with different flowering phenologies. *Natural Areas Journal*. 28:104-108.
- López, R.P. y S. Valdivia. 2007. The importance of shrub cover for four cactus species differing in growth form in an Andean semi-desert. *Journal of Vegetation Science*. 18:263-270.
- Martínez-Ávalos, J.G., J. Golubov, M.C. Mandujano y E. Jurado. 2007. Causes of individual mortality in the endangered star cactus *Astrophytum asterias* (Cactaceae): the effect of

- herbivories and disease in Mexican populations. *Journal of Arid Environments* 71:250-258.
- Peters, E.M., C. Martorell y E. Ezcurra. 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environment*. 72:593-601.
- Portilla-Alonso, R.M. y C. Martorell. 2011. Demographic consequences of chronic anthropogenic disturbance on three populations of the endangered globose cactus *Coryphantha werdermannii*. *Journal of Arid Environments*. 75:509-515.
- Rae, G.J. y A.E. Ebert. 2002. Demography of the endangered fragrant prickly apple cactus, *Harrisia fragans*. *International Journal of Plant Sciences* 163:631-640.
- Rzedowski C. y J. Rzedowski. 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. 2da. ed., Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Michoacán. Méx. p. 435-466.
- Sánchez-Soto, B., A. Reyes-Olivas, E. García-Moya, T. Terrazas. 2010. Germinación de tres cactáceas que habitan la región costera del noroeste de México. *Interciencia*. 35:299-305.
- Stiling, P. 2010. Death and decline of a rare cactus in Florida. *Castanea* 75:190-197.

CONCLUSIONES GENERALES

La presencia de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus* solo se observó en dos estados: Hidalgo y México, de los cinco estados de la Republica Mexicana en los que se realizaron recorridos botánicos. La distribución altitudinal de *C. cornifera* se ubica entre los 2,136 y 2,423 m snm, y, *S. anfractuosus* se distribuye entre los 2,367 y 2,443 m snm. En todos los sitios evaluados, los cambios de uso de la tierra y la extracción furtiva de plantas de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*, de leña, y materiales pétreos fueron observados (incluidas, en las ANP elegidas para este trabajo). Aunque ambas especies comparten el hábitat, *S. anfractuosus* fue ocho veces más abundante que *C. cornifera*. En la estructura de tamaños, las plantas de *C. cornifera* con diámetros máximos de tallo superiores a los 4.2 cm y con más de 18 tubérculos, formaron flores y frutos (correspondiente al 85% de todas las plantas censadas y marcadas, n=122). *S. anfractuosus* presentó individuos reproductivos con diámetros máximo del tallo superiores a los 3.6 cm y con más de 20 costillas (correspondientes al 96% de todas las plantas censadas y marcadas, n=577). Durante tres años de observaciones en la ANP Sierra de Guadalupe y un año en la Sierra de la Purificación Tepetitla no se registró la germinación in situ ni la incorporación de nuevos individuos de ambas especies. *C. cornifera* y *S. anfractuosus* se establecen y crecen principalmente en micro sitios a cielo abierto; aunque, esta última lo puede hacer en asociación a rocas y en menor frecuencia a plantas nodriza. Las poblaciones marcadas de ambas especies -en todos los sitios- mostraron una disminución constante de sus densidades, atribuida a la extracción de plantas (principalmente las reproductivas), a la muerte por enfermedades y por incendios.

Los periodos de floración y fructificación de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* fueron diferentes. Mientras que la primera se encuentra todo el año en alguna fase de su ciclo reproductivo, el segundo lo completa en seis meses. Ambas especies de cactáceas produjeron mayor número de flores y frutos conforme su talla era mayor. El sistema reproductivo de ambas especies fue exogámico estricto, realizado por la abeja solitaria *Ceratina* sp. (único polinizador observado en ambas especies). El presente trabajo muestra por primera vez el fenómeno de tigonastia en los estambres de *C. cornifera* una vez que el polinizador hace contacto con estos, así como la presencia de viviparidad en *S. anfractuosus*.

Las semillas de las dos especies estudiadas fueron fotoblásticas positivas estrictas. La germinación de *C. cornifera* y *S. anfractuosus* tanto en los experimentos *in situ* como *ex situ*, mostraron valores superiores al 60%, mientras que las semillas expuestas a incendios tuvieron valores de germinación por debajo del 20%.

Los datos sobre reintroducción demostraron que es viable establecer plántulas obtenidas a partir de semilla y mantenidas en invernadero hasta por nueve meses; sin embargo, esto debe realizarse en micro sitios restringidos al paso del ganado y de la presencia de incendios.

Los resultados de este trabajo son esenciales para los programas de gestión y conservación de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*, que hasta el día de hoy no existen. La información aquí consignada muestra hallazgos novedosos, que deberán ponderarse por los gestores de las ANP donde habitan estas especies. Aunque la pérdida de plantas *in situ* en ambas especies, está ocurriendo de forma acelerada tanto en las zonas protegidas por las ANP como en áreas de régimen ejidal y particular; es posible llevar al cabo practicas de conservación *in situ*, eliminando o disminuyendo la colecta clandestina, la presencia de ganado y la frecuencia de

incendios. Las prácticas de conservación *in situ* en conjunto con actividades de conservación *ex situ*, como la movilización de ejemplares reproductivos a Jardines Botánicos y la conformación de reservorios de semillas, permitirían preservar estas especies de cactáceas al largo plazo, manteniendo en lo posible la diversidad genética y la dinámica de las poblaciones y comunidades donde estas se encuentran.

El trabajo ya descrito arroja luz sobre diversos aspectos demográficos, biológicos y ecológicos de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*. Sin embargo, se desconoce si estas especies se encuentran distribuidas en otros estados de la República Mexicana; cuál o cuáles son sus patrones de distribución, y, a cuáles factores se pueden encontrar asociados (por ejemplo, presencia de micorrizas, preferencias edáficas, presencia del polinizador y/o dispersor específico, etc.). También se desconoce si *Ceratina* sp., es el único polinizador o existen otras especies en zonas geográficas que no fueron incluidas en este trabajo; quienes son los dispersores de *C. cornifera* y *S. anfractuosus*; si la prevalencia de ganado en todas las áreas estudiadas está afectando los procesos de germinación y establecimiento. Sería interesante, también, determinar en qué magnitud, los incendios afectan la eficacia reproductiva, ya que se ha documentado que las plantas con daños por fuego, presentan botones que no llegan a la antesis, flores más pequeñas o desarrollo de semillas vanas. Falta precisar que ruta metabólica se presenta en los diferentes estadios del ciclo vital de las plantas, y durante los periodos de estiaje y de lluvias, ya que esto permitiría mejorar los procesos de aclimatación para los programas de reintroducción.