

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas



VOLUMEN 57 No. 2

ABRIL - JUNIO 2012

ISSN 0526-717X

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 57 No. 2
Abril-junio 2012

Editor Fundador
Jorge Meyrán

Consejo Editorial
Anatomía y Morfología
Dra. Teresa Terrazas
Instituto de Biología, UNAM

Ecología
Dr. Arturo Flores-Martínez
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN
Dr. Pablo Ortega-Baés
Universidad de Salta Argentina

Etnobotánica
Dr. Javier Caballero Nieto
Jardín Botánico IB-UNAM

Evolución y Genética
Dr. Luis Eguiarte
Instituto de Ecología, UNAM

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

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

Química y Biotecnología
Dr. Francisco Roberto Quiroz Figueroa
Instituto de Biotecnología, UNAM

Sistemas Reproductivos
Dr. Francisco Molina F.
Instituto de Ecología Campus Hermosillo, UNAM
Dr. Jafet Nassar
Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas

Taxonomía y Sistemática
Dr. Fernando Chiang
Instituto de Biología, UNAM
Dr. Roberto Kiesling
CRICYT, Argentina

Editores
Dr. Jordan Golubov
UAM-Xochimilco
Dra. María C. Mandujano Sánchez
Instituto de Ecología, UNAM

Asistente editorial
M. en C. Mariana Rojas Aréchiga
Instituto de Ecología, UNAM

Diseño editorial y versión electrónica
Palabra en Vuelo, S.A. de C.V.

Impresión
Impresora Múltiple SA de CV
Se imprimieron 1 000 ejemplares, junio de 2012
SOCIEDAD MEXICANA DE CACTOLOGÍA, A.C.

Presidenta Fundadora
Dra. Helia Bravo-Hollis †

Presidente
Omar González Zorzano

Vicepresidente
Alberto Pulido Aranda

Bibliotecario
Raymundo García A.

Fotografía de portada:
Mammillaria mystax
Mariana Rojas-Aréchiga



Cactáceas y Suculentas Mexicanas es una revista trimestral de circulación internacional y arbitrada, publicada por la Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. desde 1955, su finalidad es promover el estudio científico y despertar el interés en esta rama de la botánica.

El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores. Se autoriza su reproducción total o parcial siempre y cuando se cite la fuente.

La revista *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* se encuentra registrada en los siguientes índices: CAB Abstracts, Periodica y Latindex.

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* is a publication of the Mexican Society of Cactology, published since 1955.

Complete or partial copying of articles is permitted only if the original reference is cited.

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* is registered in the following indices: CAB Abstracts, Periodica and Latindex.

Dirección editorial (editor's address): *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, Instituto de Ecología, UNAM, Aptdo. Postal 70-275, Cd. Universitaria, 04510, México, D.F.

Correo electrónico: cactus@miranda.ecologia.unam.mx

El costo de suscripción a la revista es de \$400.00 para México y 40 USD o 30 € para el extranjero. Pago de suscripciones a la cuenta no. 148-6353704 de Banamex.

Subscription rates: 40.00 USD or 30.00 €. Payment in cash, bank transfer or International Postal Money Order (only from the USA). Los comprobantes bancarios, la documentación pertinente y cualquier correspondencia deberán ser enviados a (Payments and correspondence to): Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. Aptdo. Postal 19-090, San José Insurgentes, 03901, México, D.F.

socmexcact@yahoo.com

www.somecacto.com

www.ecologia.unam.mx/laboratorios/dinamica_de_poblaciones/cacsucmex/cacsucmex_main.html

La Sociedad Mexicana de Cactología, A.C. agradece el financiamiento para esta publicación a los fondos obtenidos por los suscriptores y donativos por las suscripciones al V Congreso Mexicano de Cactáceas y Suculentas, Juriquilla, Querétaro, México. 2012.

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 57 No. 2 abril-junio 2012



Contenido

Demografía floral de <i>Ferocactus robustus</i> Piña H & Flores-Martínez A.....	36
Estudio demográfico de <i>Mammillaria mystax</i> en Cañada Morelos, Puebla, México Saldivar Sánchez S & Navarro Carbajal MC.....	47
<i>Coryphanta erecta</i> Lemaire ex Pfeiffer Rojas-Aréchiga M.....	64

Contents

Floral demography of <i>Ferocactus robustus</i> Piña H & Flores-Martínez A.....	36
Demographic study with <i>Mammillaria mystax</i> in Cañada Morelos, Puebla, Mexico Saldivar Sánchez S & Navarro Carbajal MC.....	47
<i>Coryphanta erecta</i> Lemaire ex Pfeiffer Rojas-Aréchiga M.....	64

Demografía floral de *Ferocactus robustus*

Piña Hugo^{1*} & Flores-Martínez Arturo²

Resumen

En este trabajo se evaluó el desarrollo de botones florales de *Ferocactus robustus* hasta la formación de frutos maduros con semillas, en una estación reproductiva en el año de 1998. Esta es una especie que produce estructuras reproductivas durante todo el año, sin embargo tiene un pico floral en los meses donde la precipitación pluvial es mayor. Con respecto al comportamiento floral se encontró que la antesis de *F. robustus* es diurna y dura dos días. Los botones iniciados durante el pico floral desarrollan hasta fruto en porcentajes bajos (14.9%). A pesar de que ocurren pérdidas importantes en el paso de botón iniciado a botón de 10 a 20 mm, las pérdidas más significativas se dan en las fases posteriores a la formación de las flores. Muchas flores (54.4%) se abortan inmediatamente después de la antesis, lo que sugiere que los recursos pueden tener un papel importante. Se observa una fuerte depredación de frutos inmaduros lo que reduce aún más la formación de frutos con semillas viables. En comparación a otras angiospermas tiene un asentamiento de frutos alto, pero en relación a otras cactáceas es muy bajo.

Palabras clave: Botones florales, demografía floral, fenología, Tehuacán

Abstract

Reproductive success in angiosperms depends on the amount of flowers that produce viable seeds. We studied the floral demography of *Ferocactus robustus* in one population at Zapotitlán Salinas, Puebla, México during 1998. Flowering occurs throughout the year, but it is more common during the rainy season. Anthesis occurs during the daytime and lasts up to two days. Around 300 floral buds were followed to fruit set. The development of flower buds was interrupted only in 14% of the cases, and fruit abortion was observed in 54.4%. Total fruit predation was estimated as 98%. The species displayed low fruit set in comparison to other cacti.

Key words: floral bud, floral demography, floral phenology, Tehuacan

Introducción

El éxito de la reproducción sexual en las plantas con flor depende del destino que tienen las flores producidas. En los procesos

reproductivos de las plantas se desarrollan diversas fases: la producción de flores, frutos y semillas (Stephenson 1981), y en las particularidades resultantes de la interacción con los polinizadores (Howe

¹ Universidad Autónoma Indígena de México, Ingeniería Forestal y Desarrollo Sustentable. Juárez 39, C.P. 81890, Mochichahui, El Fuerte, Sinaloa, México.

² Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Semarnat. Boulevard Adolfo Ruiz Cortines no. 4209. Jardines en la Montaña, cp. 14210. Tlalpan, México D. F.

* Autor de correspondencia: hugo_uaim@hotmail.com



FOTO 1. Individuo de *Ferocactus robustus* en floración en el que se observa su forma de crecimiento cespitoso.

& Westley 1997). Cada planta tiene su biología floral, es decir, diferentes rasgos morfológicos, fisiológicos y fenológicos que resultan en diferentes niveles de atracción de ciertos polinizadores (Bosch 1992). Aspectos como la producción de flores, el comportamiento floral, la cantidad y calidad de recompensas, la cantidad de semillas producidas, la aborción de flores y frutos, entre otros, participan de forma importante en el éxito reproductivo de las plantas, entendido como la cantidad de semillas fértiles producidas por una planta en un evento reproductivo (Waser 1983a).

Se ha reportado que tanto el número de flores como el tiempo en que se efectúa su producción pueden influir en la capacidad de atracción de ciertos visitantes (Waser 1983a,b; Zimmerman 1988). El número de flores producidas tiene relación con la cantidad de semillas posibles de formarse, lo cual obviamente estará relacionado con la cantidad de nuevas plantas que pueden establecerse, además de que es una adaptación para atraer polinizadores específicos (Proctor *et al.* 1996; Faegri & van der Pijl 1972). Las sincronías entre la floración y la actividad de los polinizadores favorecen la

adecuación de las plantas, mientras que las asincronías la limitan (Thompson & Willson 1979; Bailey & Ridsell-Smith 1991).

Las plantas están especialmente su-peditadas a la acumulación de recursos y a la asignación de éstos al crecimiento, manutención y reproducción (Willson 1979). Después de la fertilización y fusión del núcleo del endospermo, las semillas en desarrollo producen pulsos hormonales que se cree controlan el crecimiento y diferenciación de los frutos jóvenes (Stephenson 1981), además de jugar un papel primario en la movilización de recursos (Tamas *et al.* 1979). Los recursos necesarios para el desarrollo de los frutos y semillas provienen de diversas fuentes; los nutrientes inorgánicos y el agua se transportan vía xilema, mientras que los carbohidratos y los nutrientes reciclados de órganos vegetativos entran a los frutos vía floema (Stephenson 1981; Coombe 1976). También los frutos pueden utilizar recursos asimilados en años previos y que se encuentran almacenados en los tejidos (Stephenson 1981). Los recursos disponibles para la reproducción pueden variar entre episodios reproductivos según las condiciones ambientales y la ocurrencia

de la herbivoría, la competencia inter e intraespecífica, y la mortalidad, entre otros aspectos (Stephenson 1980).

De esta forma, la aborción de flores y frutos se encuentra relacionada con la disminución en la producción de hormonas y con el aumento en la cantidad de inhibidores del crecimiento, como el ácido abscísico y etileno (Stephenson 1980; 1981). Los daños causados por agentes bióticos o abióticos en los frutos provocan también aborción. Se ha reportado, por ejemplo, que heladas causan gran mortalidad de frutos, al igual que la depredación de semillas por insectos (en frutos jóvenes). La interrupción selectiva del desarrollo de frutos dañados, puede ser entendida como un mecanismo que permite que las plantas dejen de asignar recursos a frutos que no contribuirán a una futura generación (Stephenson 1981).

La competencia entre frutos y la aborción tienden a incrementarse con la escasez de recursos, y con el número de frutos iniciados. Por ejemplo, en algunas plantas, los periodos de producción de frutos son seguidos por periodos de fuerte abscisión. Se ha reportado que la proporción de frutos sobrevivientes es una función de la disminución del número de frutos iniciados (Stephenson 1980; 1981; Udovic & Aker 1981). La evidencia sugiere que la maduración de frutos es selectiva para muchas especies; las flores y los frutos jóvenes maduran selectivamente de acuerdo a aspectos como el orden de polinización, el número de semillas en desarrollo, la fuente de polen o alguna combinación de éstos (Bertin 1982). En una inflorescencia o individuo determinado, los frutos de las primeras flores polinizadas, tienen más posibilidades de madurar que los frutos de flores que son polinizados más tardíamente (Wyatt 1982).

En este trabajo se presenta un estudio de demografía floral de *Ferocactus robustus*, que dilucidó el destino y las particularidades del desarrollo de los botones florales, la producción y depredación de frutos y la aborción.

Material y métodos

Ferocactus robustus (Link ex Otto) modificado de Britton *et* Rose, *Cactaceae* 3:135, 1922.

Planta cespitosa que forma montículos de grandes dimensiones, con numerosas cabezuelas (Foto 1). Posee tallos ovoides o cilíndricos, que tienen diámetros muy variables por encima de 10 cm, y son de color verde (en diferentes tonalidades). El número de costillas es de 8 (Foto 2; algunos individuos presentan 10), son prominentes y algo engrosadas bajo las areolas. Las areolas son circulares, miden alrededor de 8 mm de diámetro, se encuentran distantes entre sí por arriba de 3.5 cm, y están provistas de fieltro color castaño claro. El número de espinas radiales es de 10 a 14, las superiores son setosas y las inferiores parecidas a las centrales, son radiadas de color más claro. El número de espinas centrales es de 4 a 6, son radiadas de sección transversal angulada y a veces algo aplanadas, anilladas y rectas, de color purpúreo rojizo o grises (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991) (Foto 3).

La longitud y ancho de las flores es variable, por encima de los 3 cm de longitud, son infundibuliformes, de color amarillo (en diferentes tonalidades); el pericarpelo está cubierto de escamas imbricadas anchas y redondeadas, en transición con los segmentos exteriores del perianto, los cuales son de color amarillo con la franja media roja o a veces sin franja, y están mucronados; los segmentos interiores del perianto son lanceolados, angostos, y agudos. El número de lóbulos del estigma es de 10 y son amarillos. El fruto es ovoide, de tamaño variable partiendo de 2 cm de longitud y un poco menos de anchura,

son de color amarillo cuando están maduros y tienen escamas deltoides. Las semillas miden aproximadamente 1.5 mm de longitud y tienen testa reticulada negra (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991).

Fenología floral

Para determinar la dinámica de la floración de *Ferocactus robustus*, se realizaron censos de flores en la zona de estudio, en un área aproximada de 300 × 200 m, durante cada 15 días aproximadamente, durante el año de 1998. Para relacionar la cantidad de lluvia que se presentó en la zona con los patrones de floración observados, se obtuvieron datos de precipitación en la estación meteorológica más cercana (en Zapotitlán Salinas, Puebla) y se realizó una regresión lineal (Zar 1984).

Demografía floral

Desarrollo de botones florales. Para realizar el seguimiento de los diferentes estadios fenológicos de los primordios y botones florales de *F. robustus* hasta la formación y maduración del fruto, se marcaron 289 botones de reciente formación (de 1 a 10 mm de ancho) y se registró su desarrollo cada quince días, a partir del mes de abril hasta julio de 1998. Durante este tiempo se registraron los diferentes eventos que ocurrieron durante su desarrollo como la desecación de botones, interrupción del crecimiento, formación de la flor, formación y aborción de frutos y finalmente la maduración.

Crecimiento de botones florales. Con base en el estudio de demografía floral, se realizó una estimación aproximada del número de días de desarrollo de 129 botones florales de diferentes dimensiones iniciales (3 a 15 mm) que alcanzaron a transformarse en fruto (partiendo de abril de 1998). El número de días de desarrollo se calculó, en la mayoría de los casos, tomando

en cuenta los intervalos entre las fechas de monitoreo.

Resultados

Fenología floral

Aunque *F. robustus* florece durante todo el año, presenta una floración máxima en los meses de agosto y septiembre, lo que coincide con la presencia de precipitaciones pluviales que ocurrieron de forma abundante durante el año (1998) (Fig. 1). En el mes de junio se observó una considerable abundancia de flores debido posiblemente a la presencia temprana de lluvias.

En general la producción de flores se encontró relacionada de manera significativa con la precipitación ($R^2 = 0.52$, $F = 9.83$, $P = 0.0119$), lo que muestra que el recurso hídrico es importante para el desarrollo de botones florales.

Demografía floral

Desarrollo de botones florales. El 13.5 % de los botones florales inicialmente marcados no alcanzaron a desarrollarse en flor (39 del total), esto es que el 86.5% de los botones florales muestreados se desarrollaron en flores (250) (Fig. 2). En el siguiente estadio se observó que una considerable cantidad de flores no alcanzaron a desarrollarse en frutos inmaduros (54.4%, 136 flores), alcanzando este estadio sólo el 45.6 % del total de las flores (114 frutos), lo que muestra que únicamente el 39.4 % de los botones iniciales se desarrollaron en frutos inmaduros. Se observó también que el 62.2 % de los frutos inmaduros no alcanzó a madurar (71 frutos) por efecto de la depredación, lo que indica que el 37.8 % pasó al siguiente estadio (43 frutos), y constituye sólo el 14.3 % de los 289 botones inicialmen-

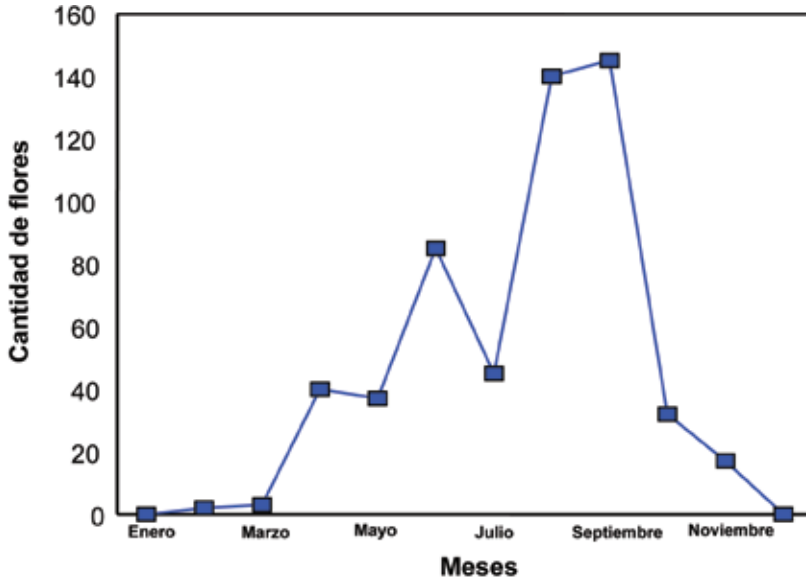


FIGURA 1. Floración de *Ferocactus robustus* en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. Datos de la población de Plan de Fierro en 1998.

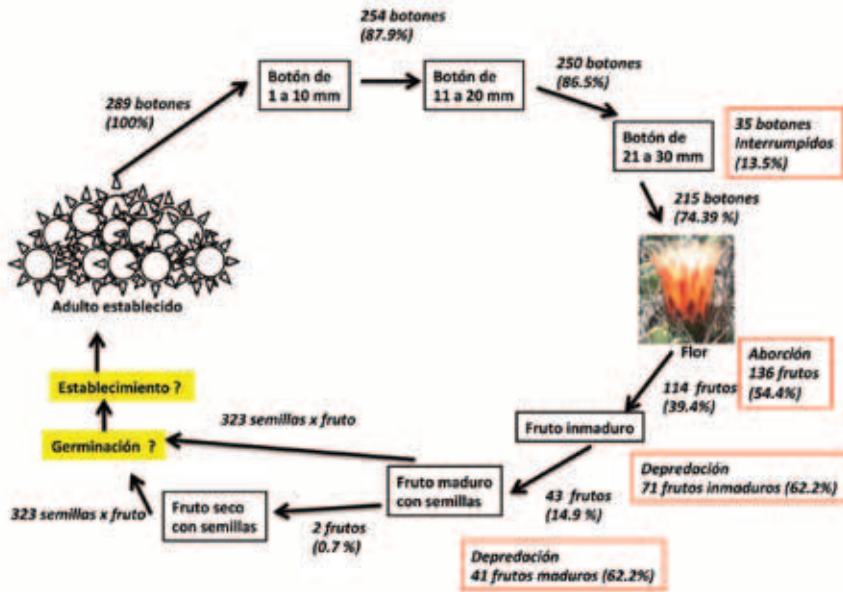


FIGURA 2. Demografía floral de *Ferocactus robustus* en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. Se especifica el número de elementos que pasa a la siguiente etapa y la proporción con respecto al número de botones inicial. Las cajas rojas indican las pérdidas importantes en el proceso de desarrollo de botones a frutos maduros. Los bloques amarillos indican los procesos que no se determinaron en este trabajo y no se conoce su contribución demográfica.



FOTO 2. Tallos o cabezuelas de *Ferocactus robustus* donde se aprecian las 8 costillas que presentan.

te marcados. Con respecto al último estadio se observó que de los 43 frutos maduros sólo 2 frutos pasaron a fruto seco (4.7%), lo que muestra que el 95.3 % son depredados. De los 289 botones inicialmente marcados sólo el 0.7 % alcanzó el estadio de fruto seco.

La depredación total de frutos fue estimada en 98%, es decir que de 114 frutos producidos sólo permanecieron hasta el final del estadio 2 frutos (Fig. 2).

Crecimiento de botones florales. La velocidad de crecimiento de los botones analizados, hasta la formación del fruto, se muestra en el cuadro 1. Se observa una relación inversa entre la dimensión del botón y el tiempo en que éste alcanza el estadio de fruto inmaduro.

Discusión

A diferencia de otras especies de cactáceas que tienen una floración más estacional (ver Mandujano *et al.* 1996; 2010), *Ferocactus robustus* es una cactácea que se caracteriza por producir flores durante todo el año, incluso en la parte más seca del mismo. La producción floral es muy variable y asincrónica a nivel poblacional e individual, sin embargo, fueron apreciables picos de floración en algunos meses del año, los cuales correspondieron con altos niveles de precipitación acaecidos durante el mes. La existencia de una relación significativa entre la producción de flores y la precipitación pluvial, muestra la gran importancia del recurso hídrico para el desarrollo de botones florales, lo que se observó inclusive

CUADRO 1. Velocidad de crecimiento (número de días) de botones florales (n = 129) de diferentes tamaños de *Ferocactus robustus* hasta la formación del fruto. Datos de una población en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla México durante la floración de 1998.

Número de flores muestreadas	Tamaño de botón (mm)	Días de desarrollo (promedio)	Error estándar
6	3	63	2.45
12	4	57	3.11
17	5	40	2.81
20	6	30	0.80
7	7	25	3.06
11	8	26	1.62
4	9	25	3.17
15	10	29	2.77
9	11	18	1.67
10	12	17	1.53
6	13	16	0
6	14	16	0.66
6	15	16	0

cuando las precipitaciones pluviales fueron mínimas, aunque es necesario mencionar que las variaciones en la producción de flores no sólo están relacionadas con la precipitación, sino también con el número de primordios y botones florales presentes en la población, el cual varía considerablemente durante el año, debido a la asincronía floral y al lento desarrollo de las flores (obs. pers.). Esto explicaría porque aun cuando existe una relación directa entre la precipitación y la producción de flores, en algunos meses no se observan repuntes en la producción (mes de julio). También es necesario mencionar que la presencia de humedad en el sistema, puede permitir el aumento en la producción de flores aun cuando las precipitaciones pluviales hayan disminuido durante el mes (mes de agosto).

Las flores de *F. robustus* mantienen un comportamiento fenológico similar a lo largo del año, el cual está caracterizado por una larga antesis diurna (18 horas en total), interrumpida por un periodo nocturno. Este amplio periodo es suficiente para que los visitantes florales se presenten y favorezcan la polinización. La duración de la antesis (h) en otras cactáceas es variable, por ejemplo: *Trichocereus pasacana*, >24 (Ortega-Baes *et al.* 1999); *Carnegiea gigantea*, >24 (McGregor *et al.* 1962); *Pachycereus weberi*, 19, y *Pilosocereus chrysacanthus*, 15 (Valiente-Banuet *et al.* 1997); *Subpilocereus repandus*, 14, y *Stenocereus griseus*, 11 (Petit & Freeman 1997). Un aspecto muy relacionado con la duración de la antesis, que contribuye al proceso de polinización, es la prolongada receptividad de los estigmas,

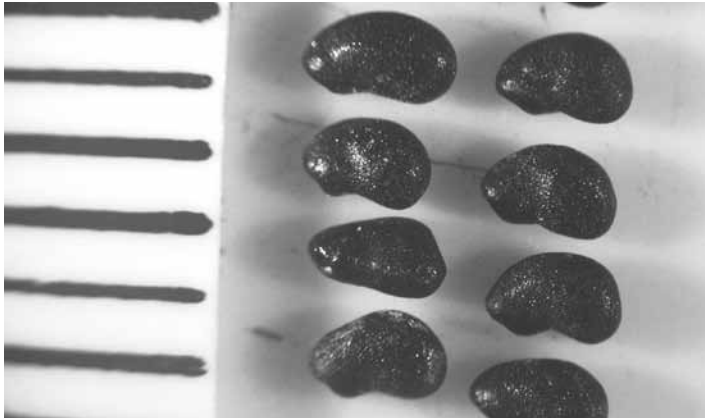


FOTO 3. Semillas de *Ferocactus robustus* (escala en mm, fotografía de microscopio estereoscópico 10x).

que sugiere que el polen recibido tiene una alta probabilidad de germinar a cualquier hora en que es depositado, lo cual constituye una ventaja para la especie en términos de ampliar sus posibilidades de producir semillas. Esta observación se confirmó por medio de polinizaciones controladas en flores que se encontraban en su segundo día de antesis, observándose que las flores producen semillas normalmente (obs. pers).

En cuanto al ofrecimiento de recompensas, se observó que *F. robustus* no secreta néctar (por lo menos en cantidades medibles), pero presenta una considerable producción de polen, que es aprovechado por las abejas solitarias oligolécticas, de las cuales se ha reportado consumen principalmente polen (Teppedino & Parker 1982; Wcislo & Cane 1996). La escasez de néctar es un rasgo de la biología floral que distingue a *F. robustus* de muchas otras especies de cactáceas que muestran una mayor producción de esta recompensa, como por ejemplo, *Pachycereus pringlei*, columnar del desierto sonorense (Fleming & Sandrine 1994); *Opuntia rastrera* en el bolsón de Mapimí (Mandujano *et al.* 1996); *Stenocereus griseus* y *Subpilocereus repandus* en Curacao, antillas holandesas (Petit &

Freeman 1997); *Pachycereus weberi* y *Pilosocereus chrysacanthus* en el valle de Tehuacán (Valiente-Banuet *et al.* 1997); y *Trichocereus pasacana* en Sudamérica (Ortega-Baes *et al.* 1999). Se puede establecer que la recompensa principal que ofrece *F. robustus* es el polen y no el néctar, y que la falta o escasez de este último no es un factor que esté limitando la actividad de los polinizadores y, en última instancia, la producción de semillas.

Otra característica del comportamiento floral en *F. robustus* es que existe una sincronía entre el fenómeno de dehiscencia de anteras y disponibilidad del polen, y el inicio de la receptividad estigmática, pues ambos fenómenos ocurren simultáneamente después de la apertura floral, y alcanzan su clímax aproximadamente una hora después. Esta sincronía es conocida como homogamia (Lloyd & Barret 1996), y es una condición que facilita o promueve la autopolinización en las plantas (por no existir una separación temporal de funciones masculinas y femeninas o hercogamia), lo que puede conllevar (como es el caso de *F. robustus*) a la autofecundación y posterior generación de semillas.

El estudio de demografía floral mostró que la especie posee altos niveles de inte-

rupción en el desarrollo de frutos, que se consideró aborción sin abscisión, además de mostrar una alta depredación de frutos. El fenómeno de aborción de frutos podría estar relacionado principalmente con la escasez del recurso hídrico en la mayor parte del año, como se ha reportado en numerosas plantas (Stephenson 1980; 1981; Lloyd & Barret 1996). Desde esta perspectiva, podría ser posible que los patrones de asignación del recurso hídrico en *Ferocactus robustus*, pudieran ser designados en gran proporción a la reproducción sexual, el recurso factible de ser asignado sea muy limitado por no estar disponible, lo que originaría que no todos los frutos pudieran mantenerse en pie, sino sólo algunos, a los cuales se les estaría brindando un orden preferencial, como ha sido reportado para otras especies (Stephenson 1981). El sostenimiento de los frutos hasta su maduración, podría verse afectado por el largo periodo de desarrollo de los botones hasta frutos maduros, el cual es mayor a dos meses en los primordios florales. Sin embargo, este tiempo de desarrollo de los botones puede variar dependiendo la disponibilidad de recursos y las condiciones ambientales imperantes (Stephenson 1981).

Por otra parte, no se descarta la posibilidad de que *F. robustus* se enfrente, por lo menos en algún periodo del año, a una escasez de polinizadores, situación que estaría provocando que muchas flores no fueran visitadas o recibieran escasas visitas, lo que conllevaría a que una gran parte de los óvulos no sean fertilizados, y por ende se produjera un escaso número de semillas, y con ello quizás la aborción de frutos (Bertin 1982). Dado que *F. robustus* presenta autocompatibilidad (Piña, 2000), es posible que si las flores, en determinadas ocasiones, recibieran bajas cantidades de polen exóge-

no y elevadas cantidades de polen propio, los frutos originados no alcancen a producir un número suficiente de semillas como para mantener dichos frutos en pie (Stephenson 1981), por lo que tenderían a ser abortados. Como el transporte de polen en *F. robustus* se realiza esencialmente por medio de polinizadores (no por otros medios, como por ejemplo el viento), la escasez o falta de visitas en las flores se constituye como un factor que podría estar generando aborción. Esta posibilidad se apoya en la observación (realizada durante las polinizaciones controladas) de que flores que recibían, deliberadamente, sólo una cantidad mínima de polen, usualmente no producían fruto, lo que sugiere una relación entre la cantidad de polen depositado en los estigmas y la probabilidad de producir frutos.

Los altos niveles de aborción encontrados en *F. robustus* afectan directamente la producción de semillas y reducen posibilidades de reclutamientos futuros. Sin embargo, aún con la disminución causada por este fenómeno e inclusive por la depredación, la producción de semillas en la población es considerablemente elevada, ya que cada fruto en condiciones naturales produce alrededor de 323 semillas en promedio (Piña, 2000), por lo que no podría catalogarse como deficiente. Aún más, es importante mencionar que cada semilla producida tiene una alta probabilidad de ser viable y poder germinar (Piña 2000), aunque aún se desconoce el comportamiento germinativo en condiciones naturales. En este sentido, la producción de semillas en *F. robustus*, tanto en calidad como en cantidad, se puede considerar como satisfactoria y no constituye en sí un problema en la especie.

En cuanto a la remoción de frutos, las tasas encontradas fueron muy altas

(>98%), inclusive para la depredación de frutos inmaduros (>62%), lo cual constituye, en este último aspecto, un abatimiento substancial del potencial reproductivo la planta. Si el depredador de los frutos (no identificado) destruye las semillas maduras en su tracto digestivo, significaría que la frugivoría estaría directamente implicada en el bajo reclutamiento observado en la especie (Herrera, 1995). Por otro lado, cabe mencionar que la alta depredación de frutos también posibilita que *F. robustus* tenga una apropiada dispersión de semillas, como ha sido reportado para otras especies (Herrera 1995). Estas observaciones muestran la importancia de realizar estudios orientados a la dispersión de semillas, iniciando por la identificación del frugívoro(s) y su modo de acción.

Es importante señalar que los estudios realizados no permiten dilucidar los cambios a través del tiempo en aspectos como la aborción de frutos, la interrupción del desarrollo de botones o la maduración de frutos. Esto podría variar en cada temporada, por lo que es necesario realizar estudios de la asignación de recursos en la especie y del comportamiento de los visitantes en toda la temporada y entre temporadas, para poder tener un mayor entendimiento de la relación existente entre la producción floral y los diversos aspectos abordados. No obstante, con la información que tenemos se puede concluir que *F. robustus* no presenta problemas relacionados con su floración y biología floral que expliquen el bajo nivel de reclutamiento observado.

Agradecimientos

Agradecemos a los doctores Concepción Rodríguez, Fabián Vargas, Santiago Arizaga, Raquel Galván y María Mandujano su revisión.

Literatura citada

- Bailey WJ & Ridsell-Smith. 1991. *Reproductive behaviour of insects: Individual and populations*. Bailey & Ridsell-Smith, Eds. Chapman and Hall, London, England.
- Bertin RI. 1982. Floral biology, hummingbird pollination and fruit production of trumpet creeper (*Campsis radicans*, Bignoniaceae). *Am J Bot* **69**:122-134.
- Bosch J. 1992. Floral biology and pollinators of three co-occurring *Cistus* species (Cistaceae). *Bot J Linnean Soc* **109**:39-55.
- Bravo-Hollis H & Sánchez-Mejorada H. 1991. *Las Cactáceas de México* Vol. II. UNAM, México, D.F.
- Coombe BG. 1976. The developmental of fleshy fruits. *Ann Rev Plant Physiol* **27**:507-528.
- Faegri K & L van der Pijl. 1972. *The Principles of pollination ecology*. Pergamon, Oxford.
- Fleming H & Sandrine M. 1994. Reproductive biology and relative male and female fitness in a trioecious cactus *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *Am J Bot* **81**:858-867.
- Herrera CM. 1995. Plant-vertebrate seed dispersal systems in Mediterranean: ecological, evolutionary, and historical determinants. *Ann Rev Ecol Syst* **26**:705-727.
- Howe HF & LC Westley. 1997. Ecology of Pollination and seed dispersal. In: M.J. Crawley (Ed), *Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Lloyd DG & S Barret. 1996. *Floral biology*. D.G. Lloyd (Ed). Chapman & Hall, USA.
- Mandujano MC, Montaña C & L E Eguiarte. 1996. Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan desert: Why are sexually recruitments so rare?. *Am J Bot* **83**:63-70.
- Mandujano MC, Carrillo-Angeles I, Martínez-Peralta C, & J Golubov. 2010. Chapter 10. Reproductive biology of Cactaceae. In

- Ramawat KG, ed. *Desert Plants - Biology and Biotechnology*. Springer.
- Ortega-Baes P, de Viana M & M Saravial. 1999. Biología de la polinización de *Trichocereus pasacana* en el Parque nacional los cardones (Argentina). En: *Memorias del II Congreso Mexicano y I Congreso Latinoamericano y del Caribe*, Oaxaca, México.
- Petit S & E Freeman. 1997. Nectar production of two sympatric species of columnar cacti. *Biotropica* **29**:175-183.
- Piña H. 2000. Ecología reproductiva de *Ferocactus robustus* en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Maestría. Escuela Nacional de ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. IPN.
- Proctor M, Yeo P & A Lack. 1996. *The Natural History of Pollination*. Timber Press, Inc., Portland, Oregon.
- Stephenson AG. 1980. Fruit set, herbivory, fruit reduction, and the fruiting strategy of *Catalpa speciosa* (Bignoniaceae). *Ecology* **61**:57-64.
- Stephenson AG. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate function. *Ann Rev Ecol Syst* **12**:253-281.
- Tamas I A, Wallace DH, Ludford PM & JL Oz-bun. 1979. Effects of older fruits on abortion and abscisic acid concentration of younger fruits in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiol* **64**:620-622.
- Teppedino VJ & FD Parker. 1982. Interspecific differences in the relative importance of pollen and nectar to bee species foraging on sunflowers. *Environ Entom* **70**:573-577.
- Thompson JN & MF Willson. 1979. Evolution of temperate fruit/bird interactions: phenological strategies. *Evolution* **73**:1780-1791.
- Udovic D & C Aker. 1981. Fruit abortion and the regulation of fruit number in *Yucca whipplei*. *Oecologia* **49**:245-248.
- Valiente-Banuet A, Rojas-Martínez A, Casas A, del Coro-Arizmendi M & P Dávila. 1997. Pollination biology of two winter-blooming giant columnar cacti in the Tehuacan valley, central Mexico. *J Arid Environ* **37**:331-341.
- Waser NM. 1983a. The adaptative nature of floral traits: ideas and evidence. In L. Real (Ed) *Pollination biology*. Academic Press, Orlando, Fl.
- Waser NM. 1983b. Competition for pollination and floral character differences among sympatric plant species: a review of the evidence. In CE Jones & RJ Little (Eds), *Handbook of Experimental Pollination Biology*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Wcislo WT & JH Cane. 1996. Floral resource utilization by solitary bees (Hymenoptera: apoidea) and exploitation of their stored foods by natural enemies. *Ann Rev Entomol* **41**:257-286.
- Willson MF. 1979. Sexual selection in plants. *Am Nat* **113**:777-790.
- Wyatt R. 1982. Inflorescence architecture: How flower number, arrangement, and phenology affect pollination and fruit-set. *American Journal of Botany*. **69**:585-594.
- Zar JH. 1984. *Biostatistical analysis*, 2 ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Zimmerman M & GH Pyke. 1988. Reproduction in *Polemonium*: Assessing the factors limiting seed set. *Am Nat* **131**.

Recibido: diciembre 2011; aceptado: marzo 2012.
Recieved: December 2011; accepted: March 2012.

Estudio demográfico de *Mammillaria mystax* en Cañada Morelos, Puebla, México

Saldívar Sánchez Sandra¹ & Navarro Carbajal María del Carmen^{1*}

Resumen

Mammillaria mystax es una cactácea globosa endémica de México, se localiza en Guerrero, Oaxaca y Puebla, se utiliza como ornamental y se encuentra en el Apéndice II del CITES. Se evaluaron los parámetros demográficos de una población de la especie en Cañada Morelos, Puebla y se determinó la tasa de crecimiento poblacional por medio del modelo matricial de Lefkovitch. La densidad fue de 0.046 individuos/m², los individuos adultos fueron los más abundantes y las plántulas constituyeron la menor proporción. Las plantas presentaron crecimiento lento y alta supervivencia. El periodo reproductivo se observó de octubre a julio y la germinación fue escasa. La tasa de crecimiento ($\lambda=1.15\pm 0.25$) indica que la población está en equilibrio; sin embargo, la baja densidad, una estructura de tamaños constituida en su mayoría por adultos, escasa germinación de semillas y baja supervivencia de plántulas sugieren que esta especie puede ser vulnerable a la extinción.

Palabras clave: Cactus, demografía, *Mammillaria mystax*, modelo matricial, población.

Abstract

Mammillaria mystax is a globose cactus that is endemic to Mexico. The species is distributed in Guerrero, Oaxaca and Puebla, which is used as an ornamental plant, and it is listed in Appendix II of CITES. The demographic parameters of a population located in Cañada Morelos, Puebla, México were evaluated and the growth rate was determined using Lefkovitch's matrix population model. The density was of 0.046 individuals/m², the adult individuals were the most abundant and the seedlings constituted the smaller proportion. The plants presented slow growing and high survival. The reproductive period was observed from October to July and the germination was low. The finite rate of population growth ($\lambda = 1.15 \pm 0.25$) indicates that the population is at numerical equilibrium; however, the low density, and a stable structure of sizes mainly constituted by adults, limited seeds germination and low seedlings survival suggest that this species can be vulnerable to extinction.

Key words: Cacti, demography, *Mammillaria mystax*, matrix model, population.

¹ Lab. de Ecología Vegetal, Escuela de Biología, Benémerita Universidad Autónoma de Puebla. Boulevard Valsequillo y Av. San Claudio. Edificio 112-A, Cd. Universitaria. Col. Jardines de San Manuel. CP 72570.

*Autor de correspondencia: maria.navarro@correo.buap.mx

Introducción

El estado de conservación de las especies puede determinarse mediante inventarios, censos y análisis demográficos (Palmer 1987). De todos estos, los últimos son los más completos ya que permiten conocer las etapas más críticas del ciclo de vida de una especie y cómo estos afectan la tasa de crecimiento poblacional (Franco 1990; Schemske *et al.* 1994; Esparza-Olguín 1998).

Actualmente parte de la necesidad de estudiar las tendencias demográficas de las cactáceas está relacionada con el hecho de que existe un elevado número de especies amenazadas, incluidas en listados relacionados con la protección de la diversidad (Anderson *et al.* 1994; Hunt 1999). Las plantas de esta familia presentan características biológicas y ecológicas muy peculiares, lo que ha provocado la extracción desmedida de individuos de las poblaciones silvestres con fines comerciales (Zavala-Hurtado 1997).

Para describir los patrones demográficos de las poblaciones es necesario incluir la germinación (Moore & Chapman 1986). El estudio de la germinación en algunas especies de cactus se ha realizado en condiciones experimentales y naturales (Álvarez & Montaña 1997; Quijas 1999; Ruedas *et al.* 2000; Castillo & Navarro 2002; Flores-Martínez *et al.* 2008; Rojas-Aréchiga 2008; Deméneghi 2009; Navarro *et al.* 2010). Se ha encontrado que la germinación de las semillas difiere para las especies y los principales factores que la determinan son el sustrato, el agua, la temperatura y la luz (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes 2000; Godínez-Álvarez *et al.* 2003).

La presencia de una especie particular de planta en una localidad específica está determinada por el establecimiento de sus

plántulas (Nobel 1988). El estudio de la magnitud y las causas del bajo reclutamiento en cactáceas, permiten discernir entre la dinámica natural de sus poblaciones y las tendencias hacia su desaparición (Valverde 2001); el establecimiento en su medio natural es muy lento y es una de las etapas críticas de su ciclo de vida. En poblaciones de *Mammillaria* la aparición de nuevas plántulas es escasa, los valores oscilan de 4.4×10^{-5} a 2.5 plántulas/m² (Cortes 2003; Castillo 2004); mientras que en otras no se han registrado (Contreras 2000; Avendaño-Calvo 2007; Ramos 2007).

Los individuos en las poblaciones de cactáceas presentan tasas altas de mortalidad en fases tempranas (Alanís & Velazco 2008; Navarro & Flores 2002; Ramos 2007; López & Navarro 2009) en algunos casos ésta se reduce para las especies que se establecen bajo la cobertura de otras plantas (Valiente-Banuet & Ezcurra 1991; Golubov *et al.* 2000) o rocas (Deméneghi 2009) que incrementan el éxito en la supervivencia de plántulas. En algunas especies de *Mammillaria* los valores más altos de mortalidad ocurren en plántulas y juveniles (Contreras 2000; Santini 2007; Peters & Martorell 2001; Avendaño-Calvo 2007), en otras son las plantas de mayor tamaño las que tienden a desaparecer debido a la colecta ilícita de ejemplares que se incrementa en la época de floración (Ramos 2007; Castillo 2004; Deméneghi 2009). Otros factores que influyen en la baja supervivencia son: erosión del sustrato, pisoteo y ramoneo por ganado (vacuno, caprino y bovino), altos niveles de insolación, necrosis por exceso de humedad y forrajeo por insectos (Zavala-Hurtado 1997; Valverde 2001; Castillo 2004; Ramos 2007; Deméneghi 2009).

Los estudios de dinámica poblacional recientemente han abordado aspectos



FOTO 1. Individuo de *Mammillaria mystax* en su hábitat natural.



FOTO 2. Medición del diámetro de un individuo de *Mammillaria mystax* en su hábitat natural.



FOTO 3. Porción apical de *Mammillaria mystax* en donde se aprecia la marca de la aréola más cercana al ápice.

de distribución, patrones de abundancia, germinación, establecimiento, asociación con plantas nodriza, crecimiento, reproducción y evaluación de la tasa de crecimiento poblacional (López-Villavicencio 1999; Valverde 2001; Godínez-Álvarez *et al.* 2003; Valverde *et al.* 2004; Ferrer *et al.* 2012; Avendaño-Calvo 2007; Ramos 2007; Deméneghi 2009). Algunos otros se han realizado con la finalidad de predecir, el futuro de una población y con ello evaluar el estado de conservación de las especies (Contreras & Valverde 2002; Castillo & Navarro 2002).

Para el género *Mammillaria* se han estudiado aspectos de distribución geográfica, reproducción y secuestro de semillas (Rodríguez & Ezcurra 2000; Flores-Martínez *et al.* 2002; Rodríguez 2008). Los que consideran la evaluación de parámetros demográficos se han enfocado a especies endémicas de México que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo, debido a la disminución de sus poblaciones naturales (López-Villavicencio 1999; Rodríguez & Ezcurra 2000; Martínez *et al.* 2001; Contreras & Valverde 2002; Hernández-Oria *et al.* 2003; Valverde *et al.* 2004; Navarro &

Juárez 2006; Navarro & Castillo 2007; Deméneghi 2009; Ferrer-Cervantes *et al.* 2012).

Mammillaria mystax es endémica de México, se distribuye en Guerrero, Oaxaca y Puebla; y se utiliza como planta ornamental. Para la especie se tiene información relacionada con su descripción botánica, distribución, fenología y germinación en laboratorio e invernadero (Arias *et al.* 1997, Arias *et al.* 2000; Benítez-Rodríguez *et al.* 2004; Rojas-Aréchiga 2008). No existe evidencia de información sobre estudios ecológicos detallados en alguna de sus poblaciones. Sin embargo, estuvo catalogada como vulnerable por la IUCN (1994) y actualmente se encuentra en el apéndice II del CITES. El presente estudio se realizó con el propósito de describir algunos de sus parámetros demográficos en la localidad de Cañada Morelos, Puebla; así como, estimar la tasa de crecimiento poblacional (λ) por medio de la matriz de transición de Lefkovich.

Material y métodos

Especie de estudio. *Mammillaria mystax* Mart., es un cactus simple o cespitoso, de forma globosa

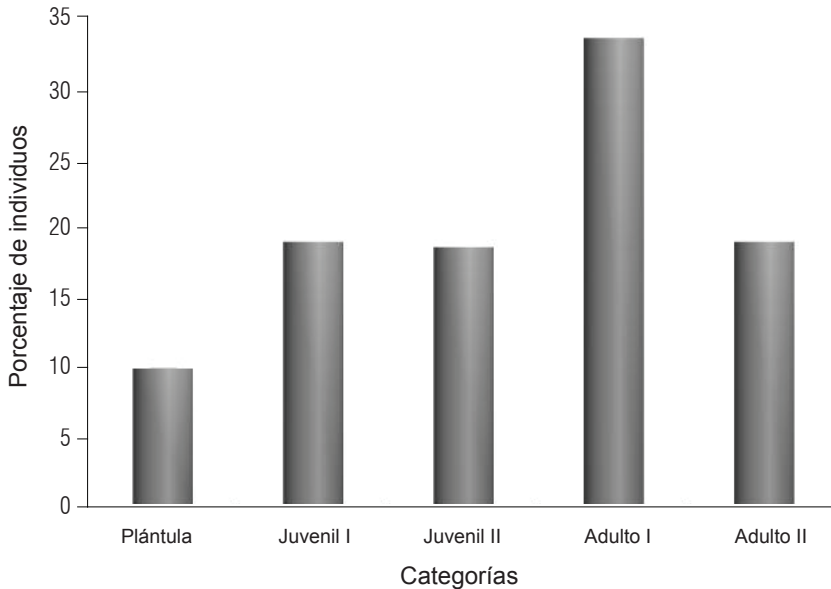


FIGURA 1. Porcentaje de individuos presentes en cada categoría de tamaño de la población de *Mammillaria mystax* en Cañada Morelos, Puebla.

a cortamente cilíndrica, puede llegar a medir hasta 30 cm de altura y 20 cm de ancho. Presenta aréolas circulares con espinas radiales blancas o rojo-pardas mientras que las espinas centrales son aciculares, irregularmente entrecruzadas, de color gris-pardo. Las flores son campanuladas y de margen aserrado, color blanco a rosa, con una franja media púrpura o pardo-anaranjada (Foto 1). Los frutos son claviformes y de color rojo (Arias *et al.* 1997; 2000).

Trabajo en campo. El presente estudio se llevó a cabo en el cerro La Cuestesilla, localizado aproximadamente a 16.5 km del municipio de Cañada Morelos en la parte centro oriental del estado de Puebla a 2400 msnm, entre los 18°42' 80" N y 97° 23' 42" O, comprende un área aproximada de 5400 m², presenta un clima semiseco templado con lluvias en verano (INEGI 2000). El suelo es tipo Rendzina, la vegetación corresponde con matorral xerófilo rosetófilo (CONABIO 1998). Las temperaturas máximas

se presentan de abril a junio (15-16°C) y las mínimas de diciembre a enero (10.5°C). La precipitación ocurre de mayo a septiembre, la máxima (78.2 mm) se alcanza en junio. (Servicio Meteorológico Nacional 2000).

En enero de 2009 en la ladera suroeste del cerro, se colocaron 4 cuadros de 45x30 m, en cada uno se marcaron y contaron todos los individuos para evaluar la densidad de la población.

Se realizó un censo de los individuos de manera trimestral para calcular la supervivencia. Para evaluar el crecimiento, se consideraron dos aspectos: a) el diámetro de las plantas registrado en cm con un instrumento (1 mm de precisión) diseñado para ello (Foto 2) y b) el número de aréolas nuevas (Quijas 1999; Contreras 2000; Castillo 2004), para lo cual se marcó con pintura inflable (plastikolor) a cada individuo en la espina de la aréola más cercana de su ápice (Foto 3). Ambas variables se evaluaron trimestralmente durante un año a partir de enero de 2009.

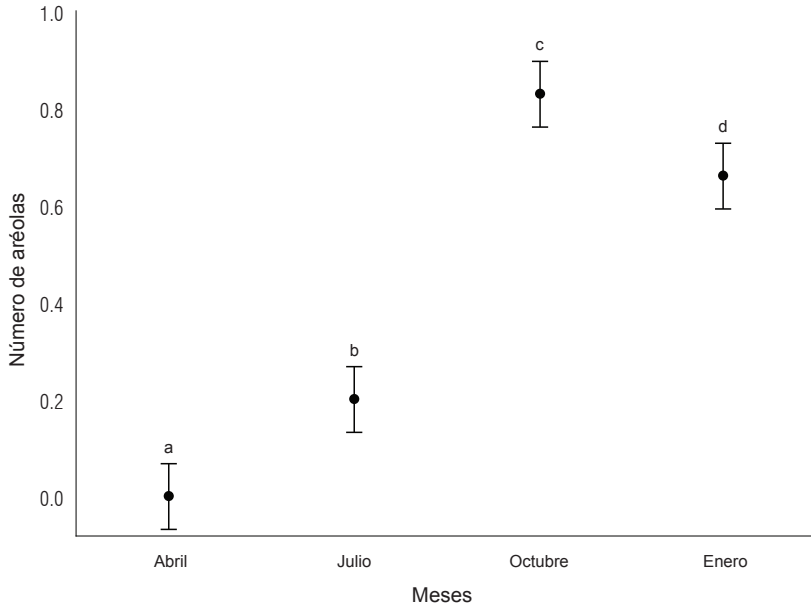
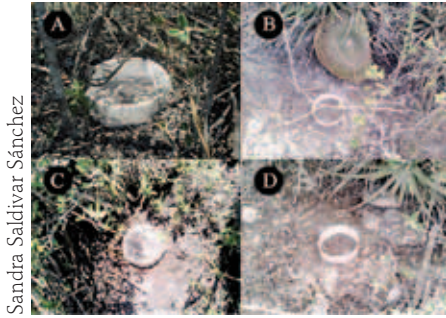


FIGURA 2. Número de aréolas nuevas en promedio (Media \pm E.E.) de los individuos en la población de *Mammillaria mystax* durante el periodo enero 2009-2010.

Con el objeto de describir la fenología durante el periodo reproductivo, semanalmente se registró la producción de botones, flores y frutos. Además para determinar la fecundidad, fuera de los cuadros de muestreo se colectaron 33 frutos maduros, se limpiaron y se contaron sus semillas para estimar el promedio de semillas por fruto. En mayo de 2009 se llevaron a cabo experimentos de germinación con semillas obtenidas de 20 frutos colectados en la localidad de estudio. Se colocaron 20 tubos de PVC de 15 cm de diámetro por 8 de altura, enterrados a 3 cm de profundidad aproximadamente, que contenían 30 semillas cada uno, distribuidos de manera sistemática bajo la sombra de arbustos debido a que los sitios expuestos son escasos en el lugar de estudio (Foto 4). Las semillas en los contenedores se sometieron a tres tratamientos: *i*) exclusión de vertebrados (cubiertos con tul para aislar las semillas de aves y/o mamíferos), *ii*) exclusión de hormigas (rociados quincenalmente con

formícida, *iii*) exclusión de vertebrados y hormigas (rociados quincenalmente con formícida y cubiertos con tul) y testigo (sin tul y sin la aplicación de formícida); para cada tratamiento se usaron cinco repeticiones. La germinación fue registrada semanalmente durante 2 meses. Adicionalmente, fuera de los cuadros permanentes de muestreo, se ubicaron 2 cuadros de 4x4 m donde existieran individuos reproductivos. Estos se dividieron en cuadros de 1x1 m, se seleccionaron al azar 15 y en cada uno de ellos, se registró semanalmente durante cuatro meses el número de plántulas establecidas de manera natural.

Para el análisis demográfico se construyó una matriz de transición de Lefkovich; basado en la categorización de los individuos de acuerdo con su diámetro. Se consideraron cinco categorías en cm: plántula (0.3-2), juvenil I (2.01-7), juvenil II (7.01-12), adulto I (12.01-17) y adulto II (17.01-24). La matriz incluyó en el primer renglón valores de fecundidad, calculada como



Sandra Saldivar Sánchez

FOTO 4. Tratamientos de exclusión colocados en el cerro La Cuestesilla, Cañada Morelos, Puebla. (A) Exclusión de vertebrados, (B) Exclusión de hormigas, (C) Exclusión de vertebrados y hormigas y (D) Testigo.

el promedio de semillas producidas por individuo para cada categoría de tamaño; en la diagonal principal la permanencia, es decir, la supervivencia de los individuos al final del período de estudio (estasis); en la subdiagonal los valores de crecimiento, la transición de una categoría a la siguiente; y los elementos supra-diagonales representan la retrogresión, o la transición de una categoría hacia la inmediata inferior, debido a que algunos individuos redujeron su tamaño al final del año de estudio (Caswell 2001).

Análisis de datos. Para comparar la variación del crecimiento en los diferentes periodos de muestreo de cada una de las variables propuestas (diámetro y número de aréolas nuevas), así como de los porcentajes finales de germinación (previa transformación angular de los datos, para cubrir los supuestos de normalidad; Zar 2010); se realizó análisis de varianza con el programa Statistica ver. 7.

El análisis demográfico se realizó con el programa RAMAS EcoLab: Applied Ecology Laboratory ver. 2 para obtener la tasa de crecimiento poblacional (λ), la estructura estable de tamaños (w) y el valor reproductivo (v). Así como un análisis de sensibilidad para predecir la importancia relativa de las diferentes transiciones para la mantención λ y un análisis de elasticidad para evaluar la contribución de cada uno de los elementos de la matriz (permanencia, creci-



Sandra Saldivar Sánchez

FOTO 5. Plántulas de *Mammillaria mystax* germinadas un año después de la siembra en los tratamientos de exclusión colocados en el cerro La Cuestesilla en Cañada Morelos, Puebla.

miento y reproducción) al cambio proporcional de λ (Silvertown *et al.* 1993). Con los valores de elasticidad obtenidos se construyó el triángulo demográfico con el programa R. El intervalo de confianza de λ fue estimado usando el método analítico propuesto por Caswell (2001). Para comparar la estructura en la población natural y la estructura estable de tamaños se realizó una prueba de Bondad del Ajuste de Chi cuadrada (Zar 2010) con el programa Statistica ver. 7.

Resultados

En el cerro La Cuestesilla se registraron 253 individuos de *Mammillaria mystax* en un área aproximada de 5400 m², con una densidad de 0.046 individuos/m². El mayor porcentaje de individuos se registró para la categoría de adulto I (33.59%) mientras que las plántulas constituyeron solo el 9.88% de la población (Fig. 1).

El crecimiento promedio para la población fue de 0.35 ± 0.09 cm/año (Media \pm EE). En octubre el incremento fue de 0.38 ± 0.1 cm (Media \pm EE) respecto al diámetro inicial, el mayor registrado durante todo el año de estudio. No se encontraron diferencias en el crecimiento de las plantas en los diferentes periodos ($F=0.38$; $P=0.82$).

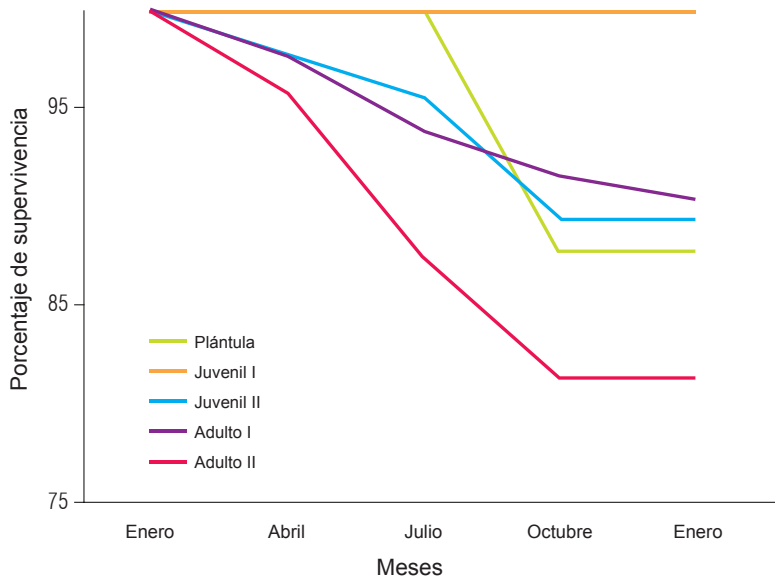


FIGURA 3. Porcentaje de supervivencia de individuos de *Mammillaria mystax* en las diferentes categorías de tamaño, en Cañada Morelos, Puebla durante el periodo enero 2009-2010.

La producción de nuevas aréolas para los individuos de la población fue de 1.69 ± 0.06 (Media \pm EE). Se observó la producción de aréolas nuevas hasta julio de 2009 y se encontró variación con respecto a los distintos trimestres ($F=128.15$; $P<0.05$). La máxima producción (0.83 ± 0.04) se registró en octubre (Fig. 2). Los adultos I generaron mayor número de aréolas (2.08 ± 0.1), mientras que en las plántulas no se observaron.

Después de un año la supervivencia en la población resultó igual a 90.11%. Durante los cinco periodos de observación, en la categoría juvenil I fue del 100% (Fig. 3). En el resto de las categorías, los valores disminuyen a partir de abril. Al finalizar el muestreo los adultos II presentaron el valor más bajo (81.25%).

La floración y fructificación se concentran de octubre a julio. La producción de botones florales inició a mediados del otoño (octubre) y el máximo de floración ocurrió en diciembre, en este mes se producen

14.8 ± 1.42 flores/planta (Media \pm EE). La fructificación se presentó en abril, la máxima ocurrió en mayo (1.78 ± 0.23 frutos/planta; Fig. 4). La transición de botones a flores fue alta (97%); mientras que de flores a frutos solo fue de 10%. Una vez formados los frutos, la mayoría madura (87%). El promedio de semillas por fruto fue de 50.15 ± 6.03 (\pm EE). La cantidad de ellas fue variable, se registraron desde 5 hasta 148 ($N=30$).

En las pruebas de exclusión no se observó germinación durante el periodo de muestreo. No obstante, al año siguiente (mayo 2010) se encontraron plántulas (2.25% del total de semillas) (Foto 5); la supervivencia de estas plántulas fue nula después de la quinta semana. El establecimiento natural de plántulas de *M. mystax* no sucedió en el 2009. Sin embargo, durante el periodo de lluvias (julio de 2010) se observaron 1.57 plántulas/m² producto del establecimiento natural.

La tasa finita de crecimiento poblacional (λ) obtenida para el periodo de estudio

CUADRO 1. Valores de la matriz de transición para la población de *Mammillaria mystax* en Cañada Morelos, Puebla, correspondiente al periodo 2009-2010. La fecundidad está ubicada en el primer renglón. En negritas se observa la permanencia en la diagonal principal. w =estructura estable de edades, v =valor reproductivo. P: plántula; JI: juvenil I; JII: juvenil II; AI: adulto I y AII: adulto II.

Categorías en n_{t+1}	Categorías en n_{t+1}					w	v
	P	JII	JII	AI	AII		
P	0	0	0.22	0.72	3.06	0.19	1
JII	0.8	0.83	0.04	0	0	0.495	1.199
JII	0.08	0.16	0.68	0.04	0	0.206	2.419
AI	0	0	0.17	0.63	0.04	0.07	5.152
AII	0	0	0	0.22	0.77	0.04	8.532

CUADRO 2. Valores de la matriz de sensibilidad para la población de *Mammillaria mystax* en Cañada Morelos, Puebla correspondiente al periodo 2009-2010. P: plántula; JI: juvenil I; JII: juvenil II; AI: adulto I y AII: adulto II.

Categorías en n_{t+1}	Categorías en n_{t+1}				
	P	JII	JII	AI	AII
P	0.0956	0.2495	0.1036	0.0352	0.0203
JII	0.1146	0.2992	0.1242	0.0423	0.0243
JII	0.2312	0.6037	0.2507	0.0853	0.049
AI	0.4923	1.2857	0.5339	0.1816	0.1044
AII	0.8152	2.129	0.8841	0.3007	0.1729

CUADRO 3. Valores de la matriz de elasticidad para la población de *Mammillaria mystax* en Cañada Morelos, Puebla correspondiente al periodo 2009-2010. P: plántula; JI: juvenil I; JII: juvenil II; AI: adulto I y AII: adulto II.

Categorías en n_{t+1}	Categorías en n_{t+1}				
	P	JII	JII	AI	AII
P	0	0.0000	0.0198	0.0222	0.0538
JII	0.0795	0.2154	0.0043	0	0
JII	0.0160	0.0838	0.1479	0.0030	0
AI	0	0	0.0787	0.0992	0.0036
AII	0	0	0	0.0574	0.1155

fue de 1.15 ± 0.25 . En la matriz de transición para *M. mystax* (Cuadro 1) los valores más altos registrados corresponden con la permanencia, los individuos juvenil I presentaron el mayor porcentaje de supervivencia (83%);

también se observó que las plantas de todas las categorías incrementaron su diámetro, el porcentaje más alto se registró en la transición de adulto I a adulto II (22%). La retrogresión se presentó a partir de la categoría

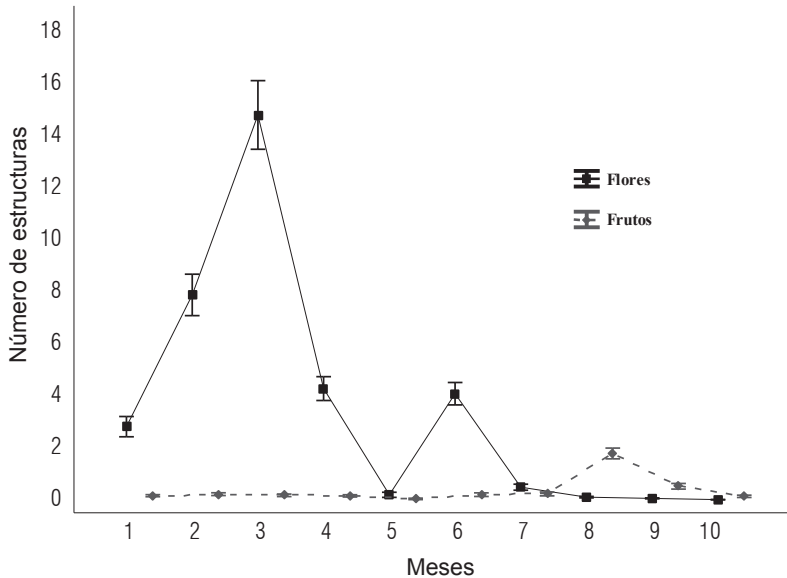


FIGURA 4. Producción promedio de flores y frutos (Media \pm EE) de *Mammillaria mystax* en Cañada Morelos, Puebla.

juvenil II con valores inferiores al 5%. Los valores de fecundidad aumentan conforme los individuos presentan mayor tamaño.

La estructura estable de tamaños esperada (w) se caracteriza por una mayor proporción de individuos en la categoría juvenil I (49.5%), seguida de la juvenil II (20.6%). Se encontró que la estructura inicial de la población difiere ($\lambda^2=180.5$, $g.l.=4$, $P<0.05$) de la estable (Fig. 5) y el valor reproductivo (v) se incrementa con el tamaño de los individuos.

El valor de sensibilidad más alto en la matriz corresponde a la transición de la categoría juvenil I a juvenil II. El crecimiento resultó mayor que la permanencia. Los más bajos estuvieron representados por las fecundidades (Cuadro 2). En la matriz de elasticidad los valores más altos se registraron para la permanencia (0.07-0.21). La fecundidad osciló entre 0.01-0.05; mientras que, los más bajos fueron los de retrogresión (0.003-0.004) (Cuadro 3). En el triángulo demográfico se

encontró que la permanencia contribuye a la tasa de crecimiento poblacional en un 65.75% de la elasticidad total, el crecimiento representa el 23.59%, la fecundidad el 9.56% y la retrogresión el 1.09% (Fig. 6).

Discusión

La densidad en la población de *M. mystax* en Cañada Morelos, Puebla, México fue de 0.046 ind/m², lo cual es mayor a lo registrado en *M. hamata* (0.028 ind/m²) y *M. mathildae* (0.016 ind/m²; Castillo 2004; Hernández-Oria *et al.* 2003). Sin embargo, existen ejemplos de densidades mucho mayores, como es el caso de la población de *M. solisioides* en donde se presentan 2.08 ind/m² (Peters & Martorell 2001). El valor de densidad encontrado en la población de *M. mystax* sugiere que probablemente el tipo de vegetación y las condiciones topográficas del sitio sean responsables de la densidad poblacional de esta especie.

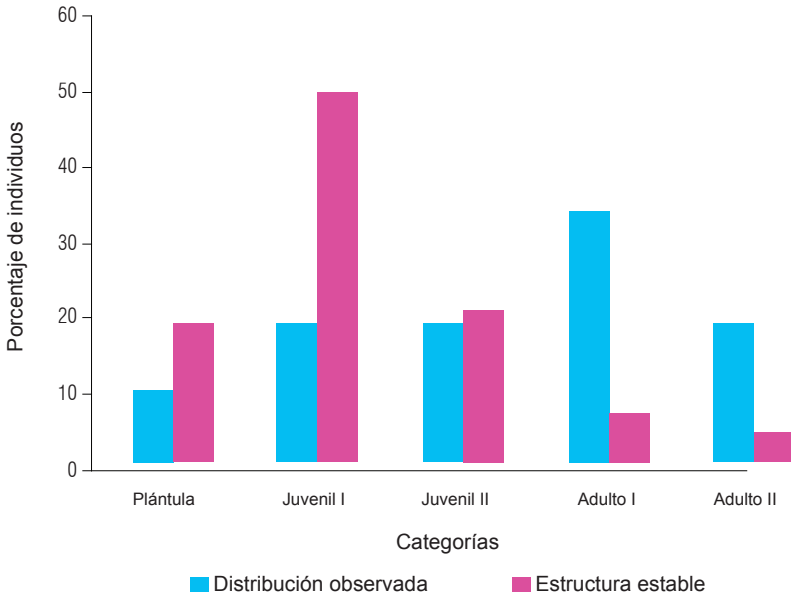


FIGURA 5. Estructura poblacional inicial de *Mammillaria mystax* en Cañada Morelos, Puebla y estructura estable de tamaños que predice el modelo.

Una característica de las plantas que han evolucionado en ambientes limitantes, como las cactáceas, es el lento crecimiento que presentan (Martínez-Berdeja 2007). En *M. mystax* se obtuvo un incremento en diámetro de 0.35 cm/año (± 0.09 EE) este valor es bajo comparado con valores relativamente mayores que se han encontrado en otras especies del mismo género (Quijas 1999; Contreras 2000; Cortés 2003; Castillo 2004). A pesar de no encontrar diferencias en el diámetro de los individuos de *M. mystax* entre los periodos de muestreo, al considerar la producción de nuevas aréolas, el crecimiento es evidente en los meses que se presenta precipitación en el sitio de estudio (julio-octubre) debido a que se producen 0.83 ± 0.04 aréolas.

Se ha observado que en las cactáceas se da un máximo aprovechamiento del agua durante la época de lluvias, lo cual tiene efectos importantes sobre el crecimiento

(Nobel 1988; Cortés 2003; Castillo 2004; Deméneghi 2009). Por lo que es importante evaluar el crecimiento con el número de aréolas nuevas, ya que si solo se utiliza el diámetro, este tiende a variar en las diferentes épocas del año de acuerdo con la cantidad de agua disponible y la principal importancia de las aréolas es que van a dar origen a nuevos tubérculos lo que nos indica que la planta creció (Bravo Hollis & Scheinvar 1995).

La supervivencia de la población de *M. mystax* resultó de 90.11%. La única categoría en la que todos los individuos sobrevivieron fue la de juvenil I; mientras que, los adultos II presentaron el valor más bajo de supervivencia (81.25%). Lo anterior es similar a varias cactáceas perennes (Mandujano *et al.* 2001; Deméneghi 2009; López & Navarro 2009). En adultos, se observó que el ramoneo causado por el ganado caprino dejaba a las plantas con los tejidos internos totalmente expuestos lo que provocó en poco tiempo

la muerte del 28%. En la población también la erosión y la necrosis causaron la muerte de los individuos. Similar a lo observado en otras especies de cactáceas, donde se ha documentado en las poblaciones naturales que las plantas sufren daño por enfermedad, herbívoros, insectos, mamíferos y patógenos (Hoffman *et al.* 1993; Burger & Louda 1995; Bashan *et al.* 1995; Kass 2001; Martínez-Avalos *et al.* 2007).

Generalmente, en vegetación xerofítica la floración ocurre durante la época seca, mientras que la fructificación ocurre durante las lluvias (Soriano *et al.* 1991). Esto concuerda con lo observado en *M. mystax*, ya que el periodo de reproducción dura ocho meses, la floración comienza a mediados del otoño y la fructificación ocurre en verano; pero difiere de la descripción realizada por Arias *et al.* (2000), quienes indican que la floración en esta especie se presenta de febrero a abril. Posiblemente estas diferencias pueden estar relacionadas con las condiciones ambientales particulares de la zona de estudio, tales como: la presencia de lluvias en invierno, y el retraso del inicio de la época de lluvias, debido a que juegan un papel importante en la floración y fructificación de los individuos (Lomeli-Mijes & Pimienta-Barrios 1993; Nobel 1988; Mandujano *et al.* 2010).

Durante el período de floración de *M. mystax* se observó un bajo porcentaje de abortos en botones florales (2.19%), en cambio, se pierde el 89.45% en la transición de flor senescente a fruto inmaduro. En *M. pectinifera* se observó algo similar (Deméneghi 2009); contrario a lo que sucede con *M. zephyranthoides* especie que presenta abortos del 30.4% en las primeras etapas (Cortes 2003). Así, la transición más crítica para *M. mystax* se presenta de flor a fruto, como resultado, la fructificación fue menor

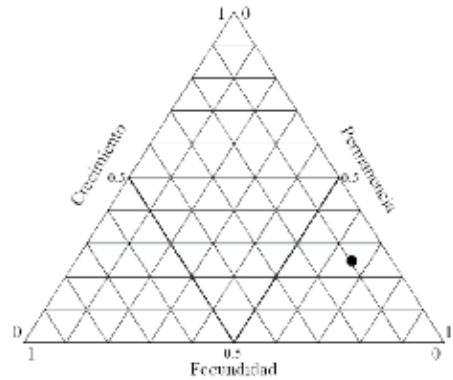


FIGURA 6. Triángulo demográfico de las elasticidades compuestas (fecundidad, crecimiento y permanencia) de la matriz de *Mammillaria mystax* para el periodo 2009-2010.

que la floración debido a las pérdidas de un estadio fenológico a otro, algunos de los factores que pudieron influir fueron una baja tasa de polinización, las características reproductivas de la especie y la depredación de flores y frutos como se ha observado en otras especies (León de la Luz & Domínguez 1991; Contreras 2000). Además, se ha sugerido que la heterogeneidad ambiental, la asociación con diferentes tipos de polinizadores y el flujo génico limitado entre las poblaciones de cactáceas son probablemente responsables de la diversificación de algunas especies, dado que modifican sus períodos de floración de acuerdo con la temperatura y la precipitación entre otros factores, que funcionan como barreras al flujo génico. Las especies pueden habitar un mismo entorno; sin embargo, muestran flujo génico limitado como resultado de la variación en sus períodos de floración (Mandujano *et al.* 2010)

Para *M. hamata* y *M. pectinifera* se han registrado porcentajes de germinación mayores al 10% en tratamientos de exclusión de herbívoros, en su hábitat (Castillo 2004;

Deméneghi 2009). En *M. mystax* solo el 2.25% de las semillas generaron plántulas después de un año posterior a la siembra, posiblemente por el efecto del ambiente. Se ha encontrado que las semillas de la especie en condiciones controladas de luz y riego germinan en la primer semana y alcanzan valores superiores al 80% (Benítez-Rodríguez *et al.* 2004; Rojas-Aréchiga 2008; Navarro *et al.* 2010). La probabilidad de que una plántula de *M. mystax* llegue a establecerse se reduce si se considera el tiempo transcurrido después de la siembra y el 100% de mortalidad en los tratamientos después de la quinta semana; además de que, la germinación en el sitio de estudio ocurre durante el periodo de lluvias (julio-septiembre).

El establecimiento natural de *M. mystax* durante el periodo julio-septiembre 2009 fue nulo, sin embargo, en la temporada siguiente (julio 2010) se registró la presencia de 1.57 plántulas/m², este valor es alto en comparación con el registrado en *M. hamata* (4.4×10^{-5} plántulas/m²) y otras especies donde no se han encontrado plántulas en el sitio de estudio (Contreras 2000; Castillo & Navarro 2002; Avendaño-Calvo 2007; Ramos 2007). Se observó que en *M. mystax* el establecimiento se maximiza durante el verano cuando se presenta la precipitación y ocurre en sitios cercanos a las plantas reproductivas, donde los frutos son depredados y quedan algunas semillas dispersas.

La tasa de crecimiento poblacional ($\lambda = 1.15 \pm 0.25$) sugiere que la población de *M. mystax* en el cerro la Cuestesilla está en equilibrio, es similar a lo registrado para otras especies de *Mammillaria* (Contreras & Valverde 2002; Martínez-Mendoza 2003; Flores & Manzanero 2005; Ramos 2007). Difiere con los valores de λ inferiores a la unidad, encontrados en la población de *M.*

zephyranthoides, *M. pectinifera* y *M. huitzilopochtli* que coloca a estas poblaciones en declive con limitada habilidad de persistencia (Cortes 2003; Valverde & Zavala-Hurtado 2005; Flores *et al.* 2010). Probablemente el valor de λ para la población de estudio puede deberse a que en la matriz de transiciones los valores de permanencia son altos; se ha sugerido que para las especies es de vital importancia dirigir la mayor parte de sus reservas y energía en sobrevivir y crecer, y solo otorgar un bajo porcentaje en la producción de una nueva descendencia (Martínez-Mendoza 2003).

La estructura estable de tamaños en *M. mystax* difiere de la observada. Se esperaría que la población contara con una mayor proporción de individuos en la categoría juvenil I seguido de las plántulas, mientras que en la estructura observada, la categoría con mayor porcentaje corresponde a adulto I. El patrón observado indica que la población ha experimentado una reducción en sus tasas de reclutamiento y que además, las plántulas establecidas deberían experimentar un crecimiento considerable que les permitiera transitar a la categoría inmediata. Similar a lo encontrado para *M. crucigera* y *M. dixanthocentron* (Contreras 2000; Ramos 2007).

El valor reproductivo de los individuos de *M. mystax* es mayor conforme aumenta el tamaño, lo que indica que los individuos más grandes tienen mayor capacidad de reproducción, este resultado es similar a lo encontrado por Martínez-Mendoza (2003) y Avendaño-Calvo (2007) que mencionan que los individuos que pertenecen a la categoría de adulto tienen el mayor potencial para reproducir semillas.

El análisis de sensibilidad mostró que en la población de *M. mystax*, el valor más alto se encuentra en el crecimiento, sobre

todo en la transición de juvenil I hacia juvenil II (0.60), similar a lo observado en *M. pectinifera* (Deméneghi 2009). Por lo que esta podría considerarse la etapa más importante para la manutención de la población debido a que presentan el mayor valor de sensibilidad en la supervivencia, crecimiento y fecundidad.

En la población de *M. mystax* el valor más alto de elasticidad se presentó en los individuos de la categoría juvenil I (29%). Similar a lo encontrado en *M. supertexta* y *M. pectinifera* (Avendaño-Calvo 2007; Deméneghi 2009), especies en las que el establecimiento de nuevos individuos es escaso, y los adultos son extraídos del hábitat o son los que presentan valores bajos de supervivencia. En *M. mystax* el establecimiento es escaso y los adultos presentan mayor mortalidad, probablemente la manutención de su población sea consecuencia de la permanencia de los individuos juveniles.

Al agrupar los valores de elasticidad por procesos demográficos muestran que la tendencia a permanecer (65.75%) es mayor a la de crecimiento y esta, a su vez, a la de fecundidad. Esto puede deberse a que en las zonas áridas y semiáridas resulta difícil obtener los recursos necesarios para crecer y reproducirse, por lo que lo único que pueden hacer las plantas es resistir. Este comportamiento es el esperado cuando se trata de especies de larga vida y coincide con el encontrado para otras cactáceas (Godínez-Álvarez *et al.* 1999; Mandujano *et al.* 2001; Contreras & Valverde 2002; Esparza-Olguín *et al.* 2002).

De acuerdo con el triángulo demográfico (Silvertown *et al.* 1993), las poblaciones que tienen una elevada elasticidad en la permanencia y baja en el crecimiento y la fecundidad, tienden al equilibrio como se

observó en *M. mystax*. En algunos estudios se ha encontrado que en la mayoría de las mammilarias, las poblaciones se localizan hacia el final de la permanencia (Contreras & Valverde 2002; Valverde *et al.* 2004; Santini 2007). En el triángulo demográfico *M. mystax* se ubica en el extremo derecho. Lo anterior sugiere que las plantas de la especie son perennes de larga duración y tolerantes, que invierten recursos en la permanencia o supervivencia (Silvertown *et al.* 1993).

Se ha señalado que las especies cuyas poblaciones presentan baja densidad, una estructura de tamaños constituida en su mayoría por adultos, escasa germinación de semillas y baja supervivencia de plántulas son más vulnerables a la extinción debido a que tales factores crean un problema para su conservación. Estas características se observaron en la población de *M. mystax* en Cañada Morelos y a pesar de que el análisis matricial mostró una tasa de crecimiento superior a la unidad, se debe considerar que sólo si los parámetros demográficos y los diversos aspectos ambientales no cambian la población se mantendrá, de lo contrario podría disminuir el valor de λ y quizá la persistencia de la población posiblemente estaría en riesgo.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de José A. González en el trabajo de campo.

Literatura citada

- Alanís GJ & Velasco CG. 2008. Importancia de las cactáceas como recurso natural en el noreste de México. *Ciencia UANL* **11**:5-11.
- Álvarez MG & 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.
- Anderson E, Arias S, Taylor P & Cattabriga A. 1994. *Threatened cacti of Mexico*. Royal Botanical Gardens. Kew. England.
- Arias A, Valverde T & Reyes J. 2000. *Las Plantas de la región de Zapotitlán Salinas, Puebla*. Instituto Nacional de Ecología Red para el Desarrollo Sostenible, A.C. UNAM. México, D. F.
- Arias S, Gama S. & Guzmán U. 1997. *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Fascículo 14. Cactaceae. Instituto de biología. UNAM. México, D.F.
- Avendaño-Calvo T. 2007. Dinámica poblacional de *Mammillaria supertexta* Mart. ex Pfeiff. en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. IPN. México.
- Bashan Y, Toledo G & Holguin G. 1995. Flat top decay syndrome of the giant cardon cactus (*Pachycereus pringlei*): description and distribution in Baja California Sur, Mexico. *Can J Bot* **73**:683-692.
- Benítez-Rodríguez J, Orozco-Segovia A & Rojas-Aréchiga M. 2004. Light effect on seed germination on four *Mammillaria* species from Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *Southwest Nat* **49**:11-17.
- Bravo-Hollis H & Scheinvar L. 1995. *El interesante mundo de las cactáceas*. Fondo de Cultura Económica. UNAM. México.
- Burger JC & Louda SM. 1995. Interaction of diffuse competition and insect herbivory in limiting brittle prickly pear cactus, *Opuntia fragilis* (Cactaceae). *Am J Bot* **82**:1558-1566.
- Castillo A & Navarro C. 2002. Estado actual de una población de *Mammillaria hamata* en los Ángeles Tetela, Puebla, México. *Cact Suc Mex* **52**:68-77.
- Castillo A. 2004. Estado Actual de la Población y Fenología Reproductiva de *Mammillaria hamata* en la localidad de los Ángeles Tetela, Puebla. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. BUAP. Puebla, México.
- Caswell H. 2001. *Matrix population models. Construction, analysis, and interpretation*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, USA.
- CITES 2010. Convención sobre el Comercio internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. <http://www.cites.org>.
- CONABIO 1998. Uso de suelo y vegetación de INEGI agrupado por CONABIO. Escala 1:1 000 000. Modificado de: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)-Instituto Nacional de Ecología (INE), (1996). Uso del suelo y vegetación, escala 1:1 000 000. México.
- 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 Environ* **51**:89-102.
- Contreras C. 2000. Dinámica poblacional de *Mammillaria crucigera* (Cactaceae) una especie rara de la región de Tehuacán-Cuicatlán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Cortes P. 2003. Contribución al conocimiento de la dinámica poblacional de *Mammillaria zephyranthoides* en Cuautinchán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. BUAP. Puebla, México.
- Deméneghi A. 2009. Dinámica poblacional de *Mammillaria pectinifera*, en el municipio de Santa Clara Huitziltepec, Puebla. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. BUAP. Puebla, México.
- Esparza-Olguín L, Valverde T & Vilchis-Anaya E. 2002. Demographic Analysis of a Rare

- Columnar Cactus (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacán Valley, México. *Biol Conserv* **103**:349-359.
- Esparza-Olguín L. 1998. Estudio poblacional de *Neobuxbaumia macrocephala*: Análisis matricial. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de México. México D.F.
- Ferrer-Cervantes ME, Méndez-González ME, Quintana-Ascencio PF, Dorantes A, Dzib G & Durán R. 2012. Population dynamics of the cactus *Mammillaria gaumeri*: an integral projection model approach. *Popul Ecol* **54**:321-334.
- Flores A & Manzanero G. 2005. Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de *Mammillaria huitzilopochtli* D. R. Hunt. *Cact Suc Mex* **50**:15-26.
- Flores A, Manzanero GI, Golubov J, Montaña C & Mandujano MC. 2010. Demography of an endangered endemic rupicolous cactus. *Plant Ecol* **210**:53-66.
- Flores-Martínez A, Manzanero GI, Rojas-Aréchiga M, Mandujano MC & Golubov J. 2008. Seed age germination responses and seedling survival of an endangered cactus that inhabits cliffs. *Nat Areas J* **28**:51-57.
- Flores-Martínez A; Manzanero MGI; Martínez HDG & Pacheco VGS. 2002. Aspectos sobre la ecología y reproducción de *Mammillaria kraehenbuchlii* (Krainz) Krainz en la Mixteca de Oaxaca, México. *Cact Suc Mex* **47**: 68-77.
- Franco M. 1990. Ecología de poblaciones. *Ciencias* **4**:4-9.
- Godínez-Álvarez H, Valiente-Banuet A & Valiente-Banuet L. 1999. Biotic interactions and the population dynamics of the long-lived, columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo* in the Tehuacán Valley, México. *Can J Bot* **77**:203-208.
- Godínez-Álvarez H, Valverde T & Ortega-Baes P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *Bot Rev* **69**:173-203.
- Golubov J; Mandujano MC & Montaña C. 2000. Cactáceas asociadas a pastizales de *Hilana mutica* (Buckl.) Benth. En la Reserva de la Biosfera de Mapimi, México. *Cact Suc Mex* **45**:84-89
- Hernández-Oria J, Chávez R, Galindo G, Hernández M, Lagunas G, Martínez R, Mendoza T, Sánchez J & Sánchez E. 2003. Evaluación de aspectos ecológicos de una población de *Mammillaria mathildae* Kraehenbuehl y Krainz en Querétaro. *Cact Suc Mex* **48**:100-110.
- Hoffman MT, James CD, Kerley IH & Whitford WG. 1993. Rabbit herbivory and its effect on cladode, flower and fruit production of *Opuntia violacea* var. *macrocentra* (Cactaceae) in the northern Chihuahuan Desert, New Mexico. *Southwest Nat* **38**:309-315.
- Hunt D. 1999. C.I.T.E.S. *Cactaceae checklist*. Royal Botanic Gardens and International Organization for Succulent Plant Study. Kew. England.
- INEGI 2000. Síntesis Geográfica, Nomenclátor y Anexo Cartográfico del Estado de Puebla. Escala 1:100 000. Instituto Nacional de Estadística e Informática. México.
- IUCN 1994. IUCN Red List of threatened species En: Vovides A, Luna V & Medina G. 1997. Relación de algunas plantas y hongos mexicanos raros, amenazados o en peligro de extinción y sugerencias para su conservación. *Act Bot Mex* **39**:1-42.
- Kass RJ. 2001. Mortality of the endangered fishhook cactus (*Sclerocactus wrightiae*) by an *Opuntia*-borer beetle (Cerambicidae: *Moneilema semipunctatum*). *West N Am Nat* **61**:495-497.
- León de la Luz & Domínguez R. 1991. Evaluación de la reproducción por semilla de la pitaya agria *Stenocereus gummosus* en Baja California Sur. México. *Act Bot Mex* **14**:75-87.

- Lomeli-Mijes E & Pimenta-Barrios E. 1993. Demografía reproductiva del Pitayo (*Stenocereus queretaorensis* (Web.) Buxbaum). *Cact Suc Mex* **38**:13-19
- López D & Navarro C. 2009. Estudio demográfico de *Stenocactus crispatus* (Cactaceae) en Los Ángeles Tetela, Puebla, México. *Cact Suc Mex* **54**:100-111.
- López-Villavicencio M. 1999. Dinámica poblacional de *Mammillaria magnimamma* en la reserva del pedregal de san Ángel. Tesis M. en C. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Mandujano C, Carrillo-Angeles I, Martínez Peralta & Golubov J. 2010. Reproductive Biology of Cactaceae. En Ramawart KG (ed.). *Desert Plants*. Springer, Verlag Berlin.
- Mandujano MC, Montaña C, Franco M, Golubov J & Flores-Martínez A. 2001. Integration of Demographic Annual Variability in a Clonal Desert Cactus. *Ecology* **82**:344-359.
- Martínez D, Flores-Martínez A, López F & Manzanero G. 2001. Aspectos ecológicos de *Mammillaria oteroi* Glass & R. Foster en la Región Mixteca de Oaxaca, México. *Cact Suc Mex* **46**:32-38.
- Martínez-Ávalos JG, Golubov J, Mandujano MC & Jurado E. 2007. Causes of individual mortality in the endangered star cactus *Astrophytum asterias* (Cactaceae): The effect of herbivores and disease in Mexican populations. *J Arid Environ* **71**:250-258.
- Martínez-Berdeja A. 2007. Análisis de crecimiento temprano de tres cactáceas amenazadas (*Mammillaria pectinifera*, *Obregonia denegrii* y *Coryphantha werdermannii*) bajo condiciones controladas de humedad y radiación lumínica. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Martínez-Mendoza D. 2003. Demografía de *Mammillaria kraehenbuehlii* (Kraenz) en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán. Tesis de Maestría. ITAO. México.
- Moore C & Chapman S. 1986. *Methods in Plant Ecology*. Blackell Scientific Publication. Oxford.
- Navarro MC & Flores A. 2002. Aspectos demográficos de *Echinocereus pulchellus* var. *pulchellus* en el municipio de Chignahuapan, Puebla. *Cact Suc Mex* **45**: 23-31.
- Navarro MC & Castillo AD. 2007. Estado actual de la población de *Mammillaria hamata* en Los Ángeles Tetela, Puebla, México. *Cact Suc Mex* **52**: 68-78.
- Navarro MC & Juárez MS. 2006. Evaluación de algunos parámetros demográficos de *Mammillaria zephyranthoides* en Cuautinchán Puebla, México. *Zonas Áridas* **10**:74-83.
- Navarro MC, Saldívar S & Eliosa H. 2010. Efecto de la escarificación y edad de semillas en la germinación de *Mammillaria mystax* (Cactaceae). *Zonas áridas* **14**: 201-210.
- Nobel P. 1988. *Environmental biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Picens.USA.
- Palmer E. 1987. A critical look at rare plant monitoring in the United States. *Biol Conser* **39**:113-127.
- Peters RE & Martorell C. 2001. Conocimiento y conservación de las mamilarias endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. R166. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF.
- Quijas S. 1999. Análisis demográfico por edades de *Mammillaria magnimamma* en el Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Ramos A. 2007. Estudio poblacional de *Mammillaria dixanthocentron* Becket. ex Mitran en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca.
- Rodríguez C & Ezcurra E. 2000. Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *Mammillaria carnea* en el Valle de

- Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Cact Suc Mex* **45**:4-14.
- Rodríguez OCE. 2008. Consecuencias demográficas y evolutivas del secuestro de semillas en tres especies del género *Mammillaria* (Cactaceae). Tesis de doctorado. Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología. Universidad Autónoma de México. México D.F.
- Rojas-Aréchiga M & Vázquez-Yanes C. 2000. Cactus seed germination: a review. *J Arid Environ* **44**:85-104.
- Rojas-Aréchiga M. 2008. Efecto del ácido giberélico en la germinación de cuatro especies del género *Mammillaria* del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Bol Soc Latin Carib Cact Suc* **5**:21-23.
- Ruedas M, Valverde T & Arguero SC. 2000. Respuesta germinativa y crecimiento temprano de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Bol Soc Bot Mex* **66**:25-35.
- Santini BA. 2007. Efecto de la heterogeneidad temporal y el disturbio sobre la dinámica poblacional de dos especies raras del género *Mammillaria* (Cactaceae). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Schemske D, Husband B, Ruckelshaus M, Goodwillie C, Parker I & Bishop J. 1994. Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology* **75**:584-606.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2000. Normales climatológicas 1971-2000. Estado de Puebla. Estación 00021020 Morelos Cañada. <http://smn.cna.gob.mx>.
- Silvertown J, Franco M, Pisanty I & Mendoza A. 1993. Comparative plant demography: relative importance of life-cycle components to the finite rate of increase in woody and herbaceous perennials. *J Ecol* **81**(3):465-476.
- Soriano J, Sosa M. & Rossell O. 1991. Hábitos alimentarios de *Glossophaga longirostris* Miller (Chiroptera: Phyllostomidae) en una zona árida de Los Andes Venezolanos. *Rev Biol Trop* **39**:263-268.
- Valiente-Banuet A & Ezcurra E. 1991. Shade as cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse-plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, Mexico. *J Ecol.* **79**:961-971
- Valverde MT, Quijas S, López-Villavicencio M & Castillo S. 2004. Population dynamics of *Mammillaria magnimamma* Haworth. (Cactaceae) in a lava-field in central Mexico. *Plant Ecol* **170**:167-184.
- Valverde MT. 2001. Dinámica poblacional de *Mammillaria crucigera* y *Neobuxbaumia macrocephala* en la región de Tehuacán-Cuicatlán. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. R129. Facultad de Ciencias. UNAM. México D. F.
- Valverde PL & Zavala-Hurtado JA. 2005. Assessing the ecological status of *Mammillaria pectinifera* Weber (Cactaceae), a rare and threatened species endemic of the Tehuacan-Cuicatlan Region in Central Mexico. *J Arid Environ* **64**:193-208.
- Zar JH. 2010. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, US.
- Zavala-Hurtado J. 1997. Estatus ecológico de *Mammillaria pectinifera* Weber y *Pachycereus fulviceps* Weber en el Valle de Zapotitlán, Puebla. Informe final. UNAM. CONABIO.

Recibido: enero 2012; aceptado: abril 2012.
 Recieved: January 2012; accepted: April 2012.

Coryphanta erecta Lemaire ex Pfeiffer



Plantas simples o cespitosas que a veces forman clones. Tallo erecto, cilíndrico y hasta algo encorvado de hasta 30 cm de altura y 6-8 cm de diámetro, de color verde amarillento pálido. Tubérculos con o sin surco dispuestos en 8 y 13 o en 13 y 21 series espiraladas, de 7 a 8 mm de longitud y 1.5 cm de ancho en la base. Axilas con lana blanca y glándulas de color castaño. Areólas elípticas de 3 mm de longitud. Espinas radiales 15 a 18 de 1.5 cm de longitud, aciculares, rígidas, amarillas y algo vítreas. Espinas centrales generalmente ausentes, a veces 2 a 4 de color café amarillo. Flores dispuestas en corona cerca del ápice, grandes, de 5 a 6 cm de largo y de 6 a 7.5 cm de diámetro, amarillas. Frutos funeliformes verdes y cilíndricos de hasta 15 cm de longitud que conservan adheridos los restos del perianto de hasta 15 cm de longitud. Semillas de color castaño (Bravo-Hollis & Sánchez Mejorada-1991 *Las Cactáceas de México*, vol II; Anderson 2001 *The cactus family*). Se encuentra en el Apéndice II de CITES.

Distribución: Hidalgo, Guanajuato, San Luis Potosí y Querétaro, México.

Después de realizar una búsqueda bibliográfica, es importante mencionar que para esta especie no existe información disponible de aspectos ecológicos, fisiológicos y de conservación.

Rojas-Aréchiga Mariana