

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas



VOLUMEN 66 No. 3

JULIO - SEPTIEMBRE 2021

ISSN 0526-717X

CACTÁCEAS y *suculentas mexicanas*

Volumen 66 No. 3
Julio-septiembre 2021

Editor Fundador
Jorge Meyrán

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

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

Etnobotánica
Dr. Javier Caballero Nieto
Jardín Botánico IB-UNAM

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

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

Florística
M. en C. Francisco González Medrano †
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco
Dr. Luis G. Hernández Sandoval
Universidad Autónoma de Querétaro
M. en C. Aurora Chimal Hernández
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

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

Química y Biotecnología
Dr. Francisco Roberto Quiroz Figueroa
Instituto Politécnico Nacional, Unidad Sinaloa

Sistemas Reproductivos
Dra. Sonia Vázquez Santana
Facultad de Ciencias, UNAM
Dr. Jafet Nassar
Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas

Taxonomía y Sistemática
Dr. Fernando Chiang
Instituto de Biología, UNAM
Dr. Roberto Kiesling
CRICYT, Argentina
Dr. John Rebmán
Museo de Historia Natural, San Diego

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

Asistentes editoriales
Dra. Mariana Rojas Aréchiga
Instituto de Ecología, UNAM
Dra. Guadalupe Malda Barrera
Facultad de Ciencias Naturales, UAQ, campus Juriquilla

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

Impresión
Solicita la impresión bajo demanda al correo
palabraenvuelo@yahoo.com.mx
o al tel. 55-5271-3845

SOCIEDAD MEXICANA DE CACTOLOGÍA, AC

Presidenta Fundadora
Dra. Helia Bravo-Hollis †

Fotografía de portada:
Beaucarnea gracilis
Fernando Vite González

Cactáceas y Suculentas Mexicanas es una revista trimestral de circulación internacional y arbitrada, publicada 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 y se encuentran bajo la licencia Creative Commons .

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

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* published since 1955.

The articles are under the Creative Commons license .

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

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

Correo electrónico: cactsucmex@ieciologia.unam.mx

Suscripciones



Cactáceas y suculentas mexicanas únicamente se imprime bajo demanda. El costo por número es de \$230.00 mexicanos más gastos de envío. Se recomienda solicitar años completos o la suscripción anual para pagar un sólo envío. El costo de suscripción a la revista por un año completo es de \$1,040.00 para México e incluye envío. La suscripción y entrega en el Lab. Genética y Ecología, Instituto de Ecología, UNAM (Dra. Mariana Rojas) es de \$920.00. Solicitar el precio para el extranjero a los correos: palabraenvuelo@yahoo.com.mx y mrojas@ecologia.unam.mx.

- Pago de suscripción mediante depósito en BBVA Bancomer a la cuenta: 0446308554 a nombre de Palabra en Vuelo SA de CV.
 - Para transferencia en el mismo banco y cuenta con la CLABE: 012180004463085547.
 - Para transferencia internacional añadir la clave: BCMRMXMMMPYM.
 - Mediante PayPal enviar a la cuenta con el correo: palabraenvuelo1@gmail.com
- Enviar comprobante de pago a los correos: mrojas@ecologia.unam.mx y palabraenvuelo@yahoo.com.mx

Cactáceas y suculentas mexicanas exclusively prints on demand. We recommend the full year subscription to pay a single shipment. For prices and shipping rates to your country contact the following email addresses: palabraenvuelo@yahoo.com.mx and mrojas@ecologia.unam.mx.

- For national bank transfer in BBVA Bancomer with the account: 0446308554, CLABE: 012180004463085547.
- For international bank transfer in the same bank and account add the code: BCMRMXMMMPYM.
- For payment via PAYPAL, send the paid amount to <palabraenvuelo1@gmail.com>, then send proof of payment to <mrojas@ecologia.unam.mx> and <palabraenvuelo@yahoo.com.mx>

Consulta de la revista en formato digital en la siguiente liga (electronic editions available at the following link):
web.ecologia.unam.mx/cactsucmex



Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro.

Cactáceas y Suculentas Mexicanas agradece la edición y el financiamiento de esta publicación a los suscriptores y al proyecto CONABIO 502.

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 66 No. 3 julio - septiembre 2021

Contenido

<i>Ariocarpus retusus</i> Scheidw. (Cactaceae) es una especie amenazada: evaluación de su estado de conservación poblacional y riesgos de extinción	
Cárdenas-Ramos D & Mandujano MC	68
Orientación de las inflorescencias de <i>Beaucarnea gracilis</i> Lem. (Ruscaceae)	
Vite F, Ortíz-Morado DU & Valverde PL	87
<i>Cylindropuntia bigelovii</i> (Engelm.) F.M. Knuth	
Rojas-Aréchiga M	96

Contents

<i>Ariocarpus retusus</i> Scheidw. (Cactaceae), a threatened species: assessment of its conservation status and extinction risk	
Cárdenas-Ramos Diana & Mandujano MC	68
Inflorescences tilting of <i>Beaucarnea gracilis</i> Lem. (Ruscaceae)	
Vite F, Ortíz-Morado DU & Valverde PL	87
<i>Cylindropuntia bigelovii</i> (Engelm.) F.M. Knuth	
Rojas-Aréchiga M	96

***Ariocarpus retusus* Scheidw (Cactaceae) es una especie amenazada: evaluación de su estado de conservación poblacional y riesgos de extinción**

Cárdenas-Ramos Diana* & Mandujano María C¹*

Resumen

Ariocarpus retusus es una especie endémica de México y se extrae ilegalmente de sus poblaciones para comercializarse como planta de ornato; es vulnerable al cambio de uso de suelo que causa la extinción de poblaciones enteras y al saqueo ilícito de especímenes. En México, se encuentra en la categoría de menor riesgo dentro de la lista roja mexicana, NOM-059-SEMARNAT-2010 (“Sujeta a protección especial”). Su inclusión en esta categoría se atribuye a la falta de información sobre la especie y a la ausencia de la evaluación de riesgo MER (Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Plantas). De acuerdo con lo anterior, en este estudio se llevó a cabo la evaluación de *A. retusus* con el MER. Se recopiló información sobre la distribución, hábitat, demografía, genética, impacto humano e interacciones bióticas. Para conocer el número de individuos que conforman el taxón en diferentes poblaciones y su relación con el disturbio antrópico, en 2019 se visitaron 20 localidades; en cada sitio se realizaron censos rápidos y algunos estimadores poblacionales se relacionaron con el índice de disturbio crónico (IDC). La distribución potencial de la especie se estimó con variables climáticas y registros de presencia de la especie en bases de datos; se realizaron mapas de distribución potencial futura con dos escenarios de cambio climático y, se calculó el área que entre 2009 y 2017 se desmontó y cambió su uso de suelo. Los resultados obtenidos con el MER sugieren que *A. retusus* debe ser incluida en la categoría A o “Amenazada” en la lista roja mexicana, NOM-059-SEMARNAT-2010.

Palabras clave: cambio de uso de suelo, distribución potencial, extracción ilegal, MER.

Abstract

Ariocarpus retusus is an endemic species of Mexico, which is illegally extracted from its populations to be traded as an ornamental plant; it is also vulnerable to land use change that causes the extinction of entire populations and illegal plundering of specimens and seeds from the wild. It has the lowest risk category on the Mexican red list, NOM-059-SEMARNAT-2010, “Subject to special protection”. Its inclusion in this category is attributed to the lack of information on the species and the absence of the MER risk assessment (MER for its acronym in Spanish, *Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Plantas*, Plant Extinction Risk Assessment Method). Accordingly, in this study, the assessment of *A. retusus* was carried out by applying the MER to determine the risk of extinction. Information was collected on the distribution, habitat, demography, genetics, human

¹ Universidad Nacional Autónoma de México unam, Instituto de Ecología, Depto. Ecología de la Biodiversidad, Laboratorio de Genética y Ecología, Apartado Postal 70-275, Ciudad de México, C.P. 04510.

*Autores de correspondencia: dianacardenasr92@gmail.com, mcmandujano@ieciologia.unam.mx

impacts and biotic interactions of the species. To determine population density, taxon size and anthropogenic disturbance, 20 localities were visited in 2019; rapid censuses were conducted at each site and anthropogenic disturbance was measured with the chronic disturbance index (CDI). Potential distribution was estimated with climatic variables and records of the species' presence; maps of potential future distribution were made with two climate change scenarios and the area that was cleared between 2009 and 2017 was calculated. The results obtained with the SRM suggest that *A. retusus* should be included in category A or "Threatened" in the Mexican red list.

Key words: illegal extraction, land use change, MER, population density, potential distribution.

Introducción

La familia Cactaceae es endémica del continente americano y es uno de los grupos de plantas más diverso. Se estiman alrededor de 1500 especies de cactus, de las cuales entre 774 y 850 se distribuyen en las zonas áridas y semiáridas de México (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1978; Becerra 2000). Pese a que las cactáceas han evolucionado a adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten colonizar ambientes hostiles como las zonas áridas, tienen características biológicas intrínsecas que las vuelven vulnerables (Rosas-Barrera & Mandujano 2002; Godínez-Álvarez *et al.* 2003; Mandujano *et al.* 2007), por ejemplo presentan: 1) ciclos de vida largos y bajo reclutamiento; un ejemplo es *Echinocactus platyacanthus*, una especie con reclutamiento casi nulo al registrar baja densidad de juveniles y de plántulas, además de presentar crecimiento lento (Jiménez-Sierra & Eguiarte 2010; Castañeda-Romero *et al.* 2016). Asimismo, en las cactáceas se registra 2) permanencia en el mismo estado de desarrollo (falta de crecimiento o éste es muy lento en periodos de tiempo largos), tal como en *Ariocarpus scaphiostriis*, especie que presenta una estructura poblacional representada en su mayoría por individuos de las categorías

intermedias, lo que sugiere que las condiciones ambientales extremas impiden el crecimiento de los individuos a categorías superiores (Mandujano *et al.* 2007) y finalmente, 3) distribución geográfica restringida, como en *Ariocarpus kotschoubeyanus*, una especie con requerimientos edáficos específicos para su establecimiento, al encontrarse sólo en lechos secos y limosos, distribuidos discontinuamente en las zonas desérticas de Coahuila, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas, México. Debido a la especificidad edáfica, para la especie se ha estimado un área de ocupación de 68 km² (Hernández *et al.* 2010).

Las actividades antrópicas son una de las principales causas de pérdida de biodiversidad a nivel mundial (Hernández y Godínez 1994; IPBES 2018) y en las cactáceas, el cambio de uso de suelo y la extracción ilegal de ejemplares de vida silvestre, figuran como las actividades humanas que comprometen a sus poblaciones (Arias *et al.* 2005; Goettsch *et al.* 2015). *Ariocarpus agavoides* es un claro ejemplo de una especie con características biológicas específicas y poca tolerancia a las perturbaciones humanas, ya que tiene dependencia obligada a la polinización por abejas solitarias y distribución restringida al encontrarse en una localidad tipo (Tula, Tamaulipas), además, el cambio de uso de suelo fragmenta sus poblaciones y

la extracción de ejemplares es muy constante, llegando a reportarse en una población, la colecta de al menos 300 ejemplares de tallas distintas en menos de cinco meses (Martínez-Peralta & Mandujano 2009). La extracción de ejemplares es una práctica muy antigua que aún persiste, debido al interés de los coleccionistas por adquirir una especie con singular belleza (especies ornamentales) o rara (de formas peculiares) (Aguilar-Morales *et al.* 2011). Por ejemplo, en 1979 se reportó que excursionistas alemanes habían extraído ilegalmente 3 600 ejemplares de cactáceas como *Obregonia denegrii*, *Ariocarpus trigonus*, *Ariocarpus retusus*, *Mammillaria lauii*, *Mammillaria lasiacantha*, *Mammillaria rodantha*, así como algunas especies del género *Echinocereus* y *Astrophytum* (Sánchez & Cantú 1999).

Especies como *A. retusus* encabezan diversas listas de exportación y venta (CITES 2001; UNEP-WCMC 2005), por lo que la extracción ilegal de ejemplares de vida silvestre es una de las actividades que compromete sus poblaciones. Desde hace algunos años se busca regular el comercio de *A. retusus*, y en 1975 fue incluida en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), aunque desde 1992 y hasta la fecha, se encuentra en el Apéndice I, junto con el resto de las especies del género *Ariocarpus* (CITES 2017; 2019). Además de la extracción de ejemplares, *A. retusus* es vulnerable al cambio de uso de suelo, por lo que en México se encuentra incluida en la categoría “Sujeta a protección especial (Pr)” en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, instrumento que tiene como objetivo identificar a las especies o poblaciones que se encuentran en riesgo (SEMARNAT 2010). Las especies

vulnerables, se incluyen en alguna de las cuatro categorías de riesgo, asignación que se realiza tras una justificación técnica-científica y, considerando los resultados obtenidos con el Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México aplicable a anfibios, aves, hongos, invertebrados, mamíferos, peces y reptiles y, el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Plantas (SEMARNAT 2010), esta última herramienta se encuentra en el Anexo Normativo II de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Actualmente, *A. retusus* se encuentra en la categoría de menor riesgo dentro de la norma, debido a la falta de información sobre su biología y demografía, además carece de una evaluación de riesgo de extinción. De acuerdo con lo anterior, este artículo tiene como objetivo estimar el área de distribución potencial actual y futura de *A. retusus*; el disturbio antropogénico y la abundancia en 12 poblaciones silvestres de la especie. Finalmente, se compilará información sobre la distribución, hábitat, demografía, genética, impacto de las actividades humanas e interacciones bióticas de la especie, datos requeridos en el MER. De esta forma se hará la evaluación del estatus de conservación de este taxón.

Material y métodos

Especie de estudio

Ariocarpus retusus (Cactaceae) llamado comúnmente chaute, chautle o falso peyote (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991; Batis & Rojas 2002). Es una cactácea subglobosa, arrositada que mide 12 cm de alto y de 10 a 25 cm de diámetro. El ápice está cubierto por tricomas blancos denominados en conjunto como lana. El tallo carnoso está enterrado parcialmente en el suelo



FOTO 1. Plantas de *Ariocarpus retusus* en donde se aprecia la forma triangular de sus tubérculos de color gris o verde glauco. Hay 3 individuos creciendo juntos, uno de ellos en floración y los otros con un fruto en formación al centro en el ápice de las plantas.

y, está conformado por tubérculos triangulares de color verde glauco o grisáceo. Las flores son blancas, con tintes rosas y en ocasiones con una línea central de color rojo; los frutos ovoides emergen del ápice. Es una especie perenne con floración otoñal (septiembre-octubre) y corta (menos de una semana) (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991; Martínez-Peralta & Mandujano 2012; Martínez-Peralta *et al.* 2014a) (Foto 1).

Trabajo de campo

En el año 2019 se visitaron 20 sitios con coordenadas geográficas completas, de un total de 88 registros de herbario reportados por Aguilar-Morales *et al.* (2011) y distribuidos en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas, México. De los sitios visitados, en siete localidades ya no

se encontraron individuos de la especie y, en la localidad la Morita, sólo se registró un individuo, por lo que se consideraron poblaciones extintas (Cuadro 1) ($n = 8$ localidades extintas). En cada localidad se realizaron censos rápidos y, se colocaron de forma aleatoria 50 cuadros de 1 m² cada uno, separados entre sí al menos dos metros. En cada cuadro se contó el número de ejemplares y, se midió el diámetro de cada individuo (Mandujano *et al.* 2007, Cárdenas-Ramos 2015). En cada sitio se midió el disturbio antropogénico con el índice de disturbio crónico (IDC) propuesto por Martorell y Peters (2005) (Cárdenas Ramos D. datos no publicados). El índice toma valores de 0 a 1, siendo 1 indicativo de un sitio muy perturbado; el índice recaba información de 14 variables de perturbación que se distribuyen en tres agentes:

CUADRO 1. Localidades en las que no se encontró ningún ejemplar de *Ariocarpus retusus*. Datos correspondientes al año 2019.

Estado	Municipio	Localidad	Coordenadas
Nuevo León	-	Ciudad de Monterrey	25° 52' 5" latitud N 100° 12' 19" latitud O
Nuevo León	Ramos Arizpe	San José de los Nuncios	25° 37' 6" latitud N 100° 46' 8.88" latitud O
Nuevo León	Mina	Minas	26° 00' 20.3" latitud N 100° 33' 17.0" latitud O
San Luis Potosí	Guadalcázar	Milagro de Guadalupe	-
San Luis Potosí	Guadalcázar	El Huizache	22° 56' 2.4" latitud N 100° 26' 3" latitud O
San Luis Potosí	Guadalcázar	Los Amoles	22° 51' 21.6" latitud N 100° 21' 45.1" latitud O
San Luis Potosí	Guadalcázar	La Negrita	22° 49' 30" latitud N 100° 6' 12.1" latitud O
San Luis Potosí	Santa Catarina	Los Antejos	22° 52' 1" latitud N 100° 4' 48" latitud O

Ganadería, Actividades Humanas y Deterioro del hábitat. El método consiste en colocar un transecto de 50 m, paralelo a la pendiente (vertical) y otro perpendicular a la pendiente (horizontal). En el transecto horizontal se registraron los siguientes datos: 1) Frecuencia de excretas de cabra (CABR), 2) Frecuencia de excretas de ganado, 3) Vegetación ramoneada (RAMO), 4) Extracción de leña (MACH) o plantas con evidencia de cortes por machete, 5) Evidencia de incendio (INCE), 6) Erosión (EROS), 7) Presencia de islas o parches de vegetación (ISLA), 8) Compactación del suelo (COMS) (prueba de infiltración de agua en el suelo) y 9) Superficie totalmente modificada (STOM). En el transecto vertical se evaluó: 10) Densidad de senderos ganaderos (CAMG) y 11) Superficie de senderos humanos. Los siguientes puntos se realizaron con imágenes satelitales recientes de Google Earth: 12) Proximidad de asentamientos humanos (POBL), 13) Contigüidad a los núcleos de actividad humana (ADYA) y, 14) Uso de suelo (USOS) (estimación visual del terreno modificado).

Distribución potencial

Se elaboró un modelo de distribución potencial de *A. retusus* con el algoritmo MaxEnt (Phillips *et al.* 2006), variables climáticas de temperatura y precipitación de BIOCLIM (resolución de 30 s) y registros de presencia de la especie. Con el fin de reducir la colinealidad en el modelo, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las 19 variables de BIOCLIM con el software R versión 4.0.0 (R Core Team 2020). Se seleccionaron las variables con un valor de $r < 0.7$ y se incluyeron en el modelo: a) BIO3 Isotermalidad, b) BIO10 Temperatura media del trimestre más cálido, c) BIO13 Precipitación del mes más húmedo, d) BIO15 Estacionalidad de precipitación y e) BIO17 Precipitación del trimestre más seco. Se obtuvieron un total de 341 registros de ocurrencia de *A. retusus* de la plataforma GBIF (GCC 2019), de esta base de datos, se eliminaron los registros repetidos, coordenadas geográficas fuera del área de distribución de la especie (registros no pertenecientes a México), registros menores al año 1900 y coordenadas geográficas incompletas.

Con el software R versión 4.0.0 (R Core Team 2020) se eliminaron los datos cuyas coordenadas geográficas se sobrepone en un radio menor a 3 km de distancia, ya que, de acuerdo con nuestro criterio, los registros muy cercanos entre sí, se consideraron como parte de la misma localidad o población. Al final, la base de datos contenía 126 registros de presencia.

Los mapas de distribución potencial futura se realizaron considerando dos escenarios de cambio climático RCP 4.5 (escenario conservador) y RCP 8.5 (escenario extremo). Estos escenarios suponen respectivamente, un aumento moderado y muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero a causa de las actividades humanas. Las proyecciones se realizaron para el año 2050, con el modelo francés CNRM-CM5 y el modelo estadounidense GFDL-CM3, probados para México (Fernández *et al.* 2015). De cada modelo (actual y futuro) se corrieron diez réplicas, cada uno con 500 iteraciones, un umbral de 0.05, utilizando 90% de datos de entrenamiento y 10% de coincidencias para la prueba de validación. De las réplicas de cada modelo, se eligió el que presentaba el valor más alto de AUC (Area Under the Curve) o ROC (Receiver Operating Characteristic), que evalúa la habilidad predictiva de los modelos de distribución que se generan. AUC adquiere valores entre 0.5 y 1, siendo 1, indicativo de una excelente predicción en el modelo (Pearce & Ferrier 2000). Los mapas de distribución obtenidos se transformaron a un modelo binario con el programa QGIS Development Team (2019) y, se calculó el área (km²) que ocupa la especie con la herramienta Field Calculator.

A partir del área de distribución potencial actual estimada para *A. retusus*, se calculó la cantidad de terreno (km²) que entre 2009 y 2017, se ha desmontado o se encuentra destinado para alguna actividad económica, incluida la urbanización. El cálculo se obtuvo al sobrepone el mapa de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI

de 2009 y 2017 (escala 1:250 000) y, el polígono que delimita el área de distribución potencial de *A. retusus* estimado en este estudio. Se calculó la tasa de pérdida de hábitat (*Th*) como una relación entre el área (en km²) que se encontraba destinada a las actividades económicas en 2017 y en 2009. Valores de (*Th*) mayores a 1 indican que la conversión del suelo se incrementa con el tiempo y un valor de (*Th*) igual a 1, sugiere que a través del tiempo el área destinada a las actividades económicas se mantiene estable (Mandujano, datos no publicados). Finalmente, para determinar el tipo de vegetación y las provincias biogeográficas en las que se encuentra *A. retusus*, se incorporó como una capa vectorial, el mapa de tipo de vegetación siguiendo la clasificación de Rzedowski (escala 1:4 000 000) (CONABIO 1990) y el mapa de provincias biogeográficas de México (escala 1:4 000 000) (CONABIO 1997).

MER. La Evaluación de Riesgo de Plantas en México (MER) considera cuatro criterios de evaluación. Criterio A. Amplitud de la distribución del taxón en México. Como su nombre lo indica, el criterio solicita información sobre la distribución de la especie y, considera los siguientes rubros: 1) Extensión de la distribución, incluida el área de ocupación, 2) Número de poblaciones o localidades conocidas existentes, 3) Número de provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón y, 4) Representatividad de la distribución del taxón en el Territorio Mexicano, refiriéndose a la importancia que tienen las poblaciones establecidas en México, dentro de la distribución del taxón (SEMARNAT 2010). Criterio B. Características del hábitat. El criterio pretende conocer la especificidad del hábitat del taxón y, solicita información sobre la amplitud altitudinal de establecimiento, tipos de vegetación en los que se encuentra, si la permanencia del taxón depende de un hábitat primario y especializado o, si la especie es favorecida por regímenes de perturbación (SEMARNAT 2010).

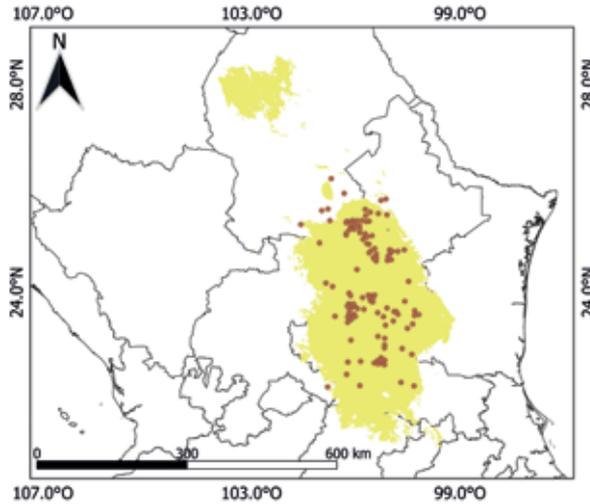


FIGURA 1. Distribución potencial actual de *Ariocarpus retusus*. Los puntos en color café corresponden a los registros de presencia de la especie y en amarillo, se presenta la distribución potencial de la especie en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. Datos correspondientes al año 2019.

Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. Este criterio se subdivide en tres secciones: C-1 Demografía, C-2 Genética e C-3 interacciones bióticas especializadas. La subsección C-1 se enfoca en el tamaño y la dinámica de la o las poblaciones, al solicitar información sobre el número de individuos que conforman el taxón, evidencia de reclutamiento o decrecimiento poblacional, indicativos de clonalidad o varianza en la fecundidad de los individuos, además de considerar rasgos sobre la biología floral como autoincompatibilidad, sincronía en el periodo de floración, densodependencia reproductiva y producción de propágulos. La subsección C-2 se relaciona con la variación genética y molecular entre sus poblaciones. La subsección C-3 se enfoca en las interacciones bióticas de la especie como el nodricismo, relación planta-hospedero, polinización y dispersión específica, mirmecofilia obligada, dependencia a las micorrizas o, daño por patógenos y/o depredadores (nativos o invasores). Criterio D. Impacto de la actividad humana. Este criterio solicita información sobre el impacto que las actividades humanas tienen

en las poblaciones o en la calidad del hábitat del taxón y, el impacto del uso (tradicional o comercial) del taxón (SEMARNAT 2010).

Resultados

Criterio A. Amplitud de la distribución del taxón en México. *Ariocarpus retusus* es una especie endémica de México, que se establece en pequeñas poblaciones, distribuidas de forma discontinua en el Desierto Chihuahuense (Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas) (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991; Hernández *et al.* 2010). En este estudio se observó que la especie se distribuye en cuatro provincias biogeográficas: 1) Altiplano Norte (Desierto Chihuahuense), 2) Altiplano Sur (tierras áridas de Zacatecas-Mezquital), 3) Sierra Madre Oriental y 4) Provincia Tamaulipeca. La distribución potencial estimada para *A. retusus* es de 113 138 km² (AUC = 0.95) (Fig. 1) y representa aproximadamente 21.2% de la extensión total del Desierto Chihuahuense.

Criterio B. Características de hábitat. De acuerdo con la clasificación de la vegetación propuesta por Rzedowski, el 94.4% de las poblaciones de *A. retusus* ($n = 126$ registros), se localizan en la vegetación de tipo matorral xerófilo. No obstante, el 4% de los puntos de presencia se encuentran en bosque de encino (entre Nuevo León y Tamaulipas) y, el 1.5% de los registros en bosque de pino (entre Coahuila y Nuevo León). *Ariocarpus retusus* se establece sobre colinas calizas y pedregosas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991; Rodríguez-Garza *et al.* 2011), con pendientes que oscilan entre 4 y 19° (Villavicencio *et al.* 2010); se establece entre los 1 300 y 2 384 m snm, sin embargo, en algunos municipios de Nuevo León se encuentra en 500 m snm (Flores 2011; Villavicencio *et al.* 2013). La permanencia de las poblaciones depende de un hábitat primario (matorral xerófilo y suelos

pedregosos) y, el cambio de uso de suelo repercute directamente en su permanencia, por lo que no requiere de regímenes de perturbación para su establecimiento. Por ejemplo, en una localidad cercana a Miquihuana, Tamaulipas, se censó una población silvestre de *A. retusus* ($n = 1\ 605$ individuos), no obstante, cinco meses después, el terreno fue modificado para construir un abrevadero para el ganado que causó la desaparición de la población (Cárdenas-Ramos 2015). En una visita realizada en 2019, se observó que el área desmontada estaba completamente cubierta por la especie invasora “cebollín” (*Asphodelus fistulosus*) (Guerrero-Eloisa, datos no publicados).

Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca.

C-1 Demografía. En las 12 poblaciones silvestres de *A. retusus*, se pueden encontrar desde uno y hasta 233 individuos en 50

CUADRO 2. Abundancia e índice de disturbio crónico (IDC) calculado para 12 poblaciones silvestres de *Ariocarpus retusus*. Se muestra el número absoluto de ejemplares contabilizados para cada población, en un área de 50 m². Datos correspondientes al año 2019.

Estado	Localidad	Nº de individuos	ID
Nuevo León	El Jarro	66	21.7
Nuevo León	Lagunita	63	34.60
Nuevo León	La Tapona	71	30.55
Nuevo León	Los Catorce	29	29.48
Nuevo León	Puerto del aire	13	41.77
San Luis Potosí	El Milagro de Guadalupe	36	58.46
San Luis Potosí	El Mimbres	68	44.17
San Luis Potosí	La Morita	1	37
San Luis Potosí	Pozas de Santa Ana	114	50.39
San Luis Potosí	San José de los Sotoles	61	221.35
San Luis Potosí	Tanque de los Ángeles	233	177.10
Tamaulipas	Los Quemados	194	58.29

m² (Cuadro 2), es decir, una población en promedio tiene 79.08 individuos (± 20.20). Si consideramos el promedio de individuos por población (79.08 individuos) para los 117 registros poblacionales (sin considerar las poblaciones extintas), el número aproximado de ejemplares de vida silvestre es de 9 252.36 individuos. Es importante aclarar que el tamaño poblacional se estimó a partir de la densidad y no a partir de la abundancia (Mandujano *et al.* 2001), por lo que el número de individuos podría ser sutilmente más grande considerando que en algunas poblaciones no se contabilizaron todos los individuos. Por ejemplo, en El Mimbres y Tanque de los Ángeles (San Luis Potosí), en Lagunita (Nuevo León) y, en Los Quemados (Tamaulipas), era posible observar más individuos que los contabilizados en los 50 cuadros. No obstante, en Los Catorce y Puerto del Aire (Nuevo León), así como en El Milagro de Guadalupe, La Morita y Pozas de Santa Anna (San Luis Potosí), se contabilizaron individuos en uno y hasta en 35 cuadros, esto debido a la baja abundancia de individuos (Cárdenas-Ramos y Mandujano, en prep.). Sólo en siete localidades se observó reclutamiento de individuos nuevos (individuos > 3 cm de diámetro), de las cuales, en cuatro poblaciones se contaron menos de cuatro plántulas (Cárdenas-Ramos y Mandujano, en prep.).

La especie requiere de polinización cruzada para reproducirse y tiene dependencia obligada a la polinización por abejas solitarias (Martínez-Peralta & Mandujano 2012; Martínez-Peralta *et al.* 2014a). Es una especie no clonal y la única forma de reclutamiento es a través de semillas (Martínez-Peralta & Mandujano 2012). Sin embargo, no todos los individuos adultos reproductivos de una población producen la misma

cantidad de estructuras reproductivas y, existe una relación positiva entre el tamaño de los individuos (diámetro) y la producción de estructuras florales (Cárdenas-Ramos 2015). La especie presenta una tardía madurez sexual y, se ha demostrado que en condiciones de cautiverio puede pasar hasta siete años antes de que se presente su primer evento reproductivo. Es por ello que dentro del género *Ariocarpus*, *A. retusus* es la especie que tiene el crecimiento más lento (Kessler & Stuppy 2006). Las flores hermafroditas son autoincompatibles intermitentes, es decir, se pueden formar semillas por autofecundación, pero sólo cuando existe limitación de polen o en poblaciones pequeñas cuando hay pocos individuos disponibles para reproducirse (Martínez-Peralta *et al.* 2014b). El índice de sincronía floral de la especie es $S = 0.53$ e indica que más del 50% de las flores de la población se encuentran abiertas al mismo tiempo (Cárdenas-Ramos & Mandujano 2018). En un fruto se pueden contar entre 6 y 136 semillas, un promedio de 76 semillas por fruto (Martínez-Peralta *et al.* 2014b, c).

C-2 Genética. El género *Ariocarpus* presenta gran variabilidad morfológica y una alta diversidad genética, características que han complicado su clasificación taxonómica (Almeyda L. *et al.* 2012; Martínez-Peralta *et al.* 2014b).

C-3 Interacciones bióticas especializadas. *Ariocarpus retusus* es una especie que generalmente crece en espacios abiertos desprovistos de vegetación, por lo que no depende de un hospedero o planta nodriza para establecerse (Hernández *et al.* 2010; Martínez Peralta 2014c). La polinización sólo la realizan abejas solitarias del género *Augochlora*, *Augochlorella*, *Exomalopsis*, *Megachilidae* y *Perdita*, que son atraídas por la

disponibilidad de néctar y polen. La dispersión de las semillas la realizan las hormigas, aunque también pueden ser dispersadas por el viento (anemocoria), el agua (hidrocoria) y/o barocoria, en este último caso, cuando las semillas caen al suelo por efecto de la gravedad. En otras ocasiones, las semillas se quedan atoradas entre los tubérculos y/o la lana del ápice formando un banco de semillas aéreo (Rodríguez 2008; Flores 2011; Martínez-Peralta 2014c). No se ha reportado mirmecofilia en *A. retusus*, incluso, las hormigas que visitan a algunos individuos, actúan como florívoros al colectan estambres y segmentos del perianto (Cárdenas-Ramos & Mandujano 2018). Hasta la fecha, no existe información que sugiera que *A. retusus* establezca una asociación micorrízica.

Como se mencionó anteriormente, las especies invasoras pueden desplazar a los individuos de *A. retusus* de su hábitat natural después de un evento antrópico como el cambio de uso de suelo (Guerrero-Eloisa, en prep.). Además, los chapulines (orden Orthoptera) se alimentan de los tubérculos (Martínez-Peralta & Mandujano 2012; Cárdenas-Ramos 2015); las flores y los botones son constantemente atacados por escarabajos cuereros (Epicauta: Coleoptera) y chinches de las semillas (Lygaeidae: Heteroptera) que consumen parte del perianto de las flores en antesis. Escarabajos de la subfamilia Cryptorhynchinae (Curculionidae) se alimentan completamente de los botones, y las larvas (Lepidoptera) consumen por completo las flores en antesis. Se ha reportado que los depredadores florales atacan hasta 2% de las estructuras reproductivas de una población (flores y botones) al año, lo que reduce su éxito reproductivo (formación de frutos y semillas) por el aborto prematuro de las estructuras dañadas.

El ganado daña las estructuras vegetativas de los individuos o, provoca la muerte de algunos ejemplares a causa del pisoteo (Cárdenas-Ramos 2015; Cárdenas-Ramos & Mandujano 2018).

Criterio D. Impacto de la actividad humana. El cambio de uso de suelo es una de las principales causas que deterioran, reducen y eliminan a las poblaciones silvestres de *A. retusus* (Cárdenas-Ramos 2015). Por ejemplo, en este estudio no se encontraron individuos en al menos siete poblaciones y, una población está próxima a desaparecer al solo registrar un individuo. En los sitios con ausencia de individuos se observó cambio de uso de suelo, principalmente la conversión a las zonas urbanas y en la localidad los Antejos, los pobladores reportaron que la extracción ilegal de ejemplares de la especie es muy común. De las 12 poblaciones visitadas en 2019, el 50% presentaron valores de IDC entre 21 y 37. En 41.6% de los sitios, el IDC osciló entre 42 y 58 e indica que la perturbación es intermedia, con tendencia a incrementarse (Cuadro 2). San José de los Sotoles en San Luis Potosí presentó el disturbio más alto (IDC = 221.35); el sitio está completamente fragmentado por caminos ganaderos y humanos, es evidente la erosión y compactación extrema del suelo, además de islas de vegetación y daño en la vegetación nativa por incendios y extracción de leña (Foto 2a). A menos de 200 m donde se establece la población de *A. retusus*, hay corrales para el ganado, casas y caminos de terracería (Foto 2a), y áreas donde se observan bancos de materiales (Foto 2b), lo que incrementa la posibilidad de extinción de esta población.

La distribución potencial de *A. retusus* estimada en este estudio es de 113 138 km² (AUC = 0.95), de esta área, el 16%

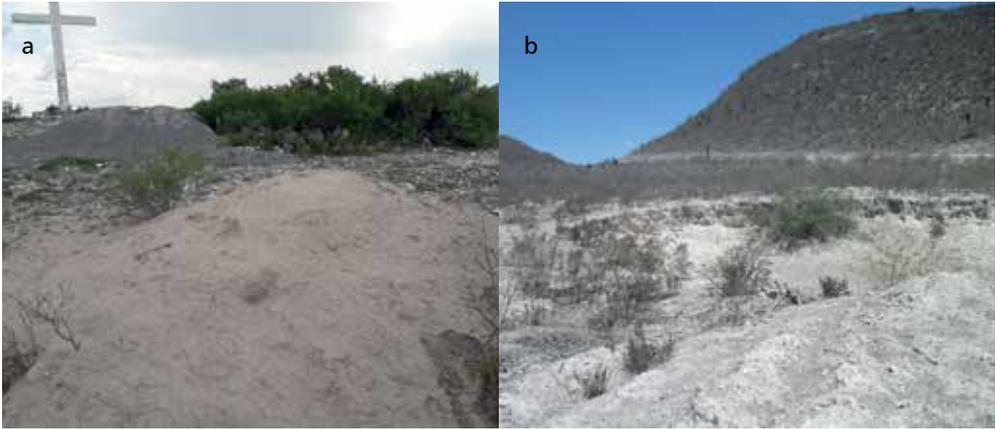


FOTO 2. Localidades donde se observa la remoción total de la cobertura vegetal, a) Localidad de San José de los Sotoles; b) Localidad La Morita.

(18 107.96 km²) fue modificada hacia la agricultura, la ganadería, las plantaciones forestales y zonas urbanas en el año 2009 y, en el año 2017, 29 657.83 km² de la cobertura vegetal se modificó hacia la agricultura, la ganadería y las plantaciones forestales y, 32.72 km² se destinó a las zonas urbanas, lo que representa una pérdida de 26.24% (29 692.71 km²) del área de distribución de la especie (113 138 km²). La distribución potencial futura para el año 2050 con el modelo CNRM-CM5, en un escenario de cambio climático 4.5, indica que el área de distribución de *A. retusus* será de 106 938 km² (AUC = 0.95), esto implica una reducción de 6 200 km² con respecto a la proyección de distribución actual (113 138 km²) (Fig. 4). El escenario de cambio climático 8.5 indica que el área de distribución potencial de la especie será de 108 496 km² (AUC = 0.95), es decir, 4 642 km² menos con respecto a la distribución actual. En un escenario de cambio climático 4.5 con el modelo GFDL-CM3, la distribución de *A. retusus* será de 105 187 km² (AUC = 0.95) y en un escenario 8.5 de 106 472 km² (AUC = 0.95) (Fig. 2), esto implica una reducción de 7 951 km² y 6 666

km² respectivamente, esto sin considerar el cambio de uso de suelo (Fig. 2).

Ariocarpus retusus es una de las especies de cactus más apreciada por los coleccionistas, es por ello que con frecuencia se extraen individuos y semillas de su hábitat natural para comercializarse como planta de ornato (CITES 2001). Además, en internet es común encontrar a la venta, ejemplares reproductivos, con flores que, de acuerdo al tamaño, es probable que sean extraídos de las poblaciones silvestres de forma ilegal (Cárdenas-Ramos, en prep.). La especie se cultiva *ex situ* en algunas Unidades de Manejo Ambiental (UMA) y en Predios que Manejan Vida Silvestre (PIMVS) de México, en condiciones de cautiverio, con fines comerciales (venta como planta de ornato) (CITES 2020).

Resultado del MER. Se sumó el puntaje de cada uno de los cuatro criterios de evaluación del MER y, se obtuvo un puntaje de 1.85 (Cuadro 3) y, sugiere que *A. retusus* debe incluirse en la categoría de riesgo “Amenazada (A)”, donde se encuentran especies con un puntaje mayor a 1.7 y menor a 2. Se establece que las especies de esta categoría “están en peligro de desaparecer

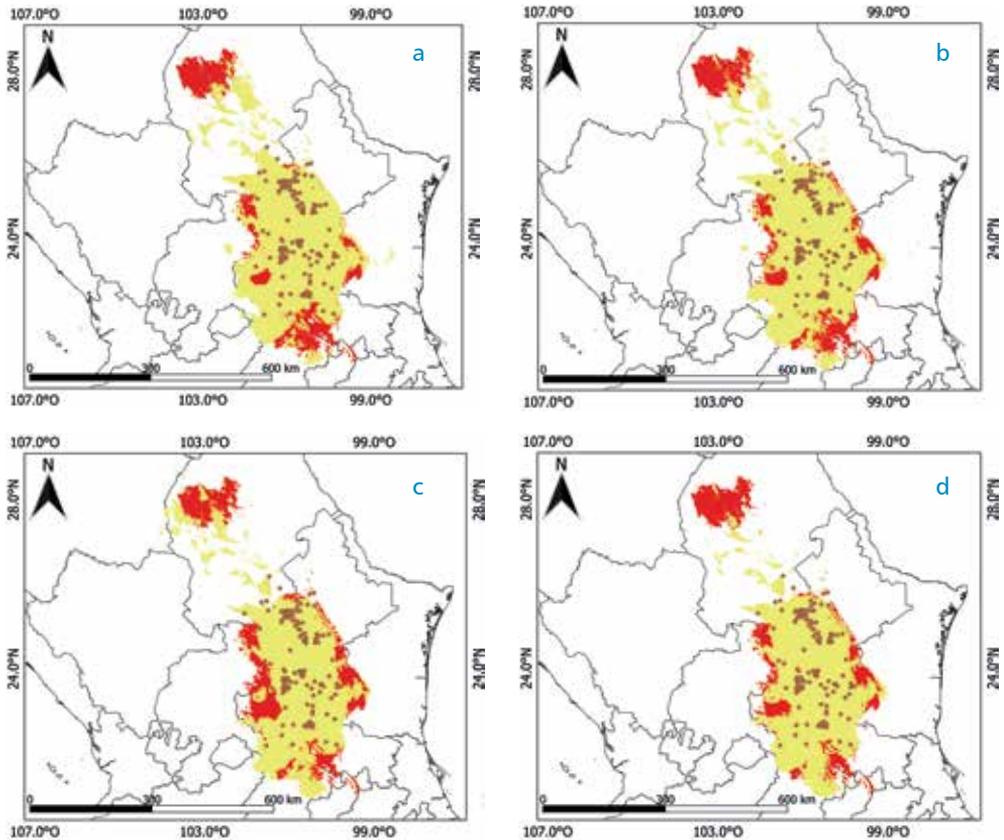


FIGURA 2. Mapa de distribución potencial de *Ariocarpus retusus* en un escenario de cambio climático 4.5 (superior izquierda) y 8.5 (superior derecha) estimado a partir del modelo CNRM-CM5 y, un escenario de cambio climático 4.5 (inferior izquierda) y 8.5 (inferior derecha) estimado a partir del modelo GFDL-CM3. En amarillo se muestra la distribución potencial futura para el año 2050 y en rojo, el área de distribución potencial actual, que a su vez se perdería en el futuro.

a corto o mediano plazo por la incidencia de factores extrínsecos que afectan negativamente a sus poblaciones silvestres” (SEMARNAT 2010).

Discusión

Criterio A: El área de distribución puede estar sobreestimada, ya que el modelo establece sitios de idoneidad a partir de factores ambientales, sin considerar variables abióticas (interacciones), la biología de la especie o las actividades antrópicas, factores que juegan

un papel determinante en el establecimiento de *A. retusus*. Por ejemplo, en *A. retusus* la dispersión es de corto alcance, ya que la realizan las hormigas; esta característica impide que la especie pueda atravesar barreras geográficas para colonizar nuevos sitios, aunque estos sean idóneos para su establecimiento. Además, es una especie que requiere de características edáficas específicas para su establecimiento, ya que sólo se encuentra sobre lomas o colinas con suelos pedregosos (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991; Rodríguez-Garza *et al.* 2011).

CUADRO 3. Evaluación de *Ariocarpus retusus* siguiendo el Método de Evaluación de Riesgo de Plantas (MER), dispuesto en el Anexo II de la NOM-059-SEMARNAT-2010 de México.

criterio	Elementos por criterio	Puntaje	Subtotal
A) Distribución geográfica	1) Extensión de la distribución	2	0.27
	2) Poblaciones o localidades conocidas existentes	0	
	3) Provincias biogeográficas en las que se encuentra el taxón	1	
	4) Representatividad de la distribución del taxón en la República Mexicana	0	
B) Características del hábitat	1) Tipos de vegetación en las que el taxón se encuentra presente	3	0.56
	2) Hábitat especializado	1	
	3) La permanencia de la población depende de un hábitat primario	1	
	4) La permanencia de la población requiere de regímenes de perturbación particulares	0	
	5) Amplitud altitudinal que ocupa el taxón	0	
C1) Demografía	1) Número total de individuos	1	0.52
	2) Reclutamiento	2	
	3) Atributos demográficos	1	
	Densodependencia en la reproducción	1	
	Clonalidad	1	
	Evidencia de decrecimiento poblacional	1	
	Evidencia de varianza en la fecundidad	1	
	Sistemas reproductivos	1	
	Sincronía floral	1	
Propágulos	1		
C2) Genética	1) Variación molecular	0	0.52
	2) Estructura genética molecular	0	
	3) Variación genética	0	
	4) Diferencia entre poblaciones	1	
C3) Interacciones bióticas	1) Plantas nodriza	0	0.5
	2) Hospedero o forofito específico	0	
	3) Polinización específica	1	
	4) Dispersión específica	0	
	5) Mirmecofilia obligada	0	
	6) Dependiente de micorrizas	0	
	7) Afectación por depredadores o patógenos	1	
D) Impacto de las actividades humanas	1) Alteración antrópica del hábitat	1	0.5
	2) Impacto de las actividades humanas en el hábitat	2	
	3) Deterioro en la cantidad o calidad de hábitat	1	
	4) Uso del taxón	2	
	5) Cultivo del taxón ex situ	-1	
Sumatoria total			1.85

Criterio B: De acuerdo con la clasificación de la vegetación propuesta por Rzedowski, algunas poblaciones de *A. retusus* se encuentran en bosque de encino (entre Nuevo León y Tamaulipas) y en bosque de pino (entre Coahuila y Nuevo León), sin

embargo, podrían considerarse como sitios de transición vegetal con las zonas áridas (Aguilar-Morales *et al.* 2011). La permanencia de las poblaciones depende de un hábitat primario y no requiere de regímenes de perturbación para su establecimiento.

Por ejemplo, se ha observado que, tras la remoción total de la vegetación en los sitios donde se establece *A. retusus*, los remanentes de vegetación natural son incapaces de recuperarse a corto plazo y, los nichos pueden ser ocupados por especies invasoras (Cárdenas-Ramos 2015; Guerrero-Eloisa, en prep.).

Criterio C-1: Sólo en siete localidades se observó reclutamiento, sugiriendo que este es uno de los procesos demográficos más vulnerable en las poblaciones (Godínez-Álvarez *et al.* 2003) y puede llegar a comprometer la permanencia de las poblaciones por el ausente reemplazo generacional (reclutamiento) (Hernández & Godínez 1994). La especie requiere de polinización cruzada para reproducirse y tiene dependencia obligada a la polinización por abejas solitarias (Martínez-Peralta & Mandujano 2012; Martínez-Peralta *et al.* 2014a). Se ha sugerido que la pérdida de hábitat pone en riesgo a innumerables especies incluidas las abejas, un grupo de organismos cuya abundancia se ha reducido considerablemente (Bommarco *et al.* 2010), es por ello que la relación planta-polinizador es un atributo que pone en riesgo la permanencia de las poblaciones de *A. retusus*, ya que dependen de la presencia de las abejas solitarias para asegurar su reproducción. En la especie existe sincronía en el periodo de floración, estrategia que permite concentrar la mayor cantidad de recompensas florales en un mismo tiempo y espacio, lo que incrementa la probabilidad de asegurar la polinización de las flores o reducir la depredación floral (Martínez-Peralta & Mandujano 2012; Martínez-Peralta 2014c; Cárdenas-Ramos 2015; Cárdenas-Ramos & Mandujano 2018). Aunque en los frutos de *A. retusus* se produce una buena cantidad de semillas, esto si se compara con *Lophophora diffusa*, especie que produce 27.6

semillas (promedio/fruto) (Díaz-Segura *et al.* 2017), se ha planteado que el número de frutos producidos es menor que el número inicial de flores, esto se asocia a un déficit de recursos post polinización que favorece el aborto prematuro de los frutos en formación (Martínez-Peralta 2014c).

C-2: El género *Ariocarpus* presenta gran variabilidad morfológica lo que complica su clasificación taxonómica (Almeyda L. *et al.* 2012; Martínez-Peralta *et al.* 2014b). Por ejemplo, diferencias en la rugosidad, tamaño y número de tubérculos y, en el color de las flores debido a la variación morfológica y plasticidad fenotípica, han sido considerados caracteres distintos para reconocer hasta cuatro subespecies de *A. retusus* (*elongatus*, *confusus*, *retusus* y *scapharostroides*), no obstante, listados botánicos como The Plant List (TPL ver <http://www.theplantlist.org/>) considera a las subespecies como sinónimos de *A. retusus* (Almeyda L. *et al.* 2012; Martínez-Peralta 2014c) y evidencia molecular la considera como una única unidad taxonómica (Bárceñas *et al.* 2011).

C-3: *Ariocarpus retusus* es una especie que crece en espacios abiertos desprovistos de vegetación, aunque con frecuencia se establece en suelos pedregosos (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991; Rodríguez-Garza *et al.* 2011), sugiriendo una posible relación nodriza-protégida de tipo abiótico (p.j. rocas) que favorece su establecimiento. *Ariocarpus retusus* también crece debajo del dosel de especies como *Jatropha dioica*, *Hechtia* spp. y *Dasylirion longissimum*, estableciendo una interacción biótica, no obstante la interacción no ha sido evaluada (Foto 3). La polinización sólo la realizan abejas solitarias, es por ello que la relación planta polinizador-obligada es un elemento de riesgo para la permanencia de la especie,



FOTO 3. Plantas de *Ariocarpus retusus* creciendo bajo una nodriza biótica.

puesto que depende de las abejas para asegurar su reproducción (Martínez-Peralta & Mandujano 2012; Cárdenas-Ramos 2015). La dispersión de las semillas por hormigas, es un tipo de dispersión de corto alcance que ocasiona que las poblaciones sean localizadas y de distribución agregada (Aguilar-Morales *et al.* 2011; Martínez Peralta 2014c). Por otro lado, entre los tubérculos de los individuos de *A. retusus*, las semillas pueden quedar retenidas y formar un banco de semillas aéreo (Rodríguez 2008; Flores 2011; Martínez-Peralta 2014c). La retención de semillas en la planta madre es conocida como serotinia, una estrategia que permite reducir el ataque de granívoros; esta estrategia se ha reportado para otros individuos del género *Ariocarpus* tal como *Ariocarpus fissuratus*, una especie que resguarda semillas de diferentes edades entre sus tubérculos, reportándose hasta semillas de nueve años de edad (Rodríguez 2008).

Criterio D: Debido al disturbio observado en los sitios, se puede establecer que el hábitat de *A. retusus* está sujeto a presiones antrópicas, ya que con frecuencia se utiliza para introducir ganado, actividad que además de compactar el suelo, daña las estructuras vegetativas de los individuos de *A. retusus* o, provoca la muerte de algunos ejemplares a causa del pisoteo (Cárdenas-Ramos 2015; Cárdenas-Ramos y Mandujano, en prep). Además, *A. retusus* es una de las especies de cactus que con frecuencia se extrae de su hábitat silvestre y se comercializa como planta de ornato, es por ello que la UNEP (The United Nations Environment Programme), la coloca en una lista donde se encuentran las especies cuyas exportaciones netas superan las 1 000 unidades al año. Por ejemplo, la UNEP reportó que en el año 2003 se exportaron 230 semillas, sin embargo, en el año 2005 se observó un incremento en la demanda

de semillas, registrándose 3 315 semillas exportadas (UNEP-WCMC 2005).

Sugerencias para la conservación de la especie

Se requiere regular el cambio de uso de suelo en los sitios donde se establece la especie, esta acción permitirá conservar no sólo a *A. retusus*, sino a otras cactáceas que se establecen en el mismo hábitat y que se encuentran amenazadas, tal como *Astrophytum capricorne* (Amenazada), *Echinocactus poselgeri* (Sujeta a protección especial), *Epithelantha micromeris* (Amenazada), *Ferocactus haematacanthus* (Sujeta a preocupación especial), *Lophophora williamsii* (Sujeta a protección especial), *Thelocactus conothelos* (Sujeta a protección especial), además de especies vulnerables como el sotol (*Dasyliroton sp.*) (Ledezma *et al.* 2001; Cárdenas-Ramos 2015). Debido a que *A. retusus* es una de las especies de cactus más anunciada y vendida a través de internet, es importante regular el comercio formal (permisos de venta) e informal de la especie. La venta de ejemplares se relaciona directamente con la extracción de semillas e individuos de vida silvestre, esta actividad generalmente la realizan los pobladores de comunidades aledañas a las poblaciones silvestres del cactus. De acuerdo con lo anterior, consideramos que, en las comunidades debe impulsarse el establecimiento de unidades de manejo para la propagación de esta y otras especies de interés comercial, así como impartir talleres de apego a la flora nativa con el fin de lograr la conservación de las especies. Esta estrategia podría beneficiar económicamente a las comunidades locales y, podría llegar a contrarrestar la extracción ilegal de *A. retusus* y otras especies de cactus (Martin 2013). Finalmente, aún se desco-

noce la dinámica poblacional de *A. retusus*, por lo que consideramos que un estudio demográfico permitiría conocer si además del reclutamiento, existen otros procesos vulnerables dentro del ciclo de vida (permanencia, crecimiento, reproducción). Con los datos demográficos, se sugiere realizar simulaciones sobre el tamaño poblacional que permita determinar la cantidad adecuada de semillas que pueden recolectarse, de tal forma que no ponga en riesgo la permanencia de la especie y que garantice que la propagación sea sustentable.

Agradecimientos

A la CONABIO por aprobar y proveer los recursos necesarios para desarrollar el proyecto "Evaluación del estado de conservación y amenazas de *Ariocarpus retusus* en el marco del examen de revisión periódica de especies listadas en los Apéndices de la CITES". Al CONACYT por la beca otorgada, al Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. Al presupuesto operativo del Instituto de Ecología de la UNAM. A la Dra. Mariana Rojas Aréchiga por el apoyo logístico para el trabajo de campo, al Biol. Gerardo Manzanares Villasana, M. en C. María Isabel Briseño Sánchez, M. en C. Esteban Omar Munguía Soto y M. en C. Sandino Guerrero- Eloisa.

Literatura citada

- Aguilar-Morales G, Martínez-Peralta C, Feria-Arroyo TP, Golubov J & Mandujano MC. 2011. Distribución geográfica del género *Ariocarpus* Scheidweiler (Cactaceae). *Cact Suc Mex* **56**:49-62.
- Almeyda LIH, Villavicencio Gutiérrez EE, Arredondo Gómez A & Pecina Quintero V. 2012. *Caracterización molecular de cactáceas del Desierto Chihuahuense*. INIFAP, México.

- Arias S, Guzmán U, Mandujano MC, Soto Galván M & Golubov J. 2005. Las especies mexicanas de cactáceas en riesgo de extinción. Una comparación entre los listados NOM-059-ECOL-2001 (México), La Lista Roja (UICN) y CITES. *Cact Suc Mex* **50**:100-125.
- Bárceñas RT, Yesson C & Hawkins JA. 2011. Molecular systematics of the Cactaceae. *Cladistics* **27**:1-20.
- Batis A & Rojas M. 2002. El peyote y otros cactus alucinógenos de México. CONABIO. *Biodiversitas* **40**:12-17.
- Becerra R. 2000. Las cactáceas, plantas amenazadas por su belleza. *Biodiversitas* **6**:2-5.
- Bommarco R, Biesmeijer JC, Meyer B, Potts SG, Poyry J, Roberts SPM, Steffan-Dewenter I & Ockinger E. 2010. Dispersal capacity and diet breadth modify the response of wild bees to habitat loss. *Proc R Soc* **277**:2075-2082.
- Bravo-Hollis H & Sánchez-Mejorada H. 1978. *Las cactáceas de México: Volumen I*. UNAM, México.
- Bravo-Hollis H & Sánchez-Mejorada H. 1991. *Las cactáceas de México: Volumen II*. UNAM, México.
- Cárdenas-Ramos D. 2015. Efecto de la florivoría en la reproducción de *Ariocarpus retusus* Scheidweiler en Miquihuana, Tamaulipas, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. CDMX, México.
- Cárdenas-Ramos D & Mandujano MC. 2018. Florivory effects on pollinator preference and the reproductive output of a threatened living rock cactus, *Ariocarpus retusus* (Cactaceae). *Haseltonia* **25**:133-139.
- Castañeda-Romero M, Luna-Contreras M, Vela Godínez D, Montoya-Santiago G, González-Bermúdez A, Martínez-Peña R & Esperón-Rodríguez M. 2016. Nota sobre la estructura poblacional de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) en la reserva de la biosfera "Barranca de Metztitlán", Hidalgo, México. *Acta Bot Mex* **115**:65-73
- CITES. 2001. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Venta de cactus en internet. <https://www.cites.org/sites/default/files/esp/com/pc/11/S-PC11-21-02.pdf>. 10 de julio 2019.
- CITES. 2017. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora silvestres. Sexagésimo novena reunión del Comité Permanente Ginebra (Suiza), 27 de noviembre-1 de diciembre de 2017. <https://cites.org/sites/default/files/esp/com/sc/69/S-SC69-68.pdf>. 20 de agosto 2019.
- CITES. 2019. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora silvestres. Amendments to appendices I and II of the convention. https://cites.org/sites/default/files/eng/cop/08/prop/E08Prop82_Ariocarpus.pdf. 25 de noviembre 2019.
- CITES. 2020. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. 2020. Examen periódico de las especies incluidas en los Apéndices I y II. Examen Periódico de *Ariocarpus retusus*. <https://cites.org/sites/default/files/esp/com/pc/25/Documents/S-PC25-39-02.pdf>. 12 de junio 2021.
- CONABIO. 1990. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. "Vegetación Potencial". IV.8.2. *Atlas Nacional de México*. Vol II. Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- CONABIO. 1997. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. "Provincias biogeográficas de México". Escala 1:4 000 000. México, D. F.
- Díaz-Segura O, Jiménez-Sierra CL & Matías-Palafox ML. 2017. Algunas características de la biología reproductiva del peyote que-

- retano *Lophophora diffusa* (Croizat) Bravo, (Cactaceae). *Cact Suc Mex* **62**:116-127.
- Fernández Eguiarte A, Zavala Hidalgo J, Romero Centeno R, Conde Alvarez AC & Trejo Vázquez RI. 2015. *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM/Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-SEMARNAT/ Instituto de Geografía-UNAM, México.
- Flores A. 2011. *Guía de Cactáceas del Estado de Coahuila*. Secretaría de Medio Ambiente de Coahuila, México.
- GCC. 2019. Global Compositae Checklist *Ariocarpus retusus* Scheidw. <https://www.gbif.org/species/3084099>. 5 de agosto 2019.
- Godínez-Álvarez H, Valverde T & Ortega-Baes P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *Bot Rev* **69**:173-203.
- Goettsch B, Hilton-Taylor C, Cruz-Piñón G, et al. 2015. High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nat Plants* **1**, 15142.
- Hernández HM & Godínez AH. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Bot Mex* **26**:33-52.
- Hernández HM, Gómez-Hinostrosa C & Hoffmann G. 2010. Is geographical rarity frequent among the cacti of the Chihuahuan Desert? *Rev Mex Biodivers* **81**:163-175.
- INEGI. 2009, 2017. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Uso de suelo y vegetación*. INEGI, México.
- IPBES. 2018. *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas*. Rice J, Seixas CS, Zaccagnini ME, Bedoya-Gaitán M & Valderrama N. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.
- Jiménez-Sierra CL & Eguiarte LE. 2010. Candy Barrel Cactus (*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto [C Mex.]): A Traditional Plant Resource in Mexico Subject to Uncontrolled Extraction and Browsing. *Econ Bot* **64**:99-108.
- Kessler R & Stuppy W. 2006. *Semillas: La vida en cápsulas de tiempo*. Turner, Madrid, España.
- Ledezma MA, López SH, Guzmán Velazco A & Alanís FG. 2001. Programa de rescate y manejo para la conservación y protección de las cactáceas *Lophophora williamsi*, *Ephithelantha micromeris*, así como los géneros *Echinocereus* spp., *Ferocactus* spp., y *Mammillaria* spp. (NOM-059-Ecol.1994), en el área de construcción de la línea eléctrica García Nuevo León y Ramos Arizpe Chihuahua, de la Comisión Nacional de Electricidad. En: Memorias del 3er Taller regional de cactáceas del noreste de México. UANL, Nuevo León.
- Mandujano MC, Franco M, Golubov J & Montaña C. 2001. Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. *Ecology* **82**:344-359.
- Mandujano MC, Verhulst J, Carrillo-Ángeles I & Golubov J. 2007. Population Dynamics of *Ariocarpus scaphiostriis* Bodeker (Cactaceae): Evaluating the Status of a Threatened Species. *Bot Gaz Int J Plant Sci* **168**:1035-1044.
- Martin T. 2013. "Cultivation of Peyote: A Logical and Practical Solution to the Problem of Decreased Availability". *Phytologia* **4**: 314-320.
- Martínez-Peralta C & Mandujano MC. 2009. Saqueo en poblaciones naturales de *Ariocarpus*: El caso de *Ariocarpus agavoides*. *Cact Suc Mex* **54**:60-62.
- Martínez-Peralta C & Mandujano MC. 2012. Biología de la polinización y fenología reproductiva del género *Ariocarpus* Scheidweiler (Cactaceae). *Cact Suc Mex* **57**:114-127.
- Martínez-Peralta C, Márquez-Guzmán J & Mandujano MC. 2014a. How common is self-incompatibility across species of the

- herkogamous genus *Ariocarpus*?. *Am J Bot* **101**:530-538.
- Martínez-Peralta C, Molina-Freaner F, Golubov J, Vázquez-Lobo A & Mandujano MC. 2014b. A Comparative Study of the Reproductive Traits and Floral Morphology of a Genus of Geophytic Cacti. *Int J Plant Sci* **175**:663-680.
- Martínez-Peralta C. 2014c. Evolución de los caracteres florales y reproductivos en el género *Ariocarpus* (Cactaceae): especies raras en peligro de extinción. Tesis de doctorado. Instituto de Ecología-UNAM, México.
- Martorell C & Peters E. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mamillaria pectinifera*. *Biol Conserv* **124**:199-207.
- Pearce J & Ferrier S. 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecol Model* **133**:225-245.
- Phillips SJ, Dudík M & Schapire RE. 2006. Maxent software for modeling species niches and distributions (Versión 3.4.1). http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. 6 de diciembre 2019.
- OGIS Development Team, 2019. OGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rodríguez-Garza R, González-González G, Verde-Star MJ, Morales-Rubio ME, Rivas-Morales C, Oranday-Cárdenas A, Núñez-González MA & Treviño-Neávez JF. 2011. Bioprospección de la actividad antimicótica de extractos metanólicos de *Ariocarpus kotschoubeyanus* y *Ariocarpus retusus*. *Polibotánica* **31**:143-155.
- Rodríguez O. C. E. 2008. Consecuencias demográficas y evolutivas del secuestro de semillas de tres especies del género *Mamillaria*. Tesis de licenciatura. UNAM, México.
- Rosas-Barrera MD & Mandujano MC. 2002. La diversidad de historias de vida de cactáceas, aproximación por el triángulo demográfico. *Cact Suc Mex* **47**:33-41.
- Sánchez ME & Cantú J C. 1999. La guerra de las cactáceas. *Este País* **102**:1-6.
- SEMARNAT. 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.
- TLP. 2019. The Plant List. <http://www.theplantlist.org>. 5 de agosto 2019.
- UNEP-WCMC. 2005. United Nations Environment Programme-World Conservation Monitoring Centre. Wildlife Trade 2005 An analysis of the European Community and Candidate Countries Annual Reports to CITES. UNEP-WCMC, Cambridge, UK. UNEP World Conservation Monitoring, Reino Unido.
- Villavicencio GE, Arredondo Gómez A, Carranza Pérez A, Mares Arreola O, Comparan Sánchez S & González Cortes A. 2010. *Cactáceas ornamentales del Desierto Chihuahuense que se distribuyen en Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León, México*. INIFAP, Saltillo.
- Villavicencio GE, Pérez Carranza A, Gonzáles Cortés A, Valdés Reyna J, Gonzales Hernández C & Arredondo Gómez A. 2013. Manual gráfico para la descripción varietal del chaute (*Ariocarpus retusus* Scheidw.). Cactácea ornamental del Desierto Chihuahuense. Centro de Investigación Regional Noreste, México.

Orientación de las inflorescencias de *Beaucarnea gracilis* Lem. (Ruscaceae)

Vite Fernando^{1*}, Ortíz-Morado David Ulises² & Valverde Pedro Luis¹

Resumen

Se describen la orientación horizontal o acimut, y la orientación vertical o inclinación, de las inflorescencias de 22 individuos de *Beaucarnea gracilis* en la región de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. El acimut de la base de las inflorescencias presenta una media angular significativa hacia el Sur de $183.19^\circ \pm 87.124^\circ$ ($m \pm s_a$), mientras que, en su extremo distal, o punta, ésta es $212.017^\circ \pm 92.709^\circ$ (Suroeste). La inclinación de las inflorescencias es $55.554^\circ \pm 24.697^\circ$ para la base, y $53.968^\circ \pm 26.517^\circ$ para el extremo distal, o punta, pero las medias no difieren estadísticamente. Se discuten los resultados obtenidos para el acimut en términos de la radiación fotosintéticamente activa, la cual se recibe en mayor cantidad del lado sur de una planta ubicada geográficamente en el hemisferio Norte. Para la inclinación de las inflorescencias, la discusión se hace en términos de su optimización para la exposición de las flores a sus polinizadores o, en combinación con el ajuste del acimut de las inflorescencias, durante su desarrollo, a proveer de mejores condiciones de temperatura y humedad para el desarrollo de los óvulos o el polen, o bien para la atracción de polinizadores.

Palabras clave: Acimut, inclinación, inflorescencias, Zapotitlán de las Salinas.

Abstract

We describe the horizontal orientation or azimuth, and the vertical orientation or tilt, of the inflorescences of 22 individuals of *Beaucarnea gracilis* in the Zapotitlán de las Salinas Region, Puebla, Mexico. The azimuth of the base of the inflorescences presents a significant angular mean towards the South: $183.19^\circ \pm 87.124^\circ$ ($m \pm s_a$), while, at its distal end, or tip, it is $212.017^\circ \pm 92.709^\circ$ (Southwest). The inclination of the inflorescences is $55.554^\circ \pm 24.697^\circ$ for the base, and $53.968^\circ \pm 26.517^\circ$ for the distal end, or tip, but the means do not differ statistically. The results obtained for the azimuth are discussed in terms of the photosynthetically active radiation, which is received in greater quantity from the southern side of a plant geographically located in the Northern hemisphere. For the inclination of the inflorescences, the discussion is made in terms of its optimization for the exposure of the flowers to their pollinators or, in combination with the adjustment of the azimuth of the inflorescences, during their development, to provide better temperature conditions and humidity for the pollen and ovules development, or for the attraction of pollinators.

Keywords: Azimuth, inflorescences, tilting, Zapotitlán de las Salinas.

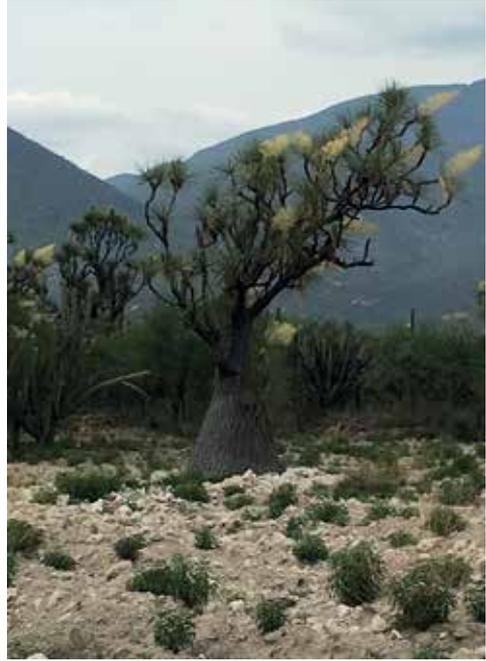
¹ Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, C.P. 09340 Iztapalapa, Ciudad de México.

² Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, C.P. 09340 Iztapalapa, Ciudad de México.

* Correo electrónico: vite@xanum.uam.mx, fernvite@gmail.com

Introducción

Algunas de las respuestas a las restricciones de la condición sésil de las plantas son los tropismos que determinan una orientación horizontal o vertical de sus estructuras vegetativas o reproductivas. La mayoría de los estudios dedicados a la orientación de estructuras en plantas suculentas se han llevado a cabo en cactáceas (Zavala-Hurtado *et al.* 1998, Tinoco-Ojanguren & Molina-Freaner 2000, Figueroa-Castro & Valverde 2011, Ponce-Bautista *et al.* 2017, entre otros). En todos estos casos, el factor ambiental invocado en las explicaciones es la irradiancia solar, o la fracción de la misma conocida como radiación fotosintéticamente activa (PAR, en inglés), la cual se recibe en mayor cantidad del lado sur de una planta ubicada geográficamente en el Hemisferio Norte. Desde luego esto no es simple, pues la cantidad de PAR recibida por la planta entera combina las cantidades recibidas por todas sus superficies fotosintéticas, con diferente orientación e inclinación (y si son hojas, en sus lados adaxial y abaxial), la latitud, el día o temporada del año, entre muchos otros factores. Zavala-Hurtado *et al.* (1998) explican, por ejemplo, la inclinación hacia el noroeste de una cactácea columnar, como una forma de maximizar la radiación solar directa ($MJ\ día^{-1}$) recibida en la superficie fotosintética de su tronco en la época de mayor precipitación y crecimiento, a la vez que minimiza la exposición de sus flores a la alta radiación solar y las altas temperaturas en la época de floración. En los otros estudios, las determinaciones de PAR, en términos de densidad de flujo fotónico (en inglés, PFD, $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) tienen efecto sobre varios rasgos reproductivos.



Valverde PL

FOTO 1. Individuo de *Beaucarnea gracilis* con inflorescencias exhibiendo un patrón de orientación no aleatoria en el Municipio de Zapotitlán, Puebla, México.

Otras plantas, en zonas áridas y semiáridas, hasta cierto punto comparables en porte y frecuencia con las cactáceas columnares y candelabroformes, como son los izotes y los sotolines, han recibido poca atención. En una primera instancia, se podría esperar que las ramas de estas plantas, así como las inflorescencias, que se producen en la parte distal de las mismas, pudieran presentar un arreglo radial, del tronco a la periferia de la copa. Las observaciones de campo que motivaron el presente estudio fueron que, para *Beaucarnea gracilis*, ese no era el caso (Foto 1). Además del acimut, las inflorescencias de *B. gracilis* presentan una cierta inclinación con respecto a la horizontal. Esto no ha sido investigado en suculentas. Fenster *et al.* (2009) han enfatizado la importancia de la inclinación

de las flores como carácter primario para facilitar las actividades de los polinizadores. En particular, para las flores empaquetadas en inflorescencias, se plantea que su orientación horizontal las hace más visibles a sus visitantes que si estuvieran inclinadas hacia arriba, pero debemos reconocer que es complejo entender la relación entre las inclinaciones de las inflorescencias y las de las flores individuales. En este trabajo, nuestros objetivos fueron describir y discutir si las inflorescencias de *B. gracilis* presentan una orientación preferencial hacia el sur, y si el ángulo de inclinación vertical muestra algún patrón o regularidad. Dado que el trabajo de campo lo llevamos a cabo el 7 y 8 de noviembre de 2017, las plantas presentaban infrutescencias y no propiamente inflorescencias. En todo el trabajo nos referiremos a las estructuras como inflorescencias, bajo el supuesto de que su orientación e inclinación no cambian significativamente en el paso de inflorescencia a infrutescencia.

Material y métodos

Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en la región de Zapotitlán de las Salinas (Municipio 209 de Zapotitlán, del Estado de Puebla, México), en una unidad de vegetación bien conservada de matorral xerófilo, denominada sotolinera, precisamente por tener individuos de *Beaucarnea gracilis* (sotolín) los cuales se presentan como una forma de vida conspicua, que emerge de entre una cubierta arbustiva de menor talla. El sitio de trabajo tiene las siguientes coordenadas: 18° 19' 11" N, 97° 29' 28" O, 1520 m snm. De acuerdo con la estación meteorológica más cercana, la temperatura media anual es 21.5 °C y la precipitación total anual 407.8 mm (promedio del período 1951 a 2010, Estación Zapotitlán Salinas,

00021109 del Sistema Meteorológico Nacional; 18° 19' 55" N, 97° 28' 28" O, 1500 m snm, <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL21109.TXT>

Especie en estudio

Beaucarnea gracilis (sotolín, pata de elefante) es una monocotiledónea arborescente de 6 a 12 m de altura, muy ramificada, con hojas en roseta en las puntas de las ramas y tallo de 1.5 a 2.5 m de diámetro ensanchado notablemente en la base (Rivera-Lugo & Solano 2012). Es dioica, con inflorescencias de unos 0.6 a 1 m de largo (Cardel *et al.* 1997). La floración se presenta entre los meses de marzo y agosto, mientras que la fructificación sucede de mayo a enero (Rivera-Lugo & Solano 2012). Es endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán en los estados de Puebla y Oaxaca (Rivera-Lugo & Solano 2012), distribuida en un área de aproximadamente 900 km² (Cardel *et al.* 1997). Su filogenia, relaciones con otros taxa y otros aspectos de *B. gracilis* se investigan en Rojas-Piña *et al.* (2014).

Medidas de campo y análisis

En 22 individuos adultos de *Beaucarnea gracilis* presentes en un área relativamente plana y homogénea, determinamos el acimut (dirección horizontal) y la inclinación (dirección vertical) de la base y la punta de cada inflorescencia (Foto 2). También registramos la altura total (m) y el perímetro de la base del tallo de cada individuo. Con el total de inflorescencias medidas ($n = 249$), calculamos la media angular (m), desviación estándar angular (s_a) y el intervalo de confianza de 95% (IC_{95%}) para el acimut e inclinación de la base y la punta de las inflorescencias por medio de estadística circular (Zar 2010). Utilizamos la prueba de uniformidad de Rayleigh (Zar 2010) para probar si el acimut de la base y la punta de las inflorescencias presenta una orientación preferencial hacia el sur, así



Vite F

FOTO 2. Determinación del acimut y la inclinación de las inflorescencias de *Beaucarnea gracilis* en el Municipio de Zapotitlán, Puebla, México.

como para probar si la inclinación de la base y la punta de las inflorescencias difieren de la horizontal.

Con las medias angulares del acimut e inclinación de la base y la punta de las inflorescencias

de cada individuo ($n = 22$), utilizamos la prueba pareada de Moore para datos circulares (Zar 2010) para probar si el acimut (orientación) de la base y la punta son diferentes, así como para probar si hay diferencias entre la inclinación de

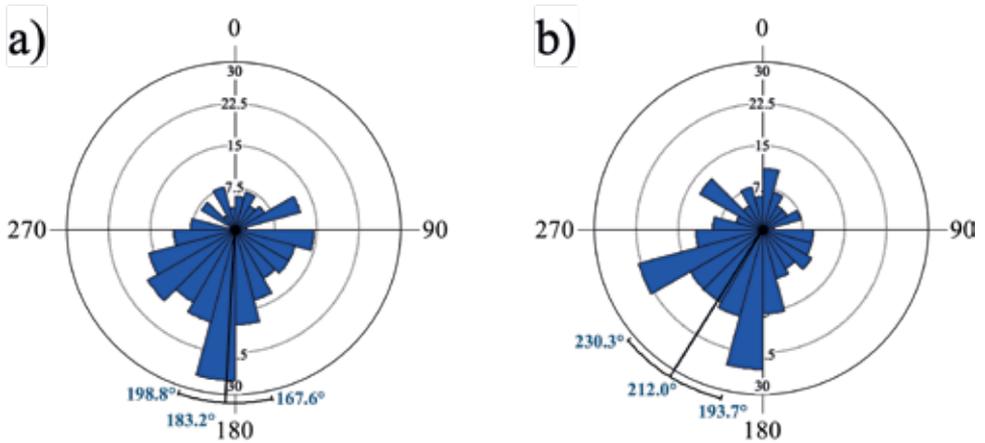


FIGURA 1. Distribución de la orientación horizontal, o acimut, de: a) las bases de las inflorescencias, y b), de sus extremos distales o puntas, de *Beaucarnea gracilis* en Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Se muestran los valores inferiores y superiores de los IC_{95%} y la media angular (m). Hay diferencias significativas entre las orientaciones de la base y la punta de las inflorescencias, de acuerdo con la prueba pareada de Moore (ver texto).

la base y la punta. Los análisis de estadística circular se realizaron con el programa ORIANA v. 4.02 (Kovach 2013). La relación entre la altura de las plantas o su perímetro basal con el número de inflorescencias se exploró mediante análisis de regresión.

Resultados

Las inflorescencias, en su base, están claramente orientadas hacia el Sur ($m \pm s_a$: $183.19^\circ \pm 87.124^\circ$), mientras que, en su extremo distal, o punta, muestran una orientación Suroeste ($212.017^\circ \pm 92.709^\circ$) (Fig. 1). En ambos casos, las pruebas de uniformidad de Rayleigh indicaron que la orientación media de la base como de la punta son significativas ($Z = 24.661$, $p < 0.0001$ y $Z = 18.161$, $p < 0.0001$, respectivamente). Por otro lado, la dirección vertical, de la base y la punta de las inflorescencias, fueron muy similares ($55.554^\circ \pm 24.697^\circ$ y $53.968^\circ \pm 26.517^\circ$, respectivamente; Fig. 2). Nuevamente, las pruebas de uniformidad de

Rayleigh indicaron que la inclinación media de la base y de la punta son significativas ($Z = 206.78$, $p < 0.0001$ y $Z = 200.991$, $p < 0.0001$, respectivamente).

La comparación de las medias angulares de la orientación de las inflorescencias mediante una prueba pareada de Moore resultó en que el acimut de las bases y las puntas de las inflorescencias es significativamente diferente ($R' = 1.425$, $n = 22$, $p < 0.005$). En contraste, las inclinaciones de las bases y las puntas de las inflorescencias no fueron significativamente diferentes ($R' = 0.517$, $n = 22$, $0.5 > p > 0.1$).

Finalmente, el número de inflorescencias por individuo estuvo en el intervalo de 1 a 50, con una media de 11.31 y una desviación estándar $s = 10.46$. Los análisis de regresión no revelaron un efecto significativo de la altura o el perímetro de la base sobre el número de inflorescencias ($b = 1.8015$, $t_{(2),20} = 1.2214$, $p = 0.2361$ y $b = 2.8336$, $t_{(2),20} = 1.8030$, $p = 0.0865$, respectivamente).

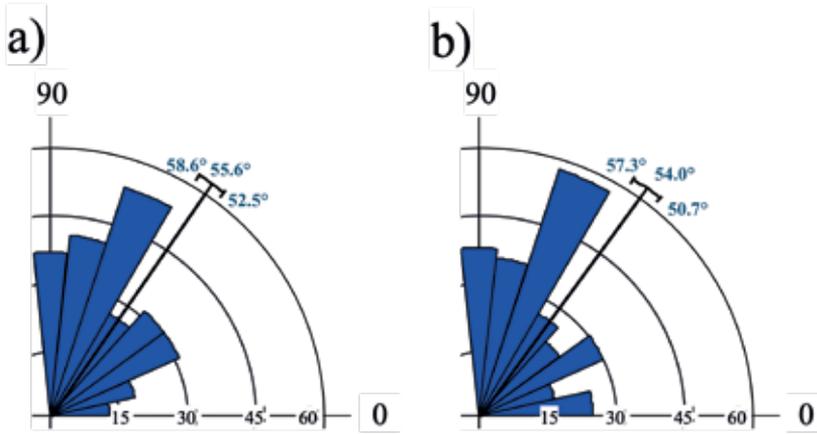


FIGURA 2. Distribución de la orientación vertical, o inclinación, de: a) las bases de las inflorescencias, y b), de sus extremos distales o puntas, de *Beaucarnea gracilis* en Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Se muestran los valores inferiores y superiores de los IC_{95%} y la media angular (m). No hay diferencias significativas entre las inclinaciones de la base y la punta de las inflorescencias, de acuerdo con la prueba pareada de Moore (ver texto).

Discusión

La orientación horizontal, o acimut, de las inflorescencias de *Beaucarnea gracilis* no es aleatoria, como se ha reportado para estructuras reproductivas en diferentes especies de cactáceas (Zavala-Hurtado *et al.* 1998, Tinoco-Ojanguren & Molina-Freaner 2000, Figueroa-Castro & Valverde 2011, Ponce-Bautista *et al.* 2017). Más relacionado con nuestro estudio, por tratarse de una otra monocotiledónea, también del orden Asparagales, y con una forma de vida similar a *B. gracilis*, son los resultados obtenidos en *Yucca brevifolia* (Joshua Tree) por Warren *et al.* (2016). Estos autores reportan una orientación media para las inflorescencias de 184.1°, con un IC_{95%} de 177.7° a 190.4°. Esto se debe en parte a que, si bien las ramas se producen más o menos aleatoriamente en todas direcciones a partir del tronco, las ramas que producen inflorescencias son preferencialmente aquellas orientadas hacia el sur (media 186.3°, IC_{95%} de 175.6° a

195.8°). Su explicación al patrón observado es la mayor disponibilidad de productos de la fotosíntesis aportados por las hojas de las ramas en las que se producen las inflorescencias, así como una mayor oferta de condiciones térmicas favorables para la visita de palomillas nocturnas. Previamente, Rasmuson *et al.* (1994) mostraron que las rosetas de hojas en las ramas estaban preferencialmente orientadas hacia el sur (163°, promedio de la orientación media de 44 individuos, y aprox. 179°, calculado para 399 rosetas, a partir de la Fig. 2A de dicho trabajo). Los autores explican las orientaciones, combinadas con los ángulos de inclinación de las rosetas foliares, por mayores tasas fotosintéticas debidas a la mayor densidad de flujo fotónico (PPFD) del lado sur de las plantas. Apoyan esto, entre otras cosas, con una discriminación de carbono isotópico significativamente menor (13.7%) en rosetas orientadas hacia el sur, comparadas con rosetas orientadas hacia el Norte (14.7%) que explican, en síntesis,

como una mayor capacidad fotosintética de las hojas de las rosetas orientadas hacia el sur. Desde luego, hay otras explicaciones al acimut preferencial observado. Por ejemplo, aunque en flores simples, y además combinado con su inclinación y la transpiración, Patiño *et al.* (2002) explican el acimut de las flores de dos especies de convolvuláceas por su efecto protector del gineceo contra temperaturas dañinas, promoviendo además con ello, una mayor frecuencia de visitas de insectos. Ushimaru *et al.* (2006) muestran que el acimut de las flores de 10 especies de bosque está controlado por la pendiente. En pendientes suaves, las flores se pueden desviar más del acimut de la pendiente, pero se alinean más con el acimut de la pendiente cuando esta es más pronunciada. Debido a que se facilitan las visitas de los polinizadores, el número de semillas sobre fruto son mayores en plantas en pendientes mayores.

Para *Beaucarnea gracilis*, nuestra explicación al acimut de las inflorescencias es que estas se encuentran preferencialmente orientadas hacia el sur por haber sido producidas en ramas con rosetas de hojas también orientadas hacia el sur, las cuales cuentan con más productos de la fotosíntesis, que se transportan más fácilmente a las inflorescencias más cercanas. Esta explicación puede sustentarse por dos trabajos llevados a cabo en cactáceas en la región general de estudio. En el primero, el mayor PAR recibido en los lados sur en *Pachycereus weberi* tiene como efecto el incremento de los siguientes componentes de la función femenina de las flores: número de óvulos/ovarios, de semillas/frutos y peso de las semillas (Figueroa-Castro & Valverde 2011). En el segundo, en *Myrtillocactus geometrizans*, el mayor PAR recibido en el lado sur de

las plantas tiene como efecto una mayor producción de frutos (Ponce-Bautista *et al.* 2017). En estos dos estudios, se parte de una de las suposiciones de la hipótesis de Tinoco-Ojanguren & Molina-Freaner (2000) para explicar la inducción de las areolas para producir flores en acimut sur en *Pachycereus pringlei*, la cual es que no haya transporte de los productos de la fotosíntesis, aun en distancias tan pequeñas, como las que separan las costillas de una misma rama. Warren *et al.* (2016), por otro lado, consideran la orientación sur de las inflorescencias en *Yucca brevifolia* como una estrategia que minimiza el costo energético del transporte de productos de la fotosíntesis de las rosetas de hojas que reciben mayor radiación solar directa. En nuestro conocimiento, no hay estudios sobre las distancias hasta las que pueden transportarse productos de la fotosíntesis en cactáceas, o plantas como *B. gracilis* o *Y. brevifolia*, pero desde hace mucho se sabe que esta distancia es limitada (véase revisión en Watson & Casper 1984).

En el presente estudio, la orientación vertical, o inclinación, de las inflorescencias no difiere si esta se determina en sus bases o en sus extremos distales, o puntas, por lo que podríamos tratar con una sola variable al referirnos a la inclinación. Independientemente de esto, los coeficientes de variación (CV) de la inclinación de las inflorescencias no son muy diferentes de aquellos para el acimut ($CV_{\text{acimut-base}}=48\%$, $CV_{\text{acimut-punta}}=44\%$, $CV_{\text{inclinación-base}}=44\%$, $CV_{\text{inclinación-punta}}=49\%$). Podría suponerse que, al igual que el acimut de las inflorescencias, la inclinación está bajo una fuerte presión de selección por el papel que esta pueda jugar con relación a los visitantes florales. Pero en este punto debemos distinguir entre la inclinación de flores individuales, y las de

las inflorescencias. Para flores individuales, se ha documentado que la inclinación funciona como protección contra la lluvia en flores inclinadas hacia abajo (Tadey & Aizen 2001), o a las altas temperaturas (Patiño *et al.* 2002), o como medio de elevar la temperatura del ambiente del que depende la calidad y desempeño del polen (Galen & Stanton, 2003), y de ello la visita de polinizadores.

Beaucarnea gracilis requiere de insectos para llevar a cabo polinización cruzada obligada. Cardel *et al.* (1997) reportaron 46 especies de insectos voladores que visitaron las inflorescencias de *B. gracilis*, de las cuales 8 eran himenópteros que se alimentan de polen y 4 lepidópteros que se nutren de nectar. Los insectos visitan las flores durante el día, particularmente entre 9:30 y 14:00 h. Y si bien se plantea que *B. gracilis* es generalista como muchas especies dioicas tropicales, con flores pequeñas visitadas por muchas especies de insectos de talla pequeña o mediana, no se sabe con precisión quienes son sus polinizadores genuinos. En contraste, *Yucca brevifolia* es polinizada exclusivamente por dos especies de palomillas, *Tegeticula antithetica* y *T. synthetica* (Royer *et al.* 2016), y la orientación hacia el sur de sus inflorescencias se explica por el efecto favorable de mantener las inflorescencias más cálidas para los polinizadores que emergen por la tarde, y visitan las flores de noche (Warren *et al.* 2016). Zapotitlán de la Salinas se encuentra en la zona intertropical, latitudinalmente muy lejano al Desierto de Mojave, en el que las temperaturas pueden ser muy bajas en ciertos meses del año, sobre todos por la noche. Parece difícil invocar microclimas favorables para los polinizadores de *B. gracilis* como explicación a su inclinación

y acimut. Sin embargo, las temperaturas mínimas normales en la época de floración van de 12 °C (marzo) a 16.2 °C (junio), y las mínimas mensuales en marzo y junio han sido 9.4 °C (1989) y 14.9 °C (en 1994). Extremos históricos han sido 0.9 °C (8 de abril de 1971) y 10 °C (18 de julio de 1989). Datos del período 1951 a 2010, Estación Zapotitlán Salinas, 00021109 del Sistema Meteorológico Nacional; 18° 19' 55" N, 97° 28' 28" O, 1500 m snm, <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales5110/NORMAL21109.TXT>

Hay al menos dos temas abiertos a futuras investigaciones, derivados de los resultados del presente estudio. El primero es: ¿por qué las inflorescencias sufren una torsión durante su desarrollo, que hace que desvíen su acimut promedio, de marcadamente sur (183°), a tendiente al suroeste (212°)? El otro es: ¿por qué la inclinación de las inflorescencias es, en promedio, de unos 55° con respecto a la horizontal? El primer caso es semejante a los resultados obtenidos por Warren *et al.* (2016), en cuanto a que las inflorescencias producidas en ramas Norte, por ejemplo, producen inflorescencias que se desvían más de esa dirección, hacia el sur, comparadas con las inflorescencias producidas en ramas dirigidas hacia el sur. El transporte más fácil de productos de la fotosíntesis, de las hojas a las estructuras reproductivas es insuficiente para explicar la torsión de las inflorescencias en el caso de *Beaucarnea gracilis*. Pero tal vez relacionado con lo anterior, queda por investigarse si la inclinación de aproximadamente 55° de las inflorescencias es óptima para la exposición de las flores a sus polinizadores, o si tal inclinación, en combinación el ajuste del acimut durante el desarrollo de las inflorescencias, de alguna forma provee mejores

condiciones de temperatura y humedad para el desarrollo de los óvulos o el polen, o bien para la atracción de polinizadores.

Literatura citada

- Cardel Y, Rico-Gray V, García-Franco JG & Thien LB. 1997. Ecological Status of *Beaucarnea gracilis*, an Endemic Species of the Semiarid Tehuacán Valley, México. *Conserv Biol* **11**:367-374.
- Fenster CB, Armbruster WS, Dudash MR. 2009. Specialization of flowers: is floral orientation an overlooked first step? *New Phytol* **183**:502-506.
- Figuroa-Castro DM & Valverde PL. 2011. Flower orientation in *Pachycereus weberi* (Cactaceae): Effects on ovule production, seed production and seed weight. *J Arid Environ* **75**:1214-1217.
- Galen C & Stanton ML. 2003. Sunny-side up: flower heliotropism as a source of parental environmental effects on pollen quality and performance in the snow buttercup, *Ranunculus adoneus* (Ranunculaceae). *Am J Bot* **90**:724-729.
- Kovach WL. 2013. ORIANA para Windows v. 4.02. Kovach Computing Services, Gales.
- Patiño S, Jeffree C & Grace J. 2002. The ecological role of orientation in tropical convolvulaceous flowers. *Oecologia* **130**:373-379.
- Ponce-Bautista A, Valverde PL, Flores J, Zavala-Hurtado JA, Vite F, López-Ortega G & Pérez-Hernández MA. 2017. Photosynthetically active radiation and carbon gain drives the southern orientation of *Myrtillocactus geometrizans* fruits. *Plant Biol* **19**:279-285.
- Rasmuson KE, Anderson JE & Huntly N. 1994. Coordination of branch orientation and photosynthetic physiology in the Joshua Tree (*Yucca brevifolia*). *Great Basin Nat* **54**:204-211.
- Rivera-Lugo, M., & Solano, E. 2012. *Nolinaceae Nakai. Flora del Valle de Tehuacán Cuicatlán*. Fascículo 99. UNAM, México.
- Rojas-Piña V, Olson ME, Alvarado-Cárdenas & Eguiarte LE. 2014. Molecular phylogenetics and morphology of *Beaucarnea* (Ruscaceae) as distinct from *Nolina*, and the submerision of *Calibanus* into *Beaucarnea*. *Taxon* **63**:1193-1211.
- Royer AM, Streisfeld MA & Smith CI. 2016. Population genomics of divergence within an obligate pollination mutualism: Selection maintains differences between Joshua tree species. *Am J Bot* **103**:1730-1741.
- Tadey M, Aizen MA. 2001. Why do flowers of a hummingbird-pollinated mistletoe face down? *Funct Ecol* **15**:782-790.
- Tinoco-Ojanguren C & Molina-Freaner F. 2000. Flower orientation in *Pachycereus pringlei*. *Can J Bot* **78**:1489-1494.
- Ushimaru A, Kawase D & Imamura A. 2006. Flowers adaptively face down-slope in 10 forest-floor herbs. *Funct Ecol* **20**:585-591.
- Warren SD, Baggett LS & Warren H. 2016. Directional floral orientation in Joshua trees (*Yucca brevifolia*). *West N Am Nat* **76**:374-378.
- Watson MA & Casper B. 1984. Morphogenetic constraints on patterns of carbon distribution in plants. *Annu Rev Ecol Syst* **15**:233-258.
- Zar JH. 2010. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Zavala-Hurtado JA, Vite F & Ezcurra E. 1998. Stem tilting and pseudocephalium orientation in *Cephalocereus columna-trajani* (Cactaceae): A functional interpretation. *Ecology* **79**:340-348.

Cylindropuntia bigelovii (Engelm.) F.M. Knuth

Nombre común: cholla, teddy bear cholla



Fernando Vite

Especie arbustiva de cerca de 1 m de altura, con un solo tronco largo y bien definido y con ramas cilíndricas cortas y que se extienden lateralmente. Los artículos son de 5 a 20 cm de longitud, a veces casi globosos con tubérculos prominentes y aréolas muy próximas. Espinas de 6 a 10 o más, de 2 a 3 cm de longitud que cubren totalmente el tallo, rodeadas de unas vainas papiráceas de color paja, glóquidas amarillas y pequeñas. Las flores nacen de la punta de las ramas y son de 3 a 4 cm de diámetro con sépalos orbiculares con un tinte rojo y pétalos de color verde amarillento o blancos con un rosado púrpúreo. El fruto es verde y obovoide de unos 2 cm de diámetro, con o sin espinas, con numerosas glóquidas (Bravo Hollis & Sánchez-Mejorada 1978, *Las cactáceas de México*, vol I). Es una especie nativa de Norteamérica que se encuentra en México, California y Arizona en desiertos que van de 30 a 1,100 m snm. Se distribuye en México en el norte de Sonora y Baja California. Los frutos, a menudo, no tienen semillas viables, por lo que la planta se reproduce por lo general mediante el enraizamiento de los tallos cuando éstos se desprenden y caen al suelo. Los tallos también son transportados a mayores distancias al adherirse al pelo de los animales.

De acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) se encuentra en el estatus de “preocupación menor”.