

Informe final* del Proyecto XA008
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 *

Responsable: Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez
Institución: Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Ecología
Correo electrónico mcmandu@miranda.ecologia.unam.mx
Teléfono o fax 5622 9003 Fax: 5616 1976 y 5622 8995
Dirección Av. Universidad # 3000, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México, 04510, México
Fecha de inicio: Abril 3, 2019.
Fecha de término: Junio 5, 2020.
Principales resultados: Informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Mandujano-Sánchez M. del C., Cárdenas Ramos, D. 2020. 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. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. **Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. XA008.** Ciudad de México.

Resumen:

Realizar la evaluación de *Ariocarpus retusus* para determinar su permanencia en el Apéndice I de CITES o su reubicación, considerando la Resolución Conf. 9.24 (Rev. CoP17).

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

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

Ref. Segundo informe técnico. Convenio Específico Núm. DGCI008/XA008/19

Responsable académico: Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez

Técnico de tiempo completo: M. en C. Diana Cárdenas Ramos

Institución: Laboratorio de Genética y Ecología, Depto. Ecología de la Biodiversidad,
Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Dirección: Av. Universidad # 3000, Ciudad Universitaria, Coyoacán, México, Ciudad
de México, 04510, México.

Resumen

Ariocarpus retusus es una especie que pertenece al género *Ariocarpus*, dentro de la familia Cactaceae. Es una especie endémica de México que se distribuye en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. Actualmente las poblaciones silvestres de *A. retusus* se han reducido por barreras biológicas intrínsecas de la especie como distribución geográfica restringida, crecimiento lento y reproducción exclusivamente sexual. La destrucción del hábitat y el saqueo ilegal para su comercio internacional, colocan a esta especie en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). En la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010) de México se encuentra en la categoría “Sujeta a protección especial (Pr)”, y en la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN), el estatus de la especie es *LC* o *Least Concern* (preocupación menor). En este proyecto se realizó el examen de evaluación periódica de *A. retusus* para determinar si de acuerdo con los criterios biológicos descritos en el Anexo I de la Resolución Conf. 9.24 (Rev. CoP17), la especie debe permanecer en el Apéndice I de CITES en el que actualmente se encuentra, o bien, se analizará su enmienda o cambio de categoría con respecto a los lineamientos descritos en el Anexo 6 de dicha resolución. Se aplicó el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) para determinar la permanencia o cambio de categoría de *A. retusus* dentro de la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010); para cumplir este objetivo se requirió información sobre la biología, distribución geográfica (cartografía), demografía (bases de datos) y riesgos conocidos que influyen en las poblaciones de la especie. Se visitó en una sola ocasión 12 localidades conocidas de *A. retusus*, en cada sitio se aplicaron métodos demográficos para determinar el tamaño, densidad y estructura poblacional de la especie. Se incluyeron variables abióticas para modelar con cartografía la distribución potencial actual y futura de *A. retusus*. Con el método desarrollado por Olmos-Lau y Mandujano (2016) se determinó la recurrencia de venta ilegal y legal de la especie vía internet. Se espera que la información de este estudio permita valorar la permanencia o cambio de categoría de *A. retusus* en CITES y en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Índice	
Introducción	1
Antecedentes	1
Objetivos	6
Método	
1. Taxonomía	7
2. Características de la especie	
2.1 Estudio morfométrico	7
2.2 Hábitat	8
2.3 Índice de disturbio crónico	8
2.4 Función en la naturaleza	11
3. Mapas de distribución	
3.1 Área de ocupación	12
3.2 Áreas Naturales Protegidas	17
4. Información poblacional	
4.1 Estructura poblacional	19
4.2 Tamaño poblacional estimado	19
4.3 Tendencias de la población	20
4.4 Tendencias geográficas	20
5. Amenazas	21
6. Uso y comercio	
6.1 Análisis de la información de uso y comercio	22
6.2 Potencial de aprovechamiento sustentable	23
7. Instrumentos legales	24
8. Ordenación de la especie	
8.1 Medidas de gestión y supervisión de la población	24
8.2 Reproducción artificial	25
9. Especies similares	25
10. Conservación	26
B. Evaluaciones de riesgo	26
Resultados	
1. Taxonomía	28
2. Características de la especie	31
2.1 Estudio morfométrico	40
2.2 Hábitat	43
2.3 Índice de disturbio crónico	51
2.4 Función en la naturaleza	56
3. Mapas de distribución	
3.1 Área de ocupación	65
3.2 Áreas Naturales Protegidas	56
4. Información poblacional	
4.1 Estructura poblacional	69
4.2 Tamaño poblacional estimado	71
4.3 Densidad poblacional y tendencias de la población	73
4.4 Tendencias geográficas	77
5. Amenazas	77
6. Usos y comercio	
6.1 Análisis de la información de uso y comercio	85

6.2 Potencial de aprovechamiento sustentable	97
7. Instrumentos legales	103
8. Ordenación de la especie	
8.1 Medidas de gestión y supervisión de la población	107
8.2 Reproducción artificial	108
9. Especies similares	108
10. Conservación	116
B. Evaluaciones de riesgo	118
Referencias	123
Anexo I	139
Anexo 2	141
Anexo 3	144

Introducción

Ariocarpus retusus es una especie que pertenece al género *Ariocarpus*, dentro de la familia Cactaceae. Es un cactus con distribución geográfica restringida, endémica de México, de crecimiento lento y reproducción exclusivamente sexual, que constantemente se extrae de forma ilegal de las poblaciones silvestres. Otras actividades antrópicas tienen efectos negativos sobre la estabilidad y permanencia de la especie, por lo que en 1975 se incluyó 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, 2019a). En México se encuentra en la categoría “Sujeta a protección especial” dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010) y en la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN) es una especie de preocupación menor (LC o *Least Concern*) (Fitz M. y Fitz M. 2017). De manera general, se carece de una evaluación global y cuantitativa del estatus de conservación de esta especie y de los riesgos que enfrenta.

Antecedentes

Ariocarpus retusus (Scheidw) (Cactaceae) es una de las siete especies que conforman el género *Ariocarpus* (Bárcenas *et al.* 2011). El nombre del género proviene del término *Ario* por su semejanza con el fruto de *Aria* (*Pyrus aria* o *Sorbus aria* (L.) Crantz) y de la palabra en latín *carpus* que significa fruto. *Ariocarpus retusus* es llamado comúnmente chaute, chautle, falso peyote, peyote cimarrón, pezuña de venado, peyote brujo o peyote loco y, en otros países se le conoce con el nombre en inglés de *living rock* (roca viva) o *seven stars* (siete estrellas) y con el nombre *myrkottskaktus* en sueco (Anderson 1962, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991,

Batis y Royas 2002, GCC 2019). En este estudio encontramos que además de estos nombres en común, a *A. retusus* se le conoce como cactus estrella. Es una especie endémica de México que se distribuye en las zonas desérticas y semidesértica de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Guzmán *et al.* 2003, Villaseñor 2016), entre los 1 300 y 1 800 msnm, sin embargo, se ha reportado que en algunos municipios de Nuevo León se le encuentra hasta 500 msnm (Flores 2011). Habita sobre colinas calizas y pedregosas, rara vez yesosas con vegetación del tipo matorral xerófilo (Rodríguez-Garza *et al.* 2011).

Ariocarpus retusus es una cactácea subglobosa de apariencia arrosetada que mide 12 cm de alto y de 10 a 25 cm de diámetro. El ápice de la planta presenta muchos tricomas de color amarillo o blanco que en conjunto se denominan como lana. El tallo globoso y carnoso se encuentra parcialmente enterrado en el suelo, y tiene una parte aérea conformada por numerosos tubérculos triangulares dispuestos en espirales, de color verde glauco cenizo o grisáceo. Las flores son de color blanco con tintes rosas y en ocasiones con una línea media rojiza. Los frutos son ovoides y emergen del ápice. La reproducción es exclusivamente sexual, anual y el periodo reproductivo comienza en el otoño. Todas las especies del género *Ariocarpus* son cactáceas con dependencia obligada a la polinización biótica (Martínez-Peralta y Mandujano 2012, Martínez-Peralta *et al.* 2014a). La polinización de *A. retusus* la realizan abejas solitarias del género *Perdita* sp., *Augochlorella* sp. y *Megachilidae* sp., que son atraídas por la disponibilidad de recompensas florales (néctar y polen). La relación planta polinizador-obligada que tiene *A. retusus* es un elemento de riesgo potencial para su permanencia, dado que depende de la presencia de las abejas solitarias para asegurar su reproducción. Además, se ha reportado que hormigas, lepidópteros,

ortópteros y coleópteros consumen las estructuras reproductivas de *A. retusus* (botones y/o flores), evento que reduce el éxito reproductivo de la especie hasta en 2% al año (Anderson 1962, Vázquez-Sánchez *et al.* 1982, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Olguín S. 1994, Martínez-Peralta y Mandujano 2012, Cárdenas-Ramos 2015).

De acuerdo con las características descritas hasta este momento, se puede establecer que *A. retusus* al igual que otras especies de cactáceas, tiene una distribución geográfica restringida, demografía compleja caracterizada por ciclos de vida largos y rasgos biológicos específicos que, en conjunto con las presiones antrópicas, las vuelve altamente vulnerables. Una de las principales causas de pérdida de individuos de *A. retusus* es la extracción ilegal de individuos de vida silvestre. El documento PC11 Doc. 21.2 que México presentó durante la 11ª reunión del Comité de Flora en Langkawi, Malasia (CITES 2001), menciona que *A. retusus* fue la especie de cactácea más anunciada en internet en un periodo de búsqueda de cuatro meses, y el área general de venta principal fue Europa, sin embargo, no se presentaron las cifras exactas de individuos anunciados y comercializados, así como tampoco los destinos de venta. Satisfacer la demanda por internet implica, en muchas ocasiones, la extracción ilegal de individuos reproductivos de poblaciones silvestres, aunque también la recolección ilegal de semillas, actividad que reduce el potencial reproductivo de un individuo y por ende de la población.

En México *A. retusus* se encuentra dentro de la categoría de menor riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010), es decir, “Sujeta a protección especial (Pr)”, que incluye a las especies “que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o, la recuperación y conservación de

poblaciones de especies asociadas” (SEMARNAT 2010). Sin embargo, esta categoría no se encuentra bien definida e incluye a las especies que, debido quizá, a la falta de estudios científicos o de información, se excluyeron de las categorías de “Peligro de extinción (P)” o “Amenazada (A)”. Cualquier especie que pueda ser considerada como vulnerable a causa de los factores extrínsecos puede incluirse en esta categoría, es por ello que esta categoría contiene el mayor número de especies dentro de la norma mexicana (aprox. 44% del total de especies) (García-Aguilar *et al.* 2017). *Ariocarpus retusus* fue incluida en 1975 en el Apéndice II de la CITES y, desde 1992 y hasta la fecha, se encuentra en el Apéndice I junto con el resto de las especies que conforman el género *Ariocarpus* (CITES 2017, 2019a). En el Apéndice I se encuentran incluidas las especies en peligro de extinción cuyas poblaciones silvestres pueden ser afectadas por el comercio internacional, y cuya exportación debe de hacerse sólo bajo circunstancias excepcionales (p. ej., con fines científicos o reproducción en cautiverio); sin embargo, el principal motivo de comercio a otros países es como planta de ornato, que al provenir del país de origen sólo es posible por la vía ilegal o posiblemente cultivo (CITES 2001; Jiménez S. 2011, Meza N. 2011). La exportación legal de *A. retusus* en México requiere un permiso especial CITES expedido por la Autoridad Administrativa que en México está representada por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVs) de la SEMARNAT, y dependiendo del origen de la especie y el propósito de la exportación, pudiera necesitar de un dictamen de extracción no perjudicial emitido por la Autoridad Científica de CITES en México que se encuentra representada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); asimismo, toda exportación sería verificada por la Autoridad de Aplicación de Ley CITES, representada por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) (CITES 2020a).

En la IUCN el estatus poblacional de la especie es *Least Concern* o preocupación menor; aunque se reconoce la extracción ilegal y la agricultura como actividades que amenazan a la especie, sostiene que éstas no representan un riesgo extraordinario para la permanencia de *A. retusus*. Si bien, la IUCN incluye a las especies evaluadas dentro de alguna de sus categorías considerando criterios como tamaño y reducción de la población, distribución geográfica y área de ocupación (continua o fragmentada), para incluir a *A. retusus* en la categoría *Least Concern*, sólo tomaron en cuenta los datos que sugieren que la especie tiene una distribución amplia al encontrarse pequeñas poblaciones distribuidas a lo largo del Desierto Chihuahuense. Sin embargo, no hay información sobre el estatus actual de las poblaciones, las tasas de crecimiento poblacional, la velocidad en la que se produce la pérdida de poblaciones y las causas que ocasionan la pérdida de éstas, además de las ya conocidas actividades antrópicas y la urbanización.

Objetivo general

Establecer la distribución y estado de conservación actual de las poblaciones silvestres de *Ariocarpus retusus*, para determinar su permanencia en el Apéndice I de CITES de acuerdo con los criterios biológicos descritos en el Anexo 1 de la Resolución Conf. 9.24 (Rev. CoP17) o su enmienda, de acuerdo con los criterios listados en el Anexo 6 de dicha resolución. Además, de determinar su permanencia o cambio de categoría en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) a través del Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres en México (MER).

Objetivos particulares

- a) Establecer la estructura, la densidad y el tamaño de las subpoblaciones silvestres de *A. retusus*, así como su distribución actual.
- b) Determinar el disturbio antropogénico crónico (DAC) en los sitios donde se establece la especie.
- c) Proveer información sobre el estado de conservación, aprovechamiento y comercio nacional e internacional de *A. retusus*.
- d) Evaluar la pertinencia de modificar su situación en los Apéndices de la CITES, tomando en consideración la Resolución Conf. 9.24 (Rev. CoP17).
- e) Evaluar la pertinencia de reubicar o excluir a la especie de la Norma Oficial Mexicana, empleando el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción (MER) de la citada Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010).

Método

A. Recopilación bibliográfica

1 Taxonomía. De abril a mayo de 2019 se realizó una búsqueda bibliográfica extensa para elaborar una ficha taxonómica de *A. retusus*, que incluye la sistemática (filogenia molecular) y la nomenclatura científica desde su descripción, hasta la situación actual de la especie, así como las múltiples sinonimias científicas y coloquiales que hacen referencia a la especie en los herbarios nacionales e internacionales.

2 Características de la especie. Entre abril y junio de 2019 se realizó una investigación bibliográfica para elaborar una ficha técnica de *A. retusus*. La ficha incluye las características morfológicas de la especie, desde el color, la forma y el tamaño de las estructuras vegetativas (tubérculos) y reproductivas de los individuos, en este último caso, se incluye información de los botones, flores, frutos y semillas. Las características reproductivas describen el sistema de cruce y de apareamiento, y las estrategias reproductivas la sincronía floral, la dispersión y germinación de las semillas (serotinia). Se describió el ciclo de vida, que en *A. retusus* se refiere a estadios de desarrollo o tallas, y las tasas de crecimiento de cada estadio.

2.1 Estudio morfométrico. De mayo de 2019 a mayo de 2020, se realizó un estudio morfométrico de individuos silvestres de *A. retusus*. Las métricas que se tomaron en cuenta fueron el diámetro (cm), altura (cm) y área (cm²) de la planta, el número de tubérculos por planta, así como el largo y ancho de los tubérculos radiales y centrales. En las salidas de campo (ver más adelante), se tomaron fotografías de los ejemplares disponibles en cada una de las 12 localidades visitadas. Junto a cada individuo de *A. retusus* se colocó una regla de 30 cm como escala de medida o referencia,

posteriormente las fotos se analizaron con el programa *Image J* para obtener las métricas antes mencionadas. De cada métrica se obtuvo el promedio y el error estándar. Adicionalmente, se analizó si el diámetro de los individuos adultos de *A. retusus* difiere entre las localidades, por lo que se realizó una prueba ANOVA de una vía y, en el caso de haber diferencias significativas, pruebas Tukey posteriores (Zar 1984). El análisis se realizó con el software R versión 4.0.0 (R Core Team 2020) considerando el diámetro (cm) de los individuos como la variable de respuesta y, el sitio como factor.

2.2 Hábitat. El hábitat donde se establece *A. retusus* se determinó de acuerdo con los tipos de vegetación de la clasificación de Rzedowski (2006). Se incorporó, además, información sobre ecorregiones, tipos de suelo y provincias biogeográficas de México disponibles en el portal CONABIO. El clima se estableció siguiendo la clasificación propuesta por Köppen y modificada por García (1998); los mapas de tipos de vegetación (escala 1:4000000), ecorregiones (escala 1:1000000), suelo (escala 1:1000000), clima (escala 1:1000000) y provincias biogeográficas (escala 1:1000000) se descargaron del portal CONABIO y se incorporaron como una capa vectorial en el programa QGIS Development Team (2019).

2.3 Índice de disturbio crónico. En 2019 se visitaron 12 sitios de un total de 88 registros de herbario reportados por Aguilar-Morales *et al.* 2011. Los sitios se seleccionaron bajo tres criterios: 1) se eligió al menos un sitio que representará a cada estado de la república mexicana donde se distribuye *A. retusus* (se excluyó al estado de Zacatecas que sólo contaba con un registro); 2) se consideraron como prioritarios los sitios con fácil accesibilidad o cercanía a los caminos y, 3) se eligió una ruta donde

era posible encontrar un conjunto de sitios separados entre sí, no más de 50 km, esto nos permitió visitar varios sitios en un día para maximizar el tiempo y los recursos disponibles en este proyecto. Se utilizó el método propuesto por Martorell y Peters (2005) para determinar el disturbio crónico (ID) presente en los sitios seleccionados y, establecer cuál es el agente de perturbación que más influye en la permanencia de las poblaciones silvestres de *A. retusus*. De acuerdo con lo anterior, se registraron datos de 14 variables de perturbación que, a su vez, se distribuyen en tres agentes de perturbación: Ganadería, Actividades Humanas y Deterioro del hábitat (cuadro 1). Con el fin de determinar cuál de los tres agentes de perturbación tuvo una contribución mayor en el ID, se realizó una sumatoria de los valores de ID obtenidos de las variables de cada agente de perturbación. La contribución se estimó como un porcentaje.

El método para estimar el disturbio crónico consistió en colocar un transecto de 50 m, paralelo a la pendiente (vertical) y otro transecto perpendicular a la pendiente (horizontal), de tal manera que se formara una cruz. En el transecto horizontal se registraron los datos de las siguientes variables: 1) Frecuencia de excretas de cabra (CABR): se observaron aleatoriamente 10 cuadros de 1 m² cada uno a lo largo del transecto, se contabilizó el número de cuadros con presencia de excretas y se registró como una fracción; 2) Frecuencia de excretas de ganado (bóvido y equino) (GANA), se evaluó de la misma manera que el punto uno. 3) Vegetación ramoneada (RAMO), se contabilizó el número total de plantas que cruzan el transecto, y el número de plantas que visualmente se distinguen como consumidas por ungulados (ramoneadas), esta frecuencia se dividió entre el total de plantas que tocan el transecto. 4) Extracción de leña (MACH), se contabilizó el número de plantas con evidencia de cortes por machete y se dividió entre el total de plantas que tocan la línea

del transecto. Los puntos 5 al 7 se realizaron con imágenes satelitales recientes (2019) de la herramienta Google Earth: 5) Proximidad de asentamientos humanos (POBL), se registró como el inverso multiplicativo de la distancia a las ciudades más cercanas. 6) Contigüidad a los núcleos de actividad humana (ADYA): se registró la cantidad de núcleos de actividad humana (cultivos, casas, etc.) que se encuentran a menos de 200 m de los transectos y se estimó como una fracción; 7) Uso de suelo (USOS), se estimó visualmente el porcentaje de terreno modificado; 8) Evidencia de incendio (INCE); se asignó un valor de 1 y 0 cuando se presentaba o se encontraba ausente; 9) Erosión (EROS), aleatoriamente se observaron 20 puntos distribuidos a lo largo del transecto y se registró la evidencia de erosión o degradación de suelo, el resultado se registró como una fracción. 10) Presencia de islas de vegetación (ISLA), donde la vegetación no es continua y se encuentra separada en parches distantes entre sí, al menos un metro; se agregó un valor de 0 y 1 cuando las islas se encontraban ausentes o presentes respectivamente; 11) Compactación del suelo (COMS), se enterró a 4 cm del suelo un tubo de PVC de 10 cm de diámetro, posteriormente se vertió 250 ml de agua y se registró el tiempo que tarda el agua en filtrarse por completo, este procedimiento se realizó sobre un camino y sobre suelo no compacto, el resultado se registró como una relación entre ambos tiempos. En el transecto vertical se evaluó 1) Densidad de senderos ganaderos (CAMG): se contabilizó el número de caminos menores a 1 m de ancho, que cruzan el transecto; 2) Superficie de senderos humanos (CAHU): los caminos humanos suelen ser más grandes que los caminos ganaderos, es por ello que consideramos un camino humano, como aquel que midiera más de un metro de ancho. Se midió la cobertura total del camino y se dividió entre la distancia total del transecto (50 m).

Para calcular el índice de disturbio (ID) para cada sitio, los valores obtenidos de cada variable, se sustituyeron en la siguiente fórmula (Peters R. y Martorell 2001):

$$\text{ID} = (-3.41 \text{ CABR}) - (-1.37 \text{ GANA}) + (27.62 \text{ RAMO}) + (49.20 \text{ CAMG}) - (1.03 \text{ COMS}) + (41.01 \text{ MACH}) + (0.12 \text{ CaHU}) - (24.17 \text{ POBL}) + (8.98 \text{ ADYA}) + (8.98 \text{ USOS}) - (0.49 \text{ INCE}) + (26.94 \text{ EROS}) + (17.97 \text{ ISLA}) + (26.97 \text{ STOM}) + 0.2$$

Cuadro 1. Agentes y variables de perturbación evaluadas en los sitios donde se establece *Ariocarpus retusus*.

Agente	Variable de perturbación	Abreviatura
<i>Ganadería</i>	Densidad de excretas de cabra	CABR
	Densidad de excretas de ganado bovino o caprino	GANA
	Plantas ramoneadas por el ganado	RAMO
	Caminos ganaderos	CAMG
	Compactación del suelo	COMS
<i>Actividades humanas</i>	Plantas macheteadas	MACH
	Evidencia de incendios	INCE
	Superficie de caminos humanos	CAHU
	Cercanía con poblaciones o ciudades	POBL
	Adyacente a núcleos de actividad humana	ADYA
	Cambio de uso de suelo	USOS
<i>Deterioro del hábitat</i>	Erosión	EROS
	Islas de vegetación	ISLA
	Superficie completamente modificada	STOM

Una vez que se estimó el índice de disturbio, se realizó una correlación no paramétrica de Spearman que relacionó la densidad poblacional de *A. retusus* y el índice de disturbio crónico calculado para cada sitio.

2.4 Función en la naturaleza. Se explorará la función de la especie en el ecosistema construyendo una red de interacción con sus polinizadores, herbívoros y florívoros, con datos bibliográficos de las especies involucradas y su frecuencia en estas interacciones (Guimarães Jr. y Guimarães 2006).

3 Mapas de distribución

Se elaboró un modelo de idoneidad del hábitat o distribución potencial actual de *A. retusus* con el algoritmo de máxima entropía MaxEnt (Phillips *et al.* 2006), variables climáticas estándar de temperatura y precipitación de BIOCLIM (Worldclim ver <https://worldclim.org/bioclim>) a una resolución de 30 s y registros de presencia de la especie. Con el fin de reducir la colinealidad o redundancia 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 (2019). Esta base de datos compila información de los siguientes herbarios: Arizona State University Biocollections, United Herbaria of the University and ETH Zurich, National Museum of Natural History (Smithsonian Institution), Missouri Botanical Garden, Botanic Garden Meise, Royal Botanic Gardens (Kew) y el Herbario Nacional de México (MEXU); registros observacionales de la plataforma Naturalista (CONABIO), Código de barras genético de cinco grupos críticos de la flora de México (Gernandt 2018) y la Lista florística preliminar de Tamaulipas (González-Medrano 2018). De la base de datos descargada se eliminaron los registros repetidos, datos con coordenadas geográficas fuera del área de distribución natural de la especie (registros no pertenecientes a México), datos menores al año 1900 y registros con coordenadas geográficas incompletas, esto con el fin de garantizar la precisión de la información. Se utilizó el software R versión 4.0.0 (R Core Team 2020) para eliminar los datos cuyas coordenadas geográficas se sobrelaparan 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 la misma localidad o población de *A. retusus*. Al final, la base de datos que se utilizó para modelar la distribución potencial de *A. retusus* contenía 126 registros.

Se realizaron mapas de distribución potencial futura considerando dos escenarios de cambio climático RCP 4.5 (escenario conservador) y RCP 8.5 (escenario extremo) o, trayectorias representativas de concentraciones (RCP por sus siglas en inglés). 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 futuras se realizaron para el año 2050, y se utilizó el modelo francés CNRM-CM5 y el modelo estadounidense GFDL-CM3 que se han probado para México (Fernández E. *et al.* 2015). De cada modelo (actual y futuros) se corrieron diez replicas, 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 y Ferrier 2000). Los mapas de distribución obtenidos, se transformaron a un modelo binario (presencia/ausencia) con el programa QGIS Development Team (2020) y, se calculó el área (km²) que ocupa la especie con la herramienta *Field Calculator* de dicho programa.

A partir del área de distribución potencial actual estimada para *A. retusus*, se calculó la cantidad de terreno (km²) que hasta 2017, se ha desmontado o se encuentra destinado para alguna actividad económica. El cálculo se obtuvo al sobreponer el

mapa de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI (2017) (escala 1:250 000) y, el polígono que delimita el área de distribución potencial actual de *A. retusus* estimado en este estudio. Del mapa de INEGI, sólo se contabilizó el área de extensión (km²) de las categorías “Ciudades Importantes” y “Manejo agrícola, pecuario y forestal”, ya que las consideramos como indicativos de cambio de uso de suelo. La categoría “Manejo agrícola, pecuario y forestal” incluye a la agricultura de temporal, de riego, de humedad, pastizal cultivado, bosque cultivado y acuícola como parte del manejo agrícola; el manejo pecuario incluye a la ganadería intensiva y extensiva y, el manejo forestal se refiere a las plantaciones de especies forestales (INEGI 2015).

3.1 Área de ocupación. Se aplicó el Método Cartográfico por Conglomerados (CMC) propuesto por Hernández y Navarro (2007) para estimar el área de ocupación (AO) de *A. retusus*, definida como el área al interior de la extensión de ocurrencia, la cual es ocupada por el taxón.

El método consiste en graficar los puntos de presencia de la especie, los mismos registros que se utilizaron para el mapa de distribución potencial (126 registros de presencia). Con el software PASSAGE se unieron los pares de puntos más cercanos, sin formar bucles, y al final se obtuvo un árbol de expansión mínima o mínimas distancias (Rapoport 1975). El árbol resultante se incorporó como una capa en el programa QGIS Development Team (2020) y con la función matriz de distancias, se calculó la distancia de un punto al próximo más cercano de todos los puntos del árbol. Se sumaron las distancias totales y se dividió entre el total de líneas para obtener la media y, posteriormente calcular la desviación estándar. A cada punto se agregó un buffer circular del tamaño de la media (0.1343 grados), con un anillo del tamaño de la desviación estándar (0.1147 grados). Los puntos de presencia o buffers de *A. retusus*

que se encontraban aislados o que no superponían con otros puntos, se consideraron como satélites y, los puntos de presencia que se encontraban juntos y se sobreponen se consideraron como conglomerados. Se obtuvieron un total de 11 conglomerados y nueve satélites (figura 1), para cada satélite se consideró un área constante de 2 km² y para los conglomerados se estimó el área por separado con el método cartográfico. El método cartográfico consiste en medir la distancia entre los puntos más distantes dentro de cada conglomerado, el 10% de la distancia resultante define el tamaño de celda de cada conglomerado. Por ejemplo, la distancia entre el punto 85 y 80 (color verde fuerte) es 11.51 km, el 10% de la distancia es 1.151 km, por lo que el tamaño de cada celda será $1.151 \times 1.151 = 1.32 \text{ km}^2$; la distancia entre el punto 73 y 61 (color morado) es 50.712 km, el 10% es 5.0712 km y el tamaño de la celda es 25.71 km², resultado de multiplicar 5.0712×5.0712 . Al final, se sumó el área de cada celda donde se registra la especie y se obtuvo el área total que ocupa la especie.

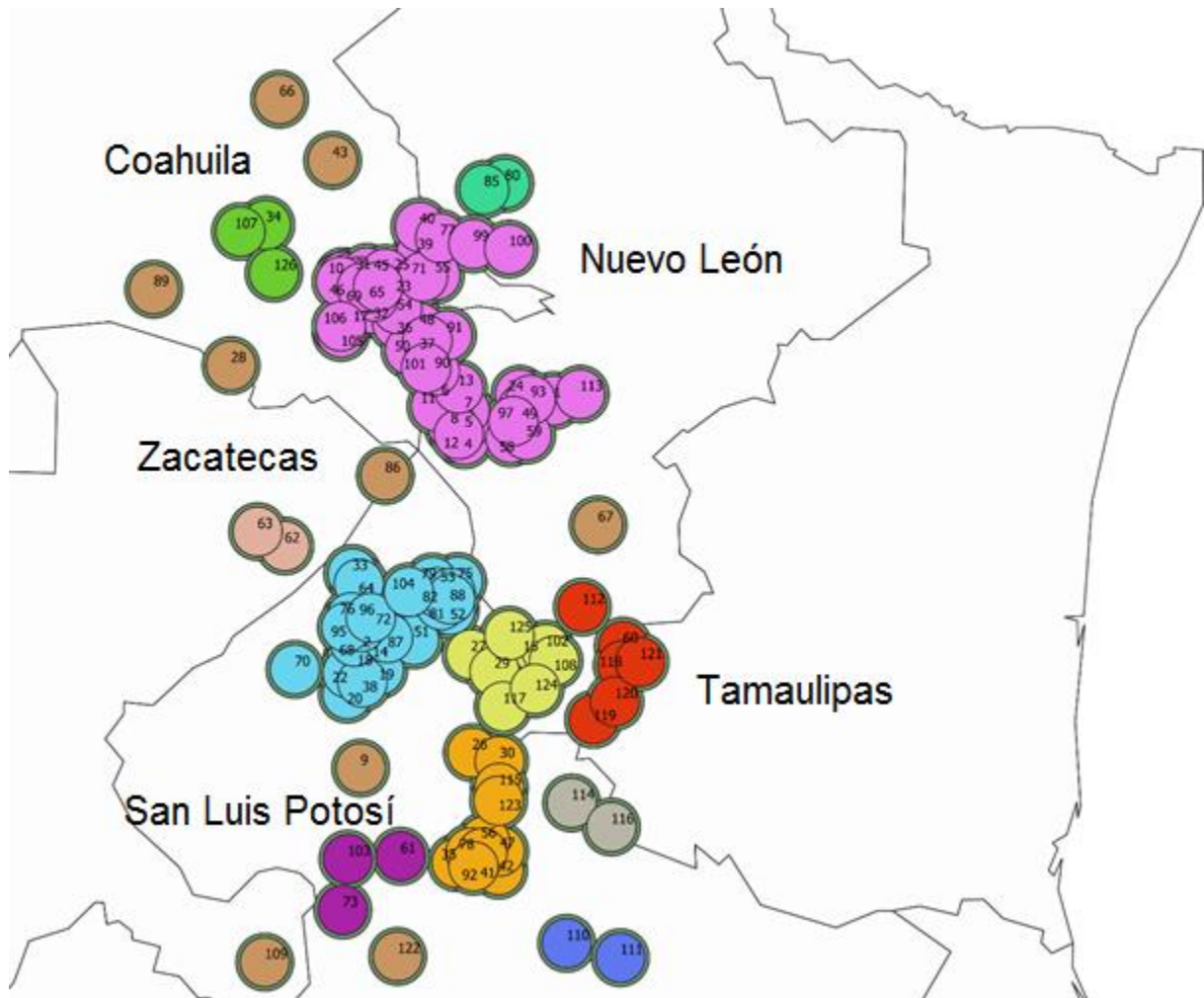


Figura 1. Se observa en color café claro los satélites y en colores, los 11 conglomerados establecidos a partir de los puntos de presencia de *Ariocarpus retusus* (126 puntos) siguiendo el Método Cartográfico por Conglomerados (CMC).

Extensión de presencia (EOO) y área de ocupación (AOO)

Uno de los criterios más evaluado en la IUCN es el B, que se refiere a la distribución geográfica de una especie (Dauby *et al.* 2017). El criterio B está conformado por dos subcriterios, B1 que evalúa la extensión de presencia de una especie (EOO) y, el B2 que determina el área de ocupación de una especie (AOO). El criterio B, también está conformado por tres condiciones que se refieren a la fragmentación y reducción de las poblaciones (IUCN 2012). Dauby *et al.* (2017) desarrollaron una paquetería de R

denominada ConR que permite calcular el EOO, AOO, el número de subpoblaciones siguiendo el método del búfer circular y, el número de ubicaciones, definida como el área geográfica en donde un sólo evento amenazante (p. ej. minería, deforestación, caza furtiva), puede afectar a todos los individuos del taxón. ConR además, realiza una asignación preliminar de la especie evaluada y, sugiere su inclusión en alguna de las categorías de riesgo de la IUCN: *LC* o preocupación menor, *NT* o casi amenazado, *VU* vulnerable, *EN* o en peligro de extinción y *CR* en peligro crítico. Las ventajas de este método es que sólo requiere de registros de presencia de la especie como datos de entrada y agiliza las evaluaciones del criterio B de la IUCN (Dauby *et al.* 2017).

Con los registros de presencia de *A. retusus* (126 registros), se estimó el EOO y el AOO con el paquete ConR del software R versión 4.0.0 (R Core Team 2020). Los parámetros incluidos en la función de ConR fueron los siguientes: celdas de 10 km para estimar el número de ubicaciones y, celdas de 3 km para estimar el AOO, este último criterio se estableció de acuerdo con las características biológicas de la especie (p. ej. baja dispersión) y, las observaciones realizadas durante el trabajo de campo, durante el cual observamos que la extensión de las subpoblaciones no excedía los 3 km; el resto de los parámetros de la función no fueron modificados.

3.2 Áreas Naturales Protegidas. Con el fin de determinar que porción del área de ocupación (AO) de *A. retusus* se encuentra resguardada por algún área natural protegida (ANP), se incorporó el mapa de áreas naturales protegidas de CONANP de 2019 (escala 1:250 000) y los puntos de presencia de *A. retusus*. Siguiendo el Método Cartográfico por Conglomerados (CMC) de Hernández y Navarro (2007), se identificaron los conglomerados, previamente establecidos en la sección anterior, donde se sobreponen los puntos de presencia de *A. retusus* y la extensión de la ANP.

En este caso, todos los puntos se encontraron dentro de un sólo conglomerado (color lila), cuyo tamaño de celda es 187.35 km². Para obtener el área, para cada ANP se sumó el área de las celdas donde se registra la especie.

4 Información poblacional

Trabajo de campo. Para estimar el tamaño poblacional actual de la especie, se realizará una visita única a los sitios con registro de herbario de *A. retusus* y, coordenadas de ubicación geográfica completa (minutos, grados y segundos) que están distribuidos en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas (registros geográficos de Aguilar-Morales *et al.* 2011). Las visitas se iniciaron en el mes de mayo (5 sitios visitados), junio (10 sitios visitados) y octubre de 2019 (6 sitios); en los sitios visitados se realizaron entrevistas a los pobladores para obtener información relacionada a la especie. Visitar el sitio donde se establecen las poblaciones permitió corroborar la presencia o ausencia de las poblaciones, la situación actual en la que se encuentran y posibles registros nuevos en zonas aledañas. Cada localidad que se visitó fue georreferenciada y se realizaron censos rápidos para contabilizar el número de individuos presentes y, posteriormente estimar la densidad poblacional, abundancia y estructura de tallas de los individuos. Para cumplir con este objetivo en el área ocupada de cada población, se tomaron 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, se midió cada individuo y se registró si el individuo era reproductivo o no, esto en función de la presencia de botones, flores, frutos, restos florales y/o semillas (Mandujano *et al.* 2007, Cárdenas-Ramos 2015). La densidad poblacional se estimó para cada localidad o subpoblación, ésta se estableció como el número de individuos contabilizados por localidad, entre el área total muestreada (50

m²). Finalmente, se tomó un registro fotográfico de cada individuo de *A. retusus* (sección Estudio morfométrico) y de la vegetación circundante del sitio donde se establece la especie.

4.1 Estructura poblacional. La estructura poblacional de *A. retusus* se estableció como categorías de tamaño, ya que permiten conocer el ciclo de vida de la especie, los eventos demográficos que más influyen dentro de la población (crecimiento, reproducción y supervivencia), los individuos que producen más estructuras reproductivas o las categorías de tamaño más vulnerables (Caswell 2001, Briseño S. 2016). En *A. retusus* se establecieron siete categorías de tamaño considerando el diámetro de los individuos como una medida que indica el crecimiento. Las categorías son las siguientes: 1) Plántula: individuos menores a 3 cm de diámetro, de reclutamiento reciente, no reproductivos; 2) Juveniles: individuos entre 3.1 y 6 cm de diámetro, no reproductivos. La categoría de Adultos se dividió en cinco y sólo incluye individuos reproductivos: Adultos 1 (6.1-9 cm diámetro), Adultos 2 (9.1-12 cm), Adultos 3 (12.1-15 cm), Adultos 4 (15.1- 18 cm) y Adultos 5 (18.1-21 cm). La categoría Adultos se subdividió en cinco puesto que la producción de estructuras reproductivas entre los individuos de las categorías es distinta, los de la categoría uno, producen una sólo flor y los individuos de la categoría Adultos 5, pueden producir hasta cinco o seis estructuras reproductivas por año.

4.2 Tamaño poblacional estimado. El tamaño poblacional de *A. retusus* se calculó al multiplicar el promedio de individuos por sitio, por el total de puntos de presencia de la especie (126 puntos). El promedio de individuos se obtuvo al sumar la frecuencia

de individuos registrado por sitio y dividiéndolo entre 12, que es el número de sitios visitados.

4.3 Tendencias de la población. Se realizó una búsqueda de información bibliográfica sobre eventos que produjeron la pérdida de poblaciones o ejemplares de forma atípica o que, de acuerdo con su magnitud, pudieron representar un impacto negativo en la población. Considerando estos factores de riesgo, se contabilizó el número de ejemplares o poblaciones que se perdieron, incluyendo los ejemplares que se extraen de vida silvestre y, se restaron del total de individuos de *A. retusus* (tamaño poblacional estimado para el año 2019).

Se calculó la tasa de pérdida de poblaciones (Tp) de *A. retusus*, como una relación entre el número de poblaciones silvestres reencontradas al finalizar el trabajo de campo en 2019 y, el número inicial de puntos de registro de *A. retusus* ($n = 126$ registros). Valores de (Tp) mayores a 1 indican que el número de poblaciones se incrementa, un valor de (Tp) igual a 1, sugiere que el número de poblaciones se mantiene y un valor de (Tp) menor a 1 indica que el número de poblaciones se reduce. Se cuantificó el número de poblaciones que se perderían en el año 2050, esto a partir de los mapas de distribución potencial en escenarios de cambio climático; a este dato se sumó el número de poblaciones no encontradas durante el trabajo de campo de 2019. Con esta información se calculó la tasa de pérdida de poblaciones futura de *A. retusus*, como una relación entre el número de poblaciones que se perderían en el futuro y, el número de registros actuales de presencia de la especie (126 registros).

4.4 Tendencias geográficas. Se estimó la tasa de pérdida de hábitat (Th), como consecuencia del cambio de uso de suelo. Este objetivo se logró al sobreponer el

polígono de área de distribución potencial actual de *A. retusus* y, el mapa de Uso de suelo y Vegetación de INEGI del año 2009 y 2017, ambos en escala 1: 250 000. Se determinó la proporción del terreno (en km²) que se ha desmontado, que se encuentra destinado para alguna actividad económica incluida la ganadería, agricultura o el asentamiento de poblaciones humanas. La tasa se estimó como una relación entre el área (en km²) que se encontraba destinada a las actividades económicas en 2017 y el área (en km²) destinada en 2009. Valores de (*Th*) mayores a 1 indican que la conversión del suelo hacia las actividades económicas se incrementa con el tiempo y un valor de (*Tp*) igual a 1, sugiere que a través del tiempo el área destinada a las actividades económicas se mantiene estable.

5 Amenazas

Con el objetivo de estimar la cantidad de semillas, plántulas, juveniles e individuos adultos de *A. retusus* que se comercian vía internet, se realizó una búsqueda de páginas web nacionales e internacionales en la plataforma <https://www.google.com>. Además, se realizó una búsqueda en Instagram, Facebook, Amazon, Mercado libre y blogs para detectar la venta informal de ejemplares, es decir, aquellos que son vendedores independientes y que no tienen una tienda establecida. Se ha reportado que Alemania, Estados Unidos, Francia, Inglaterra e Italia son los países que se encuentran más interesados por adquirir un ejemplar de *A. retusus*, además de México, es por ello que la búsqueda en línea se realizó en el idioma español, inglés, francés, italiano y alemán. Por ejemplo, en inglés se incluyeron palabras como *buy*, seguidas del nombre completo de la especie *Ariocarpus retusus* y/o el nombre común (*living rock* en inglés) (Olmos-Lau y Mandujano 2016). La recopilación de información

se realizó de octubre de 2019 a febrero de 2020 y sólo se incluyeron los datos de ejemplares que se encontraban a la venta durante este periodo de tiempo.

Con la información se construyó una tabla que contenía el nombre de la tienda, en el caso de Instagram y Facebook, sólo se indicó que correspondía a esta plataforma y no se incluyó el nombre del perfil. También se especificó el país al que correspondía la página web, el precio de venta, la cantidad de ejemplares que ofrece, el ciclo de vida los individuos (estadio de desarrollo), estructuras que se comercializan (flores, frutos, semillas) y la presencia o ausencia de permisos nacionales (SEMARNAT) e internacionales (CITES) (Olmos-Lau y Mandujano 2016). Cuando no se encontró información visible sobre los permisos, se contactó directamente con la tienda o vendedor.

6 Uso y comercio

6.1 Análisis de la información de uso y comercio. Se investigó el uso principal de la especie y la procedencia de los ejemplares a nivel nacional e internacional. Se recopilaron datos oficiales de México de espacios ilícitos y acreditados (UMA, PIMVS, viveros u otras) que se dediquen a la venta de ejemplares; la búsqueda se realizó para el periodo 2001-2018. Con los datos se construyó una tabla con los siguientes datos: tipo de unidad de manejo (UMA o PIMVS), nombre, clave de registro, estado de la república donde se encuentra establecida, fecha de otorgamiento del permiso y número de ejemplares de *A. retusus* que resguardan. Es importante mencionar que algunas UMA y PIMVS registraron ante la DGVS variedades y subespecies de *A. retusus*, tal como la subespecie *furfuraceus*, la variedad *elongatus*, *scapharostroides*, *tablas*, *Sierra paila* y *La luz*, sin embargo, en este trabajo se consideraron como sinónimos de *A. retusus*, excepto *Ariocarpus retusus* sp. *trigonus*, que de acuerdo con la

clasificación de Bárcenas *et al.* (2011), es considerada una especie distinta de *A. retusus*. Se conocerá el estatus poblacional de los individuos ubicados en espacios destinados para la conservación, por ejemplo, una UMA o unidad de manejo para la conservación de la vida silvestre. La información demográfica se comparará con los datos poblacionales de los 12 sitios que visitamos durante el trabajo de campo y, que se encuentran fuera de los perímetros de las áreas destinadas a la protección de flora y fauna.

Los registros de espacios ilícitos de venta, se obtuvieron de la base de datos recopilada sobre la venta en internet de *A. retusus*; se consideró como ilegal a aquellas personas o tiendas que no disponen de un vivero y/o permiso y, que oferten ejemplares adultos, que claramente son extraídos de vida silvestre. En el plano internacional se realizó una investigación en la Base de Datos de Comercio CITES, del Centro Mundial de Monitoreo de la Conservación UNEP-WCMC, perteneciente al Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA). De esta base de datos, se descargó información sobre el propósito y origen de las transacciones comerciales, el nombre de los países involucrados en la importación y exportación de *A. retusus*, el año en el que se realizaron las transacciones comerciales, la frecuencia de ejemplares y tipos de estructuras comercializadas: planta viva, planta seca, semillas u otro.

6.2 Potencial de aprovechamiento sustentable. Con la información compilada sobre biología y ciclo biológico de la especie, se formularon recomendaciones para el uso y comercio sustentable de las poblaciones silvestres, y se identificaron elementos clave para la elaboración de NDF (dictámenes de extracción no perjudicial) de *A. retusus* (p. ej. tallas de los individuos reproductivos en vida libre y en cautiverio, tasas de germinación, supervivencia y mortalidad, peso y volumen de individuos, densidad

poblacional, etc.). Entre abril y julio de 2019 se recopiló información sobre el ciclo de vida, biología y tasas de crecimiento de *A. retusus*, así como de las condiciones adecuadas para la germinación y propagación de *A. retusus*. En agosto de 2019 se montó un experimento de germinación de semillas que aún se encuentra activo.

7 Instrumentos legales

a) Nacionales: Se revisaron los lineamientos, objetivos, alcances y las condiciones bajo las cuales la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010) protege indirecta (protección de la tierra y el agua) o directamente a *A. retusus*. Se buscó información sobre cómo actúa la autoridad ante la extracción y venta ilegal de la especie en México y se determinó si la aplicación de las leyes actualmente garantiza la permanencia de las poblaciones silvestres de *A. retusus* considerando las crecientes presiones humanas. La información se recopiló de PROFEPA y DGVS, instituciones encargadas de verificar y emitir, respectivamente, los permisos o autorizaciones para importar, exportar o reexportar ejemplares, partes y derivados de especies silvestres.

b) Internacionales: Es necesario conocer la forma de actuar de CITES como instrumento regulatorio del comercio ilegal de la especie. Se determinó si de acuerdo a sus reglas operacionales actuales, garantiza la permanencia de *A. retusus* en su área de distribución natural.

8 Ordenación de la especie

8.1 Medidas de gestión y supervisión de la población. Se realizó una búsqueda nacional sobre instituciones o programas que realicen manejo (p. ej. UMA, PIMVS) o conservación de *A. retusus*. Se detalló si los ejemplares cuentan con permiso expedido por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS), los alcances y lineamientos

del permiso (aprovechamiento extractivo o no extractivo, entre otros), la procedencia y destino de los ejemplares de *A. retusus*, y las ventajas y desventajas que la extracción y reintroducción, si ese fuera el caso, tienen para la población silvestre. Se detalló las características biológicas de los individuos que se utilizan en los programas de manejo o conservación, como ciclo de vida. Se evaluó si las medidas preventivas internacionales y nacionales evitan la extracción y exportación ilegal de la especie fuera de su área de distribución nacional.

8.2 Reproducción artificial. Se realizó una búsqueda de sitios acreditados e ilícitos que se encargan de propagar a la especie con fines de venta, la información se obtuvo de la DGVS. Se incluyó la búsqueda de sitios que utilizan técnicas de germinación (cámara de ambiente controlado) o de propagación con tejidos *in vitro*.

9 Especies similares

Entre junio y julio de 2019, se realizó una recopilación bibliográfica sobre las características morfológicas de *A. retusus* (forma, tamaño, color, apariencia de los tubérculos, flores, frutos, semillas, época reproductiva y distribución) que la diferencian de otras especies de cactus globosos con los que puede confundirse en estados juveniles, incluidas las seis especies del género *Ariocarpus*. Las especies del género *Ariocarpus* que se consideraron en este estudio fueron el peyote (*Ariocarpus agavoides*, *A. bravoanus* y *A. fissuratus*), pata o pezuña de venado (*A. kotschoubeyanus*), orejitas (*A. scaphiostriis*) y chaute (*A. retusus* y *A. trigonus*) reconocidas dentro de la clasificación de Bárcenas *et al.* (2011). Las fuentes de información consultadas son Anderson (1967c), Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991), Martínez-Peralta y Mandujano (2012) y Ortega 2004. Se realizó una revisión

filogenética sobre géneros hermanos de *A. retusus*. Las especies se enlistaron de acuerdo al nombre científico, sinonimias y las características morfológicas y biológicas que las diferencian de *A. retusus* (Aguilar-Morales *et al.* 2011, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991).

10 Conservación

Se recopiló información bibliográfica de programas dedicados a la conservación de *A. retusus* en su área de distribución natural. Se especificó si la protección es específica para la especie o a través de la protección indirecta de los recursos naturales (el agua y/o la tierra) o de otras especies silvestres prioritarias. Se describió el tipo de programa de conservación que es, como favorece a la especie, los objetivos y alcances. De ser el caso, se realizarán sugerencias puntuales sobre cómo podría mejorarse.

B. Evaluaciones de riesgo:

a) CITES: Se examinaron los criterios establecidos en los Apéndices de la CITES, específicamente el Apéndice I en el cual se incluye a *A. retusus*. Se revisaron los instrumentos utilizados por la CITES para mitigar el comercio ilegal de esta especie, incluyendo la expedición de permisos.

b) NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010): Se realizó la evaluación de *A. retusus* con el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de especies silvestres (MER) descrito en el Anexo Normativo II de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010). La evaluación exitosa de la especie requiere el conocimiento de la siguiente información: distribución espacial en México, el estado actual del hábitat con respecto al desarrollo natural de la especie, vulnerabilidad biológica e impacto de las actividades económicas sobre la población de *A. retusus*. Con esta información se determinó la

permanencia o modificación de la categoría de riesgo en la que actualmente se encuentra *A. retusus* “Sujeta a protección especial (Pr)” en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010).

c) IUCN: Con base en la información compilada en este estudio y en los criterios de la lista roja de la IUCN, se realizaron sugerencias, comentarios u observaciones que contribuyan a determinar si *A. retusus* actualmente se encuentra en la categoría adecuada (*Least Concern*).

Resultados

1 Taxonomía. Grado de avance: Completo.

Clasificación de *Ariocarpus retusus* Scheidw

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Caryophyllales
Familia:	Cactaceae
Subfamilia:	Cactoideae
Tribu:	Cacteae
Subtribu:	Thelocactinae
Género:	<i>Ariocarpus</i>
Especie:	<i>Ariocarpus retusus</i> Scheidw, 1838

El género *Ariocarpus* es un grupo monofilético, es decir, las especies que conforman el género evolucionaron en conjunto a partir de un ancestro común. Se considera endémico del Desierto Chihuahuense, pese a que *Ariocarpus trigonus* y *A. kotschoubeyanus* se distribuyen en sitios con vegetación de transición, remanentes o regiones florísticas adyacentes a este desierto (Aguilar-Morales *et al.* 2011). El nombre del género proviene del término *Ario* por su semejanza con el fruto de *Aria* (*Pyrus aria* o *Sorbus aria*) y de la palabra en latín *carpus* que significa fruto (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991). El epíteto *retusus* fue acuñado por Scheidweiler ya que asoció la forma de los tubérculos con las hojas de *Haworthia retusa* (Xanthorrhoeaceae).

El género *Ariocarpus* presenta una gran variabilidad morfológica y una alta diversidad genética, características que complican su clasificación taxonómica y, que han generado que en la actualidad se reconozcan entre cinco y siete especies dentro del género *Ariocarpus*, esto en función de los criterios de cada autor (Almeyda L. *et al.* 2012; Martínez-Peralta *et al.* 2014b). *Ariocarpus agavoides*, *A. fissuratus*, *A. kotschoubeyanus*, *A. retusus* y *A. scaphiostriis* son reconocidas dentro del género

Ariocarpus por Anderson (1964b), Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991), Guzmán *et al.* (2003) y Bárcenas *et al.* (2011). Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991) reconocen además a *A. trigonus*, Anderson (1964b) a *A. bravoanos* y Hunt (2006) y Bárcenas *et al.* (2011) a ambas especies. De acuerdo a la clasificación de Guzmán *et al.* (2003) la especie *A. retusus* tiene tres subespecies: *A. retusus* subsp. *retusus*, *A. retusus* subsp. *scapharostroides* (Halda & Horáček), y *A. retusus* subsp. *trigonus* (F. A. C. Weber), sin embargo, The Plant List (TPL ver <http://www.theplantlist.org/>) considera a las subespecies como sinónimos de *A. retusus*, además de *A. retusus* subsp. *confusus* (Halda & Horáček) Lüthy. La evidencia molecular indica que el género *Ariocarpus* está conformado por siete especies: *Ariocarpus agavoides*, *A. bravoanos*, *A. fissuratus*, *A. kotschoubeyanus*, *A. retusus*, *A. scaphirostris* y *A. trigonus* (Bárcenas *et al.* 2011, Martínez-Peralta *et al.* 2014b). Un estudio filogenético realizado en 2014 sugiere que dentro del género *Ariocarpus* se pueden definir claramente dos clados, el primero formado por *A. bravoanos*, *A. fissuratus* y *A. scaphirostris*; el segundo clado incluye a *Ariocarpus agavoides*, *A. kotschoubeyanus*, *A. retusus* y *A. trigonus* (Martínez-Peralta *et al.* 2014b).

Actualmente el nombre científico que se acepta por el Herbario Nacional de México (MEXU) y por Global Compositae Checklist (ver <https://www.gbif.org/species/3084099>) y The New York Botanical Garden (NYBG ver <https://www.nybg.org/>) a nivel mundial es *Ariocarpus retusus* Scheidw. Los sinónimos o nombres científicos que en su momento se aceptaron para referirse a la especie son (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991):

- Anhalonium prismaticum* Lemaire**, Cact. Gen. Nov. Sp. 1, 1839.
- Anhalonium retusum* Salm-Dyck**, Cact. Hort. Dyck. 1849 5 et 77, 1850.
- Anhalonium elongatum* SD.** Cact. Hort. Dyck. 1849 5 et 77, 1850.
- Mammillaria aloides* Monville ex Labouret**, Monogr. Cact. 153, 1853, *nom. nud.*
- Anhalonium areolosum* Lem.**, Illustr. Hort. 6, Mise. 35, 1859.
- Anhalonium pulvilligerum* Lem.**, Illustr. Hort. 16: 72, 1869.
- Mammillaria aloides pulvilligera* Monv. ex Lem.**, Illustr. Hort. 16: 72, 1869.
- Mammillaria areolosa* Hemsley**, Biol. Centr. Amer. Bot. 1: 503, 1880.
- Mammillaria elongata* Hemsl.**, Biol. Centr. Amer. Bot. 1: 509, 1880.
- Mammillaria prismatica* Hemsl.**, Biol. Centr. Amer. Bot. 1: 519, 1880.
- Mammillaria furfuracea* S. Watson**, Proc. Amer. Acad. 25: 150, 1890.
- Cactus prismaticus* Kuntze**, Rev. Gen. Pl. 1: 261, 1891.
- Anhalonium furfuraceum* Coulter**, Contr. U.S. Nat. Herb. 3: 130, 1894.
- Ariocarpus furfuraceus* (S. Wats.) Thompson**, Rep. Mo. Bot. Gard. 9: 130, 1898.
- Ariocarpus pulvilligeris* Schumann ex Engler**, Bot. Jahrb. 24: 550, 1898.
- Ariocarpus prismaticus* Cobbold**, J. Hort. Cot. Gard. Home. Farm. 3, 46: 332, 1903.
- Ariocarpus furfuraceus* (S. Wats.) Thomps. var. *rostratus* Berger**, Kakteen 334, 1929.
- Ariocarpus elongatus* (SD.) Wittstein**, Kakteenkunde, 13, 1933.
- Ariocarpus retusus* Scheidw. var. *furfuraceus* (S. Wats.) Frank** in Krainz, Die Kakteen CVIIIb, 1. 10. 1975.

Ariocarpus retusus es una especie que forma parte del género *Ariocarpus*, tribu Cacteae, subfamilia Cactoideae, dentro de la familia Cactaceae (Anderson 1962). Es llamado comúnmente chaute, chautle, falso peyote, peyote cimarrón, pezuña de venado, cactus estrella, peyote brujo o peyote loco y, en otros países se le conoce con el nombre en inglés de *living rock* (roca viva) o *seven stars* (siete estrellas) y como

myrkottsaktus en sueco (Anderson 1964b, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Batis y Royas 2002, APRN 2015, GCC 2019).

2 Características de la especie. Grado de avance: Completo.

Ciclo de vida. La liberación de las semillas ocurre inmediatamente después de la dehiscencia de los frutos maduros que emergen del ápice de los individuos reproductivos de *A. retusus*, aunque los frutos pueden quedar inmersos entre los tubérculos por algunos años. Cuando las semillas se liberan pueden ser dispersadas por agua (hidrocoria), por el viento (anemocoria) y/o barocoria, en este último caso, cuando las semillas caen rápidamente al suelo por efecto de la gravedad una vez que los frutos se secan. Las semillas también pueden permanecer en la planta madre para formar un banco de semillas aéreo, esto ocurre al quedarse atoradas entre las estructuras vegetativas (tubérculos) y/o la lana del ápice por varios años (Rodríguez O. 2008, Flores 2011, Martínez-Peralta 2014c).

Las semillas son fotoblásticas positivas, es decir, que sólo germinan en presencia de luz (Flores y Jurado 2011, Rojas-Aréchiga *et al.* 2013). Las semillas de *A. retusus* tienen latencia, estado que impide la germinación inmediata de las semillas; experimentos preliminares de germinación realizados por Martínez-Peralta (2014c) sugieren que la germinación de semillas es más baja en semillas recién liberadas que aquellas más longevas; Rojas-Aréchiga *et al.* (2013) observó sólo 25% de germinación de semillas recién colectadas bajo condiciones de luz. La latencia es una estrategia que evita la germinación aun cuando las semillas están vivas, esto se debe a que las condiciones son inhóspitas para el establecimiento y permanencia de las plántulas, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas (Flores y Jurado 2011). En *A. retusus* es

posible que se presente latencia fisiológica tal y como ocurre en *Ariocarpus fissuratus*, donde las semillas requieren un periodo de maduración posterior a su liberación para que el embrión madure, y el vigor de las semillas se incremente (Orozco-Segovia *et al.* 2007). Se ha demostrado que en *A. fissuratus* las semillas de liberación reciente germinan menos de 7%; las semillas de dos años de edad germinan hasta un 70% y en semillas mayores a siete años la viabilidad es cercana a cero, esto en condiciones controladas (Melesio V. 2019).

En condiciones de laboratorio se ha observado que las plántulas presentan un hipocótilo más desarrollado que las raíces y, los cotiledones se presentan en el ápice de la plántula como pequeñas protuberancias. Las plántulas comienzan a desarrollar raíces secundarias después de 15 días posteriores a la germinación y, el primer par de tubérculos surge entre los cotiledones después de 20 días de que emerge la radícula; los tubérculos presentan cinco espinas setosas en los vértices. Las plántulas crecen entre 6 y 10 mm de alto en un periodo de 20 días (Olguín S. 1994).

Los individuos de *A. retusus* comienzan a reproducirse después de alcanzar una talla superior a 6 cm de diámetro, tamaño que se adquiere entre seis y siete años posteriores a la germinación, asumiendo que los individuos de *A. retusus* crecen alrededor de 1 cm de diámetro al año (Sato y Sugiri 1996, Cárdenas-Ramos 2015); se ha establecido que la ausencia de crecimiento o permanencia en el mismo estado de desarrollo o talla, es una característica demográfica distintiva de las cactáceas (Godínez-Álvarez *et al.* 2003, Mandujano *et al.* 2007). Dentro del género *Ariocarpus*, *A. retusus* es una de las especies que presenta el crecimiento más lento y, en condiciones de cultivo puede llegar a transcurrir hasta una década antes de que ocurra la primera floración (Kessler y Stupp 2006), no obstante, esta cifra debe ser diferente en condiciones naturales. Es muy importante señalar que la información generada en

condiciones de cultivo o de invernaderos controlados es muy diferente a lo que las plantas experimentan en su hábitat natural. Por ejemplo, hay evidencia exhaustiva de la germinación cercana al 100% en cámaras de ambiente controlado de varias especies de cactáceas y una reducción o ausencia de la germinación en condiciones naturales. Tal y como ocurre en el alicoche real (*Echinocereus enneacanthus*), cuyas semillas almacenadas hasta 10 años, alcanzan porcentajes de germinación mayores al 80% en cámaras de ambiente controlado, sin embargo, la germinación en condiciones naturales es entre 11 y 14% (Aranda P. 2017).

Los individuos reproductivos de *A. retusus* con frecuencia producen un botón floral por temporada reproductiva, sin embargo, un individuo puede invertir en la formación de hasta cinco botones, esto de acuerdo a su tamaño. Existe una tendencia clara a que *A. retusus* producirá más estructuras reproductivas cuanto más crezca, por lo que los individuos más grandes y longevos tendrán un despliegue floral más grande (hasta cinco flores), lo que permitiría la formación de más frutos y semillas al final de la cosecha. Por ejemplo, en una localidad del municipio de Miquihuana (Tamaulipas), se observó que de 358 individuos reproductivos de *A. retusus*, el 66% de éstos produjeron sólo un botón floral, el 26% de los individuos produjeron dos botones, el 5% de los individuos invirtieron en la producción de tres botones, 3% de los individuos produjeron cuatro botones y sólo un individuo invirtió en el desarrollo de cinco estructuras florales (Cárdenas-Ramos 2015, Cárdenas-Ramos y Mandujano 2018). No obstante, se ha observado que el número final de frutos es menor al número inicial de flores que produce un individuo de *A. retusus*, esto se debe a que existe una limitación de recursos post polinización que promueve el aborto de las estructuras florales antes de que ocurra la formación exitosa de frutos y semillas (Martínez-Peralta 2014c).

Estrategias reproductivas. La reproducción es únicamente sexual, es decir, que se produce la fecundación de los gametos femeninos por gametos masculinos para formar las semillas, que son la única forma de reclutamiento de nuevos individuos (Flores 2011, Martínez-Peralta y Mandujano 2012). La floración de *A. retusus* es anual, se puede presentar desde septiembre hasta los primeros días de noviembre, esto dependiendo de la región geográfica en el que se encuentra establecida la población. Por ejemplo, en Paso Carneros en el municipio de Saltillo (Coahuila), la floración ocurre en la primera quincena de septiembre, y en una localidad situada en el municipio de Miquihuana (Tamaulipas), la floración ocurre en la primera semana de octubre. La floración es corta y puede presentarse hasta en menos de una semana y es unimodal, es decir, comprende un sólo pico de floración anual (Martínez-Peralta y Mandujano 2012, Cárdenas-Ramos 2015). Observaciones personales realizadas por Cárdenas-Ramos (2015) sugieren que el periodo de fructificación de *A. retusus* ocurre tres meses después del periodo de floración, es decir, en el invierno (enero-febrero). La sincronía floral es un índice cualitativo que adquiere valores de 0 a 1, siendo este último indicativo de sincronía floral perfecta que indica que la apertura de las flores en la población es simultánea, en un mismo tiempo y espacio. La sincronía floral en *A. retusus* corresponde a $S = 0.53$ y sugiere que más del 50% de las flores de la población se encuentran abiertas al mismo tiempo. Esta característica es una estrategia que permite concentrar la mayor cantidad de recompensas florales en un mismo tiempo y espacio, lo que podría garantizar la polinización exitosa de las flores o reducir los casos de herbivoría de las flores (Martínez-Peralta y Mandujano 2012, Martínez-Peralta 2014c, Cárdenas-Ramos 2015, Cárdenas-Ramos y Mandujano 2018).

Las flores de *A. retusus* presentan 1) hercogamia o separación espacial de las estructuras reproductivas, ya que el pistilo sobresale de los estambres, y protandria o separación temporal de las funciones masculinas y femeninas, es decir, los estambres maduran antes que el estigma; ambas estrategias podrían evitar la autopolinización o deposición de polen extraño o exógeno, y promueven la polinización cruzada o entrecruza (Martínez-Peralta *et al.* 2014b). De acuerdo a la peculiaridad de la morfología floral, el sistema de apareamiento de *A. retusus* es xenógamo esto implica que la deposición exitosa de polen y posterior fecundación de los óvulos, requiere el movimiento de polen de un individuo, a los estigmas de flores de individuos distintos, generalmente esta actividad requiere vectores bióticos (polinizadores) (Cruden 1977, Martínez-Peralta 2014a). La reproducción exitosa de *A. retusus* por un lado requiere que una buena cantidad de individuos reproductivos florezcan al mismo tiempo y por otro, que la disponibilidad de abejas sea suficiente. Es por ello que las flores de *A. retusus* producen néctar a lo largo del día y, en los sacos polínicos existe una gran cantidad de polen, esta disponibilidad de recompensas florales atrae a las abejas en su mayoría solitarias, que tocan las anteras y el estigma, por lo que son sus principales polinizadores. Debido a las características florales de *A. retusus* (flores grandes y diurnas), y a que las abejas son los principales visitantes florales, el síndrome de polinización es melitofilia (Martínez-Peralta y Mandujano 2012).

En las flores de *A. retusus* también puede presentarse autoincompatibilidad incompleta, es decir, es posible la formación de semillas por autofecundación, pero esto sólo se presenta bajo presiones reproductivas como la limitación de polen o, en escenarios donde las poblaciones son pequeñas, con pocos individuos con flores disponibles para reproducirse (Martínez-Peralta *et al.* 2014b). Además, las especies que conforman el género *Ariocarpus* son morfológica y reproductivamente muy

parecidos entre sí, esta cualidad permite la formación exitosa de frutos y de semillas por hibridación bajo condiciones controladas entre *A. retusus* y *A. agavoides*, *A. kotschoubeyanus* y *A. fissuratus* (Anderson 1962).

En *A. retusus* se presenta serotinia, estrategia de las plantas que les permite retener los frutos y acumular semillas durante varios años para protegerlas de factores bióticos (granívoros) y de la heterogeneidad ambiental. Los individuos reproductivos de *Ariocarpus fissuratus* por ejemplo, pueden almacenar entre sus tubérculos semillas de hasta nueve años de edad. Esto ocurre cuando las semillas quedan atoradas entre los tubérculos, una vez que ocurre la dehiscencia del fruto. En los tubérculos centrales de *A. fissuratus* es posible encontrar una frecuencia alta de semillas jóvenes y, en los tubérculos de la periferia se almacena una frecuencia baja de semillas longevas. La retención de semillas en *A. retusus* le permite formar un banco de semillas aéreo que posiblemente este conformado por semillas de edades superiores a un año, tal y como ocurre en *A. fissuratus* (Rodríguez O. 2008).

En resumen, *A. retusus* es una especie de reproducción únicamente sexual, cuya floración es sincrónica, anual y tiene una duración de menos de una semana. Las flores son hermafroditas y presentan separación espacial y temporal de las funciones masculinas y femeninas de la flor, característica que evita la autofecundación y promueve el intercambio de polen con flores de otros individuos. El movimiento de polen se realiza específicamente por abejas solitarias que son atraídas por el néctar y polen. La fecundación exitosa de la especie requiere de la disponibilidad de polinizadores y de una buena cantidad de individuos reproductivos en la población, de lo contrario, en poblaciones con una baja disponibilidad de flores, la autopolinización asegurará la reproducción. La autopolinización es un evento reproductivo que a largo

plazo puede conducir a depresión por endogamia o reducción de la adecuación de la población.

Estrategias adaptativas. De acuerdo con la clasificación de formas de vida de Raunkiaer (1934), *A. retusus* es considerada una planta de hábitos geófitos porque las raíces o los tallos pueden situarse por debajo del suelo. Sin embargo, Vázquez-Sánchez *et al.* (1982) consideran esta cualidad como una estrategia de sobrevivencia, debido a que el tallo subterráneo presenta un sistema de canales mucilaginosos muy desarrollado que almacena agua durante los meses más secos del año, característica que garantiza la permanencia de *A. retusus* en sitios donde los periodos de sequía son muy largos y marcados (Anderson 1962, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991).

Características morfológicas

Planta. *Ariocarpus retusus* es una cactácea subglobosa debido a que el diámetro de la planta excede el tamaño del tallo del eje principal (Vázquez-Sánchez *et al.* 1982). Su apariencia es arrosetada, mide 12 cm de alto y de 10 a 25 cm de diámetro (figura 2). El ápice de la planta presenta muchos tricomas largos, setosos de color blanco o amarillo que se denominan en conjunto como lana, y que se desarrollan a partir de las areolas floríferas. El tallo globoso y carnoso, se encuentra enterrado en el suelo y está conformado por numerosos tubérculos triangulares atenuados hacia la base, dispuestos en espirales. Los tubérculos son ligeramente más largos que anchos y miden de 1.5 a 4 cm de largo y 1 a 3.5 cm de ancho, de una coloración verde glauco cenizo o grisáceo, con consistencia cartácea, superficie convexa o plana, tenuemente ondulada o arrugada, sin hendiduras. Los tubérculos culminan en puntas agudas, con areolas espiníferas lanosas, pequeñas, circulares, de 1 a 5 mm de diámetro, con o sin espinas vestigiales reducidas (figura 2) (Anderson 1962, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Olguín S. 1994).

En general, el crecimiento de un individuo de *A. retusus* es solitario, aunque también es posible encontrar agregados de individuos (individuos que crecen juntos); las poblaciones de *A. retusus* se distribuyen en parches discretos a nivel local o en colonias (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Aguilar-Morales *et al.* 2011, Martínez Peralta 2014c.). Este patrón de crecimiento se debe a que la dispersión de las semillas es restringida o de corto alcance, ya que generalmente se lleva a cabo por viento (anemocoria) o por hormigas (zoocoria); este tipo de dispersión ocasiona que las poblaciones sean muy localizadas y de distribución agregada (Aguilar-Morales *et al.* 2011, Martínez Peralta 2014c.).

Areolas. En *A. retusus* se presentan aréolas floríferas y espiníferas que se desarrollan de un sólo meristemo. Las areolas floríferas se sitúan cerca de las axilas, en la base de los tubérculos jóvenes de donde surgen las flores y, las aréolas espiníferas se desplazan hacia el ápice del tubérculo (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991).

Flores. Los botones florales emergen del ápice, son de color blanquecino y se tornan de color rosa claro a medida que maduran hasta una flor abierta (Cárdenas-Ramos 2015). Las flores son hermafroditas, de forma campanulada o infundibuliforme y surgen del centro o de los costados del ápice (Villavicencio G. *et al.* 2013). El color de las flores es blanco, en ocasiones con tientes rosa pálido o rosa y con una línea media rojiza de 1.2 a 2 cm de largo y 5 a 8 mm de ancho (figura 2) (Martínez-Peralta y Mandujano 2012). En una planta se pueden encontrar de una a seis flores de 4 a 5 cm de diámetro, y hasta 4.5 cm de longitud cada una. Los segmentos del perianto son alargados, de forma elíptica y estrechos en la base y en el ápice (lanceolados), de 2 cm de largo y de 5 a 9 mm de anchura. Las flores son diurnas, producen de 1 a 6 µl de néctar por día/flor y la longevidad floral es de dos días; se ha reportado que, en condiciones de invernadero, las flores de *A. retusus* pueden permanecer abiertas

hasta 5 días (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Olguin S. 1994, Martínez-Peralta y Mandujano 2012, Cárdenas-Ramos 2015). La antesis de las flores ocurre a las 9:00 h y el cierre entre las 15:00 y 16:00 h; la apertura, el cierre y la longevidad de las flores pueden responder a factores climáticos como la radiación, el viento y la lluvia. Se ha observado que el incremento en la radiación solar promueve el cierre prematuro de las flores a dos días, y la reducción en la temperatura, prolonga el tiempo de vida de las flores hasta tres días (Martínez-Peralta y Mandujano 2012, Cárdenas-Ramos 2015). La apertura máxima del perianto es de 3.94 cm en promedio ($\pm$ e.e. 1.09 cm) y se registra a las 12:00 h (Cárdenas-Ramos 2015). Las flores tienen en promedio 507 estambres, con filamentos blanquecinos y anteras amarillas (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Martínez-Peralta y Mandujano 2012, Cárdenas-Ramos 2015). El polen es tricolpado (con tres líneas germinales) y se puede encontrar de 5 y hasta 130 granos de polen/antera en flores expuestas a los polinizadores y, 249 572 granos de polen en una flor completa, cada grano de 80 a 85 micras (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Martínez-Peralta *et al.* 2014b, Cárdenas-Ramos 2015). El estilo es blanco, el estigma tiene de 7 a 12 lóbulos y el ovario contiene 122 óvulos en promedio (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Villavicencio G. *et al.* 2013, Martínez-Peralta *et al.* 2014b). El perianto de las flores en post-antesis presenta una coloración rosa fuerte y las flores seniles o restos florales se tornan de color café (Cárdenas-Ramos 2015).

Frutos y semillas. El fruto ovoide emerge del ápice y mide de 20 a 25 mm de largo, de color blanco verdoso o rosa pálido, que conserva los restos florales secos en el ápice. Las semillas son de color negro, con arilo pequeño, no mayores a 1.5 mm de diámetro, con un peso promedio de 0.911 mg, de 1.458 mm de largo y 1.163 mm de ancho en promedio. Se clasifican dentro del grupo de semillas tuberculadas por

presentar protuberancias en la testa. En un fruto se pueden contar entre 6 y 136 semillas, es decir, un promedio de 76 semillas por futo (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Kessler y Stupp 2006, Rojas-Aréchiga *et al.* 2013, Martínez-Peralta *et al.* 2014b, Martínez-Peralta 2014c).



Figura 2. Características morfológicas de *Ariocarpus retusus*. Foto: M. C. Mandujano.

2.1 Estudio morfométrico. Grado de avance: Completo.

Se comparó el diámetro (cm) de los individuos de *A. retusus* de 11 localidades visitadas. El análisis estadístico indica que existen diferencias significativas ($F = 6.39$, $g.l. = 10$, $P < 0.001$) y, los individuos de la localidad el Mimbres son significativamente más grandes que los de localidad La Tapon ($P < 0.0001$), Lagunita ($P = 0.0015$), San José de los Sotiles ($P = 0.0069$), Tanque de los Ángeles ($P < 0.0001$) y Los Quemados ($P < 0.0001$). En la localidad El Jarrito en Nuevo León, también podemos encontrar individuos más grandes que los de la comunidad La Tapon ($P = 0.008$) y

Tanque de los Ángeles ($P = 0.006$) y, Puerto del aire difiere significativamente de la localidad La Taponá ($P = 0.0073$), Los Quemados ($P = 0.018$) y Tanque de los Ángeles ($P = 0.0043$) (figura 3). La diferencia en el tamaño puede deberse a que cada sitio presenta características altitudinales, climáticas (lluvia y temperatura), edáficas (nutrientes) y biológicas que condicionan el crecimiento de los individuos. Dentro de las características biológicas, destaca la competencia intraespecífica que se refiere a la competencia por los nutrientes, espacio, luz o agua, entre individuos de la misma especie (Elzinga *et al.* 2007, Mancilla R. 2012). Se ha establecido que, en sitios con densidades poblacionales altas, el crecimiento de los individuos es limitado por la intensa competencia intraespecífica (Goldberg *et al.* 2001, Mancilla R. 2012). Esto podría estar ocurriendo en algunas poblaciones de *A. retusus*, donde en sitios con densidades poblacionales altas, tal como en Los Quemados (3.88 ind/m²) y en Tanque de los Ángeles (4.66 ind/m²), los individuos son muy pequeños, a diferencia de sitios con baja densidad poblacional, como es el caso de El Mimbres (1.36 ind/m²) o el Jarro (1.32 ind/m²), donde los individuos tienen un diámetro más grande. La variación en el tamaño de los individuos entre localidades, reafirma lo mencionado por Almeyda L. *et al.* (2012) y Martínez-Peralta (2014c), *A. retusus* es una especie que tiene una alta variación genética y morfológica, es por ello que podemos observar diferencias en el tamaño de los individuos entre localidades. Hasta la fecha, esta variación ha generado problemas taxonómicos dentro del género *Ariocarpus*. Por ejemplo, diferencias en la rugosidad, tamaño y número de tubérculos y, en color de las flores debidas a la variación morfológica y plasticidad fenotípica de la especie, han sido considerados caracteres distintos para reconocer hasta cuatro subespecies de *A. retusus* tales como *elongatus*, *confusus*, *retusus* y *scapharostroides*.

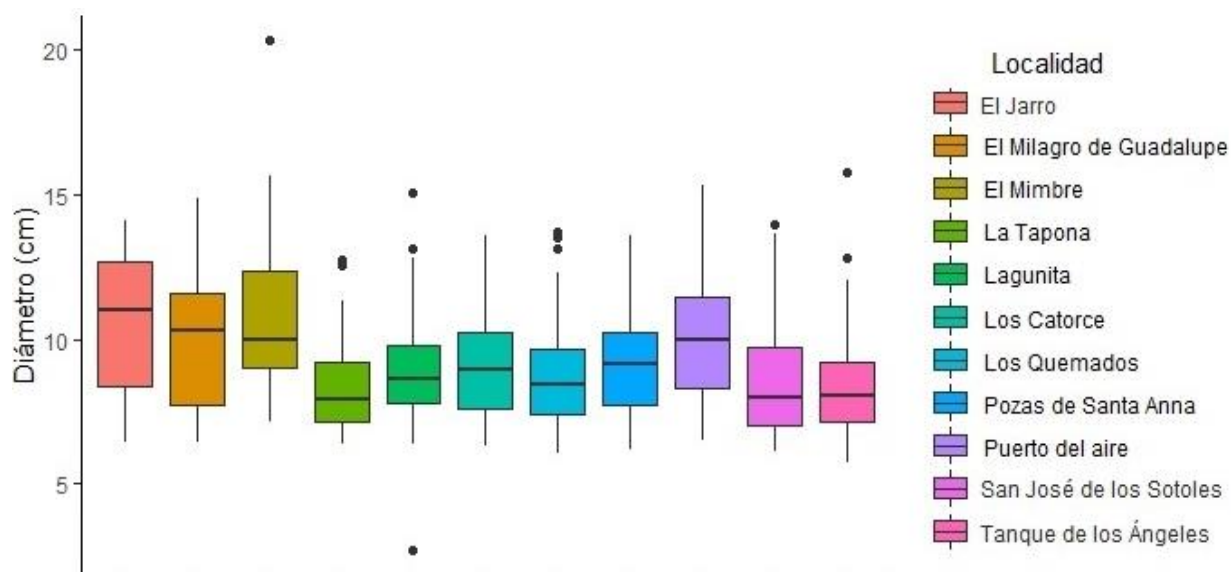


Figura 3. Diámetro (cm) de individuos adultos de *Ariocarpus retusus* evaluados en 11 localidades visitadas en 2019. Datos correspondientes al año 2019.

Se midieron un total de 434 individuos de *A. retusus* de distintas localidades distribuidas en Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas; se observó que el diámetro promedio de los individuos juveniles de *A. retusus* es de 4.84 cm (± 0.13) y la altura es de 1.72 (± 0.13) cm, el promedio de tubérculos por planta es de 9.80 (± 0.43). El largo y ancho de los tubérculos radiales es de 1.64 cm (± 0.03) y 0.85 cm (± 0.01), respectivamente; el largo y ancho de los tubérculos centrales es de 1.01 cm (± 0.02) y 0.60 cm (± 0.02), respectivamente (cuadro 2). Los individuos de la categoría Adultos 1, miden 7.67 cm (± 0.05) de diámetro, la altura es de 1.67 cm (± 0.03) y un individuo presenta en promedio 20.67 tubérculos (± 0.48). El largo de los tubérculos radiales es de 1.91 cm (± 0.01), y el ancho es de 1.21 (± 0.06), el largo de los tubérculos centrales es de 2.68 cm (± 1.35) y el ancho es de 0.75 cm (± 0.009) (cuadro 2).

Cuadro 2. Características morfométricas de *Ariocarpus retusus*. En el cuadro se muestra el promedio y error estándar de cada variable. $n = 434$ plantas medidas. Datos correspondientes a 2019.

Ciclo de vida	Tubérculo radial (cm)		Tubérculo central (cm)		Altura (cm)	Diámetro (cm)	N° tubérculos
	Longitud	Ancho	Longitud	Ancho			
Plántula	1.23 ± 0.04	0.56 ± 0.01	0.72 ± 0.05	0.40 ± 0.02	1.38 ± 0.06	2.08 ± 0.07	3.54 ± 0.17
Juvenil	1.64 ± 0.03	0.85 ± 0.01	1.01 ± 0.02	0.60 ± 0.02	1.72 ± 0.13	4.84 ± 0.08	9.80 ± 0.43
Adulto 1	1.91 ± 0.01	1.21 ± 0.06	2.68 ± 1.37	0.75 ± 0.009	1.67 ± 0.03	7.67 ± 0.05	20.67 ± 0.48
Adulto 2	2.24 ± 0.01	1.33 ± 0.02	0.91 ± 0.01	1.34 ± 0.02	1.94 ± 0.05	10.11 ± 0.08	28.97 ± 1
Adulto 3	2.50 ± 0.03	1.31 ± 0.03	1 ± 0.02	2.16 ± 0.47	2.25 ± 0.11	12.77 ± 0.29	43.62 ± 2.54
Adulto 4	2.72 ± 0.11	1.51 ± 0.18	1.52 ± 0.14	1.18 ± 0.10	3.55 ± 1.06	15.37 ± 0.22	55.33 ± 11.97
Adulto 5	3.23 ± 0.11	1.94 ± 0.11	2.61 ± 0.06	1.79 ± 0.12	5.43	20.3	57

2.2 Hábitat. Hernández *et al.* (2010) establecen que *A. retusus* puede ocupar un área de hasta de 10 490 km². *Ariocarpus retusus* es la segunda especie con la distribución más amplia dentro del género *Ariocarpus*, esto después de *Ariocarpus fissuratus*, además, es la especie con más registros de observación y/o colecta, ya que oscilan entre 101 y 131 registros de herbario, a diferencia por ejemplo, de *Ariocarpus agavoides* donde los registros de herbario varían de uno a tres (Santa Anna Del Conde 2007, Hernández *et al.* 2010, Aguilar-Morales *et al.* 2011). *Ariocarpus fissuratus* ocupa un área de distribución de 19 576 km² en Coahuila, Durango, Zacatecas y el sur de Texas; *Ariocarpus kotschoubeyanus* se distribuye en Coahuila, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas y ocupa un área de 68 km²; *Ariocarpus agavoides* sólo se encuentra en San Luis Potosí y Tamaulipas y ocupa un área de 38 km². La distribución de *Ariocarpus scaphiostriis* se restringe a Nuevo León y ocupa un área de 8.3 km² de este estado, y *Ariocarpus bravoanus* es la especie con

la distribución más restringida, ya que ocupa un área de 0.13 km² de San Luis Potosí (Hernández *et al.* 2010).

A. A. retusus se le encuentra en zonas desérticas y semidesérticas de México, sobre colinas calizas y pedregosas, rara vez yesosas (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Rodríguez-Garza *et al.* 2011), sobre lomas con pendientes que oscilan entre 4 y 19° (Villavicencio G. *et al.* 2010). Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991) establecen que *A. retusus* se distribuye en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas, sin embargo, Guzmán *et al.* (2003) incluyen además al estado de Durango, no obstante, en este estudio no se encontró ningún registro observacional o registro de herbario que actualmente indique la presencia de *A. retusus* en Durango (ver GBIF <https://www.gbif.org/species/3084099>).

En la literatura se reporta que *A. retusus* crece entre los 1 300 y 2 384 msnm, aunque en algunos sitios del estado de Nuevo León se le puede encontrar por debajo de los 500 msnm (Flores 2011, Villavicencio G. *et al.* 2013). En los sitios que visitamos durante el trabajo de campo de 2019, se le encontró entre los 1 065 y 2 151 msnm (cuadro 3). De acuerdo con la clasificación del clima propuesta por Köppen y modificada por García (1998), en los sitios donde se establece *A. retusus* en San Luis Potosí predomina el clima BS1h (x') (estepario semiseco) o semiseco semicálido con temperaturas cálidas que oscilan entre 18 °C y 22 °C, con lluvias escasas durante todo el año. El clima BS1k (x') (estepario seco) o semiseco templado presenta veranos cálidos, temperaturas anuales que oscilan entre 12 °C y 18 °C, en el mes más frío se registran temperaturas de -3 °C y hasta 18 °C y la lluvia es escasa durante todo el año; el clima BS1hw (estepario seco) o semiseco semicálido, donde la temperatura media anual oscila entre 18 °C y 22 °C y el mes más frío presenta temperaturas menores a 18 °C, los inviernos son frescos y las lluvias se registran en el verano; el

clima BS0hw (estepario seco) o seco semicálido, presenta temperaturas anuales entre 18 °C y 22 °C, donde la temperatura del mes más frío es menor a 18 °C, las lluvias se registran en el verano y los inviernos son frescos. En Tamaulipas, además del clima BS1h (x') y BS1k (x'), se registra C (w0) (templado) o semicálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperaturas que oscilan entre 12 °C y 18 °C. En Zacatecas se presenta el clima BS0kw (estepario seco) o seco templado, con veranos cálidos, temperaturas medias anuales de 12 °C y 18 °C, con temperaturas de entre -3 °C y 18 °C que corresponden al mes más frío. En Coahuila se registra el clima BS0hw, BS1hw, BS1kw y BWhw (desértico muy seco) o desértico semicálido, con temperaturas medias anuales de 18 °C y 22 °C y temperaturas menores a 18 °C en el mes más frío, el régimen de lluvias es en el verano. En Nuevo León se registra el clima BS0hw, BWhw, BS1k (x'), BS1kw y BS0k (x') (INEGI 2000) (cuadro 3).

El mapa de ecorregiones (INEGI y CONABIO 2008) indica que los sitios donde se establece *A. retusus* predomina la ecorregión correspondiente a “Desiertos de América del Norte” y en una porción muy pequeña las “Sierras templadas”, estas características se presentan en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas. La excepción es el estado de Zacatecas donde predomina la ecorregión de “Desiertos de América del Norte” y en una proporción pequeña la ecorregión de “Elevaciones Semiáridas Meridionales” hacia el sur del estado. *Ariocarpus retusus* se distribuye dentro de cuatro provincias biogeográficas: 1) Altiplano Norte (Desierto Chihuahuense), que se caracteriza por presentar climas áridos y semiáridos y vegetación dominada por matorral xerófilo y pastizales; 2) Altiplano Sur (tierras áridas de Zacatecas-Mezquital), con clima semiárido y vegetación dominada por matorral xerófilo, seguido de pastizales; 3) Sierra Madre Oriental, que es una provincia biogeográfica muy compleja ya que presenta distintos tipos de vegetación, desde bosque de coníferas, hasta

matorrales xerófilos. Finalmente, en una porción muy pequeña, *A. retusus* se distribuye en 4) la Provincia Tamaulipeca, región dominada por vegetación del tipo matorral xerófilo y bosques tropicales espinosos (CONABIO 2008) (cuadro 3).

El suelo donde se establece *A. retusus* generalmente es del tipo Litosol (o Leptosoles), Xerosol gypsico y Xerosol háplico; los Litosoles son suelos poco profundos (10 cm), pedregosos, con abundante material calcáreo y los Xerosoles son suelos de zonas áridas, muy permeables, que contienen poca materia orgánica (SEMARNAT 2012). En las poblaciones silvestres de *A. retusus* que se establecen en Coahuila se presenta suelo del tipo Litosol y Xerosol cálcico, en Nuevo León Litosol, Xerosol cálcico, Xerosol háplico y Rendzina; en San Luis Potosí Litosol, Xerosol cálcico, Xerosol gypsico, Xerosol háplico y Yermosol gypsico; en Tamaulipas el suelo del tipo Litosol y en Zacatecas Litosol y Xerosol lúvico (cuadro 3).

De acuerdo con la clasificación de la vegetación propuesta por Rzedowski (2006), en el 94.4% de los sitios donde se establece *A. retusus* predomina el tipo de vegetación de matorral xerófilo. Este tipo de vegetación tiene una fisonomía muy diversa por lo que se subdivide en las siguientes categorías: matorral crasicaule, espinoso, micrófilo, rosetófilo, arbustivo y submontano (Rzedowski 2006). La vegetación de bosque de encino se registra en el 4% de los puntos de presencia de *A. retusus* localizadas entre Nuevo León y Tamaulipas y, sólo en 1.5% de los registros de presencia de la especie se puede encontrar bosque de pino, esto entre Coahuila y Nuevo León (cuadro 3). La vegetación del tipo matorral xerófilo generalmente está conformada por sotoles (*Dasyllirion*: Asparagaceae), biznagas (*Mammillaria*: Cactaceae), peyotillo (*Pelecypora*: Cactaceae), rabo de león (*Agave stricta*: Agavaceae), peyote (*Lophophora williamsii*: Cactaceae) y yucas (*Yucca carnerosana*: Asparagaceae) (cuadro 4) (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Islas H. 1999, Aguilar-Morales et

al. 2011).

Cuadro 3. Características ecológicas de los sitios donde se establece *Ariocarpus retusus*. Datos correspondientes a 2019.

Estado	Localidad	Altura (msnm)	Suelo	Vegetación	Provincia biogeográfica	Clima
San Luis Potosí	El Mimbres	1 596	Xerosol gypsico	Matorral rosetófilo	Desiertos de América del Norte	BS1h(x')
San Luis Potosí	San José de los Sotoles	1 632	Xerosol gypsico	Matorral rosetófilo	Desiertos de América del Norte	BS1h(x')
San Luis Potosí	Tanque de los Ángeles	1 065	Litosol	Matorral rosetófilo	Desiertos de América del Norte	BS1hw
San Luis Potosí	Pozas de Santa Ana	1 406	Xerosol gypsico	Matorral rosetófilo	Desiertos de América del Norte	BS1hw
San Luis Potosí	La Morita	1 170	Litosol	Matorral rosetófilo	Desiertos de América del Norte	BS1hw
San Luis Potosí	Milagro de Guadalupe	1 330	Yermosol gypsico	Matorral desértico microfila	Desiertos de América del Norte	BWhw
Nuevo León	El Jarro	1 831	Xerosol cálcico	Matorral desértico micrófilo	Desiertos de América del Norte	BS1h(x')
Nuevo León	La Taponia	1 818	Litosol	Matorral desértico micrófilo	Desiertos de América del Norte	BS1k(x')
Nuevo León	Lagunita	1 725	Xerosol gypsico	Matorral desértico micrófilo	Desiertos de América del Norte	BS1h(x')
Nuevo León	Los Catorce	1 684	Xerosol gypsico	Matorral desértico micrófilo	Desiertos de América del Norte	BS1h(x')
Nuevo León	Puerto del aire	1 833	Xerosol gypsico	Matorral desértico micrófilo	Desiertos de América del Norte	BS1k(x')
Tamaulipas	Los Quemados	2 151	Feozem lúvico	Matorral rosetófilo	Sierras Templadas	BS1k(x')

Cuadro 4. Composición vegetal reportada para algunos municipios del estado de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas donde se establece *Ariocarpus retusus*.

Sitio	Vegetación asociada		Referencia
	Familia	Género o especie	
Coahuila Saltillo Ramos Arespide Monclova	Asparagaceae Cactaceae Euphorbiaceae Fabaceae Koeberliniaceae Zygophyllaceae	<i>Agave lechuguilla</i> <i>Agave stricta</i> <i>Yucca carnerosana</i> <i>Opuntia</i> sp. <i>Jatropha dioica</i> <i>Euphorbia antisiphilitica</i> <i>Prosopis glandulosa</i> <i>Acacia</i> sp. <i>Koeberlinia spinosa</i> <i>Larrea tridentata</i>	García P. 2002
Nuevo León García Coahuila Ramos Arespide	Cactaceae	<i>Astrophytum capricorne</i> <i>Echinocereus poselgeri</i> <i>Epithelantha micromeris</i> <i>Ferocactus</i> sp. <i>Mammillaria</i> sp. <i>Lophophora williamsii</i>	Ledezma et al. 2011
Tamaulipas Miquihuana	Asparagaceae Cactaceae Euphorbiaceae	<i>Dasyllirion</i> sp. <i>Agave</i> sp. <i>Mammillaria</i> sp. <i>Pelecyphora</i> sp. <i>Euphorbia antisiphilitica</i>	Cárdenas-Ramos 2015

Durante el trabajo de campo realizado en 2019, se observó que, en Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas, las cactáceas son el grupo vegetal dominante en los sitios donde se establece *A. retusus*. Es frecuente observar el cactus bonete de obispo (*Astrophytum*), la biznaga partida (*Coryphantha* sp.), cardenche (*Cylindropuntia* sp.), alicoche (*Echinocereus* sp.), la biznaga barril (*Ferocactus* sp.), biznaga (*Mammillaria* sp.), nopal (*Opuntia* sp.) y biznaga pezón (*Thelocactus* sp.), así como especies vegetales pertenecientes a otras familias (cuadro 5), tal como sotoles (*Dasyllirion*: Asparagaceae), lechuguillas (*Hechtia*: Bromeliaceae), sangre de drago (*Jatropha dioica*: Euphorbiaceae), tullidora (*Karwinskia*: Rhamnaceae), mimosa (*Mimosa*: Fabaceae), orégano (*Origanum*: Lamiaceae) y yucas (*Yucca*: Asparagaceae).

Cuadro 5. Especies de la familia Cactaceae observadas en Nuevo León (NL), San Luís Potosí (SLP) y Tamaulipas (T) en sitios donde se establece *Ariocarpus retusus*. Observaciones realizadas en 2019.

Familia	Género	Especie	Presencia
Cactaceae	<i>Astrophytum</i>	<i>Astrophytum myriostigma</i>	SLP, T
	<i>Cylindropuntia</i>	<i>Cylindropuntia imbricata</i>	NL, SLP, T
		<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	NL, SLP, T
		<i>Cylindropuntia tunicata</i>	NL, SLP, T
	<i>Coryphantha</i>	<i>Coryphantha cornifera</i>	SLP
	<i>Echinocactus</i>	<i>Echinocactus platyacanthus</i>	NL, SLP, T
	<i>Echinocereus</i>	<i>Echinocereus pectinatus</i>	NL, SLP
		<i>Echinocereus pentalophus</i>	SLP
	<i>Ferocactus</i>	<i>Ferocactus hamatacanthus</i>	SLP
		<i>Ferocactus pilosus</i>	NL, SLP, T
	<i>Glandulicactus</i>	<i>Glandulicactus uncinatus</i>	NL, SLP
	<i>Lophophora</i>	<i>Lophophora williamsii</i>	SLP
	<i>Mammilloidia</i>	<i>Mammilloidia candida</i>	NL, SLP, T
	<i>Mammillaria</i>	<i>Mammillaria formosa</i>	NL, SLP, T
		<i>Mammillaria heyderi</i>	NL, SLP
	<i>Myrtillocactus</i>	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	SLP
	<i>Neolloydia</i>	<i>Neolloydia conoidea</i>	NL, SLP
	<i>Opuntia</i>	<i>Opuntia leucotricha</i>	SLP
		<i>Opuntia stenopetala</i>	NL, SLP, T
	<i>Thelocactus</i>	<i>Thelocactus conothelos</i>	SLP
		<i>Thelocactus hexaedrophorus</i>	NL, SLP

En las poblaciones silvestres que visitamos, se observó a *A. retusus* creciendo junto a individuos de la misma especie, rocas, e incluso otras cactáceas, tal como la biznaga pezón de seis lados (*Thelocactus hexaedrophorus*: Cactaceae) y el peyote (*Lophophora williamsii*: Cactaceae). *Ariocarpus retusus* también crece debajo del dosel de especies como *Jatropha dioica*, *Hechtia* y sotoles (*Dasyllirion longissimum*: Asparagaceae), interacción conocida como nodricismo. En la literatura se ha reportado al huizache (*Acacia farnesiana*), el panalero (*Forestiera angustifolia*) y la tullidora (*Karwinskia humboldtiana*) como plantas nodrizas de *A. retusus* (Muro P.

2011). Se ha establecido que las plantas nodrizas u objetos nodrizas (p. ej. rocas), pueden modificar las condiciones ambientales y generar un microambiente menos extremo, lo que favorece el establecimiento y crecimiento de las plantas que se encuentran asociadas (Valiente-Banuet y Ezcurra 1991; Ramírez C. 2011). Con el fin de determinar cuál es la planta u objeto nodriza que con frecuencia se encuentra asociada a *A. retusus*, se realizó una prueba de bondad de ajuste considerando la abundancia relativa de cada nodriza. En el análisis se incluyeron las siguientes 17 nodrizas: *Agave lechuguilla*, *Agave stricta*, *Echinocactus platyacanthus*, *Thelocactus hexaedrophorus* y *Waltheria indica*; los géneros *Coryphantha*, *Dasyllirion*, *Fouquieria*, *Hechtia*, *Jatropha*, *Karwinskia*, *Larrea*, *Mimosa*, *Origanum* (orégano) y *Yucca*, además de pasto nativo y rocas. El análisis estadístico mostró que existen diferencias significativas ($\chi^2 = 839.15$, *g.l.* = 16, $P < 0.0001$), esto sugiere que la abundancia de cada nodriza asociada *A. retusus* difiere entre sí. Los residuos estandarizados indican que las rocas ($\bar{z} = 26.25$, $P < 0.0001$) son las nodrizas más abundantes, seguido de individuos del género *Hechtia* y *Jatropha*.

Para evaluar si las plantas u objetos nodrizas tienen algún efecto sobre el crecimiento de los individuos de *A. retusus*, se realizó un análisis de varianza ANOVA de una vía y, en el caso de haber diferencias significativas, pruebas Tukey posteriores (Zar 1984). El análisis se realizó con el software R versión 4.0.0 (R Core Team 2020) considerando el diámetro (cm) de los individuos como la variable de respuesta y, la presencia o ausencia de nodriza como factor. Los resultados indican que los individuos de *A. retusus* son significativamente más grandes cuando crecen en compañía de una planta u objeto nodriza ($F = 8.66$, *g.l.* = 1, $P = 0.0035$). Sin embargo, el número de individuos de *A. retusus* que crecen asociados a una nodriza es muy baja ya que, en la mayoría de las localidades visitadas, menos del 58% de los

individuos contabilizados se encuentran asociados a alguna nodriza. Por ejemplo, en Puerto del Aire, Nuevo León observamos que el 30% del total de los individuos crecen entre las rocas o debajo del dosel de las plantas, en El Milagro de Guadalupe, en San Luis Potosí sólo el 6.84% de los individuos (cuadro 6) y en Los Quemados, Tamaulipas no se encontraron individuos creciendo bajo alguna nodriza. Lo anterior sugiere que *A. retusus* es una especie que generalmente crece en espacios abiertos, no obstante, su crecimiento podría verse favorecido por las condiciones no extremosas que provee una planta u objeto nodriza.

Cuadro 6. Diámetro promedio y porcentaje de individuos de *Ariocarpus retusus* que crecen asociados a objetos o plantas nodrizas. Se indica el promedio (cm) y el error estándar ($\pm$).

Estado	Localidad	Diámetro (cm) sin nodriza	Diámetro (cm) con nodriza	Individuos bajo nodriza (%)
Nuevo León	El Jarro	9.18 $\pm$ 0.87	10.49 $\pm$ 0.44	81.81
Nuevo León	Lagunita	9.91 $\pm$ 0.57	10.14 $\pm$ 0.43	42.85
Nuevo León	La Tapona	8.41 $\pm$ 0.24	9.21 $\pm$ 0.51	36.61
Nuevo León	Los Catorce	7.88 $\pm$ 0.74	9.41 $\pm$ 0.71	50
Nuevo León	Puerto del aire	9.05 $\pm$ 0.98	10.06 $\pm$ 1.96	30
San Luis Potosí	El Milagro de Guadalupe	10.42 $\pm$ 0.85	12.37 $\pm$ 0.80	6.84
San Luis Potosí	El Mimbres	11.63 $\pm$ 0.59	11.78 $\pm$ 0.50	44.17
San Luis Potosí	Pozas de Santa Ana	6.63 $\pm$ 0.50	7.81 $\pm$ 0.57	58.14
San Luis Potosí	San José de los Sotoles	9.02 $\pm$ 0.82	8.02 $\pm$ 0.68	20.74
San Luis Potosí	Tanque de los Ángeles	7.47 $\pm$ 0.14	8.91 $\pm$ 0.90	13.98

2.3 Índice de disturbio crónico. Grado de avance: Completo

El índice de disturbio crónico (ID) comprende un rango de valores de 0 a 100, siendo 0 indicativo de sitios no perturbados o prístinos y 100, correspondiente a sitios muy

perturbados (Martorell y Peters 2005). El ID calculado para los sitios donde se establece *A. retusus* oscila entre 21 y 221, este último valor corresponde a un sitio extremadamente perturbado, ya que excede el rango de valores de ID establecido. De los 12 sitios evaluados, el 50% presentaron valores de ID bajos, que oscilan entre 21 y 37. En 41.6% de los sitios, el ID osciló entre 42 y 58 e indica que la perturbación es intermedia, con una tendencia a incrementarse. Sólo un sitio (8.3%) presentó valores de ID superiores a 100, y sugiere que el disturbio es extremadamente alto (cuadro 7). Las características presentes en los sitios poco perturbados corresponden a suelos con erosión baja, ausencia de islas de vegetación e incendios, compactación de suelo poco intensa, frecuencia baja o nula de excretas de cabra y/o ganado. La vegetación no muestra señales de ramoneo por el ganado, y tampoco daño por extracción de leña (macheteo); las poblaciones humanas se encuentran situadas entre 3 y 6 km de distancia. En los sitios se observa una alta frecuencia de caminos ganaderos y ausencia de caminos humanos. Los sitios con perturbación intermedia presentan características similares a los sitios poco perturbados, excepto que en estos sitios comienzan a observarse caminos humanos e islas de vegetación, la cercanía con las poblaciones humanas se reduce, registrándose a menos de 3 km de distancia, la compactación del suelo es de moderada a alta y en algunos sitios la vegetación muestra daño por extracción de leña y ramoneo de ganado. San José de los Sotoles, en San Luis Potosí, es el sitio que presenta perturbación extrema (ID = 221.35), el sitio se encuentra completamente fragmentado por la alta densidad de caminos ganaderos y humanos, erosión del suelo e islas de vegetación, además de observarse daño en la vegetación por incendios y extracción de leña. A menos de 200 m donde se establece la población silvestre de *A. retusus*, se han construido dos corrales para el ganado, casas y caminos de terracería y, la zona urbana se localiza a 0.16 km de

distancia. Las actividades antrópicas que se desarrollan en este sitio, han provocado la compactación extrema del suelo (figura 4a).

En los sitios visitados se registraron otros agentes de perturbación que no fue posible evaluar con el ID. Por ejemplo, en San José de los Sotoles (San Luis Potosí), en La Morita (San Luis Potosí) y en La Tapona (Nuevo León), se observó basura, por lo que estos sitios fungen como tiraderos de basura al aire libre. En La Morita, además, se encuentra establecido un banco de extracción de materiales donde se extraen rocas para la construcción de cercas, se observan corrales y abundantes caminos ganaderos (figura 4b). En El Mimbres (San Luis Potosí), El Jarro (Nuevo León) y en San José de los Sotoles, se observó una gran cobertura de pasto que posiblemente se introdujo como forraje para el ganado. En El Mimbres se registró la muerte de 13 individuos juveniles de *A. retusus* y siete individuos juveniles en El Jarro. Los individuos muertos se encontraron cubiertos por el pasto, lo anterior sugiere que la especie podría ser sensible al cambio en la composición vegetal.

Los agentes de perturbación que más aportan al ID de cada localidad, son la Ganadería (66.66% de los sitios) y las Actividades Humanas (33.33% de los sitios) (cuadro 7).

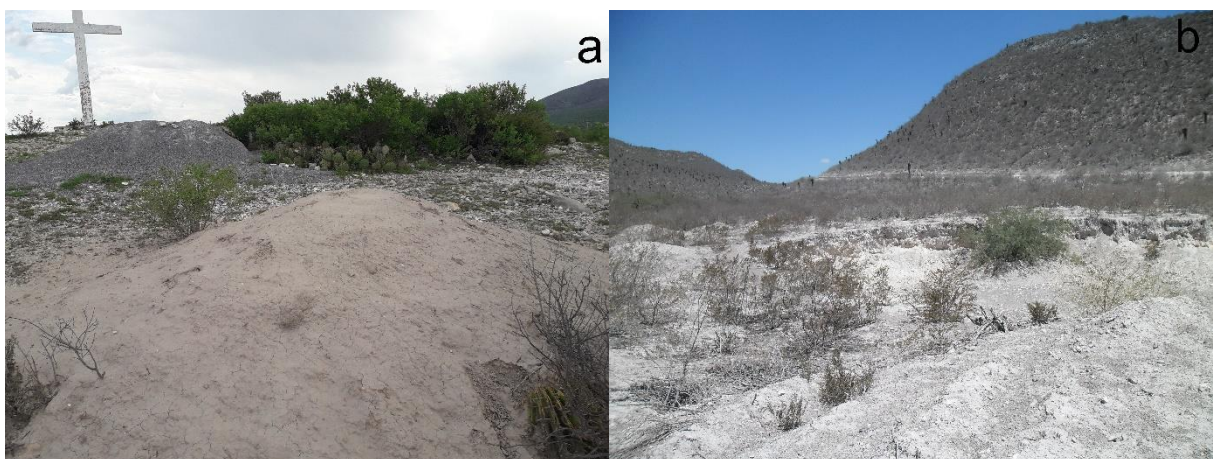


Figura 4a. En la localidad San José de los Sotoles se observa remoción total de la cobertura vegetal natural. Figura 4b. Se observa un pequeño banco de materiales en la localidad La Morita. Fotos: D. Cárdenas-Ramos.

Cuadro 7. Densidad poblacional e índice de disturbio crónico (ID) calculado para 12 sitios donde se establece *Ariocarpus retusus*. Se muestra la contribución (%) que tiene cada uno de los agentes de perturbación (Ganadería G, Actividades Humanas AH y Deterioro del hábitat D) en el ID. Datos correspondientes al año 2019.

Estado	Localidad	Densidad (ind/m ²)	ID	Agente de perturbación		
				G	AH	D
Nuevo León	El Jarro	1.32	21.7	51.7	35.7	12.6
Nuevo León	Lagunita	1.26	34.60	53	40.9	6.1
Nuevo León	La Tapona	1.42	30.55	65.2	23	11.7
Nuevo León	Los Catorce	0.58	29.48	70.2	21.5	8.2
Nuevo León	Puerto del aire	0.26	41.77	37.1	50.9	12
San Luis Potosí	El Milagro de Guadalupe	0.72	58.46	41.4	49.9	8.6
San Luis Potosí	El Mimbres	1.26	44.17	68.7	24.6	6.7
San Luis Potosí	La Morita	0.02	37	67.3	26.4	6.1
San Luis Potosí	Pozas de Santa Ana	2.28	50.39	56.3	25.5	18.15
San Luis Potosí	San José de los Sotoles	1.22	221.35	4	83.3	12.7
San Luis Potosí	Tanque de los Ángeles	4.66	177.10	28.4	68	3.5
Tamaulipas	Los Quemados	3.88	58.29	61.5	24.7	13.9

Se realizó una correlación no paramétrica de Spearman considerando como variables el índice de disturbio calculado y la densidad (ind/m²) de individuos de *A. retusus* de cada localidad. Los resultados indican que el índice de disturbio no se correlaciona con la densidad poblacional ($r_s = -0.156$, $P = 0.6403$). Esto puede deberse a que naturalmente existen poblaciones pequeñas o con densidades poblacionales bajas (ind/m²), aún en ausencia de disturbio antrópico. Por ejemplo, en el Área Natural Protegida del Valle de Cuatro Ciénegas, en Coahuila, México, se realizó un estudio

de demografía de la especie *Ariocarpus fissuratus*. Durante la investigación, se localizaron dos sitios de estudio o poblaciones, separadas entre sí, 500 m de distancia en línea recta. En el primer sitio se contabilizaron hasta 16,900 ind/ha y en el sitio dos 1 500 ind/ha (Mancilla R. 2012). Si estimáramos el disturbio crónico (ID) en ambas poblaciones, la correlación entre el ID y la densidad de individuos de *A. fissuratus* resultará no significativa, dado que en ambos sitios no existe evidencia de disturbio antropogénico y las poblaciones presentan densidades contrastantes.

Por otro lado, consideramos adecuado modificar el método para calcular el ID, de tal modo que permita estimar con exactitud la influencia de las actividades humanas sobre las poblaciones silvestres de *A. retusus*. Por ejemplo, la variable que evalúa la cercanía de actividades humanas, tales como casas, cultivos, corrales y caminos (denominada ADYA), sólo considera la cercanía con dichas actividades a 200 m de distancia. Sería importante valorar la respuesta del ID si se ampliara el rango de registro de estas actividades (p. ej. 500 a 700 m), ya que en todos los sitios que visitamos, observamos una constante conversión del suelo hacia la agricultura y la ganadería, sin embargo, no se vio reflejo en el ID calculado, puesto que los transectos se colocaron sobre las lomas o colinas donde se establece *A. retusus* y, el cambio de suelo se observó en las faldas de las colinas o lomas. Si bien, los sitios donde se establece *A. retusus* aún no han sido transformados en su totalidad a causa de las actividades humanas, es posible que un futuro las poblaciones silvestres puedan desaparecer si el cambio de uso de suelo comienza a desplazarse hacia las lomas. Tal y como ocurre en la localidad San José de los Sotoles, sitio en el que las actividades humanas se llevan a cabo en la cima de la loma, justo en el mismo espacio donde se encuentra establecida la población silvestre de *A. retusus*. San José de los Sotoles es el sitio que presenta el ID más alto debido a la transformación casi total del

suelo hacia la ganadería y asentamientos urbanos. Si bien, en esta localidad contabilizamos 61 individuos de *A. retusus*, es muy probable que el cambio de uso de suelo continúe hasta causar la desaparición de la población a corto plazo.

2.4 Función en la naturaleza. Grado de avance: Completo

Las flores de *A. retusus* sirven como un sitio de refugio, apareamiento o como fuente de alimento. Es por ello que podemos observar distintos grupos funcionales, tales como polinizadores, polinívoros, herbívoros y florívoros.

Polinizadores y polinívoros. Los polinizadores que visitan las flores de *A. retusus* en busca de polen o néctar son abejas solitarias (Hymenoptera) del género *Augochlora* (Halictidae), *Augochlorella* (Halictidae), *Exomalopsis* (Apidae), *Perdita* (Andrenidae) y de la familia Megachilidae, además de la abeja social *Apis mellifera*. Estas abejas son consideradas polinizadores potenciales de *A. retusus*, ya que tocan el estigma y las anteras de las flores. Los escarabajos de la savia (Nitidulidae: Coleoptera) y los escarabajos de las flores (Melyridae: Coleoptera) se alimentan del polen de las flores sin polinizarlas. Los escarabajos de la familia Melyridae son muy frecuentes en las flores de *A. retusus*, ya que pueden encontrarse hasta 2.28 escarabajos en promedio, por hora en una flor. Estos escarabajos generalmente permanecen en las flores de un sólo individuo y difícilmente se desplazan a las flores de individuos vecinos, esta conducta sugiere que no son polinizadores efectivos de las flores de *A. retusus* (Martínez-Peralta y Mandujano 2012, Cárdenas-Ramos 2015) (figura 5).

Florívoros. Los depredadores de las flores o florívoros atacan principalmente el perianto de las flores de *A. retusus*. Los escarabajos cuereres (*Epicauta*: Coleoptera) y las chinches de las semillas (Lygaeidae: Heteroptera) consumen los segmentos del perianto de flores en antesis. Los escarabajos de la subfamilia Cryptorhynchinae

(Curculionidae) se alimentan completamente del perianto, los estambres y el gineceo de los botones, y las larvas (Lepidoptera) consumen por completo las flores en antesis; las hormigas (orden Formicidae) colectan lana de la zona apical, recogen estambres y pétalos de plantas cercanas a los hormigueros. La eliminación total de las estructuras reproductivas a causa de la florivoría, imposibilita la polinización y posterior desarrollo de un fruto maduro y semillas por el aborto prematuro de las estructuras dañadas. (figura 5) (Cárdenas-Ramos 2015, Cárdenas-Ramos y Mandujano 2018).

Herbívoros. En *A. retusus* los chapulines (orden Orthoptera) son herbívoros que se alimentan de los tubérculos de las plantas (figura 5) (Cárdenas-Ramos 2015, Martínez-Peralta y Mandujano 2012). Ante la depredación, la planta puede arrojar un líquido blanco pegajoso (Flores 2011).

Cazadores. Las arañas que visitan las flores de *A. retusus* las utilizan como sitios para cazar a otros insectos tales como abejas (figura 5) (Cárdenas-Ramos 2015).

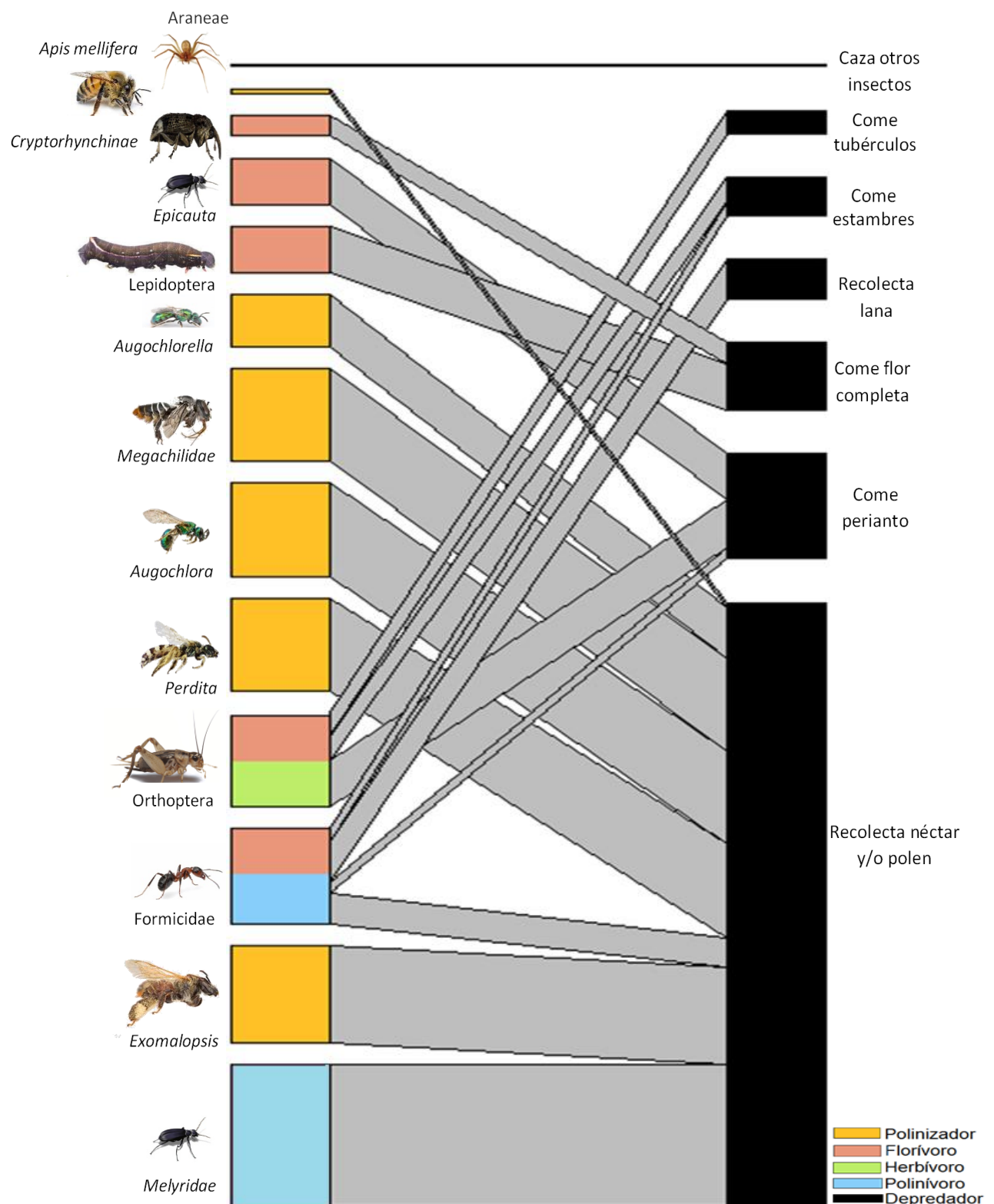


Figura 5. Red de interacción de *Ariocarpus retusus*. El grosor de las líneas grises indica la frecuencia de especies y/o géneros y en colores se muestran las actividades que realizan los visitantes en las flores de *Ariocarpus retusus*.

3 Mapas de distribución. Grado de avance: Completo.

Se elaboró un mapa de distribución potencial actual de la especie *A. retusus* a partir de registros georreferenciados de ocurrencia de la especie y, variables abióticas (ver sección 3 de métodos). El modelo indica que *A. retusus* tiene un área de distribución potencial de 113 138 km² (AUC = 0.95) (figura 6), esto representa aproximadamente 21.2% de la extensión total del Desierto Chihuahuense, que tiene un área de 533 660 km² (Hernández *et al.* 2010). No obstante, es posible que el área de distribución de la especie éste sobreestimada, ya que el modelo establece sitios de idoneidad a partir de factores ambientales, sin considerar variables biológicas como las interacciones bióticas e incluso, la biología de la especie. Por ejemplo, en *A. retusus* las hormigas son el principal agente de dispersión biótica de las semillas, debido a que la dispersión es a distancias muy cortas, es difícil que la especie pueda atravesar barreras geográficas para colonizar nuevos sitios, aunque estos sean idóneos para su establecimiento. Además, *A. retusus* al igual que otras cactáceas del Desierto Chihuahuense, es una especie que se distribuye discontinuamente (Hernández y Navarro 2007) y requiere de sitios especializados o restringidos para su establecimiento, tal es el caso de lomas o colinas pedregosas. De acuerdo con lo anterior, Hernández *et al.* (2010) establecen que *A. retusus* puede llegar a ocupar un área de 10 490 km², pudiendo incrementarse hasta 12 661.14 km², esto de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio (ver más adelante).

Asimismo, los modelos de distribución potencial no consideran la influencia de las actividades antrópicas, variables que juegan un papel determinante en el establecimiento de *A. retusus*. En este estudio se observó que hasta el año 2017, 29 657.83 km² de la cobertura vegetal fue modificada hacia la agricultura, la ganadería (intensiva o extensiva) y las plantaciones forestales y, 32.72 km² se modificaron hacia

zonas urbanas, esto representa una pérdida de 26.24% (29 692.71 km²) del área de distribución potencial actual estimada para *A. retusus* (113 138 km²). Si consideráramos la influencia de las actividades antrópicas sobre la permanencia de *A. retusus*, se puede establecer que la distribución potencial actual de la especie es de 83 447.45 km², no obstante, la reducción del área puede ser mayor, considerando que la proyección se realizó con el mapa de INEGI de 2017.

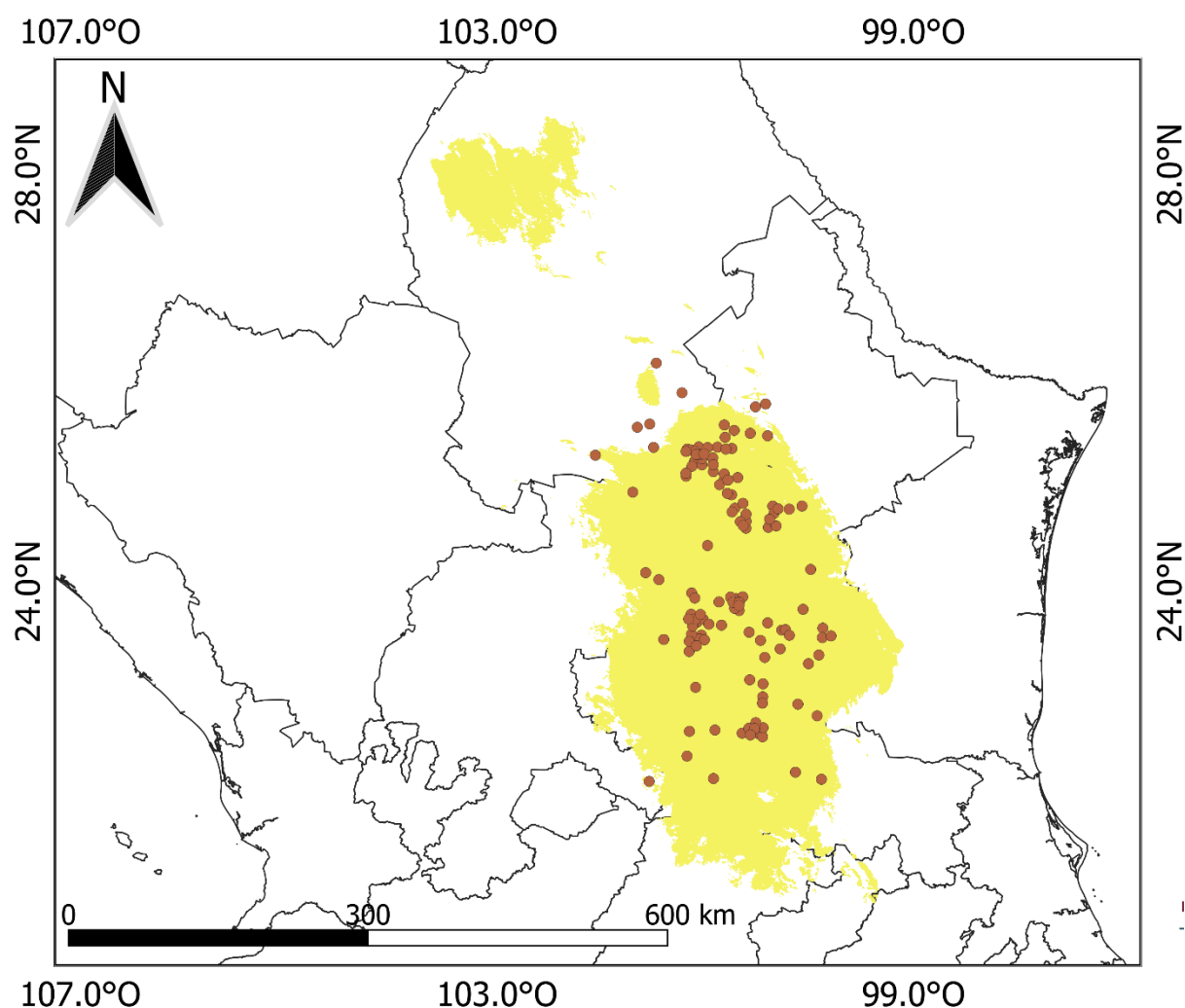


Figura 6. Registros de presencia (puntos cafés) y distribución potencial (en color amarillo) de *Ariocarpus retusus* en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas.

El modelo que estima el área de distribución potencial futura para el año 2050, a partir del modelo francés CNRM-CM5 y bajo un escenario de cambio climático 4.5 (escenario conservador), indica que el área de distribución de *A. retusus* será de 106 938 km² (AUC = 0.95) (figura 7), esto implica una reducción de 6 200 km² con respecto a la proyección de distribución actual (113 138 km²). Considerando el cambio de uso de suelo registrado hasta el año 2017 (29 692.71 km²), el área de distribución potencial para el año 2050 será de 77 247.45 km², esto con respecto a la distribución potencial actual (figura 7). Por otro lado, el escenario de cambio climático 8.5 (escenario extremo) indica que el área de distribución potencial de la especie será de 108 496 km² (AUC = 0.95) (figura 7), es decir, 4 642 km² menos con respecto a la distribución actual.

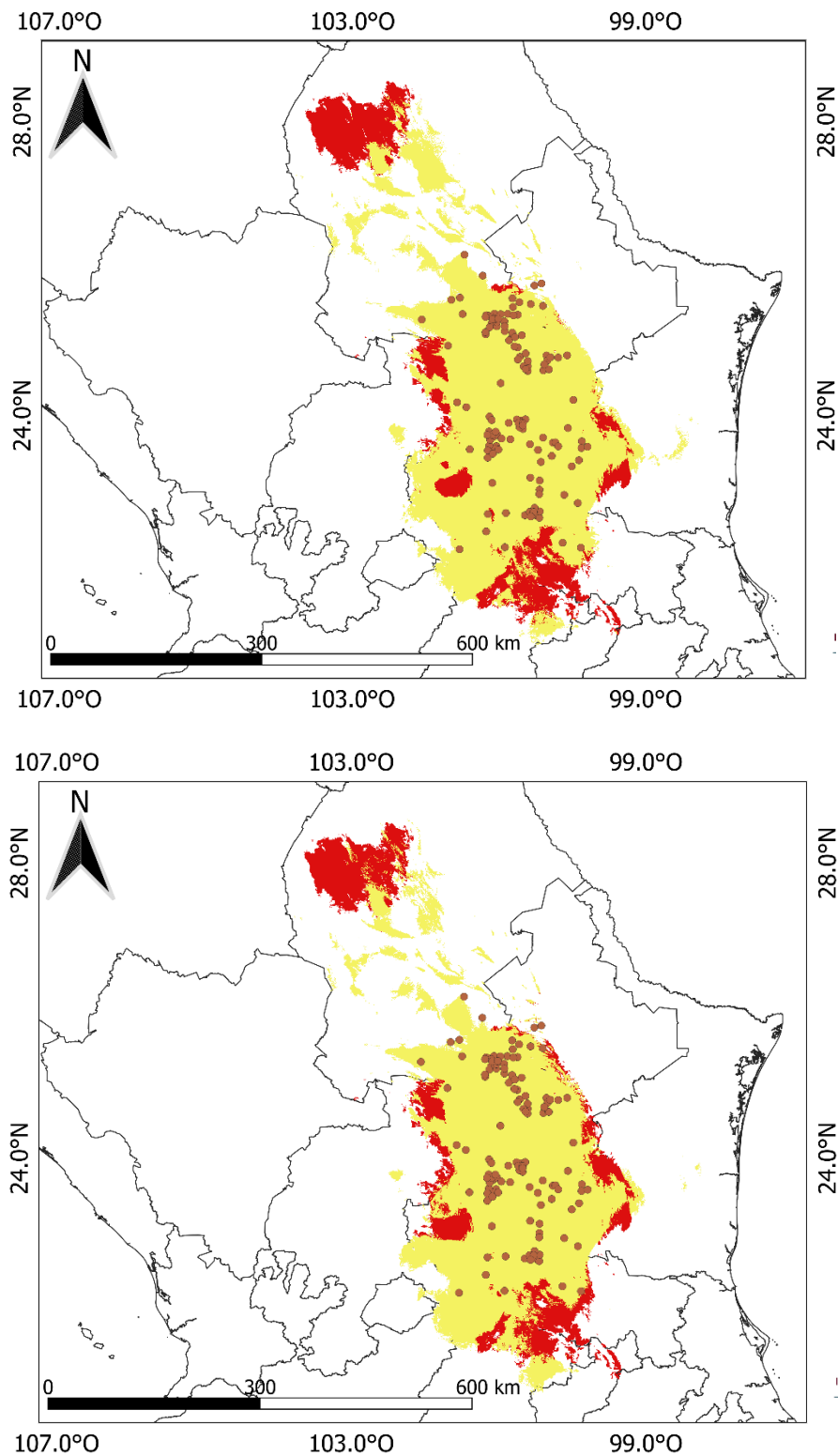


Figura 7. Mapa de distribución potencial de *Ariocarpus retusus* en un escenario de cambio climático 4.5 (mapa superior) y 8.5 (mapa inferior) estimado a partir del modelo CNRM-CM5. En amarillo se muestra la distribución potencial futura para el año 2050 y en rojo, el área de distribución potencial actual, que a su vez se perdería en el futuro.

El modelo de distribución potencial futura que se realizó a partir del modelo estadounidense GFDL-CM3, indica que en un escenario de cambio climático 4.5 (escenario conservador) el área de distribución de *A. retusus* será de 105 187 km² (AUC = 0.95) (figura 8) y en un escenario 8.5 (escenario extremo) será de 106 472 km² (AUC = 0.95) (figura 8), esto implica una reducción de 7 951 m² y 6 666 km² respectivamente, esto si se compara con el área de distribución potencial actual, sin considerar el cambio de uso de suelo.

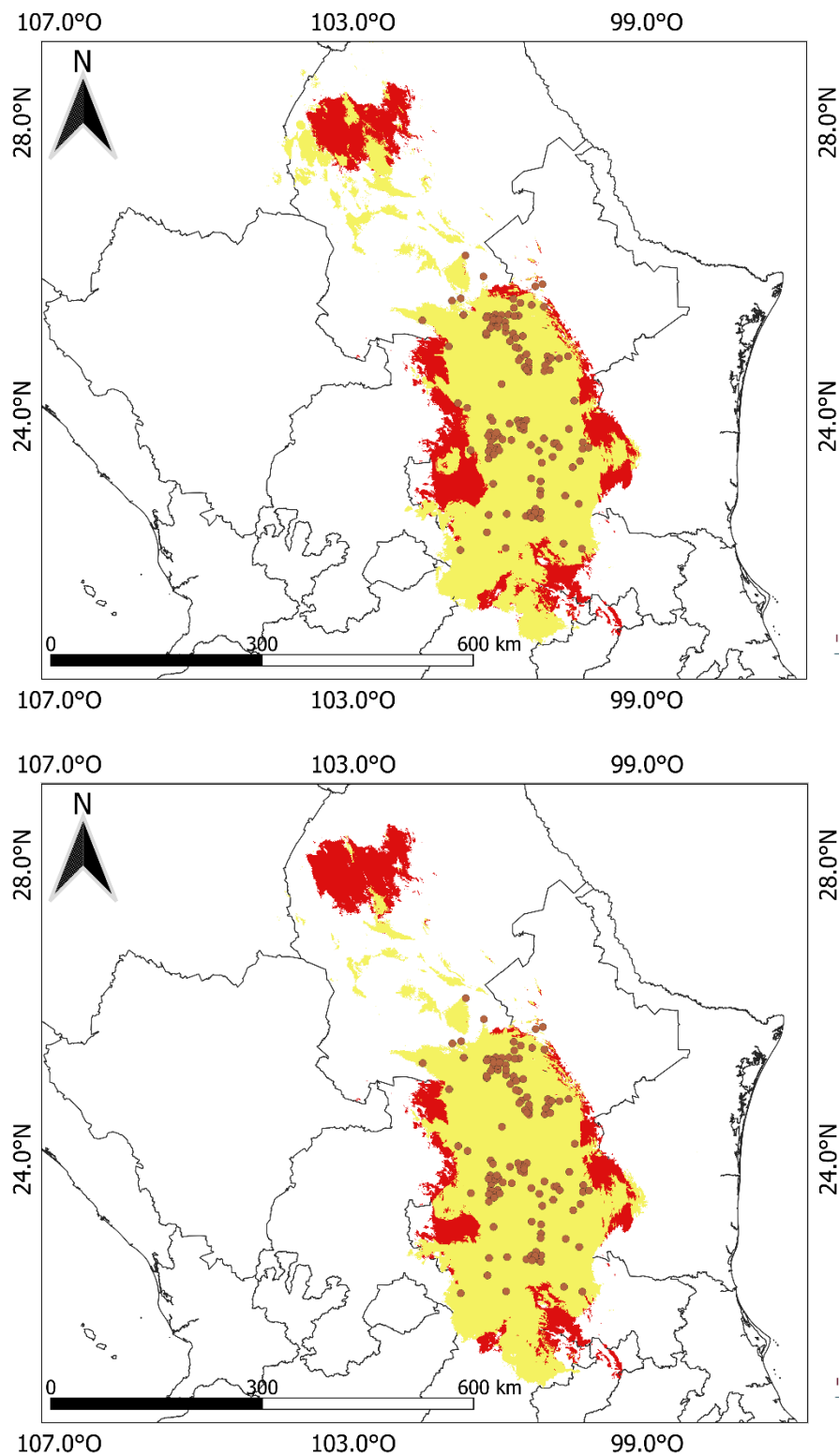


Figura 8. Mapa de distribución potencial de *Ariocarpus retusus* en un escenario de cambio climático 4.5 (mapa superior) y 8.5 (mapa inferior), a partir del modelo GFDL-CM3. En amarillo se muestra la distribución potencial futura para el año 2050 y en rojo, el área de distribución potencial actual, que a su vez se perdería en el futuro.

3.1 Área de ocupación. Se estimó el área de ocupación (AO) de *A. retusus* siguiendo el Método Cartográfico por Conglomerados (CMC) descrito previamente en la sección de métodos (Hernández y Navarro 2007). El resultado indica que *A. retusus* ocupa un área de ocupación de 12 661.15 km², esto representa apenas el 11.2% del área de distribución potencial actual estimada en este trabajo y, que corresponde a 113 138 km². Como se mencionó anteriormente, la diferencia entre áreas se debe a que el modelo de distribución potencial tiende a sobreestimar el área de distribución de una especie, ya que no considera la biología de la especie, no obstante, es un buen indicativo del hábitat tipo donde podemos encontrar a la especie. El área obtenida con el método CMC podría dar una estimación más acertada sobre el área que ocupa *A. retusus*, considerando que los individuos que crecen en pequeñas agregaciones debido a la baja capacidad de dispersión de las semillas y a que sus poblaciones se distribuyen de forma discontinua a lo largo del Desierto Chihuahuense (Hernández y Navarro 2007, Martínez-Peralta 2014c).

Extensión de presencia (EOO) y área de ocupación (AOO)

Tras analizar los registros de herbario de *A. retusus* con la paquetería ConR de R, los resultados indican que el área de extensión donde se encuentran incluidos todos los puntos de presencia de *A. retusus* o EOO es de 77 175 km² y, el área de ocupación de *A. retusus* o AOO es de 1 125 km². Como se podrá observar, el AOO calculado con la paquetería ConR es muy distinto al calculado con el CMC, estas diferencias se deben a que el paquete ConR asume por defecto que el área donde actualmente se establece el taxón se deteriorará a través del tiempo (Dauby *et al.* 2017).

La paquetería ConR, además de calcular el EOO y el AOO, permite estimar el número de subpoblaciones del taxón evaluado y el número de ubicaciones, dos de las tres condiciones que complementan las evaluaciones del criterio B de la IUCN (IUCN 2012,

Dauby *et al.* 2017). Se entiende como subpoblaciones a aquellos grupos geográficamente distintos en la población, en los que existe muy poco intercambio demográfico o genético; las ubicaciones se refieren a un área demográfica o ecológicamente distinta en la que un evento amenazante puede afectar a todos los individuos de un taxón (Dauby *et al.* 2017). De acuerdo con lo anterior, para la especie *A. retusus* existen 63 subpoblaciones o sitios en los que el intercambio genético es muy bajo y, 95 localidades únicas o sitios que se encuentran sujetos bajo alguna amenaza y, cuya perturbación puede llegar a afectar al taxón. Finalmente, ConR sugiere que *A. retusus* debe estar incluida en la categoría Least Concern o LC, categoría en la que actualmente se encuentra o, en la categoría Near Threatened o NT. Esta sugerencia se realiza a partir del EOO, AOO, el número de ubicaciones y subpoblaciones estimadas para *A. retusus* (IUCN 2012, Dauby *et al.* 2017).

3.2 Áreas Naturales Protegidas. Se registraron dos áreas naturales protegidas (ANP) que resguardan a algunas poblaciones de *A. retusus*. El primero es el Parque Nacional (PN) Cumbres de Monterrey en Nuevo León, que tiene una extensión de 177 395 ha (CONANP); en dicha área se contabilizaron dos puntos de presencia de *A. retusus*, esto con respecto al total de registros de nuestra base de datos (126 registros) (figura 9). La segunda ANP es el Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) Bajo Río San Juan que se localiza en los estados de Coahuila y Nuevo León y, que tiene una extensión de 197 156 ha. En Bajo Río San Juan se contabilizaron cuatro puntos de presencia de *A. retusus* (figura 9). Siguiendo el Método Cartográfico por Conglomerados (CMC) de Hernández y Navarro (2007), se determinó que el Parque Nacional Cumbres de Monterrey protege alrededor de 374.7 km² del área de ocupación estimada para *A. retusus*, esto representa 21.1% de la extensión total del

área de protección del Parque Nacional y, la ^{APRN} Bajo Río San Juan protege 749.4 km² del área de ocupación de la especie, esto corresponde al 38% de la extensión total de dicha área de protección. Dichos resultados se obtuvieron al sumar el área de cada celda donde se registra la especie, para cada ^{ANP}; el área de cada celda es de 187.37 km² y, se registraron dos puntos de presencia en el ^{PN} Cumbres de Monterrey y, cuatro registros de presencia en el ^{APRN} Bajo Río San Juan. Finalmente, se puede establecer que sólo el 8.87% (1 124.1 km²) del área total de ocupación estimada para *A. retusus* (12 661.15 km²), se encuentra protegida por alguna ^{ANP}.

En la actualidad no se registran individuos de *A. retusus* dentro de los polígonos del Área de Protección de Flora y Fauna (^{APRN}) Sierra la Mojonera, que se localiza entre San Luis Potosí y Zacatecas, aunque en el pasado, la especie formaba parte de la vegetación natural de dicha área de protección. No obstante, desde el año 2015 se están llevando a cabo esfuerzos de restauración de la vegetación natural para recuperar especies prioritarias para la conservación, tal es el caso de *A. retusus*, *Echinocactus platyacanthus*, la biznaga barril de lima (*Ferocactus pilosus*) y el peyote (*Lophophora williamsii*) (^{APRN} 2015).

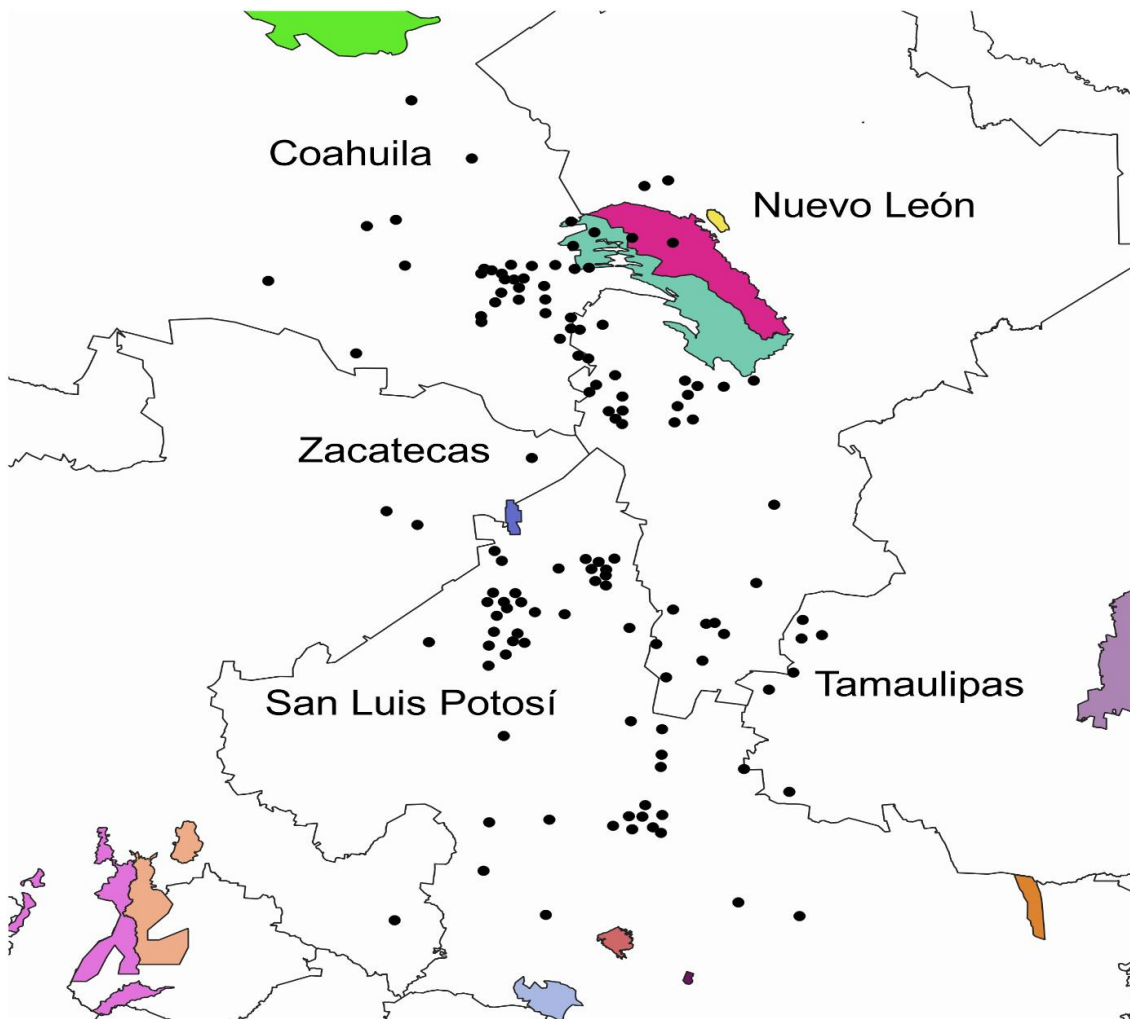


Figura 9. Áreas Naturales Protegidas de México que resguardan algunas subpoblaciones de *Ariocarpus retusus*. En color rosa se muestra el Parque Nacional Cumbres de Monterrey (Nuevo León) y, en color verde azulado el Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) Bajo Río San Juan localizada entre Coahuila y Nuevo León. Los puntos negros corresponden a los registros de presencia de *Ariocarpus retusus*.

4 Información poblacional. Grado de avance: Completo.

4.1 Estructura poblacional. La estructura poblacional de *A. retusus* corresponde a las siguientes categorías de tamaño:

Categoría de tamaño	Diámetro (cm)
Plántulas	< 3
Juveniles	3.1 a 6
Adultos 1	6.1 a 9
Adultos 2	9.1 a 12
Adultos 3	12.1 a 15
Adultos 4	15.1 a 18
Adultos 5	18.1 a 21

La categoría de plántulas está integrada por individuos que, de acuerdo a su tamaño, fueron considerados como individuos de reclutamiento reciente. Los juveniles son individuos no reproductivos y las categorías de adultos incluyen a los individuos reproductivos de la población. No se estableció una sola categoría de tamaño de individuos adultos, puesto que la producción de frutos y semillas es diferente entre los individuos reproductivos de la población, ya que existe una relación positiva entre el tamaño y la producción de flores, es decir, entre más grande sea un individuo hay una tendencia clara a que producirá más estructuras reproductivas. De acuerdo con lo anterior, los individuos de la categoría de Adultos 5 son los que más contribuyen con la fecundidad de la población (Cárdenas-Ramos 2015).

Se visitaron 12 localidades de *A. retusus* de las que previamente se tenía un registro de herbario (Aguilar-Morales *et al.* 2011). En la localidad Pozas de Santa Ana, perteneciente al municipio de Guadalcázar (San Luis Potosí), en Tanque de los Ángeles, en el municipio de Ciudad del Maíz (San Luis Potosí), en Los Quemados, municipio de Miquihuana (Tamaulipas) y en las localidades Los Catorce y Puerto del aire, ambas pertenecientes al municipio de Dr. Arroyo (Nuevo León), las poblaciones silvestres de *A. retusus* están conformadas principalmente por individuos de la

categoría Adultos 1 (6.1-9 cm de diámetro) (figura 10). En la localidad San José de los Sotoles, del municipio de Matehuala (San Luis Potosí) y en El Milagro de Guadalupe, localizado en el municipio de Guadalcázar (San Luis Potosí), así como en las localidades El Jarro y Lagunita, ambas pertenecientes al municipio de Dr. Arroyo (Nuevo León), los individuos de la categoría Adultos 2 (9.1-12 cm de diámetro) son los más frecuentes en la población (figura 10). En la localidad el Mimbres, municipio de Matehuala (San Luis Potosí), la categoría mejor representada es Adultos 3 (12.1-15 cm de diámetro). En todas las localidades la categoría menos representada es Adultos 5 (18.1-21 cm de diámetro), es decir, aquellos que contribuyen más con la fecundidad de la población y que tienen el potencial de producir más frutos y semillas por temporada reproductiva (figura 10).

El reclutamiento más alto se presenta en Tanque de los Ángeles (San Luis Potosí) con 23 individuos en la categoría de Plántula, el reclutamiento más bajo se registró en el Mimbres (San Luis Potosí), con un sólo individuo (figura 10); en las localidades El Milagro de Guadalupe (San Luis Potosí), La Taponá, Los Catorce y Puerto del Aire (Nuevo León), no se registró ningún individuo en la categoría de Plántula. El bajo reclutamiento de individuos en *A. retusus* podría sugerir que, dentro de la dinámica poblacional, el reclutamiento es el proceso demográfico más vulnerable de la especie. En cuanto a la estructura poblacional de *A. retusus*, se observa una frecuencia irregular de individuos entre las categorías de tamaño (Mandujano *et al.* 2001). Por ejemplo, la categoría de Plántulas, así como las últimas categorías de tamaño, están representadas por una frecuencia muy baja de individuos y, las categorías de tamaño intermedias presentan una frecuencia alta de individuos, esta estructura poblacional es una característica que se presenta en otras especies del género *Ariocarpus*, tal como *A. scaphiostrius* y *A. fissuratus* (Mandujano *et al.* 2007, Mancilla R 2012). Este

patrón poblacional se debe a que las condiciones ambientales extremas de los sitios donde se establecen estos cactus, impiden el establecimiento de nuevos individuos y el crecimiento de los individuos de las categorías intermedias, lo anterior indica que la permanencia en la misma categoría o estadio de desarrollo es común en las poblaciones. En cuanto a la frecuencia baja de individuos en las últimas categorías de tamaño podría sugerir la baja sobrevivencia de los individuos adultos, o que constantemente son objeto de saqueos (Mandujano *et al.* 2007; Mandujano *et al.* 2001).

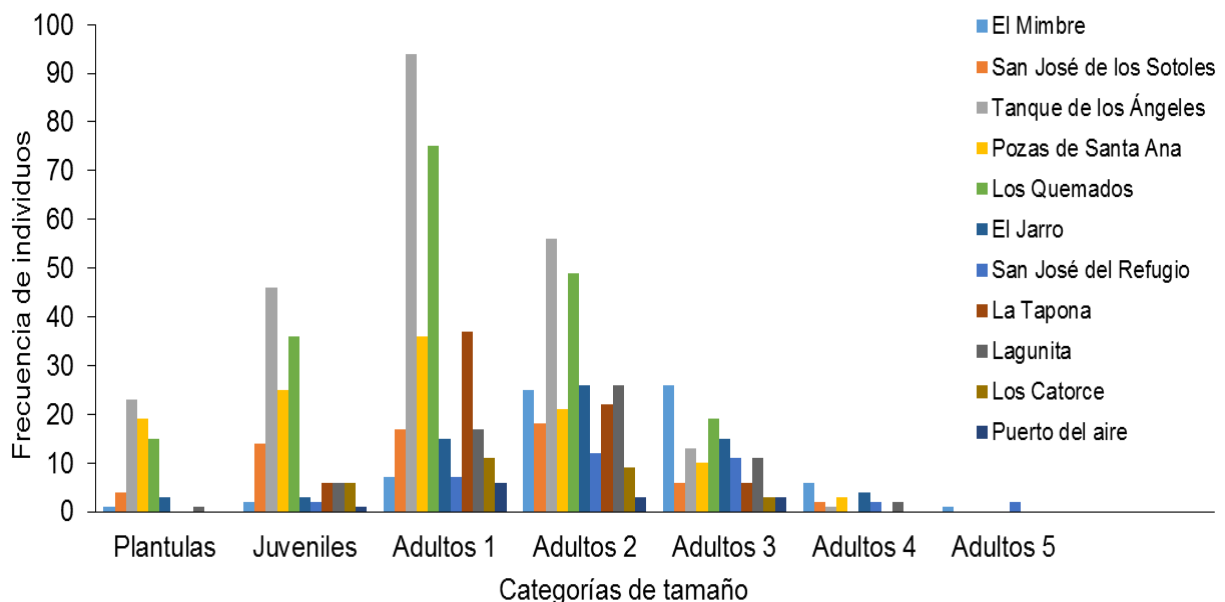


Figura 10. Estructura poblacional. La gráfica muestra la frecuencia de individuos por categoría de tamaño en 12 poblaciones silvestres de *Ariocarpus retusus* visitadas en San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas. Datos correspondientes a 2019.

4.2 Tamaño poblacional estimado. En una población silvestre de *A. retusus* se puede encontrar de uno hasta 233 individuos en 50 m², es decir, una población en promedio tiene 79.08 individuos (± 20.20) en 50 m². Si se considera el promedio de individuos por población (126 registros de presencia), se puede establecer que el número de ejemplares de *A. retusus* que se encuentran aún en pequeñas poblaciones

silvestres distribuidas en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas es de 9 964.08 individuos. Es importante aclarar que el tamaño poblacional de *A. retusus* se estimó a partir de la densidad poblacional registrada en los 12 sitios visitados y no a partir de la abundancia; la densidad se refiere al número de individuos por unidad de área y la abundancia al número total de individuos presentes en una población (Mandujano 2011). De acuerdo con lo anterior, el tamaño poblacional de *A. retusus* podría ser sutilmente más grande considerando que no se contabilizó la totalidad de los individuos de algunas poblaciones silvestres. Por ejemplo, en la localidad El Mimbres y Tanque de los Ángeles (San Luis Potosí), en la localidad Lagunita (Nuevo León) y, en la localidad Los Quemados (Tamaulipas), era posible observar más individuos que los contabilizados en los 50 cuadros de un metro cuadrado. No obstante, en la localidad San José de los Sotoles (San Luis Potosí), La Tapona y el Jarro (Nuevo León), apenas se logró la meta de contabilizar individuos en 50 cuadros. Finalmente, En Los Catorce y Puerto del Aire (Nuevo León), así como en la localidad El Milagro de Guadalupe, La Morita y Pozas de Santa Anna (San Luis Potosí), sólo fue posible contabilizar individuos en uno y hasta 35 cuadros de un metro cuadrado, esto debido a la baja abundancia de individuos de *A. retusus*.

Por otro lado, en un periodo de cuatro meses se registró la venta ilegal en internet de 39 ejemplares adultos de la especie, esto reduce el tamaño poblacional a 9 925.08 individuos, si esta tendencia continuara, al cabo de un año (2020) la población silvestre se puede reducir a 9 847.08 individuos, esto representa una pérdida de 0.99% individuos al año (producto de dividir 9 847.08/9 925.08), a causa de la extracción ilegal de ejemplares de vida silvestre. Aunado a lo anterior, los individuos que se extraen ilegalmente son adultos reproductivos, si consideramos que cada individuo produce un fruto con 76 semillas en promedio, en un periodo de cuatro meses el

comercio ilegal causaría la pérdida de 2 964 semillas disponibles para la dispersión o el reclutamiento en el banco de semillas de la población, no obstante, la pérdida de semillas puede ser hasta de 8 892 semillas, considerando que en un año se comercialicen hasta 117 individuos adultos de *A. retusus* de vida silvestre.

Para el año 2050, el tamaño poblacional de *A. retusus* será de 8 540.64 individuos considerando la pérdida de 18 poblaciones (sección tasa de pérdida de poblaciones). Si se supone que al año se extraen de forma ilegal aproximadamente 117 individuos de la especie, para el año 2050 la población se reducirá de 8 540.64 a 5 030.64 individuos, esto representa una pérdida de 50.68% individuos con respecto al tamaño poblacional estimado en este estudio para el año 2019 (9 964.08 individuos). Sin embargo, el tamaño poblacional puede ser aún más pequeño, tomando en cuenta que la proyección de distribución potencial futura para el año 2050, no considera el cambio de uso de suelo, evento que determina la permanencia de las poblaciones silvestres de *A. retusus*.

4.3 Densidad poblacional y tendencias de la población. La densidad poblacional más baja se registró en La Morita, en el municipio Ciudad del Maíz (San Luis Potosí), donde sólo se encontró un individuo (0.02 ind/m²). En Tanque de los Ángeles se presenta la densidad más alta con 4.66 ind/m² (cuadro 8).

De acuerdo con la clasificación de estatus poblacional propuesto por Villavicencio G. *et al.* (2013), sugiere que una población mala (0-25 ind/25 m²) es aquella en la que se llevan a cabo actividades antrópicas incluidas el saqueo ilegal de ésta y otras especies, el área de distribución es pequeña y el reclutamiento es bajo o nulo. Una población buena (26-34 ind/25 m²) presenta bajo o nulo impacto por las actividades antrópicas, se presenta reclutamiento de nuevos individuos y las interacciones como

la polinización permanecen. Una población excelente ($< 35 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) se encuentra en un sitio con ausencia de disturbio, lejos de las carreteras, el reclutamiento de individuos es constante y la densidad poblacional es alta. De acuerdo con esta categorización, La Morita ($0.5 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) y El Milagro de Guadalupe ($18 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) en San Luis Potosí, así como Los Catorce ($14.5 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) y Puerto del aire ($6.5 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) en Nuevo León, son las localidades con poblaciones silvestres más deterioradas o dentro de la categoría de “mala”. El Mimbres ($34 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) y San José de los Sotoles ($30.5 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) en San Luis Potosí, así como El Jarro ($33 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) y Lagunita ($31.5 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) en Nuevo León, presentan poblaciones con un “buen” estado de conservación. La población de Pozas de Santa Ana ($57 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) en San Luis Potosí, La Taponia ($35.5 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) en Nuevo León y Los Quemados ($97 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$) en Tamaulipas, presentan un “excelente” estado de conservación, sin embargo, Tanque de los Ángeles es la localidad mejor conservada con $116.5 \text{ ind}/25 \text{ m}^2$. En los sitios donde se establecen las poblaciones de *A. retusus* catalogadas en “excelente” estado de conservación, se llevan a cabo actividades antrópicas que comprometen su permanencia. Por ejemplo, las zonas urbanas se localizan entre 1.10 y 3.32 km de distancia de las poblaciones silvestres de *A. retusus*, los cultivos se sitúan entre 0.15 y 2.59 km de distancia y los abrevaderos para el ganado se registran a 1.25 km. En cuanto a las vías de acceso tal como caminos de terracería y las grandes carreteras, se localizan desde los 0.026 km y hasta 0.23 km de distancia de las poblaciones silvestres de *A. retusus*. La cercanía de las vías de comunicación con las poblaciones silvestres representa un gran riesgo para la especie, ya que facilita la extracción ilegal de ejemplares de vida silvestre.

Cuadro 8. Densidad poblacional de *Ariocarpus retusus* registrada en Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas. Datos correspondientes a 2019.

Estado	Localidad	Densidad (ind/m ²)	Tamaño poblacional (ind/50 m ²)
Nuevo León	El Jarro	1.32	66
Nuevo León	Lagunita	1.26	63
Nuevo León	La Tapona	1.42	71
Nuevo León	Los Catorce	0.58	29
Nuevo León	Puerto del aire	0.26	13
San Luis Potosí	El Milagro de Guadalupe	0.72	36
San Luis Potosí	El Mimbres	1.36	68
San Luis Potosí	Pozas de Santa Ana	2.28	114
San Luis Potosí	San José de los Sotoles	1.22	61
San Luis Potosí	Tanque de los Ángeles	4.66	233
San Luis Potosí	La Morita	0.02	1
Tamaulipas	Los Quemados	3.88	194

Se visitaron, además, ocho localidades en las que no se encontró ningún individuo de *A. retusus* (cuadro 9). Esto se debe a que el terreno ya se encuentra destinado a alguna actividad económica o que la coordenada de herbario está incompleta. Por ejemplo, en la ciudad de Monterrey, la coordenada de herbario está completa, sin embargo, el sitio se encuentra cerca del aeropuerto y el terreno ya está destinado a la construcción de una unidad habitacional. En los Antejos, en el municipio de Santa Catarina (San Luis Potosí), la coordenada está completa, sin embargo, no se encontró ningún ejemplar de *A. retusus* y los habitantes de la comunidad nos informaron que, aún hay ejemplares de la especie, pero cada vez se tienen que caminar distancias más largas para encontrarlos; reportan que la pérdida de ejemplares se debe a la constante extracción de ejemplares por saqueadores. En el resto de las localidades la coordenada de herbario no está completa, sin embargo, sólo los pobladores del Huizache en el municipio de Guadalcázar (San Luis potosí), aseguraron haber visto al

“cactus estrella”; en las otras localidades no se reconoce a la especie como parte de la vegetación del sitio.

Cuadro 9. Localidades visitadas en Nuevo León y San Luis Potosí en las que no se registró ningún ejemplar de *Ariocarpus retusus*. Datos correspondientes al año 2019.

Estado	Municipio	Localidad
Nuevo León	-	Ciudad de Monterrey
Nuevo León	Ramos Arizpe	San José de los Nuncios
Nuevo León	Mina	Minas
San Luis Potosí	Guadalcázar	Milagro de Guadalupe
San Luis Potosí	Guadalcázar	El Huizache
San Luis Potosí	Guadalcázar	Los Amoles
San Luis Potosí	Guadalcázar	La Negrita
San Luis Potosí	Santa Catarina	Los Antejos

La tasa de pérdida de poblaciones (T_p) se estimó considerando el número de poblaciones no encontradas en 2019 (ocho sitios) y la localidad de la Morita (San Luis Potosí) que, de acuerdo con nuestro criterio, está próxima a desaparecer ya que sólo se encontró un individuo de *A. retusus*. Se dividió el número de poblaciones encontradas en 2019 (117 registros) entre el número inicial de registros de presencia (126 registros). El valor de T_p es 0.9285, esto indica que para el año 2019 se han perdido 7.14% poblaciones silvestres de *A. retusus*. La pérdida de poblaciones para el año 2050 será de 14.28% ($T_p = 0.8571$). Este resultado se obtuvo de dividir el número de poblaciones pérdidas para 2019 (nueve registros) y las poblaciones que se perderían para 2050 (nueve registros), este último valor se obtuvo de la proyección de distribución potencial futura en escenarios de cambio climático realizada en este trabajo. El resultado anterior se dividió entre el número inicial de registros de la especie (126 registros). No obstante, es posible que los valores de T_p puedan ser más altos, considerando que no visitamos todos los registros de presencia de *A. retusus* y, que

la proyección de distribución potencial futura, no considera el cambio de uso de suelo, evento que determina la permanencia de las poblaciones silvestres de *A. retusus*.

4.4 Tendencias geográficas. Del área de distribución potencial actual estimada para *A. retusus* (113 138 km²), el 16% (18 107.96 km²) presentaba cambio de uso de suelo hacia la agricultura, la ganadería, las plantaciones forestales y zonas urbanas en 2009. Para el año 2017, el 26.24% (29 692.71 km²) del área de distribución potencial de la especie, fue modificado hacia las actividades económicas. Considerando estos datos, se calculó la tasa de pérdida de hábitat (*Th*) como una relación entre el área (km²) destinada a las actividades económicas en 2017 y el área (km²) con cambio de uso de suelo en 2009. Se obtuvo un valor de *Th* = 1.6396 que sugiere que en un periodo de ocho años (2009-2017), se presenta un incremento del 36.04% de cambio de uso de suelo en zonas con vegetación natural.

5 Amenazas. Grado de avance: Completo.

Ariocarpus retusus es una de las especies de cactus más apreciada por los coleccionistas, es por ello que desde 1975 se incluyó en el Apéndice II de CITES, aunque desde 1992 y hasta la fecha se encuentra en el Apéndice I (CITES 2017, 2020a). Se ha reportado en la literatura que los principales destinos de exportación legal o ilegal de la especie son Alemania, Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Italia, Japón, Nueva Zelanda y Suiza. Hasta el año 2019, estos países siguen siendo líderes de importación y exportación legal de *A. retusus*, ya que en la Base de Datos sobre el Comercio CITES (ver <https://trade.cites.org/>), observamos que para el periodo 2009-2019, los principales exportadores de plantas vivas, plantas secas y semillas de *A. retusus* son Alemania, Estados Unidos y Tailandia; los principales países importadores de

ejemplares vivos son Alemania, Australia, Canadá, China, Corea del Sur, España, Italia, Japón, Estados Unidos, Rusia, Singapur y Suiza y, los principales importadores de semillas son China y Suiza, al registrar respectivamente 26 100 y 14 420 semillas importadas en un periodo de 10 años (2009-2019). De los registros de comercio de los que tiene conocimiento CITES, en este estudio observamos que el 74.2% de las transacciones de *A. retusus* y sus derivados se realizan con fines comerciales y, en el 84% de los casos, los países reportaron que los ejemplares comercializados provienen de ejemplares que se reproducen o propagan artificialmente. En el 18% de los registros de transacción, los países no indicaron a CITES el propósito de la transacción comercial y, en el 0.2% de los casos no se indicó el origen de los ejemplares comercializados (ver sección Uso y Comercio) (CITES 2019b).

Si bien, CITES regula el comercio de las especies incluidas en sus Apéndices al emitir permisos y certificados de comercio que no perjudica la permanencia y supervivencia de las especies (CITES 2020a), en la actualidad aún permea el tráfico constante de *A. retusus* y de otras especies. Por ejemplo, entre 1982 y 1983, se recuperaron 386 individuos de *A. retusus* provenientes de Estados Unidos y algunos países de Europa (CITES 2019a). Durante la 11ª reunión del Comité de Flora en Langkawi, Malasia (CITES 2001), se informó que *A. retusus* era la especie con la mayor frecuencia de venta en internet con 79 registros. Por su parte la UNEP reportó que en el año 2003 se registró la exportación legal de 230 semillas y 50 semillas en el año 2004; sin embargo, en el año 2005 se incrementó la demanda de semillas de la especie, ya que en ese año se registraron hasta 3 315 semillas exportadas (UNEP-WCMC 2005). En este trabajo realizamos una búsqueda de registros de comercio legal de *A. retusus* para el periodo 2009-2019 en la Base de Datos sobre el Comercio CITES (ver <https://trade.cites.org/>) y, observamos que la demanda de semillas de *A. retusus* tuvo un crecimiento

exponencial en el año 2011 y 2016, al registrarse la comercialización anual de hasta 17 800 y 12 450 semillas respectivamente, por año (cuadro 11).

De acuerdo con estos datos, queda de manifiesto que el comercio de *A. retusus* ha prevalecido durante mucho tiempo, esto se debe a la necesidad de los coleccionistas por adquirir un cactus raro y, a que las personas que los extraen se ven beneficiadas. Por ejemplo, el precio de un ejemplar de *A. retusus* oscila entre 4 y 56 dólares, esto depende del tamaño del individuo, aunque los individuos más grandes pueden venderse incluso hasta en 100 dólares. Además de las plantas, los coleccionistas compran semillas de *A. retusus*. Un paquete con 10 semillas tiene un costo de 0.95 dólares y un lote con 500 semillas puede alcanzar hasta 20 dólares. De acuerdo con lo anterior, la extracción de ejemplares adultos y la colecta ilegal de semillas, representa un buen negocio para los saqueadores (Villavicencio G. *et al.* 2010).

Entre 2019 y 2020 se realizó una búsqueda en internet para determinar si los destinos de venta, la cantidad de individuos comercializados de *A. retusus* y el precio de venta cambió, esto con respecto a la información de venta en la web presentada durante la 11ª reunión del Comité de Flora en Langkawi, Malasia (CITES 2001). En este estudio se encontraron 372 registros de venta de *A. retusus*, esto representa cinco veces más registros que en el año 2001, donde sólo se encontraron 73. El 7% de los registros corresponden a páginas web de México y 93% a países en el extranjero. Se registraron 26 tiendas en línea que ofertan ejemplares y/o semillas de *A. retusus* y, 123 vendedores independientes que ofrecen a la especie en plataformas como AliExpress, Amazon, bidorbuy (Sudáfrica), eBay, ETSI, Facebook y Mercado Libre (cuadro 10). Los individuos de *A. retusus* se pueden comprar en 23 países, sin embargo, China, Estados Unidos e Italia son los países que ofertan más ejemplares de *A. retusus* y, son los países que disponen de individuos de distintas categorías de

tamaño, por lo que en estos países puede adquirirse desde una plántula, hasta adultos reproductivos con flores. Canadá, India y Serbia sólo ofertan semillas de *A. retusus*; India y Estados Unidos son los países líderes en comercializar semillas, ya que se observó que en un periodo de cuatros meses, ambos países tienen a la venta 2 520 y 1 480 semillas, respectivamente (cuadro 10). La información disponible hasta ahora sugería que el tráfico ilegal de *A. retusus* se realizaba principalmente desde México, no obstante, la información recopilada en este estudio, indica que los coleccionistas pueden adquirir un ejemplar de *A. retusus* en tiendas en el extranjero y ya no sólo desde México, aunque en este estudio sólo siete tiendas extranjeras en la web indicaron contar con algún permiso aduanal o de CITES. De estas siete tiendas, cuatro se encuentran debidamente registradas en CITES y tienen la autorización para propagar y vender ejemplares de *A. retusus*, estas tiendas o viveros son los siguientes: Uhlig Kakteen y Kakteen-Haage de Alemania, Mondocactus de Italia y Hajek-kaktusy de República Checa; la tienda Kakteen de Alemania y Plentree de la India, mencionan contar con un permiso aduanal, mientras que Cactusspot de España indica que “sus plantas han sido inspeccionadas por la autoridad competente sobre plantas incluidas en el Anexo A del Reglamento CE338/97 (CITES)”. Un reporte de la UNEP y CITES indica que, además de estas tiendas, en CITES se encuentran registradas seis sitios de propagación y venta de ejemplares de *A. retusus*, estos viveros son: Panarotto Cactus, Sole Rarità Botaniche y Cactusmania de Italia, y Horšovský týn, Karel rys y Duben-Kaktus de República Checa (CITES 2011, 2020b).

En Alemania se comercializan principalmente individuos juveniles y adultos reproductivos con flores, seguido de individuos adultos y plántulas. El precio de venta de un individuo adulto oscila entre 20 y 95 euros, los juveniles tienen un precio entre 9 y 36 euros y un paquete de diez semillas tiene un costo de 2 euros. En las páginas

web de Canadá, sólo se encuentran a la venta semillas de *A. retusus*, un paquete de diez semillas tiene un costo de 174 pesos mexicanos y, un paquete con 100 semillas tiene un precio de entre 349 y 713 pesos; ninguna tienda específica contar con algún permiso de venta. Es posible observar que cada país vende ejemplares de distintos ciclos de vida, tamaños y precios de *A. retusus* (cuadro 10), aunque es constante la oferta y demanda de semillas o plantas completas, sin considerar la compra o venta de otras partes de las plantas o sus derivados, tal como tubérculos, botones, flores, frutos o lana.

De las páginas web donde se oferta a *A. retusus*, seis tiendas y 66 vendedores independientes disponen de un ejemplar de *A. retusus* a la venta, ocho tiendas y 16 vendedores independientes disponen entre dos y 10 ejemplares y, tres vendedores independientes en China, que no cuentan con algún permiso de propagación artificial o de venta, disponían entre 100 y 450 plántulas de *A. retusus* por vendedor; el precio de cada ejemplar oscila entre 13 y 26.6 euros, un equivalente a 261 y 534 pesos mexicanos respectivamente.

Las tiendas que se encuentran en México no mencionaron contar con algún permiso de propagación y/o venta (cuadro 10), además, en la mayoría de los casos ofertan ejemplares adultos, con flores que, de acuerdo al tamaño, es probable que sean extraídos de vida silvestre, aparentemente de forma ilegal. El precio de los individuos adultos oscila entre 250 y 7 000 pesos; en este último caso el precio es tan elevado, ya que se encontraban a la venta siete ejemplares adultos de *A. retusus* que se exhibían dentro de un bote o cubeta de plástico, estas características sugieren que fueron extraídos de su hábitat natural. Por otro lado, una plántula de *A. retusus* puede adquirirse en internet desde 80 y hasta 450 pesos y en muchas ocasiones no se emite ninguna nota de venta; contrariamente, los viveros entregan notas de venta que

garantizan la compra legal de la especie y, además, manejan precios de venta muy similares a los del mercado negro de cactus. Por ejemplo, en el vivero la Biznaga Vagabunda localizado en el municipio de Ezequiel Montes en Querétaro, se puede adquirir una plántula de *A. retusus* en 75 pesos, esto representa entre 5 y 375 pesos menos, que el precio de venta en el mercado negro. La competencia económica entre los productores de cactus y los saqueadores de cactáceas, podría representar una ventaja para combatir la extracción ilegal de ejemplares de vida silvestre.

Finalmente, entre 2019 y 2020 se registraron un total de 1 604 individuos de *A. retusus* en venta en la web, de los cuales el 8.8% corresponde a adultos sin flores, 2.2% a adultos con flores, 8.1% a individuos juveniles y 80.8% a plántulas y, se están ofertando más de 5 000 semillas. Del total de ejemplares comercializados (1 604 individuos), el 0.5% cuenta con un permiso aduanal y, el 2% con un permiso CITES; en cuanto a las semillas, el 43% de las semillas comercializadas tiene un permiso aduanal y, sólo el 1.6% de las semillas tiene con un permiso de venta emitido por CITES.

Cuadro 10. Frecuencia de individuos y semillas de *A. retusus* que se encontraban a la venta en internet entre octubre de 2019 y febrero de 2020. Se indica el número de ejemplares en venta por país y la categoría de tamaño, el precio en euros (€) y pesos mexicanos (\$). Se muestra el nombre de las tiendas o plataformas de venta, la categoría de tamaño de los ejemplares que se comercian por tienda y, la presencia de permisos CITES (*) o permiso aduanal (+).

País	Nombre de la tienda o plataforma de venta	Categoría de tamaño	N° Ejemplares	Precio
<i>Alemania</i> *	Andreas Wessner, Chiemgau Kaktus, Kakteen-Haage*, Kakteen+	Adulto/flor	16	€16.5 - €120
	eBay, Kakteen-Haage* y Uhlig Kakteen*	Adulto	11	€19.5 - €95
	Chiemgau Kaktus, eBay, Kakteen-Haage* y Uhlig Kakteen*	Juvenil	25	€12.5 - €29.5
	eBay, Kakteen-Haage*, KakteenNiess y Uhlig Kakteen*	Plántula	9	€5 - €16
	eBay, Kakteen-Haage* y Uhlig Kakteen*	Semillas	110	€1.80 - €4.50
<i>Canadá</i>	eBay y Etsi	Semillas	420	\$9.9 a \$850
<i>China</i>	eBay	Adulto	2	\$315 - \$330
	eBay	Juvenil	11	\$24.33
	AilExpress	Plántula	955	€16 - €26
	eBay	Semillas	5	\$92.74
<i>Eslovaquia</i>	eBay	Juvenil	2	\$567
<i>España</i>	Cactusloft	Adulto	13	€22 - €40
	Cactusloft	Juvenil	2	€10 - €16
	Biedes y Magic Garden Seeds	Semillas	40	\$50.24 - \$86.26
<i>Estados Unidos</i> *	eBay, Facebook, Cactusspot*, Starr Nursery, Botanic Wonders y Cactus Store	Adulto	21	\$175 - \$9 251
	eBay y Botanic Wonders	Juvenil	7	\$463 - \$834
	Facebook, eBay, AilExpress y Cactusspot*	Plántula	302	\$92
	eBay, Amazon, AilExpress y Mercado Libre	Semillas	1 480	\$171 - \$686
<i>Filipinas</i>	Facebook	Juvenil	1	\$1 200 - \$1 500
<i>Francia</i>	eBay	Adulto/flor	11	€45 - €80
	eBay y Kuentz	Adulto	7	€15 - €210
	eBay y Kuentz	Juvenil	9	€6 - €26.9
	eBay	Plántula	2	€ 19
	eBay y rarepalmseeds	Semillas	110	\$92.9 - \$8 011
<i>Hungría</i>	eBay	Adulto	1	\$422
	Etsi	Juvenil	1	€402
<i>India</i> ⁺	Amazon	Semillas	2 520	\$133 - \$417
<i>Italia</i>	Mondocactus* y Big-cactus	Adulto/flor	3	€40 - €60
	eBay, Mondocactus * y Big-cactus	Adulto	46	€14 - €120
	eBay, Mondocactus *, Giromagi y Big-cactus	Juvenil	33	€0.95 - €49
	eBay, Mondocactus *y Giromagi	Plántula	10	€4 - €49
<i>Japón</i>	eBay	Adulto	1	\$2 227
	Amazon	Semillas	40	€ 10.48

México	Facebook y Mercado Libre	Adulto/lor	5	\$400 - \$2 000
	Facebook, Mercado Libre	Adulto	34	\$450 - \$7 000
	Facebook y Mercado Libre	Juvenil	14	\$250 - \$1 800
	Facebook, Mercado Libre y Verdi	Plántula	5	\$80 - \$400
	Mercado Libre	Semillas	270	\$240
Nueva Zelanda	Coromandel cacti	Adulto	2	\$50
	Succ seed	Semillas	10	\$50
Polonia	eBay	Juvenil	14	\$66 - \$1 452
	eBay	Plántula	10	\$27 - \$194
Reino Unido	eBay	Adulto	1	\$200
Rep. Checa*	eBay	Adulto	2	\$1 144 - \$5 200
	Hajek-kaktusy*	Semillas	10	\$28
Serbia	Etsi	Semillas	20	\$57 - \$72
Eslovaquia	eBay	Plántula	3	€2.90 - €8
Sudáfrica	Bidor.buy	Plántula	1	\$390
Taiwán	Facebook	Adulto/lor	1	-
Ucrania	eBay	Juvenil	1	\$370
	eBay	Semillas	310	\$430- \$486
Venezuela	Facebook	Juvenil	1	-

Los datos obtenidos con la búsqueda de ejemplares de *A. retusus* que se encuentra a la venta en internet, denota la creciente oferta y demanda en torno a la especie y, la carente regulación del comercio de *A. retusus*. En este estudio se encontró que las plántulas son los ejemplares más ofertados en la web, esto podría sugerir que se está propagando a la especie en viveros en el extranjero, sin embargo, aún hay una gran cantidad de ejemplares adultos reproductivos que se encuentran a la venta. Estos ejemplares generalmente son extraídos de la naturaleza, ya que son más apreciados por los coleccionistas que aquellos que provienen de viveros y, además, son más caros, por lo que representa una ganancia más alta para las personas que los extraen y los comercializan ilegalmente desde México.

El cambio de uso de suelo es una de las principales causas de pérdida de ésta y de otras especies vegetales prioritarias. Por ejemplo, en el año 2013 en una localidad cercana al municipio de Miquihuana (Tamaulipas), se encontró una población silvestre de *A. retusus* conformada por 1 605 individuos. La densidad era de 5.33 ind/m², por

lo que la población se encontraba en un buen estado de conservación. Sin embargo, se desmontó el terreno donde se encontraba la población para construir un abrevadero para el ganado, este evento antrópico provocó la pérdida de hasta 2 000 individuos de *A. retusus* y de la vegetación circundante (Cosultchi *et al.* 2014, Cárdenas-Ramos 2015). Tras el cambio de uso de suelo, se observó que los remanentes de vegetación natural son incapaces de recuperarse a corto plazo, ya que, en una visita realizada en el año 2019, se observó que el área que fue desmontada para el abrevadero se encontraba completamente cubierta por la especie invasora “cebollín” (*Asphodelus fistulosus*) (Guerrero-Eloisa 2019). De acuerdo con lo anterior, los sitios donde se establece *A. retusus* están constantemente sujetos a presiones antrópicas, ya que con frecuencia son utilizados para introducir ganado bovino y caprino.

En este estudio se encontró que la ganadería es la actividad económica que más contribuye con el deterioro del hábitat (ID) y la muerte de los individuos de *A. retusus*. Se observó que en algunos sitios donde se introdujo pasto exótico para el ganado, se registró la muerte de algunos ejemplares de la especie, esto sugiere que *A. retusus* podría ser sensible al cambio en la composición vegetal. El ganado 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). Los sitios también son utilizados como tiraderos de basura al aire libre o para la construcción de áreas urbanas y vías de comunicación, que en este último caso causan la fragmentación poblacional de *A. retusus* y, facilitan el acceso a las poblaciones silvestres para la extracción ilegal de ejemplares.

6 Uso y comercio. Grado de avance: Completo.

6.1 Análisis de la información de uso y comercio

Tradicionales. En México se han utilizado distintas especies del género *Ariocarpus* incluida *A. retusus* para la elaboración de pegamentos y adhesivos con fines tradicionales, no industriales, que se obtienen del mucílago que se produce en el tallo (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991, Batis y Royas 2002). Las comunidades cercanas al Parque Nacional Cumbres de Monterrey, utilizan a *A. retusus* como remedio para el dolor del cuerpo o el dolor de cabeza. Este remedio requiere de la totalidad de la planta, que es comida o preparada en infusiones (Cantú A. *et al.* 2013). En las comunidades huicholes de Durango y Zacatecas, *A. retusus* es conocida como falso peyote, debido a que es considerada una planta con propiedades mágicas similares al peyote (*Lophophora williamsii*: Cactaceae). De acuerdo con las tradiciones huicholes, el consumo de *A. retusus* es inofensiva para aquellas personas virtuosas, de lo contrario, causa locura o un mal viaje a las personas impuras (Batis y Royas 2002). La causa de las alucinaciones se debe a que en las estructuras vegetativas o tubérculos de los individuos de *A. retusus* se sintetizan metabolitos secundarios del grupo de los alcaloides (Hordenina, N-metil-3, 4-dimetoxifenetilamina, N-metil-4-metoxifenetilamina) y fenoles (N-metil-tiramina, retusina 3,3,4,7-tetramtoxi-5-hidroxiflavona) (Batis y Royas 2002).

En la medicina tradicional se ha utilizado a *A. retusus* como un remedio contra la fiebre (Bruhn y Bruhn 1973) y para combatir enfermedades cutáneas causadas por hongos. El tallo y las raíces de *A. retusus* sintetizan distintos metabolitos secundarios tales como fenoles (cumarinas, flavonoides, leucoantocianinas, oxhidrilos fenólicos), terpenos (esteroles, metilesteroles, saponinas, sesquiterpenlactonas y taninos) y

alcaloides que actúan como agentes antimicóticos. Un estudio comprobó que las saponinas sintetizadas en el tallo inhibieron el crecimiento de las cepas *Microsporum cookei* y *Trichophyton tonsurans* (Rodríguez-Garza et al. 2011).

Comercio. Debido a que *A. retusus* es una especie que sólo se adquiere como planta de ornato, se observó que la compra o venta es específica de las semillas o plantas completas, sin considerar la compra o venta de otras partes de las plantas o sus derivados, tal como tubérculos, botones, flores, frutos o lana.

En el plano internacional, los datos sobre el comercio de *A. retusus* obtenidos del Programa de Medioambiente de las Naciones Unidas y el Centro Mundial de Monitoreo de la Conservación (UNEP-WCMC) colocan a *A. retusus* en una lista donde se encuentran las especies cuyas exportaciones netas superan las 1 000 unidades. La UNEP reporta que en el año 2003 se registró la exportación de 230 semillas; sin embargo, en el año 2005 se observó un crecimiento exponencial en la demanda de semillas de la especie, ya que en ese año se registraron hasta 3 315 semillas exportadas (UNEP-WCMC 2005). Arroyo-Quiroz y Wyatt (2019) reportan que entre 1980 y 2017 se exportaron ilegalmente semillas y cuatro individuos de *A. retusus* a República Checa y, se registró la exportación ilegal de hasta 89 individuos, sin que se conociera el destino final de venta. Durante la 11ª reunión del Comité de Flora en Langkawi, Malasia (CITES 2001), se informó que *A. retusus* era la especie con la mayor frecuencia de venta en internet con 79 registros y, en este estudio se registró en un periodo de cuatro meses 372 registros de venta en la web que corresponden a 1 604 individuos y más de 5 000 semillas de *A. retusus*. Asumimos que la venta de semillas y ejemplares en la web es en su mayoría es ilegal o no está regulada, puesto que sólo cuatro viveros cuentan con un permiso CITES para propagar y comercializar a la especie como planta de ornato. Además, se observó que del total de ejemplares

comercializados en la web (1 604 individuos) de octubre de 2019 a febrero de 2020, el 0.5% cuenta con un permiso aduanal y, el 2% con un permiso CITES; en cuanto a las semillas, el 43% de las semillas comercializadas tiene un permiso aduanal y, sólo el 1.6% de las semillas tiene con un permiso de venta emitido por CITES.

En una búsqueda realizada para el periodo 2009-2019 en la Base de Datos sobre el Comercio CITES (ver <https://trade.cites.org/>), se encontraron 363 registros de transacción comercial directa de *A. retusus*, de los cuales 226 corresponden a ejemplares vivos, 135 a semillas y dos a plantas secas, lo anterior sugiere que el objetivo principal de las exportaciones es adquirir una planta viva. Es importante aclarar que el número de transacciones no refleja la cantidad de ejemplares comercializados y, no se encontraron registros de exportación e importación para el año 2019. Se cuantificó el número de ejemplares vivos, semillas y plantas secas de cada uno de los 363 registros de venta y, los resultados mostraron que durante el periodo 2009-2019 se comercializaron 3 436 ejemplares vivos, 86 705 semillas y 21 plantas secas.

El código de propósito de transacción de CITES utiliza letras para especificar en los permisos y certificados, el propósito de la transacción comercial de ejemplares (CITES 2020a), de acuerdo a esta clasificación, el 74.2% de los registros de exportación de *A. retusus* se encuentran en la categoría *T* o exportación con fines comerciales, el 5.2% en la categoría *P* o fines personales, 0.82% en la categoría *B* o cría en cautiverio o reproducción artificial, 0.27% en la categoría *S* o científica, 0.27% en la categoría *G* o Jardín Botánico y, en el 18% de los registros, no se especifica el propósito de exportación de *A. retusus*. Por otro lado, el código de origen de CITES, utiliza letras en los permisos y certificados que emite para especificar el origen de los especímenes que se importan o exportan, de acuerdo a esta clasificación, el 89.2% de los registros

de transacción de *A. retusus* se encuentran dentro de la categoría *D*, la cual indica que las plantas comercializadas provienen de sitios donde *A. retusus* se reproduce artificialmente; el 9.3% de los registros se ubica en la categoría *A* o propagación artificial, el 1% corresponde a la categoría *I* que incluye a los ejemplares confiscados y, en el 0.2% de los registros no se especifica el origen de los ejemplares. Lo anterior indica que la mayoría de los ejemplares vivos y semillas de *A. retusus* que se comercializaban, provenían de ejemplares reproducidos o propagados artificialmente y, el propósito principal del intercambio de ejemplares de *A. retusus* y sus derivados (semillas y plantas secas), era el comercial.

Dentro de la base de datos se contabilizaron 13 países que exportan ejemplares y/o semillas de *A. retusus*. Los principales países exportadores son Alemania, Estados Unidos y Tailandia (cuadro 11). De 2009 a 2019, Alemania exportó 255 ejemplares y 2 450 semillas de la especie, esto implica que en un año exportó en promedio 26 ejemplares y 306 semillas; Estados Unidos comercializó 675 ejemplares, 21 plantas secas y 68 760 semillas en un periodo de 10 años y, anualmente exportó en promedio 96 ejemplares y 8 595 semillas; durante el mismo periodo, Tailandia exportó 2 400 ejemplares y 1 230 semillas, es decir, 240 ejemplares y 410 semillas en promedio, al año (cuadro 11). Es importante recalcar que México es el único país donde se establece *A. retusus* y, por tanto, tendría que ser el principal exportador de la especie, no obstante, otros países son los que lideran el ranking de exportación.

Cuadro 11. Frecuencia de ejemplares vivos, semillas y/o plantas secas de *Ariocarpus retusus* exportadas durante el periodo 2009-2018. Datos obtenidos de la Base de Datos de Comercio CITES. Ej: Ejemplar o planta viva, S: Semillas y Ps: Planta seca.

País	Ciclo de vida	Año									
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Alemania	Ej	37	6	10	18	119	10	35	12	7	1
	S	180		530	420		390	680	120	120	10
China	Ej			6	6						
España	Ej				10						
Estados Unidos	Ps				20				1		
	Ej	21		54	90	80	3		109	318	
	S	7 720	3 850	16 820	10 270	8 320	10 380	670	10 730		
Francia	Ej			4		1	3				
Hungría	Ej			22				1	5		
Italia	Ej								2	3	4
Malta	Ej	5		5							
	S	1 560	2 920	390			8 214	550	600		
México	Ej								21		
Rep. Checa	Ej						8	1	1		
Sudáfrica	Ej				1						
Suiza	S						1				
Tailandia	Ej	82	36	291	523	301	389	352	138	40	248
	S			60			170		1 000		
Total	Ps				20				1		
	Ej	145	42	392	648	501	413	389	288	368	253
	S	9 460	6 770	17 800	10 690	8 320	19 155	1 900	12 450	120	10

Se registraron 56 países que importaron ejemplares de *A. retusus* (Anexo 1). Alemania, Australia, Canadá, China, España, Italia, Japón, Estados Unidos, Rusia, Singapur y Suiza son los países que importan más ejemplares de *A. retusus*, al registrarse entre 100 y 300 ejemplares importados por país, durante el periodo 2009-2019, no obstante, Corea del Sur es el país que lidera el ranking al importar hasta 902 ejemplares durante el mismo periodo de tiempo (cuadro 12). De los 56 países importadores, Bélgica, Malasia, Nueva Caledonia, Nueva Zelanda, Perú, Ucrania y Uruguay sólo importan semillas y, Singapur y Reino Unido, además de importar plantas vivas y semillas, son los únicos países que importan plantas secas (cuadro 12) (Anexo 1). China y Suiza son los países que lideran la lista de importación de semillas de *A. retusus*, al registrar respectivamente 26 100 y 14 420 semillas importadas en un periodo de 10 años (cuadro 12).

Cuadro 12. Principales países importadores de ejemplares vivos, semillas y/o plantas secas de *Ariocarpus retusus* durante el periodo 2009 a 2018. Datos obtenidos de la Base de Datos de Comercio CITES. Ej: Ejemplar o planta viva, S: Semillas y Ps: Planta seca.

País	Ciclo de vida	Año									
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<i>Alemania</i>	Ej S	7	14 110	46 260	64 30	78	25	12 10	2		
<i>Australia</i>	Ej S			1	2	1					
		300	640	550	710	140	950				
<i>Canadá</i>	Ej S	6			15			11			
		230	20	200		100	1 100		5 060		
<i>China</i>	Ej S					1		1			
		1 090	150	3 090	2 800	6 660	5 940	1 160	5 210	318	
<i>Corea del Sur</i>	Ej S	25		66	91	49	65		154	337	
		150	800				600				
<i>España</i>	Ej S			1	1	6	2	2	5		
		2 500	100	1 080			1 000				
<i>Italia</i>	Ej S	2	5	6	22	7	22				
			230	390	100	110	610				
<i>Japón</i>	Ej S	20		7	1						1
		350		470	980	650	4 360		80		
<i>Estados Unidos</i>	Ej S	7	1	19	30	19	67	49	47	10	36
		250		60							
<i>Rusia</i>	Ej S	30			9	2	30	14			
		10	160		620	40	10				
<i>Singapur</i>	Ps Ej S				20						
		1		17	34	3	3	35	42	4	78
							840				
<i>Suiza</i>	Ej S	11	7	40	37	20	21	22	14	18	8
		4 000	20	9 380	140	20	340	2 360	170	120	

En México se reportan un sinnúmero de casos de extracción, recuperación y venta de ejemplares de *A. retusus*. Por ejemplo, en el año 2010 se realizó un operativo en la carretera federal San Luis Potosí-Matehuala donde se logró la detención de dos personas que habían extraído 87 ejemplares, productos y subproductos de plantas y animales de vida silvestre. Entre las especies decomisadas se registró a *A. retusus* y a otras especies de cactáceas tales como *Mammillaria candida*, *Echinocactus*

platyacanthus, *Ferocactus pilosus* y *Astrophytum myriostigma* (PROFEPA 2010). Además de los decomisos terrestres, se ha logrado evitar la exportación ilegal de ejemplares en los aeropuertos, por ejemplo, entre 2015 y 2017 se logró decomisar dos ejemplares de *A. retusus* en la Sección Aduanera del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (PROFEPA 2020).

Una forma legal de adquirir un ejemplar de *A. retusus*, es a través de viveros, jardines botánicos, Predios e Instalaciones que Manejan Vida Silvestre (PIMVS) o, una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA). Una UMA es un área que se encuentra en algún régimen de propiedad (privada, ejidal, comunal), donde se llevan a cabo actividades de conservación, recuperación, reintroducción, resguardo, rehabilitación o aprovechamiento sustentable de individuos, productos o subproductos de especies de vida silvestre y su hábitat (SEMARNAT 2016, SEMARNAT 2019b). Durante la búsqueda de información que comprende un periodo de 15 años (2003-2018), se encontraron 32 unidades de manejo o UMA que resguardan ejemplares de *A. retusus* y, que formalmente se encuentran registradas en la DGVS. De este total, en 23 UMA no se encontraron registros relacionados al número de ejemplares de los que disponen. Sólo 10 UMA se localizan dentro del área de distribución natural de *A. retusus*, al registrarse cuatro en San Luis Potosí, tres en Coahuila, dos en Nuevo León, y una en Tamaulipas; el resto de las UMA se localizan en Baja California Sur (un registro), Ciudad de México (un registro), Colima (un registro), Estado de México (un registro), Hidalgo (un registro), Morelos (cuatro registros), Puebla (tres registros), Querétaro (cuatro registros), Veracruz (dos registros) y Yucatán (tres registros). El objetivo principal de una UMA es que las comunidades más marginadas o vulnerables, aprovechen de forma sustentable los recursos o especies nativas del lugar donde habitan, sin embargo, los datos de este estudio sugieren que el aprovechamiento de *A. retusus* con frecuencia

se realiza fuera del hábitat natural de la especie. Se ha registrado que la extracción de ejemplares para su posterior venta, es una práctica que se lleva a cabo en zonas con altos índices de pobreza, por lo que consideramos que debe impulsarse el establecimiento de unidades de manejo y, proveer de condiciones adecuadas para la propagación de *A. retusus* en comunidades que se localizan dentro del área de distribución natural de la especie, ya que es una estrategia que beneficia económicamente a las comunidades locales y además, puede llegar a contrarrestar de forma significativa la extracción ilegal de *A. retusus* y otras especies de cactus (Martin 2013).

Por otro lado, los PIMVS o Predios o Instalaciones que Manejan Vida Silvestre son criaderos, viveros o jardines botánicos donde se llevan a cabo actividades de manejo y reproducción para el aprovechamiento comercial y, controlado de ejemplares de vida silvestre que se encuentran fuera de su área de distribución natural (SEMARNAT 2019b). La diferencia entre una PIMVS y una UMA es que en la primera sólo se realizan actividades de reproducción con fines comerciales y, en una UMA, además de estas actividades, se pueden desarrollar planes para la conservación, rehabilitación, reintroducción, repoblación y restauración de hábitats o especies silvestres (Rocha-Gutiérrez y Duque-Sánchez, 2017). Hasta el año 2018, se encontraban registradas en la DGVS 21 PIMVS, de las cuáles tres corresponden a jardines botánicos, 17 a viveros y una a un parque ecológico. Sólo dos PIMVS se localizan dentro del área de distribución natural de *A. retusus* al encontrarse en San Luis Potosí. El resto de los PIMVS se localizan en Baja California (dos registros), Ciudad de México (cuatro registros), Durango (dos registros), Estado de México (cinco registros), Morelos (dos registros), Puebla (un registro), Querétaro (dos registros) y Yucatán (un registro).

Tres UMA y cuatro PIMVS incrementaron la cantidad de ejemplares de *A. retusus*, esto con respecto al número inicial de ejemplares registrados en el momento del otorgamiento del permiso y los reportados hasta el año 2018; en una UMA y un PIMVS se redujo la cantidad de ejemplares de *A. retusus* y, cuatro UMA y dos PIMVS mantuvieron la cantidad de ejemplares de *A. retusus* desde el otorgamiento del permiso y hasta el año 2018 (cuadro 13). En todas las UMA, *A. retusus* se encuentra sujeto a manejo intensivo, que implica que la reproducción de ejemplares de vida silvestre se realiza a través de la manipulación directa bajo condiciones de cautiverio (SEMARNAT 2016). Hasta el año 2018, las UMA en conjunto resguardaban 3 417 ejemplares de *A. retusus*, es decir, 329.87 individuos en promedio (± 127.95 individuos) por UMA, esto implica que algunas UMA pueden llegar a proteger a más individuos que los que es posible encontrar en vida silvestre, ya que en este estudio se observó que en una población silvestre se pueden contabilizan desde uno hasta 233 individuos en 50 m² por población, es decir, una población en promedio tiene 79.08 individuos (± 20.20). En cuanto a las PIMVS resguardan 1 557 individuos, es decir, hasta 222.42 individuos en promedio (± 26.64) por PIMVS. Sólo una PIMVS ha declarado tener bajo su resguardo 4,400 semillas de *A. retusus*. Con lo anterior, queda de manifiesto que las UMA y PIMVS son programas funcionales que pueden conservar una buena cantidad de ejemplares de vida silvestre, el germoplasma y la biodiversidad de México, ya que para el caso particular de *A. retusus*, las UMA y PIMVS protegieron hasta 4 974 ejemplares en el año 2018.

Cuadro 13. Unidad de Manejo Ambiental (UMA) y Predios o Instalaciones que Manejan Vida Silvestre (PIMVS). Se indica el tipo de unidad de manejo (UMA o PIMVS), nombre,

clave de registro, estado de la república mexicana en el que se encuentra establecida, fecha en la que se emitió el permiso y el número de ejemplares de *Ariocarpus retusus* registrados al inicio del otorgamiento del permiso y los registrados hasta el año 2018.

Tipo de unidad	Nombre	Clave de registro	Ubicación	Fecha	N° ejemplares	
					Inicio del permiso	2018
UMA	VIVERO FLOR DEL DESIERTO	SEMARNAT-UMA-VIV-0005-COL/2001	Colima	2001	NE	NE
UMA	PROYECTO DIGITOSTIGMA	MX/VIV-CO-IN-215-NL/03	Nuevo León	2003	NE	NE
UMA	JARDIN BOTANICO "ING. GUSTAVO AGUIRRE BENAVIDES"	DGCERN-JB-003-COAH	Coahuila	2003	NE	NE
PIMVS	CULTIVOS DESÉRTICOS LA UNIÓN	MX/VIV-CO-087-MEX/05	Estado de México	2005	100	168
UMA	BROMELIAS DE XICOTEPEC, SPR DE R.L.	MX/VIV-CO-220-PUE/05	Puebla	2005	NE	NE
UMA	JARDIN BOTANICO REGIONAL DE CADEREYTA "ING. MANUEL GONZALEZ DE COSIO"	DGCERN-JB-019-QRO/05	Querétaro	2005	NE	NE
UMA	SEMILLAS Y PLANTAS DESERTICAS DE MEXICO	SEMARNAT-UMA-VIV-0002-COA	Coahuila	2006	230	230
UMA	GRANJAS G.G.	SEMARNAT-UMA-VIV-0020-QRO	Querétaro	2006	18	25
PIMVS	CULTIVADORES DE CACTUS EN MEXICO, S.A.	MX/VIV-CO-009-PUE	Puebla	2006	300 semillas	1 200 ejemplares 4 400 semillas
PIMVS	LA BIZNAGA VAGABUNDA	MX/VIV-CO-223-QRO/05	Querétaro	2006	5	27
UMA	CACTIMUNDO	SEMARNAT-UMA-IN-JB-0038-B.C.S.	Baja California Sur	2008	128	128
UMA	INVERNADEROS MARIA CRISTINA	DGCERN/VIV-CO-008-VER	Veracruz	2008	NE	NE
PIMVS	ViBe PLANTAS	MX-PIMVS-VIV-CO-251-MEX/09	Estado de México	2009	NE	NE
UMA	UNIDAD PARA EL CULTIVO DE PLANTAS SEMIDESERTICAS EL PUEBLO VIEJO	SEMARNAT-UMA-VIV-022-MOR	Morelos	2010	15	196
UMA	ECOCACTUS	SEMARNAT-UMA-VIV-015-MOR/03	Morelos	2010	1 178	838
PIMVS	PARQUE BICENTENARIO JARDIN NATURA	DGVS-PIMVS-JB-063-DF/10	Ciudad de México	2010	NE	NE
PIMVS	NEPINTA-TUHI	MX/PIMVS-VIV-CO-271-MEX/11	Estado de México	2011	NE	NE
Tipo de unidad	Nombre	Clave de registro	Ubicación	Fecha	N° ejemplares	
					Inicio del permiso	2018
UMA	VIVERO SAN JOSE TZAL	SEMARNAT-UMA-VIV-221-YUC-11	Yucatán	2011	NE	NE
PIMVS	INVERNADERO GLADIOLA	DGVS-PIMVS-VIV-CO-302-DGO/11	Durango	2011	NE	NE
PIMVS	VIVERO DE AGAVACEAS, CACTACEAS Y CRASULACEAS LA COFRAIDA DE LA ESPINA	MX-PIMVS-VIV-CO-319-EDO.MEX/12	Estado de México	2012	NE	NE
UMA	JARDIN BOTANICO PARA LA PRESERVACION Y PROPAGACION DE ESPECIES DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSI	MX/JB-067-S.L.P/12	San Luis Potosí	2012	NE	NE
UMA	ACOCACTUS	SEMARNAT-UMA-VIV-015-MOR/03	Morelos	2013	1 029	1 029
UMA	KOSMOCACTUS VIVERO EL PUEBLITO	SEMARNAT-UMA-INT-0112-SLP	San Luis Potosí	2013	13	13
PIMVS	VIVERO ESPERANZA	MX/PIMVS-VIV-CO-366-DF/13	Ciudad de México	2013	NE	NE
UMA	LOS PORTICOS	SEMARNAT-UMA-IN-0052-QRO/13	Querétaro	2013	NE	NE
UMA	VIVERO CEMENTOS MOCTEZUMA	MX/VIV-CO-380-SLP/13	San Luis Potosí	2013	NE	NE
PIMVS	WIRIKUTA	MX/PIMVS-VIV-CO-0241-BCS/08	Baja California Sur	2014	15	5
PIMVS	VIVERO EXOTIC GARDEN	DGVS-PIMVS-VIV-CO-1704-DF/14	Ciudad de México	2014	20	20
PIMVS	ASOCIACION DE CACTACEAS Y SUCULENTAS DE YUCATAN	SEMARNAT-PIMVS-VIV-0273-YUC/14	Yucatán	2014	NE	NE

PIMVS	MIC CACTU	MX-VIV-CO-014-QRO (PIMVS)	Querétaro	2014	8	8
PIMVS	EL SECRETO DE LA MONTAÑA (CACTACEAS Y SUCULENTAS DE MEXICO Y EL MUNDO)	MX/PIMVS-VIV-CO-0312-MOR/12	Morelos	2015	50	129
UMA	CALICACTUS	SEMARNAT-UMA-VIV-00001-COA	Coahuila	2015	NE	NE
PIMVS	PARQUE ECOLOGICO LA ESPERANZA	SEMARNAT-PIMVS-CR-IN-0001-DGO/15	Durango	2015	NE	NE
Tipo de unidad	Nombre	Clave de registro	Ubicación	Fecha	N° ejemplares	
					Inicio del permiso	2018
UMA	TEMIMILCINGO	SEMARNAT-UMA-IN-082-MOR/16	Morelos	2016	NE	NE
UMA	CENTRO DE REPRODUCCIÓN COPAL	DGAERN/VIV-CO-016-DGO	Durango	2016	NE	NE
UMA	EL VIEJO CACTUS	SEMARNAT-UMA-VIV-0017-HGO	Hidalgo	2017	128	180
PIMVS	INDUSTRIAL MINERA MEXICO, S.A. DE C.V.	SEMARNAT-PIMVS-VIV-JB-0007-SLP/17	San Luis Potosí	2017	NE	NE
PIMVS	VIVERO JARDIN MIXTECO	DGVS-PIMVS-VIV-1857-MEX/18	Estado de México	2018	NE	NE
PIMVS	VIVERO JARDIN MIXTECO	DGVS-PIMVS-VIV-1857-MEX/18	Estado de México	2018	NE	NE
PIMVS	PAIPAI	SPA-PIMVS-JB-0013-BC/18	Baja California	2018	NE	NE
PIMVS	VIVERO CACTUSUCULENTAS CUAUTLA	DGVS-PIMVS-VIV-1876-MOR/19	Morelos	2019	NE	NE
UMA	EL JARDIN DE PIEDRAS	CEVS-UMA-IN-VIV-JB-0559-TAM	Tamaulipas	NE	NE	NE
UMA	SUCULENTAS LA ILUSION	SEMARNAT-UMA-INT-0051-SLP	San Luis Potosí	NE	NE	NE
UMA	LA UNION CACTUS Y ARTESANIAS	MX/VIV-CO-154-MEX	Estado de México	NE	NE	NE
UMA	JARDIN EL SALTO	MX/VIV-CO-037-PUE	Puebla	NE	NE	NE
UMA	JARDINES ORNAMENTALES CRISTAL	MX/VIV-TEMP-CO-107-PUE	Puebla	NE	NE	NE
UMA	JARDITODO	MX/VIV-CO-170-VER	Veracruz	NE	NE	NE
UMA	LA ORQUÍDEA	MX/VIV-CO-199-YUC	Yucatán	NE	NE	NE
UMA	CASA DE CACTUS	SEMARNAT-UMA-IN-00069-QRO	Querétaro	NE	NE	NE
UMA	VIVERO DEL JARDIN BOTANICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOA DE MEXICO	MX/VIV-INV-CON-CO-088-DF	Ciudad de México	NE	NE	NE
UMA	LA YUCCA	MX/VIV-CON-116-N.L./04	Nuevo León	NE	NE	NE

6.2 Potencial de aprovechamiento sustentable

Germinación y propagación. La obtención de individuos de *A. retusus* desde semilla, ya sea con fines de venta o de conservación no es tarea fácil, ya que las semillas son latentes, estado que evita su germinación aun cuando las semillas están vivas. Durante el trabajo de campo realizado en 2019 logramos recolectar 10 semillas de *A. retusus* recién liberadas. Las semillas se sembraron en cinco cajas Petri (dos semillas por caja) con agar bacteriológico simple y se colocaron en una cámara de ambiente controlado con fotoperiodo de 12h luz/12h oscuridad, a una temperatura constante de 25° C. Las semillas se revisaron a diario durante 60 días y, después de este periodo no se observó germinación de las semillas recién liberadas. Se ha demostrado que, en condiciones de laboratorio, la latencia en las semillas de *A. retusus* puede romperse por tratamientos químicos de inmersión con ácido sulfúrico o prelavado con nitrato de

potasio, imbibición en agua entre 12h y 36 h y la aplicación de hongos como ejemplo, el género *Rhizopus* que son organismos degradadores de la materia orgánica que se encuentran en los suelos y que promueven la ruptura de la testa de las semillas (López *et al.* 2001). Un estudio realizado por Arredondo G. *et al.* (2007) demostró que la aplicación de ácido sulfúrico acelera el inicio de la germinación ya que ésta se puede presentar hasta dos días después de la siembra, además, la capacidad germinativa total puede ser de hasta 70%; la aplicación del ácido sulfúrico es un método muy exitoso en semillas de especies de zonas áridas puesto que imita la escarificación que sufren las semillas cuando pasan por el tracto digestivo de los animales, lo anterior sugiere que la germinación e *A. retusus in situ* requiere de la dispersión biótica (zoocoria) o abiótica (anemocoria, hidrocoria o barocoria) de las semillas. Aunque la aplicación de ácido sulfúrico es un buen tratamiento para la germinación, Arredondo G. *et al.* (2007) sugieren que en *A. retusus* es más eficiente la inmersión de semillas en agua durante 12 h, ya que la capacidad germinativa de las semillas puede ser hasta de 100%, aunque la emergencia de la radícula se presenta seis días posteriores a la siembra. Se ha demostrado que la inmersión de las semillas en agua modifica la corteza de la testa, llegando incluso a ablandarla para permitir la entrada de agua y acelerar el inicio de la germinación (Arredondo G. *et al.* 2007).

La germinación de las semillas de *A. retusus* en condiciones de laboratorio, puede ser exitosa cuando la siembra se realiza en cajas Petri con arena esterilizada o con agar bacteriológico simple. Las cajas con semillas deben colocarse en cámaras de ambiente controlado, con fotoperiodo de 12h luz/12h oscuridad, a una temperatura constante de 25° C, y en el caso particular de las semillas sembradas en arena, éstas deben regarse con agua destilada (Arredondo G. *et al.* 2007, Rojas-Aréchiga *et al.* 2013). Además, se recomienda desinfectar las semillas con hipoclorito de sodio al

100% antes de sembrarlas, ya que reduce los casos de contaminación por hongos y bacterias que pueden alojarse con facilidad en las semillas, debido a la superficie rugosa de la testa o bien, se recomienda disolver 3 g de Captan 50 por cada 20 litros de agua, y aplicar en las cajas sembradas para evitar la aparición de hongos (Medel-Narváez *et al.* 2001, Arredondo G. *et al.* 2007). Como se mencionó anteriormente, la inmersión de semillas en ácido sulfúrico es un buen tratamiento para promover la germinación de las semillas de *A. retusus*; la concentración idónea de ácido sulfúrico es de 70% y la inmersión de las semillas no debe superar un periodo de 15 minutos, debido a que el incremento en el tiempo de inmersión, reduce la germinación de las semillas debido al daño en el embrión; lo mismo ocurre cuando se aplica el hongo *Rhizopum*, que puede promover la germinación de hasta el 50% de las semillas de *A. retusus*, sin embargo, sí la exposición al hongo supera los 15 días, la germinación se reduce por el daño en el embrión.

Experimentos de germinación realizados por Olguín S. (1994) demuestran que la escarificación de semillas con ácido sulfúrico concentrado y la posterior siembra en el medio de cultivo Murashige y Skoog (MS), permiten que las semillas comiencen a germinar cinco días después de la siembra y el porcentaje máximo de germinación es de hasta 66.3% después de 50 días en el medio de cultivo. Las semillas de *A. retusus* que no pasan por un proceso de escarificación no germinan, aunque estas se siembren en el medio de cultivo (MS) (Olguín S. 1994).

Además de la germinación de semillas, la propagación *in vitro* es una técnica que permite la obtención de individuos de *A. retusus*. Olguín S. (1994) logró el desarrollo de callos centrales y laterales, formación de embriones somáticos y la regeneración de brotes y raíces. Sin embargo, este procedimiento requiere grandes concentraciones de hormonas de crecimiento para el desarrollo de brotes, raíces y

callos y, el establecimiento de las plántulas de origen somático es casi nulo, debido a que una vez que se colocan en la tierra, rara vez sobreviven. De acuerdo con lo anterior, el cultivo *in vitro* de *A. retusus* resulta ser complejo, costoso y un proceso largo, puesto que los resultados pueden observarse hasta un año posterior al cultivo de los tejidos vegetales.

Aprovechamiento sustentable. Desde el pasado y hasta la actualidad, en el mundo prevalece el interés de los coleccionistas por adquirir una especie rara como *A. retusus*. Es por ello que consideramos que en México debe impulsarse la propagación *ex situ* de la especie, a fin de reducir la extracción ilegal de *A. retusus* dentro de su área de distribución natural. La propagación de *A. retusus* es una práctica que podría representar una gran oportunidad para que las comunidades locales obtengan ganancias de forma legal. En este estudio se observó que el precio de venta de ejemplares de *A. retusus*, es similar en el mercado negro de cactus y en los viveros. Por ejemplo, en el mercado negro una plántula de *A. retusus* se puede comprar desde 85 y hasta 400 pesos y, en el vivero la Biznaga Vagabunda localizado en el municipio de Ezequiel Montes en Querétaro, se puede adquirir en 75 pesos. La competencia económica entre los productores de cactus y los saqueadores de cactáceas, podría representar una ventaja para combatir la extracción ilegal de ejemplares.

A continuación, enlistaremos una serie de “recomendaciones” que podrían tomarse en cuenta para propagar de forma legal a *A. retusus*. Se hace especial énfasis en que son “recomendaciones”, ya que aún existen huecos informativos sobre la dinámica poblacional, la germinación y propagación de la especie que nos impiden establecer lineamientos concretos de propagación sustentable. Por ejemplo, se requiere realizar un estudio demográfico para determinar si además del reclutamiento, existen otros procesos (permanencia, crecimiento, reproducción) que influyen sobre la dinámica de

la población (Caswell 2001), además, de realizar simulaciones matriciales que nos permitan determinar a partir de cuantos individuos y de que categorías de tamaño, la población se encuentra establece, crece o decrece.

Recomendaciones

a) Sugerimos que la extracción de ejemplares de vida silvestre se evite en lo posible y que se opte por la colecta controlada de semillas. La obtención de individuos a partir de semillas de campo es una práctica que mantiene la diversidad genética entre los individuos cultivados.

b) Si el punto anterior no puede cumplirse, se exhorta a no extraer por ningún motivo individuos adultos reproductivos con un diámetro superior a 11 cm de diámetro, ya que son los individuos que contribuyen con más frutos y semillas en la población.

c) **Polinización y fenología.** *Ariocarpus retusus* se reproduce en el otoño, la floración tiene una duración menor a una semana y, las flores permanecen abiertas de uno a dos días. Debido al corto periodo de floración, a que dentro de los viveros es nula la polinización por abejas y a que la especie requiere de la polinización cruzada para formar frutos y semillas, se recomienda polinizar de forma manual las flores de la especie, colocando el polen de una flor, en el estigma de otra flor, de un individuo diferente. El polen puede ser colocado con un pincel.

d) **Colecta de frutos y semillas.** El periodo de fructificación se presenta tres meses posteriores al periodo de floración. Se sugiere que los frutos sean colectados cuando aún son carnosos, ya que una vez que se secan, se produce la liberación inmediata de las semillas.

e) **Germinación.** Si se quiere germinar semillas recién colectadas, se debe aplicar un tratamiento pregerminativo de inmersión en agua durante 12 h que es un método sencillo y económico que permite obtener hasta un 100% de semillas germinadas

(Arredondo G. *et al.* 2007). Las semillas deben de limpiarse y desinfectarse previamente con una solución de hipoclorito de sodio al 100% cloro al 5% durante 15 minutos y, posteriormente enjuagarse con agua destilada. La siembra de las semillas puede realizarse en cajas plásticas con tapa para mantener la humedad y con suelo de los sitios donde se establece la especie o, arena estéril como sustrato. El sustrato debe regarse con agua destilada una vez que esté completamente seco para evitar la pudrición de las semillas (Arredondo G. *et al.* 2007). La siembra también puede realizarse en cajas Petri con agar bacteriológico simple, bajo este método se sugiere sembrar no más de 10 semillas por caja. Cualquiera que sea el método que se utilice, es importante que las semillas reciban luz natural (no directa) o se coloquen en cámaras de ambiente controlado, con fotoperiodo de 12h luz/12h oscuridad y temperatura constante de 25°C, ya que en ausencia de luz no ocurre la germinación (Rojas-Aréchiga *et al.* 2013). La siembra de las semillas debe ser sobre el sustrato y estas no deben ser enterradas (INIFAP 2002). Las semillas que no germinen pueden sembrarse posteriormente, en este caso las semillas deben retirarse del sustrato y deben secarse por un día, almacenarse en bolsas de papel y depositarse en un lugar seco y fresco. Las semillas almacenadas y por tanto más longevas, podrían ser capaces de alcanzar un porcentaje de germinación más alto que las recién colectadas, incluso, sin la aplicación de tratamientos pregerminativos.

e) **Trasplante.** La germinación de las semillas puede presentarse hasta después de siete días posteriores a la siembra. Las plántulas deben trasplantarse una vez que alcancen una altura de entre 2 y 3 cm; este tamaño se obtiene entre dos y tres meses posteriores a la siembra, ya que se ha reportado que después de 20 días, las plántulas crecen entre 6 y 10 mm. Las plántulas deben trasplantarse en charolas sin tapa o

macetas individuales, con un sustrato de tepojal o tezontle y tierra de hojas o tierra negra (Olguín S. 1994, INIFAP 2002).

7 Instrumentos legales. Grado de avance: Completo.

Nacionales e internacionales. Una de las medidas de protección que el gobierno mexicano implementa para salvaguardar a las especies prioritarias o en peligro de extinción, incluida *A. retusus* son las ANP. El Parque Nacional (PN) Cumbres de Monterrey en Nuevo León, resguarda el ecosistema y las especies que en el habitan, incluida *A. retusus* y, el Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) Bajo Río San Juan localizada en Coahuila y Nuevo León, preserva indirectamente a la especie a través de la protección del suelo (SEMARNAT 1996).

La Ley General de Vida Silvestre (LGVS) tiene como objetivo principal conservar la vida silvestre y su hábitat y, promover su aprovechamiento sustentable (p. ej. UMA) dentro de la República Mexicana, por lo que, a partir de este instrumento, se distribuyen competencias en los tres órdenes de gobierno: federal, estatal y municipal. La LGVS es la encargada de establecer acciones de protección, conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y la conservación de su hábitat. Dichas acciones se aplican en poblaciones o especies silvestres incluidas dentro de las categorías de riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010: a) en peligro de extinción, b) amenazadas, c) sujetas a protección especial, y d) probablemente extintas en el medio silvestre. La LGVS establece que la lista de especies o en riesgo será revisada y, de ser necesario, actualizada cada 3 años o antes si se presenta información suficiente que permita la inclusión, exclusión o cambio de la especie o población que se encuentre en riesgo (LGVS 2000, SEMARNAT 2002, López S. y Ferro N. 2006).

Por otro lado, la NOM-059-SEMARNAT-2010 de México es un listado que tiene como objetivo identificar a las especies o poblaciones de plantas y animales que se encuentran en riesgo. Cada especie es valorada a través del método de evaluación de riesgo de extinción (MER) y posteriormente colocada dentro de una de las cuatro categorías de riesgo: “Sujeta a protección especial (Pr)”, “Amenazada (A)”, “En peligro de extinción (P)” y “Probablemente extinta en el medio silvestre (E)” (SEMARNAT 2010). De acuerdo con el Artículo 420 fracción IV del Código Penal Federal (CPF), la inclusión de *A. retusus* dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 prohíbe cualquier actividad ilegal con fines de tráfico, captura, posesión, transporte, acopio, introducción o extracción del país; la realización de alguna de estas actividades ilícitas conlleva a una sanción de trescientos a tres mil días de multa y hasta nueve años de prisión (CPF 2010). Además, se aplicará una pena adicional hasta de tres años más de prisión y hasta mil días multa adicionales, cuando estas actividades ilegales se realicen en o afecten un Área Natural Protegida, o cuando se realicen con fines comerciales. A pesar de las restricciones de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y las sanciones estipuladas en el CPF, los resultados obtenidos en este estudio indican que la extracción y venta ilegal de ejemplares es una práctica común que compromete la permanencia de la especie.

A nivel internacional existe una gran preocupación por regular el comercio de *A. retusus*, por lo que además de estar incluida en el Apéndice I de CITES, la han incorporado en el Anexo A de la Regulation (EU) of the European Parliament and of the Council, celebrada el 27 de noviembre de 2019. En este Anexo se incluye a las especies en peligro de extinción que se encuentran listadas en el Apéndice I de CITES. Dicha regulación se encarga de monitorear el comercio de *A. retusus* entre y dentro de la Unión Europea (Official Journal of the European Union 2019).

CITES tiene como objetivo principal vigilar y controlar que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres, no constituya una amenaza para la supervivencia de las especies, de esta manera CITES realiza acciones encaminadas a fomentar el comercio legal y trazable, proveniente del aprovechamiento sustentable de especies silvestres en su área de distribución natural, además de efectuar acciones que reduzcan la exportación excesiva de ejemplares, a través de reglas y restricciones particulares de comercio establecidos para cada uno de sus tres apéndices (CITES 2020a). El Apéndice I incluye a las especies en peligro de extinción cuyo comercio está estrictamente prohibido y sólo se permite bajo circunstancias excepcionales (por ejemplo, con fines de investigación). El Apéndice II contiene especies que no necesariamente se encuentran en peligro de extinción, aunque pueden llegar a estarlo sino se regula su comercio y, el Apéndice III incluye a las especies protegidas por las leyes de algún país en particular, aunque se requiere la cooperación entre otros países a fin de restringir su explotación (SEMARNAT 2019a).

En México las tres autoridades CITES son la Autoridad Administrativa representada por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) de SEMARNAT, la Autoridad Científica representada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y la Autoridad de Aplicación de Ley es la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). La DGVS es la responsable emitir permisos y certificados para el comercio internacional (importación y exportación) de especies; la CONABIO brinda asesoría técnica y científica a la DGVS y, se encarga de emitir los dictámenes de extracción no perjudicial de las especies ; la PROFEPA se encarga de verificar la validez de los certificados y permisos de las especies incluidas en la CITES y, de controlar el tráfico de especies en los puertos, aeropuertos y fronteras en México (CONABIO 2020). Como se mencionó, la PROFEPA se encarga de inspeccionar y vigilar el cumplimiento de

las leyes de protección ambiental en México y, es el único órgano que vigila no sólo a *A. retusus*, sino al resto de las especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en la CITES por lo que en muchas ocasiones se ve completamente rebasada. Por ejemplo, entre 2015 y 2017 la PROFEPA sólo logró decomisar dos ejemplares de *A. retusus* en la Sección Aduanera del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (PROFEPA 2020).

De acuerdo con lo anterior, consideramos que las acciones que implementa la CITES en el plano internacional y el gobierno de México son adecuadas, aunque podrían ser más eficaces si se comienza a fomentar la reproducción artificial *ex situ*, regulada y legal con el fin de combatir el tráfico ilegal de *A. retusus*. Además de colaborar con otros países y concentrar esfuerzos para regular la venta nacional e internacional de ejemplares en internet, poner especial atención en el equipaje o cargamentos dentro de las aerolíneas o centrales camioneras y finalmente implementar más operativos carreteros en México. En el caso de los permisos CITES o las notas de venta que se expiden en México, se recomienda que estos estén sumamente detalladas y que contengan información relacionada con el número de ejemplares y, el ciclo de vida (tamaño) al que pertenecen los individuos que serán exportados o vendidos y, que en las aduanas se verifique que las características morfológicas del ejemplar coincidan con lo descrito en el permiso o nota de venta, ya que es posible que a través de una nota de compra que corresponda a una plántula, los coleccionistas logren comprar o exportar ilegalmente ejemplares adultos de *A. retusus*. Por ejemplo, García P. (2002) menciona que un grupo de comerciantes japoneses adquirieron ejemplares del género *Geohintonia* y la biznaga piedra del yeso *Aztekium hintonii* de forma legal, propagadas a través de semillas, aunque, además, extrajeron de forma ilegal algunos ejemplares de vida silvestre. En la aduana con Estados Unidos, presentaron la nota de venta

sobre las especies adquiridas legalmente, no obstante, lograron sacar del país individuos de vida silvestre que no se encontraban descritos en dicho documento.

8 Ordenación de la especie. Grado de avance: Completo.

8.1 Medidas de gestión y supervisión de la población

En un periodo de 15 años (2003-2018) se establecieron 53 unidades de manejo o de aprovechamiento de *A. retusus* formalmente registradas en la DGVs, de este total, 32 corresponden a UMA y 21 a PIMVS. La primera UMA en registrar a *A. retusus* se estableció en el año 2003 y la primera PIMVS en el año 2005 (figura 11). La creación de nuevas unidades de manejo en las que reportan a *A. retusus* es de una a dos unidades por año, excepto en 2006 donde se establecieron cuatro nuevas UMA o PIMVS y, en 2013, año en el que se registró la mayor cantidad de unidades de manejo al registrarse ocho; durante el periodo 2001-2004 y 2006-2007 no se estableció ninguna UMA o PIMVS (figura 11) (Masés-García *et al.* 2016). En todas las UMA, *A. retusus* se encuentra sujeto a manejo intensivo, que implica que la reproducción de ejemplares de vida silvestre se realiza a través de la manipulación directa bajo condiciones de cautiverio. Este tipo de manejo tiene la finalidad de investigar, conservar, exhibir o comercializar ejemplares (SEMARNAT 2016).

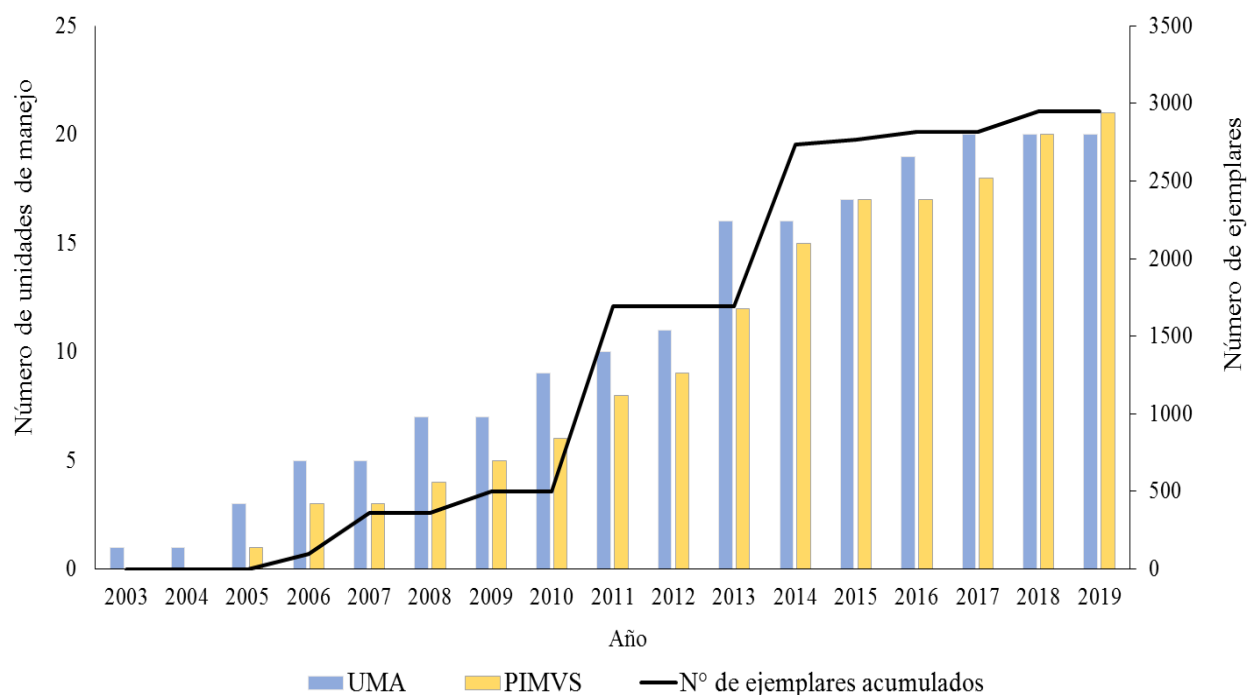


Figura 11. Número de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) y Predios e Instalaciones que Manejan Vida Silvestre (PIMVS) acumuladas y número de ejemplares de *Ariocarpus retusus* acumulados a través del tiempo durante el periodo 2003-2018.

8.2 Reproducción artificial. Grado de avance: Completo.

Hasta el año 2018, en la DGVS se encontraban registradas 53 unidades de manejo que corresponden a 32 UMA y 21 PIMVS (cuadro 13). En todas las UMA, *A. retusus* se encuentra sujeto a manejo intensivo, es decir, que se reproduce artificialmente en condiciones de cautiverio con fines comerciales. En el caso de las 21 PIMVS, tres son jardines botánicos, uno es un parque ecológico y 17 son viveros. En todas las unidades de manejo se llevan a cabo actividades de propagación de *A. retusus* a través de semilla.

9 Especies similares.

De acuerdo con la literatura, las especies que conforman el género *Ariocarpus* presentan características muy similares entre sí, sin embargo, las diferencias se pueden encontrar principalmente en el tamaño o diámetro de los individuos, ya que *A. retusus* y *A. trigonus* son las especies más grandes dentro del género *Ariocarpus* al medir hasta 25 o 30 cm de diámetro; el resto de las especies que conforman el género miden menos de 15 cm de diámetro (figura 12) (cuadro 14). El color de las flores es otra característica distintiva, en *A. retusus* las flores son blancas con una línea media rojiza y, en las otras especies del género *Ariocarpus* son de color rosa, magenta, púrpura o color crema, excepto en *A. kotschoubeyanus* que, además de presentar flores de color rosa o magenta, presenta flores blancas, esta última característica puede causar confusión taxonómica entre ambas especies, no obstante, la disposición y color de los tubérculos es otra característica que puede ayudar a discernir entre ambas especies, ya que en *A. kotschoubeyanus* los tubérculos son de color verde grisáceo y, en *A. retusus* son de color verde azulado o grisáceo (figura 12) (cuadro 14). La forma y el color de los tubérculos es una característica que permite diferenciar fácilmente a *A. retusus* de otras especies del mismo género, por ejemplo, los tubérculos de *A. fissuratus* presentan diversas fisuras en su superficie y los tubérculos de *A. bravoanus* son erectos, a diferencia de *A. retusus* que presenta tubérculos atenuados hacia la base, con una superficie plana (figura 12) (cuadro 14) (Anderson 1967c, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991).

Dentro de la familia Cactaceae, existen otros géneros y especies de cactus que pueden confundirse con *A. retusus* o con otras especies del género *Ariocarpus*. Tal es el caso de las especies *Aztekium ritteri*, *Leuchtenbergia principis*, *Obregonia denegrii*, *Strombocactus disciformis*, *Turbinicarpus alonsoi* y el género *Lophophora*. Las

semejanzas morfológicas se deben a que dentro la historia evolutiva de la familia Cactaceae, el género *Ariocarpus*, *Aztekium*, *Lophophora*, *Strombocactus* y *Turbinicarpus* ha evolucionado en conjunto a partir de un ancestro común; particularmente el género *Strombocactus* es un clado que se encuentra muy relacionado con el género *Ariocarpus*, mientras que el género *Turbinicarpus* es su grupo hermano (Vázquez-Sánchez *et al.* 2013). No obstante, la principal característica que diferencia a estas especies de cactáceas del género *Ariocarpus* son las espinas, que en *Ariocarpus* están ausentes o son vestigiales, por lo que son imperceptibles (figura 13). Si bien, los individuos adultos del género *Lophophora* tampoco presentan espinas, es casi imposible confundir a ambos géneros, debido a que presentan formas distintas; en el género *Lophophora* el tallo está conformado por costillas fusionadas y en el género *Ariocarpus* por numerosos tubérculos triangulares (figura 13) (Anderson 1967c, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991).

El género *Ariocarpus* difiere en la temporada reproductiva, el punto de donde se desarrolla la flor, el color y la forma de la flor con respecto del género *Obregonia* (figura 13) (cuadro 14). Aunque las plántulas de ambos géneros son muy similares entre sí, al igual que las semillas, que exhiben el mismo color, forma y tamaño (Anderson 1967c, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991). El género *Turbinicarpus* presenta flores del mismo color que *A. retusus*, aunque la floración se presenta en temporadas distintas del año y los individuos adultos son de tamaño distinto, siendo más pequeños en el género *Turbinicarpus* (figura 13) (cuadro 14). Los individuos adultos del género *Strombocactus* alcanzan tamaños similares a *A. retusus*, incluso sus flores pueden presentar coloraciones similares, aunque difieren en la temporada en la que ocurre la reproducción y en la forma de los tubérculos, que en *A. retusus* son triangulares y en el género *Strombocactus* tienen forma de rombo o pirámide (figura 13) (cuadro 14). El

género *Aztekium* presenta tubérculos de forma y color semejante a *A. retusus*, aunque ambas difieren en el color de las flores, la época de floración y en el tamaño, ya que los individuos del género *Aztekium* miden menos de 5 cm de diámetro y los adultos de *A. retusus* pueden alcanzar hasta 25 cm de diámetro (figura 13) (cuadro 14). La biznaga palmilla de San Pedro (*Leuchtenbergia principis*: Cactaceae) presenta tubérculos triangulares similares a los de *A. retusus*. Las diferencias entre ambas especies se presentan en el color de las flores, el tamaño de los individuos y en la época reproductiva (cuadro 14).

Figura 12. Especies que conforman el género *Ariocarpus*. Fotos: M. C. Mandujano, C. Martínez-Peralta, H. Altamirano y D. Cárdenas-Ramos.



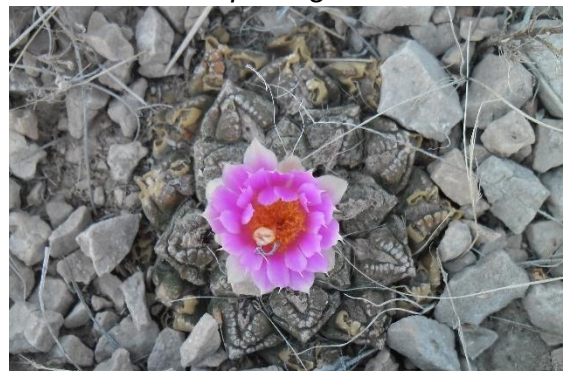
Ariocarpus retusus



Ariocarpus agavoides



Ariocarpus bravoanus



Ariocarpus fissuratus



Ariocarpus kotschoubeyanus



Ariocarpus scaphiostriis



Ariocarpus trigonus

Figura 13. Especies de la familia Cactaceae que presentan características morfológicas similares a *Ariocarpus retusus*. Fotos: D. Cárdenas Ramos y Naturalista (CONABIO 2019).



Aztekium ritteri



Leuchtenbergia principis



Lophophora



Obregonia denegrii



Strombocactus disciformis



Turbinicarpus alonsoi

Cuadro 14. Géneros y especies de la familia Cactaceae con características morfológicas similares a *Ariocarpus retusus*.

Especie	<i>Ariocarpus retusus</i>	<i>A. agavoides</i>	<i>A. bravoanus</i>	<i>A. fissuratus</i>
Nombre común	Chaute, chautle peyote cimarrón o pezuña de venado	Falso peyote	Falso peyote	Chaute
Diámetro (cm)	10-25	4-8	3-9	>15
Altura (cm)	12	2-6	Casi a nivel del suelo	Casi a nivel de suelo
Espinas	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Forma de tubérculos	Triangulares, con superficie convexa, casi plana, algo ondulada y arrugada	Triangulares con superficie convexa, plana y áspera	Triangulares, aplanados, proyectados desde la base del tallo	Triangulares, imbricados, con punta redonda, superficie plana, convexa con fisuras irregulares y un surco longitudinal, de 3 a 4 mm de ancho
Color tubérculos	Verde azulado o grisáceo	Castaño verdoso	Verde grisáceo	Verde grisáceo o verde pardusco
Tamaño tubérculos (cm)	15-4 longitud 1-3.5 ancho	3-7 longitud 0.5-1 ancho	-	1.5 longitud 2.3 ancho
Color de las flores	Blancas con tintes rosados	Segmentos externos rojos, internos magenta	Magenta	De blanco a púrpura
Tamaño de las flores (cm)	4-5 diámetro 4.5 longitud	3.5-4.2 diámetro 2.5 longitud	4.5 diámetro	3.5 diámetro
Frutos	Ovoide, blanco verdoso a rosa pálido	Alargado, rojo rosado o púrpura	Ocultos, color café	Ovoide de color verde pálido
Tamaño del fruto (mm)	10-2.5 longitud	10-20 longitud 5-12 diámetro	-	10 longitud
Fenología	Octubre a noviembre	Octubre a noviembre	Octubre a noviembre	Septiembre
Distribución	Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas	San Luis Potosí y Tamaulipas	San Luis Potosí	Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León, San Luis, Potosí, Tamaulipas, Zacatecas y el sur de Texas

Especie	<i>A. kotschoubeyanus</i>	<i>A. scaphiostris</i>	<i>A. trigonus</i>	<i>Turbinicarpus alonsoi</i>
Nombre común	Pezuña de venado o pata de venado	Orejas de conejo	Chaute o chautle	Biznaguita o biznaga cono invertido
Diámetro (cm)	>7	4-8	>30	6-9
Altura (cm)	Casi a nivel de suelo	2-6	>25	9-10
Espinas	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Espinas de 3-5, suaves, planas, curvas, largas, de color gris con puntas negras
Forma de tubérculos	Triangulares, pequeños, agudos, de superficie plana y rugosa	Triangulares, erectos con superficie convexa, plana y áspera	Triangulares, agudos, erectos, aplanados, lisos, no fisurados	Algunas veces costillas divididas en tubérculos o tubérculos anchos, aristados, dispuestos en espiral
Color tubérculos	Verde grisáceo	Castaño verdoso	Verde amarillento	Verde grisáceo con tintes glaucos
Tamaño tubérculos (cm)	0.5-1.3 longitud 0.3-1 ancho	3-7 longitud 0.5-1 ancho	3-8 longitud 1-2.5 ancho	0.2-0.9 longitud 0.4-1 ancho
Color de las flores	Blanco, rosa claro carmín o magenta, con una línea central más oscura	Segmentos externos rojos, internos magenta oscuro y margen blanco	Color pálido hasta crema, a veces con una línea rojiza	Rojo-cereza o rojo-morado
Tamaño de las flores (cm)	2.5 longitud	3.5-4.2 diámetro 2-5 longitud	3-5 diámetro 2.5-4 longitud	2.5 diámetro 1-2.5 longitud
Frutos	Claviforme, de color rosa	Alargado, rojo rosado a púrpura	Blanquecino a verdoso	Verde y hasta café cuando maduran
Tamaño del fruto (mm)	0.5-1.8 longitud 0.1-0.3 diámetro	10-20 longitud 5-12 diámetro	0.7-2 longitud 0.5-1 diámetro	3.5-10 diámetro
Fenología	Agosto-septiembre en Querétaro y de octubre a noviembre en Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas	Octubre a noviembre	Primeros días de Noviembre	Enero a febrero
Distribución	Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas	San Luis Potosí y Tamaulipas	Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas	Coahuila, Hidalgo, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas

Especie	<i>Obregonia denegrii</i>	<i>Aztekium ritteri</i>	<i>Leuchtenbergia principis</i>	<i>Strombocactus disciformis</i>	<i>Lophophora</i>
Nombre común	Biznaga de Obregón, peyotillo, obregonia u obregonita	Biznaga piedra	Biznaga palmilla de San Pedro	Biznaga trompo	Peyote
Diámetro (cm)	12	5	15	>8	4-12
Altura (cm)	-	3	25	3-8	2-7
Espinas	Entre 3 y 4, sólo en los tubérculos jóvenes centrales. Curvas, flexibles y blancas	Sólo en las areolas apicales, pequeñas y planas	Largas, delgadas, pequeñas y agudas	Entre 4 y 5 setosas, sólo en los tubérculos jóvenes centrales	Plumosas en las plántulas y ausentes en los adultos
Forma de tubérculos	Tubérculos triangulares dispuestos en espiral, duros y cartilaginosos	Costillas conformadas por tubérculos triangulares	Tubérculos triangulares y cuadrangulares, duros, dispuestos en espiral	Forma de rombo o pirámide, dispuestos en espiral	Costillas que en algunas ocasiones forman tubérculos
Color tubérculos	Castaño verdoso	Verde grisáceo	Verde glauco	Verde glauco a verde grisáceo	Verde amarillento o azulado
Tamaño tubérculos (cm)	0.5-1.5 longitud 0.7-1.5 ancho	-	5-12.5 longitud 1-1.5 ancho	10-18 longitud 9-20 ancho	-
Color de las flores	Blancas	Rosa claro	Amarillas	Amarillas o blancas con tinte rosas	Rosa, blanco u amarillenta
Tamaño de las flores (cm)	2-2.5 longitud 3 diámetro	1 longitud 1-3 diámetro	5-6 diámetro	2.5-3.5 longitud 3.5-4 diámetro	1-2.4 longitud 1.2-2 diámetro
Frutos	De forma cilíndrica, de color blanco y amarillento al madurar	Blanco con tintes rosas, de forma clava	Ovoide con forma de pera, de color blanco verdoso	Frutos alargados, con una apertura longitudinal al madurar, de color rosa	Con forma de clava, desnudo, de color rosa
Tamaño del fruto (mm)	16-25 longitud	-	-	7 longitud	15-22 longitud 2-3.5 ancho
Fenología	Primavera y verano	Agosto	Final de la primavera	Febrero a marzo	Marzo a septiembre
Distribución	Tamaulipas	Nuevo León	Coahuila, Nuevo León, San Luis potosí y Zacatecas	Hidalgo y Querétaro	Chihuahua, Coahuila, Durango, Querétaro, San Luis potosí, Tamaulipas y Zacatecas

10. Conservación. Grado de avance: Completo.

Algunas poblaciones silvestres de *A. retusus* se encuentran resguardadas dentro de dos áreas naturales protegidas (ANP), es el caso del Parque Nacional (PN) Cumbres de Monterrey en Nuevo León y, el Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) Bajo Río San Juan que se localiza en Coahuila y Nuevo León. De acuerdo con Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), los PN se decretan para proteger ecosistemas con un alto valor científico, educativo, histórico, biológico y/o por

su belleza escénica y, sólo están permitidas actividades relacionadas con la conservación de los ecosistemas, investigación, recreación, turismo o educación ambiental. Por el contrario, las APRN se decretan con el fin de preservar los elementos abióticos del ecosistema, tal como el suelo, el agua y las cuencas hidrográficas; además de permitirse el desarrollo de las mismas actividades de conservación y educación que en los PN, se admite el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (SEMARNAT 1996). De acuerdo con lo anterior, se puede establecer que *A. retusus* se encuentra protegida directamente por los PN que resguardan desde el ecosistema hasta las especies que habitan en él y, las APRN preservan indirectamente a la especie a través de la protección del suelo. No obstante, la protección de las ANP representa apenas el 8.68% del área de ocupación de la especie.

Otra forma de protección de *A. retusus* son los jardines botánicos, que son centros que permiten la conservación y, en algunos casos la propagación de especies fuera de su hábitat natural. Durante este trabajo no se determinó el número de ejemplares que se encuentran en los jardines botánicos, aunque se sabe que la mayoría de sus colecciones vivas están conformadas por ejemplares que han sido donados por universidades, la comunidad local, regional, nacional o bien, se trata de individuos extraídos de vida silvestre que son decomisados (Parra S. *et al.* 2017). Por ejemplo, la PROFEPA recuperó 149 ejemplares de cactáceas, entre ellas un ejemplar de *A. retusus*. En el año 2016, la SEMARNAT entregó dichos ejemplares al Jardín Botánico de la Universidad Autónoma de México (UNAM) para su resguardo (PROFEPA 2016).

B) Evaluaciones de riesgo. Grado de avance: Completo.

a) CITES

En el Anexo I de la Resolución Conf. 9.24 (Rev. CoP17) se describen una serie de criterios biológicos que debe cumplir una especie para ser incluida en el Apéndice I de CITES. Dicho Anexo se encuentra dividido en tres secciones, A que hace referencia al tamaño poblacional de la especie, la sección B se refiere a la demografía y el C, a la reducción acentuada del tamaño poblacional. Cada sección cuenta con una serie de puntos que se respondieron y, se encuentran incluidas en la sección de anexos de este proyecto (Anexo 2).

De acuerdo con la información de este proyecto y los criterios biológicos del Anexo I de la Resolución Conf. 9.24 (Rev. CoP17), consideramos adecuado que *A. retusus* continúe dentro del Apéndice I de CITES. Dicho apéndice incluye a “las especies en peligro de extinción, cuyas poblaciones silvestres pueden ser afectadas por el comercio internacional, y cuya exportación debe de hacerse sólo bajo circunstancias excepcionales (p. ej. con fines científicos o reproducción en cautiverio)” (CITES 2020a). Esta determinación se basa en el hecho de que *A. retusus* es una especie endémica de México, cuyas poblaciones se distribuyen de forma discontinua a lo largo del Desierto Chihuahuense y, se encuentran agregadas en pequeñas poblaciones o colonias, debido a la baja dispersión de sus semillas. Presenta restricciones biológicas, reproductivas y demográficas intrínsecas de la especie, que en conjunto con el cambio de uso de suelo y la extracción ilegal de ejemplares de vida silvestre, comprometen la permanencia de sus poblaciones silvestres distribuidas en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. Además, el comercio internacional de la especie es muy frecuente, llegando a registrarse en un periodo de cuatro meses, la venta de hasta 1 604 individuos de *A. retusus* y más de 5 000 semillas

en todo el mundo. Sin dejar de lado que los coleccionistas de cactus se centran en comprar individuos adultos reproductivos, extraídos ilegalmente de vida silvestre.

b) NOM-059-SEMARNAT-2010

Después de una intensa recopilación bibliográfica sobre la biología, distribución, características del hábitat, demografía, genética, interacciones bióticas e impacto de las actividades humanas en la especie *A. retusus*, se aplicó el Método de Evaluación de Riesgo de Plantas en México (MER), incluida en el Anexo Normativo II de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Se sumaron los puntajes de cada uno de los cuatro criterios de evaluación y, se obtuvo un puntaje final de 1.85 (cuadro 15), que incluye a la especie dentro de 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 que se encuentran en la categoría de “Amenazada (A)”, están en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo por la incidencia de factores extrínsecos que afectan negativamente a sus poblaciones silvestres, entre estos factores se encuentra el deterioro del hábitat a causa de las actividades humanas (SEMARNAT 2010).

Actualmente *A. retusus* se encuentra en la categoría “Sujeta a Protección Especial (Pr)” que incluye a las especies que podrían encontrarse amenazadas por factores extrínsecos negativos y, por tanto, se establece la necesidad de priorizar, conservar o recuperar las poblaciones asociadas (SEMARNAT 2010). Sin embargo, los datos recopilados en este proyecto son evidencia sólida que nos permiten sugerir el cambio de categoría de la especie. Sin dejar de lado que aún existen huecos de información sobre *A. retusus*, por ejemplo, estudios demográficos y genéticos detallados y, análisis de disturbio de todas las localidades conocidas de la especie.

Cuadro 15. Evaluación de riesgo de *Ariocarpus retusus* siguiendo el Método de Evaluación de Riesgo de Plantas en México de la NOM-059-SEMARNAT-2010. En el Anexo 3 se presenta de forma detallada la evaluación de riesgo.

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

c) IUCN

De acuerdo con la información recabada sobre la biología, distribución, atributos poblacionales y el efecto que las actividades antrópicas tienen sobre las poblaciones silvestres de *A. retusus*, a continuación, se muestran las conclusiones más relevantes sobre nuestro estudio y, que consideramos pertinente se tomen en cuenta por la IUCN, de tal forma que consideren cambiar el estatus actual en el que se encuentra la especie (*Least Concern*).

a) *Ariocarpus retusus* es una especie endémica de México, cuya distribución se restringe al Desierto Chihuahuense. Se establece sobre colinas calizas y pedregosas en sitios con vegetación del tipo matorral xerófilo. El área de distribución potencial es menor a 100 000 km², no obstante, el área de ocupación de la especie, puede ser de entre 10 490 km² y 12 661.15 km² sin considerar una reducción en la calidad del hábitat o, de hasta 1 125 km² considerando el deterioro del hábitat. Sólo el 8.68% del área de ocupación de la especie se encuentra resguardada en alguna área natural protegida de México.

b) Las poblaciones de *A. retusus* se distribuyen en parches agregados o colonias a nivel local, este patrón de crecimiento se debe a que la dispersión de semillas es de corto alcance, ya que generalmente se lleva a cabo por viento (anemocoria) o por hormigas (zoocoria). El tamaño poblacional de *A. retusus* estimado para el año 2019 es de aproximadamente 9 964.08 individuos, sin considerar la extracción ilegal de ejemplares y el cambio de uso de suelo.

c) En las poblaciones silvestres que visitamos, se observó que el reclutamiento es el proceso demográfico más vulnerable en *A. retusus* ya que, en sólo siete de 12 poblaciones visitadas, registramos una baja frecuencia de individuos de reclutamiento reciente (>3 cm de diámetro).

d) La floración es sincrónica, el periodo de floración tiene una duración de menos de una semana y la única forma de reclutamiento de nuevos individuos es a través de semillas. La reproducción de *A. retusus* es exclusivamente sexual, las flores son hermafroditas y autoincompatibles. El tipo de polinización es cruzada, es decir, que requiere que el polen sea transferido de una planta a otra a través de vectores bióticos, por lo que la especie tiene dependencia obligada a la polinización por abejas solitarias para garantizar su reproducción. El éxito reproductivo de una población puede reducirse un 2% anual a causa de la depredación de las flores por florívoros. En *A. retusus* el número de frutos formados al final del periodo reproductivo es menor que el número inicial de flores producidas, esto se debe a que existe una limitación de recursos post polinización que promueve el aborto de las estructuras florales antes de que ocurra la formación exitosa de frutos y semillas.

e) Los individuos reproductivos más grandes que corresponden a las categorías Adultos 5 y Adultos 6 producen más flores y semillas por temporada reproductiva, esto con respecto a los individuos de la categoría Adultos 1. No obstante, los individuos de las categorías más grandes son poco frecuentes en las poblaciones naturales y, además, son el principal blanco de extracción ilegal de ejemplares de vida silvestre.

d) Las especies invasoras podrían ser capaces de desplazar a *A. retusus* una vez que se modifica la vegetación natural como consecuencia del cambio de uso de suelo. De 2009 a 2017 se incrementó 36.04% el área destinada a la agricultura, la ganadería, las plantaciones forestales y las zonas urbanas, esto con respecto al área de distribución potencial estimada para la especie. El cambio de uso de suelo y la extracción ilegal de ejemplares de vida silvestre, son las principales causas que comprometen la permanencia de los individuos y las poblaciones silvestres de *A. retusus*.

Referencias

- Aguilar-Morales, G., C. Martínez-Peralta, T. Feria-Arroyo *et al.* 2011. Distribución geográfica del género *Ariocarpus* Scheidweiler (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 56:49–62.
- Almeyda L., I.H., E.E. Villavicencio Gutiérrez, A. Arredondo Gómez y V. Pecina Quintero. 2012. *Caracterización molecular de cactáceas del Desierto Chihuahuense*. INIFAP, México.
- Anderson, E. 1962. A Revision of *Ariocarpus* (Cactaceae). II. The Status of the Proposed Genus *Neogomesia*. *American Journal of Botany* 49:615-622. DOI: 10.2307/2439719.
- . 1964b. A Revision of *Ariocarpus* (Cactaceae). IV. Formal Taxonomy of the Subgenus *Ariocarpus*. *American Journal of Botany* 51:144–151.
- . 1967c. A study of the proposed genus *Obregonia* (Cactaceae). *American Journal of Botany* 54:897–903. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1967.tb10713.x
- APRN. Área de Protección de Flora y Fauna. 2015. Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Sierra la Mojonera. Publicado el 5 de junio de 2015 en el Diario Oficial de la Federación.
- Aranda P., J.A. 2017. *Efecto de la supervivencia de plántulas y del banco de semillas en la dinámica poblacional de una cactácea endémica del desierto chihuahuense*. Tesis de licenciatura. Instituto de Ecología-UNAM, México.
- Ariocarpus retusus* Scheidw. in GBIF Secretariat (2019). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset. En <<https://www.gbif.org/species/3084099>>, última consulta:

12 de junio de 2019.

Arredondo G., A., A. Rocha Ruiz y D.J. Flores Rivas. 2007. *Rompimiento de latencias en semillas de cinco especies de cactáceas del Desierto Chihuahuense*. CIRNE-INIFAP, México.

Arroyo-Quiroz I. y T. Wyatt. 2019. Tráfico de vida silvestre entre la Unión Europea y México. En: <http://revistes.ub.edu/index.php/CriticaPenalPoder/article/view/28572/29176>, última consulta: 2 de abril de 2019.

Bárcenas, R.T., C. Yesson y J.A. Hawkins. 2011. Molecular systematics of the Cactaceae. *The Willi Hennig Society* 27:1–20.

Batis, A. y M. Royas. 2002. El peyote y otros cactus alucinogenos de Mexico. *Biodiversidad* 40: 12–17.

Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. *Las cactáceas de México: Volumen II*. UNAM, México.

Briseño S., M.I. 2016. *Estructura poblacional y biología de la reproducción de Lophophora diffusa (Croizat) Bravo (Cactaceae) en Querétaro, México*. Tesis de licenciatura. UNAM, México.

Bruhn, J.G. y C. Bruhn. 1973. Alkaloids and ethnobotany of Mexican peyote cacti and related species. *Economic Botany* 27:241–251. DOI: 10.1007/BF02872994.

Cantú A., C., M. Rovalo, J. Marmolejo et al. 2013. *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México*. CONANP, Monterrey.

Cárdenas-Ramos, D. 2015. *Efecto de la florivoría en la reproducción de Ariocarpus retusus Scheidweiler en Miquihuana, Tamaulipas, México*. Tesis de licenciatura.

UNAM, México.

Cárdenas-Ramos, D. y M.C. Mandujano. 2018. Florivory effects on pollinator preference and the reproductive output of a threatened living rock cactus, *Ariocarpus retusus* (Cactaceae). *Haseltonia* 25:133–139.

Caswell, H. 2001. *Matrix population models: construction, analysis, and interpretation*. 2nd edn. Sunderland, Massachusetts.

CITES. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. 2001. *Venta de cactus en internet*. En: <<https://www.cites.org/sites/default/files/esp/com/pc/11/S-PC11-21-02.pdf>>, última consulta: 10 de julio de 2019.

—. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora silvestres. 2011. *Registro de establecimientos que reproducen artificialmente con fines comerciales, especímenes de especies incluidas en el Apéndice I*. En: <https://www.cites.org/sites/default/files/common/notif/2001/Reg_NU.pdf>, última consulta: 1 de marzo de 2020.

—. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora silvestres. 2017. *Sexagésimo novena reunión del Comité Permanente Ginebra (Suiza), 27 de noviembre-1 de diciembre de 2017*. En: <<https://www.cites.org/sites/default/files/esp/com/sc/69/S-SC69-68.pdf>>, última consulta: 20 de agosto de 2019.

—. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora silvestres. 2019a. *Amendments to appendices I and II of the convention*. En:

<https://cites.org/sites/default/files/eng/cop/08/prop/E08Prop82_Ariocarpus.pdf>, última consulta: 25 de noviembre de 2019.

—. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora silvestres. 2019b. *CITES Trade Database*. En: <<https://trade.cites.org/>>, última consulta: 7 de mayo de 2020.

—. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora silvestres. 2020a. *CITES*. En: <<https://www.cites.org/>>, última consulta: 7 de mayo de 2020.

—. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora silvestres. 2020b. *Registros CITES*. En: <<https://cites.org/esp/common/reg/nu/summary.html>>, última consulta: 9 de mayo de 2020.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2019. *Naturalista*. En: <<https://www.naturalista.mx/>>, última consulta: 17 de agosto de 2019.

—. 2008. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Capital natural de México, vol.1: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México.

—. 2020. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Estructura CITES en México*. En: <https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/cites/estructura_mexico.html>, última consulta: 15 de mayo de 2020.

Cosultchi, G.A., D. Cárdenas-Ramos, M. Martínez-Ramos, *et al.* 2014. Desaparición de una población de *Ariocarpus retusus* Scheidw. por la destrucción de su hábitat

- en Miquihuana, Tamaulipas, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 59:20-63.
- Cruden, R.W. 1977. Pollen-ovule ratios: a conservative indicator breeding systems in flowering plants. *Evolution* 31:32–46.
- CPF. Código Penal Federal. *Delitos contra la biodiversidad*. 2010. En: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/6585/1/mx.wap/delitos_contra_la_biodiversidad.html>, última consulta: 10 de marzo de 2020.
- Dauby, G., T. Stévant, V. Droissart, A. Cosiaux *et al.* 2017. ConR: An R package to assist large-scale multispecies preliminary conservation assessments using distribution data. *Ecology and Evolution* 7(24): 11292–11303. DOI: 10.1002/ece3.3704
- Elzinga, J.A., A. Atlan, A. Biere *et al.* 2007. Time after time: flowering phenology and biotic interactions. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 432-439.
- Fernández E., A., J. Zavala Hidalgo, R. Romero Centeno *et al.* 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.
- Fitz M., B. y W.A. Fitz M. 2017. *Ariocarpus retusus* (versión modificada de la evaluación de 2013). La Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN 2017. En: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T152733A121364672>>, última consulta: 19 de agosto de 2019.
- Flores, A. 2011. *Guía de Cactáceas del Estado de Coahuila*. Secretaría de Medio Ambiente de Coahuila, México.

- Flores, J. y E. Jurado. 2011. Germinación de especies de cactáceas en categoría de riesgo del Desierto chihuahuense. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2:59–70.
- García, E. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1998. *Climas*. CONABIO, México.
- García-Aguilar, M.C., J. Luevano-Esparza y H. Cueva. 2017. La fauna nativa de México en riesgo y la NOM-059: ¿Están todos los que son y son todos los que están?. *Acta Zoológica Mexicana* 33:188-198.
- García P., G. 2002. *Distribución y evaluación de las poblaciones naturales del género Ariocarpus (Scheidweiler) en Coahuila, México*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Saltillo.
- gcc. Global Compositae Checklist *Ariocarpus retusus* Scheidw. 2019. En: <<https://www.gbif.org/species/3084099>>, última consulta: 5 de agosto de 2019.
- Gernandt, D. 2018. *Código de barras genético de cinco grupos críticos de la flora de México*. CONABIO, México. DOI: 10.15468/au5bgj.
- Godínez-Álvarez, H., T. Valverde y P. Ortega-Baes. 2003. Demographic Trends in the Cactaceae. *The Botanical Review* 69:173–201. DOI: 10.1663/0006-8101(2003)069.
- Goldberg, D. E., R. Turkington, L. Olsvig-Whittaker et al. 2001. Density dependence in an annual plant community: variation among life history stages. *Ecological Monographs* 71: 423-446. DOI: 10.2307/3100067.
- González-Medrano, F. 2018. *Lista florística preliminar de Tamaulipas*. CONABIO, México. DOI: 10.15468/slri38.

- Guerrero-Eloisa, O.S. 2019. *Dinámica poblacional, interacción y control poblacional de una especie exótica invasora en el Desierto Chihuahuense*. Tesis de doctorado. UAM, México (inédito).
- Guimarães Jr., P.R. y P. Guimarães. 2006. Improving the analyses of nestedness for large sets of matrices. *Environmental Modelling y Software* 21:1512-1513.
- Guzmán, U., S. Arias y P. Dávila. 2003. *Catalogo cactáceas mexicanas*. UNAM, México.
- Hernández, H.M. y M. Navarro. 2007. A new method to estimate areas of occupancy using herbarium data. *Biodiversity and Conservation* 16:2457-2470.
- Hernández, H.M., C. Gómez-Hinostrosa y G. Hoffmann. 2010. Is geographical rarity frequent among the cacti of the Chihuahuan Desert?. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81:163- 175.
- Hunt, D. 2006. *The New Cactus Lexicon: Descriptions and Illustrations of the Cactus Family*. DH Books, Milborne Port.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2000. *Diccionario de datos climáticos*. INEGI, México. En: <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/normatividad/diccio/climas.pdf?s=geo&c=1259&e=10>, última consulta: 25 de marzo de 2020.
- . Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2015. *Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000: serie V*. INEGI, México.
- . Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2017. *Uso de suelo y vegetación*. INEGI, México.
- INEGI y CONABIO. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Comisión

- Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2008. *Ecorregiones terrestres de México*. INEGI/CONABIO, México.
- INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. 2002. *Propagación y Mantenimiento de Cactáceas*. INIFAP, México.
- Islas H., H. 1999. *Estudio ecológico de L. williamsii en una comunidad vegetal perturbada de San Luis Potosí*. Tesis de licenciatura. UNAM, México.
- IUCN. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2012. Categorías y criterios de la lista roja de la IUCN. En: <
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2001-001-2nd-Es.pdf>>, última consulta: 13 de mayo de 2020.
- Jiménez S., C.L. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria* 12:1067-6079.
- Kessler, R. y W. Stupp. 2006. *Semillas: la vida en cápsulas de tiempo*. Turner, Madrid.
- LGVS. Ley General de Vida Silvestre. 2000. *Ley General de Vida Silvestre*. Publicada el 3 de julio del 2000 en el Diario Oficial de la Federación.
- Ledezma, A., H. López, V. Guzmán et al. 2011. Programa de rescate y manejo para la conservación y protección de las cactáceas *Lophophora williamsii*, *Ephithelantha micromeris*, así como los géneros *Echinocereus* spp., *Ferocactus* spp., y *Mammillaria* spp. (NOM -059- Ecol.1994), en el área de construcción. En: *Memorias del 3er Taller regional de cactáceas del noreste de México*. UANL, Nuevo León.
- López, G., L. Rocha, I. Cantú et al. 2001. Evaluación de tratamientos pregerminativos

- para la biznaga verde *Echinocactus platyacanthus* Link Et Otto. En: *III Taller Regional de Cactáceas del Norte de México*. UANL, Nuevo León.
- López S., P.L. y A. Ferro N. 2006. *Derecho ambiental*. IURE, México.
- Mancilla R., M.R. 2012. Dinámica poblacional de *Ariocarpus fissuratus* en poblaciones que difieren en su densidad. Tesis de maestría. UNAM, México.
- Madujano, S. 2011. Ecología de poblaciones aplicada al manejo de Fauna Silvestre: Cuatro conceptos (N, A, MSY, Pe). Instituto Literario de Veracruz S.C., México.
- Mandujano, M.C., M. Franco, J. Golubov *et al.* 2001. Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. *Ecology* 82: 344-359.
- Mandujano, M.C., J. Verhulst, I. Carrillo-Angeles *et al.* 2007. Population Dynamics of *Ariocarpus scaphirostris* Bodeker (Cactaceae): Evaluating the Status of a Threatened Species. *International Journal of Plant Sciences* 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. y M.C. Mandujano. 2012. Biología de la polinización y fenología reproductiva del género *Ariocarpus* Scheidweiler (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 57:114–127.
- Martínez-Peralta, C., J. Márquez-Guzmán y M.C. Mandujano. 2014a. How common is self-incompatibility across species of the herkogamous genus *Ariocarpus*?. *American Journal of Botany* 101:530–538. DOI: 10.3732/ajb.1400022.
- Martínez-Peralta, C., F. Molina-Freaner, J. Golubov *et al.* 2014b. A Comparative Study of the Reproductive Traits and Floral Morphology of a Genus of Geophytic Cacti. *International Journal of Plant Sciences* 175:663-680. DOI: 10.1086/676302.

- 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. y E. Peters. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation* 124:199–207.
- Masés-García, C.A., Briones-Salas, M. y J.E. Sosa-Escalant. 2016. Análisis del manejo y aprovechamiento legal de los mamíferos silvestres de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 497-507.
- Medel-Narváez, A., A. Flores-Hernández, S. Armendáriz-Eravez *et al.* 2001. Técnicas de desinfestación y siembra *in vitro* de embriones maduros de falso peyote (*Ariocarpus fissuratus* var. *fissuratus* (eng.) shumann), (Cactaceae). *Revista Chapingo Serie Zonas Aridas* 2:53-59.
- Melesio V., M. 2019. Serotinia en *Ariocarpus fissuratus* (Engelmann) Schumann (Cactaceae) en Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. Tesis de licenciatura. UNAM, México (inédito).
- Meza N., M.V. 2011. *Cactáceas Mexicanas: Usos y Amenazas*. En: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2011_Cact_mex_usos_amenazas.pdf>, última consulta: 28 de mayo de 2019.
- Muro P., G. 2011. *Asociaciones nodriza-protégida y germinación de cactáceas en Durango y Tamaulipas*. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- NYBG. New York Botanical Garden. 2019. En: < <https://www.nybg.org/>>, última consulta:

28 de julio de 2019.

Official Journal of the European Union. 2019. *Regulation (EU) 2019/2115 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2019 amending Directive 2014/65/EU and Regulations (EU) No 596/2014 and (EU) 2017/1129 as regards the promotion of the use of SME growth markets*. En: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2019:320:FULL&from=EN>>, última consulta: 5 de abril de 2019.

Olguín S., L. 1994. *Cultivo in vitro de Ariocarpus retusus Scheidw. (Cactaceae) especie en peligro de extinción*. Tesis de licenciatura. UNAM, México.

Olmos-Lau, V. y M.C. Mandujano. 2016. An open door for illegal trade: online sale of *Strombocactus disciformis* (Cactaceae). *Nature Conservation* 15:1-9. DOI: 10.3897/natureconservation.15.8259.

Orozco-Segovia, A., J. Márquez-Guzmán, M.E. Sánchez-Coronado et al. 2007. Seed Anatomy and Water Uptake in Relation to Seed Dormancy in *Opuntia tomentosa* (Cactaceae, Opuntioideae). *Annals of Botany* 99:581–592. DOI: 10.1093/aob/mcm001.

Ortega, V.R.A. 2004. *Rescate y caracterización ecológica de especies vegetales en estatus crítico de conservación, en el área del proyecto hidroeléctrico Zimapán, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

Parra S., A. Marín Torres y A.J. Coombes. 2017. Colección viva del Jardín Botánico Universitario BUAP: Registro de ejemplares que formaran parte de la colección. En: *XXX Reunión Anual de los Jardines Botánicos de México y Asamblea Ordinaria 2017*. Instituto de Ecología, Veracruz.

- Pearce, J. y S. Ferrier. 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecological Modelling*, 133: 225-245. DOI: 10.1016/S0304-3800(00)00322-7.
- Peters R., E. y C. Martorell. 2001. Conocimiento y conservación de las mamilarias endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Instituto de Ecología-UNAM. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. R166. México.
- Phillips, S. J., M. Dudík y R.E. Schapire. 2006. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). En: <http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/>, última consulta: 6 de diciembre de 2019.
- PROFEPA. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente de México. 2010. En: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/3493/1/mx.wap/formal_prision_a_dos_traficantes_de_vida_silvestre_de_charco_cercado_slp.html>, última consulta: 3 de abril de 2019.
- . Procuraduría Federal de Protección al Ambiente de México. 2016. En: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/8469/1/mx/inicia_profepa_jornadas_de_donacion_de_materias_primas_forestales_y_ejemplares_de_vida_silvestre_en_celebracion_del_dia_mundial_del_medio_ambiente.html>, última consulta: 30 de octubre de 2019.
- . Procuraduría Federal de Protección al Ambiente de México. 2020. *Dirección General de Inspección y Vigilancia de Vida Silvestre, Recursos Marinos y Ecosistemas Costeros*. Oficiol: PFPA/4.3/4S.3/0140/2020.
- QGIS Development Team, 2019. *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. En: <<https://qgis.org>>, última consulta: 20 de abril

de 2019.

R Core Team. 2020. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. En:<<https://www.R-project.org/>>, última consulta: 13 de mayo de 2020.

Ramírez C., D.A. 2011. Los objetos nodriza como refugio y fuente de nutrientes: reflexiones sobre el establecimiento y restauración de cactáceas en zonas áridas de la vertiente occidental de los andes. *Ecología aplicada* 10:83-86.

Rapoport, E.H. 1975. *Areografía: estrategias geográficas de las especies*. Fondo de Cultura Económica, México.

Raunkiaer, C. 1934. *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Clarendon Press, Oxford.

Rocha-Gutiérrez, O.E. y J.A. Duque-Sánchez. 2017. Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre con enfoque en orquídeas (orchidaceae). *Agroproductividad* 10: 62-65

Rodríguez-Garza, R., G. González-González, M.J. Verde-Star *et al.* 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 secuentro de semillas de tres especies del género Mamillaria*. Tesis de licenciatura. UNAM, México.

Rojas-Aréchiga, M., M.C. Mandujano y J. Golubov. 2013. Seed size and photoblastism in species belonging to tribe Cactaeae (Cactaceae). *Journal of Plant Research* 126:373-386. DOI: 10.1007/s10265-012-0526-2.

Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. Limusa, Ciudad de México.

Santa Anna Del Conde J., H. O. 2007. Análisis biogeográfico de cactáceas de la Sierra Madre Oriental y su representatividad en áreas de conservación. Tesis de licenciatura. UNAM, México.

Sato, T. y K. Sugiri. 1996. *Ariocarpus hanbook: cultivated in Japan*. Japan Cactus Planning Press, Fukushima.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1996. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001*. Publicada el 6 de marzo del 2000 en el Diario Oficial de la Federación.

—. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca*. SEMARNAT. Publicada el 13 de diciembre de 1996 en el Diario Oficial de la Federación.

—. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

—. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012. *Suelos*. SEMARNAT, México.

—. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2016. *Lineamientos para otorgar A subsidios de Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la vida Silvestre Nativa en UMA. Ejercicio 2016*.

—. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2019a. *Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)*.

En:

<http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_BIODIV03_02&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce>, última consulta: 5 de marzo de 2020.

—. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2019b. *Características de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA)*. En: <http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_BIODIV04_03&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce>, última consulta: 13 de abril de 2020.

TLP. *The Plant List*. 2019. En: < <http://www.theplantlist.org/>>, última consulta: 5 de agosto de 2019.

UNEP-WCMC. United Nations Environment Programme-World Conservation Monitoring Centre. 2005. *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.

Valiente-Banuet, A. y E. Ezcurra. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Ecology* 79:961-971. DOI: 10.2307/2261091.

Vázquez-Sánchez, M., T. Terrazas y S. Arias. 1982. El hábitat y la forma de crecimiento en la tribu Cacteeae (Cactaceae, Cactoideae). *Botanical Sciences* 90:97-108. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152622.

Vázquez-Sánchez M., T. Terrazas, S. Arias y H. Ochoterena. 2013. Molecular phylogeny, origin and taxonomic implications of the tribe Cacteeae (Cactaceae). *Systematics and Biodiversity* 11: 103–116.

- Villavicencio G., E., A. Arredondo Gómez, A. Carranza Pérez *et al.* 2010. *Cactaceas ornamentales del Desierto Chihuahuense que se distribuyen en Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León, México*. INIFAP, Saltillo.
- Villavicencio G., E., A. Pérez Carranza, A. Gonzáles Cortés *et al.* 2013. *Cactácea ornamental del Desierto Chihuahuense*. Centro de Investigación Regional Noreste, México.
- Villaseñor, J.L. 2016. Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87:559–902. DOI: 10.1016/j.rmb.2016.06.017.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey.

Anexo 1

Frecuencia de ejemplares vivos, semillas y plantas secas de *Ariocarpus retusus* importadas por país durante el periodo 2009-2018. Datos obtenidos de la Base de Datos de Comercio CITES. Ej: Ejemplar o planta viva, S: Semillas y Ps: Planta seca.

País	Ciclo de vida	Año									
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<i>Alemania</i>	Ej S	7	14 110	46 260	64 30	78	25	12 10	2		
<i>Argentina</i>	Ej S		60		1	100					
<i>Australia</i>	Ej S			1	2	1					
		300	640	550	710	140	950				
<i>Austria</i>	Ej	9	1	4	1		2				
<i>Bélgica</i>	S				160		340		310		
<i>Bielorrusia</i>	Ej					100					
<i>Brasil</i>	Ej S			2	2 000						
<i>Canadá</i>	Ej S	6 230	20	200	15	100	1100	11	5 060		
<i>Chile</i>	Ej				15	2	2				
<i>China</i>	Ej S					1		1			
		1 090	150	3 090	2 800	6 660	5 940	1 160	5 210		
<i>Corea del Norte</i>	Ej					3					
<i>Corea del Sur</i>	Ej S	25 150		66	91	49	65 600		154	337	
<i>Dinamarca</i>	Ej										1
<i>Egipto</i>	Ej			75	15						
<i>Emiratos Árabes</i>	Ej			15							
<i>España</i>	Ej S			1	1	6	2	2			
		2 500	100	1 080			1 000				
<i>Estados Unidos</i>	Ej S	7 250	1	19 60	30	19	67	49	47	10	36
<i>Estonia</i>	S				50						

<i>Francia</i>	Ej S			15 20	8 70	1	11 80				4
<i>Grecia</i>	Ej S	30	21	39	62	8					
<i>Hong Kong</i>	Ej						18		4		
<i>Hungría</i>	Ej S			26	93	25 50					
<i>India</i>	Ej S	14		12	6 30	7 20	21 20	91	20		
<i>Indonesia</i>	Ej S	1 230				1		3			
<i>Irán</i>	Ej				106	5	84	133	6		
<i>Israel</i>	Ej S		60	760	10			1			
<i>Italia</i>	Ej S	2	5 230	6 390	22 100	7 110	22 610				
<i>Japón</i>	Ej S	20 350		7 470	1 980		650	4 360	80		1
<i>Malasia</i>	S		2 870				220				
<i>Malta</i>	Ej			1	2						
<i>México</i>	Ej S	140	2	100							
<i>Mónaco</i>	Ej					18		20			
<i>Namibia</i>	Ej				1						
<i>Noruega</i>	Ej S	20	10		1	80					
<i>Nueva Caledonia</i>	S						24				
<i>Nueva Zelanda</i>	S	10		30	40		1				
<i>Países Bajos</i>	Ej			2	1						
<i>Pakistán</i>	Ej			10		1					
<i>Perú</i>	S				190						
<i>Polonia</i>	Ej	1			2	9	4		5		

	S		30								
<i>Reino Unido</i>	Ps Ej S	20		2 50	2 330	45 10	1		1		
<i>Rep. Checa</i>	Ej	1	12	1	46	9			10		
<i>Rumanía</i>	Ej										
<i>Rusia</i>	Ej S	30 10	160		9 620	2 40	30 10	14			
<i>Singapur</i>	Ps Ej S	1		17	20 34	3	3 840	35	42	4	78
<i>Sri Lanka</i>	Ej										1
<i>Suazilandia</i>	Ej							2			
<i>Sudáfrica</i>	Ej S	11	170								
<i>Suecia</i>	Ej			1							
<i>Suiza</i>	Ej S	11 4 000	7 20	40 9 380	37 140	20 20	21 340	22 2360	14 170	18 120	8
<i>Tailandia</i>	Ej S	120		240	520	30	2 680	500			
<i>Taiwán</i>	Ej						12				
<i>Sudáfrica</i>	Ej S	270	80		1 360	100	12		4 1 000		
<i>Trinidad y Tobago</i>	Ej			1	2						
<i>Turquía</i>	Ej				1		1				
<i>Ucrania</i>	S			1 120	510	250	10				
<i>Uruguay</i>	S				40						

Anexo 2

Criterios biológicos descritos en el Anexo I de la Resolución Conf. 9.24 (Rev. CoP17) de CITES. Se muestra las secciones (A-C) y los criterios biológicos de cada sección, así como la información que responde a cada criterio, esto en función de la información recabada en este proyecto.

A. La población silvestre es pequeña y presenta al menos una de las características siguientes:

i) una disminución comprobada, deducida o prevista del número de individuos o de la superficie y la calidad del hábitat.

Se observa una reducción poblacional de 0.99% individuos al año considerando la extracción ilegal de ejemplares y, la tasa de pérdida de poblaciones es de 7.14% poblaciones perdidas en el año 2019. En un periodo de ocho años, se incrementó 47.40% el área destinada a las actividades agrícolas, ganaderas, plantaciones forestales y zonas urbanas, esto con respecto al área de distribución potencial de la especie. Las proyecciones de distribución potencial futura en escenarios de cambio climático, indican que para el año 2050 el área de distribución potencial de la especie se reducirá entre 6 mil y 8 mil km².

ii) cada una de sus subpoblaciones es muy pequeña

Una población silvestre de *A. retusus* en promedio tiene 79.08 individuos.

iii) la mayoría de los individuos están concentrados geográficamente durante una o más etapas de su vida

Ariocarpus retusus es una especie endémica de México, cuyas poblaciones se distribuyen de forma discontinua a lo largo del Desierto Chihuahuense. Las poblaciones se encuentran en parches agregados o colonias a nivel local, este patrón de crecimiento se debe a que la dispersión de semillas es de corto alcance, ya que generalmente se lleva a cabo por viento (anemocoria) o por hormigas (zoocoria).

iv) grandes fluctuaciones a corto plazo del tamaño de la población

El cambio de uso de suelo reduce drásticamente el tamaño poblacional de la especie. Por ejemplo, en el año 2013 en una localidad cercana al municipio de Miquihuana (Tamaulipas), se desmontó el terreno donde se encontraba una población silvestre de *A. retusus*, este evento antrópico provocó la pérdida de hasta 2 000 individuos de la especie y de la vegetación circundante.

v) una alta vulnerabilidad bien sea a los factores intrínsecos o extrínsecos.

La especie tiene características biológicas, reproductivas y demográficas específicas, que, en conjunto con la extracción ilegal de ejemplares y el cambio de uso de suelo, ponen en riesgo la permanencia sus poblaciones silvestres.

B. La población silvestre tiene un área de distribución restringida y presenta al menos una de las características siguientes:

i) una fragmentación o se encuentra en muy pocos lugares

Ariocarpus retusus es una especie endémica de México, cuya distribución se restringe al Desierto Chihuahuense. Se registraron 126 puntos de presencia de *A. retusus*, distribuidas en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas.

El punto *ii* y *iv* de la sección B y el punto *i* y *ii* de la sección C, se responderán al término de dichos puntos.

ii) una fluctuación importante en el área de distribución o el número de subpoblaciones
iv) una disminución comprobada, deducida o prevista en alguno de los aspectos siguientes:

– *el área de distribución, la superficie del hábitat, el número de subpoblaciones, el número de ejemplares, la calidad del hábitat o el reclutamiento.*

C. Una disminución acentuada del tamaño de la población en la naturaleza.

i) comprobado que existe en la actualidad o ha existido en el pasado (pero con probabilidad de reiniciarse)

ii) deducido o previsto, atendiendo a alguno de los aspectos siguientes:

– *una disminución de la superficie del hábitat, una disminución de la calidad del hábitat, los niveles o los tipos de explotación, una alta vulnerabilidad bien sea a los factores intrínsecos o extrínsecos o, una disminución del reclutamiento.*

El área de distribución potencial de la especie en el año 2019 es de 113 138 km², aunque puede reducirse a 83 447.45 km² considerando las áreas donde se ha modificado la cubierta vegetal natural a causa de las actividades antrópicas. Las proyecciones de distribución potencial futura bajo escenarios de cambio climático indican que para el año 2050, el área de distribución potencial de la especie se reducirá entre 6 mil y 8 mil km² y, en un periodo de 31 años (2019-2050), se perderán hasta 14.28% de las poblaciones actuales (126 registros de presencia), aún sin considerar el cambio de uso de suelo y la extracción ilegal de ejemplares de vida silvestre. El cambio de uso de suelo reduce drásticamente el tamaño poblacional. Por ejemplo, en el año 2013 en una localidad cercana al municipio de Miquihuana (Tamaulipas), se desmontó el terreno donde se encontraba una población silvestre de *A. retusus*, este evento antrópico provocó la pérdida de hasta 2 000 individuos de la especie. Finalmente, existe una baja frecuencia de individuos de reclutamiento reciente, por lo que el reclutamiento es el proceso demográfico más vulnerable de la especie.

iii) de la particular sensibilidad bien sea a los factores intrínsecos o extrínsecos

La especie tiene restricciones biológicas y demográficas intrínsecas de la especie que comprometen su permanencia. Por ejemplo, existe una baja frecuencia de individuos de reclutamiento reciente, la floración es sincrónica, el periodo de floración tiene una duración de menos de una semana y la única forma de reclutamiento de nuevos individuos es a través de semillas. La reproducción es exclusivamente sexual, las flores son hermafroditas, autoincompatibles y la polinización es cruzada, es decir, la especie tiene dependencia obligada a la polinización por abejas solitarias para garantizar su reproducción. El número de frutos formados al final del periodo reproductivo es menor que el número inicial de flores producidas, esto se debe a que

existe una limitación de recursos post polinización que promueve el aborto de las estructuras florales antes de que ocurra la formación exitosa de frutos y semillas. Esto se suma a las presiones extrínsecas a sus poblaciones, tales como el cambio de uso de suelo y la extracción ilegal de ejemplares. Desde el año 1992, cuando se incluyó a *A. retusus* dentro del el Apéndice I de CITES y hasta el año 2019, se puede establecer que el comercio internacional de la especie es muy frecuente, llegando a registrarse en un periodo de cuatro meses, la venta de hasta 1 604 individuos de *A. retusus* y más de 5 000 semillas en todo el mundo. Sin dejar de lado que los coleccionistas de cactus se centran en comprar individuos adultos reproductivos, extraídos ilegalmente de vida silvestre.

Anexo 3

Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Plantas en México (MER) aplicado a *Ariocarpus retusus* en el año 2020. En color azul se observa el valor asignado a cada elemento y en color rojo el subtotal obtenido de cada criterio.

A. INDICE DE RAREZA

Criterio A. Características de la distribución geográfica

1. Extensión de la distribución (considerar el área de ocupación)

Se estimó con un modelo de distribución potencial, que considera los registros de presencia de la especie y variables climáticas que determinan los sitios de idoneidad ambiental de la especie. La extensión de la distribución debe considerar el área de ocupación (el área dentro de su extensión de presencia que es ocupada por el taxón, ya que esta última puede contener hábitats no adecuados, IUCN, 1994) y no sólo la extensión de presencia (área contenida dentro de los límites continuos o imaginarios más cortos que pueden dibujarse para incluir todos los sitios conocidos en los que un taxón se halla presente).

- a) El área de distribución es menor o igual a 1 km² = **4**
- b) El área de distribución ocupa más de 1 km², pero <1% del Territorio Nacional = **3**
- c) El área de distribución ocupa >1-<5% del Territorio Nacional = **2**
- d) El área de distribución ocupa >5-<40% del Territorio Nacional = **1**
- e) El área de distribución ocupa >40% del Territorio Nacional = **0**

2. Número de poblaciones o localidades conocidas existentes (en el caso de localidades se trata de puntos (3 mm de diámetro), discernibles en un mapa escala 1:4000000).

- a) 1-3 = **3**
- b) 4-8 = **2**
- c) 9-25 = **1**
- d) Mayor o igual que 26 = **0**

3. Número de provincias biogeográficas (CONABIO, 1997) en las que se encuentra el taxón (o que abarcaba su distribución histórica).

El mapa que debe ser utilizado para determinar las provincias biogeográficas donde se presenta un taxón es el de la CONABIO (1997) "Provincias biogeográficas de México". Si la especie se encuentra únicamente en el límite entre dos provincias, para fines del MER-Plantas, se le asigna el valor máximo (3).

- a) 1 = **3**
- b) 2-3 = **2**
- c) 4-5 = **1**
- d) Mayor o igual que 6 = **0**

4. Representatividad de la distribución del taxón en el Territorio Mexicano.

Se refiere a la importancia que pueden tener las poblaciones mexicanas dentro de la distribución geográfica de la especie. Por ejemplo, un pino se distribuye más del 95% en la costa oeste EU, y en México sólo se han reportado dos localidades en BCN. En este caso se dice que la distribución es periférica o extralimital.

- a) Distribución periférica o extralimital = 1
- b) Distribución no periférica o extralimital = 0

Subtotal del **Criterio A**: Suma del puntaje obtenido/11
3/11 = 0.27

Criterio B. Características del hábitat.

1. ¿En cuántos tipos de vegetación se presenta?

El mapa a usar para determinar el o los tipos de vegetación donde se presenta un taxón es el de Vegetación Potencial de Rzedowski (1990), sin considerar presencias accidentales. Si la especie se encuentra únicamente en un ecotono entre dos tipos de vegetación, para fines MER-Plantas, se le asigna el valor máximo (3). Por ejemplo, una planta crece en el ecotono entre bosque tropical subcaducifolio y bosque de pino-encino. Por su amplitud ecológica reducida, se asignaría un valor de 3 a esta especie.

- a) 1 = 3
- b) 2 = 2
- c) 3 = 1
- d) Mayor o igual que 4 = 0

2. ¿El taxón tiene un hábitat especializado?

El taxón sólo se presenta en un hábitat especializado permanente. Por ejemplo, *Geohintonia mexicana*, cactácea endémica del norte de México está restringida a afloramientos de yeso cristalizado en paredes casi verticales (Anderson *et al.* 1994).

- a) Sí = 1
- b) No = 0

3. ¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario?

Ejemplo: *Poulsenia armata* (Moraceae) y *Psychotria* spp. (Rubiaceae) son especies arbóreas que habitan en selvas altas perennifolias y su permanencia se reduce a los remanentes de esa formación cuando la selva se tala para establecer potreros, pues dependen esencialmente del comportamiento de dispersores frugívoros del bosque original, ausentes en los potreros y en los acahuals (Guevara *et al.* 1994).

- a) Sí = 1
- b) No = 0

4. ¿La permanencia de la población requiere de regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión?

Por ejemplo, ciertas orquídeas crecen en troncos en descomposición y requieren de la alta iluminación por apertura de claros en un bosque cerrado.

- a) Sí = 1
- b) No = 0

5. Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón.

- a) Menor que 200 m = **3**
- b) 200 m - < 500 = **2**
- c) 500 m - <1000 m = **1**
- d) Mayor o igual que 1000 m = **0**

Subtotal del **Criterio B** = Suma del puntaje obtenido / 9
5/9 = 0.56

Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. C-1. Demografía.

C-1. Demografía

1. Número total de individuos (si no se tienen estimaciones asignar un valor de 0).

1

- a) Menor o igual que 500 = **3**
- b) 501 – 5,000 = **2**
- c) 5,001 – 50,000 = **1**
- d) Mayor o igual que 50,001 = **0**

2. Reclutamiento (si no existe información, asignar un valor de 0).

- a) Hay observaciones de reclutamiento en todas las poblaciones = **0**
- b) Hay observaciones de reclutamiento en algunas poblaciones = **2**
- c) Hay observaciones de la ausencia de reclutamiento en todas las poblaciones = **4**

3. Atributos demográficos (si no existe información, asignar un valor de 0).

1

a) ¿Hay evidencia de densodependencia en la reproducción?

Ejemplo: Muchas Plantas mimetizan a las flores de otras especies sin producir néctar. Si la densidad de la población de la especie mimetizada es baja los insectos aprenden a reconocer y a evitar las flores sin néctar, dejando a la población severamente limitada en cuanto a su polinización.

Sí = **1**

No = **0**

b) ¿Hay clonalidad (capacidad de generar nuevos individuos independientes por medio de reproducción asexual)?

Sí = **0**

No = **1**

c) ¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país?

Sí = **1**

No = **0**

d) ¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad?

En algunas especies los individuos reproductivos muy grandes contribuyen desproporcionadamente a la fecundidad de la población.

Sí = **1**

No = 0

e) ¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o autoincompatibles

Sí = 1

No = 0

f) ¿La floración es sincrónica o gregaria?

Sí = 1

No = 0

g) ¿El taxón produce pocos propágulos (en comparación con otros miembros de su linaje)?

Sí = 1

No = 0

Sección de atributos demográficos. Total = 7

Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca.

C-2. Genética (donde no existe información asignar un valor de 0).

Para asignar valores en esta sección, se deberá evaluar los criterios 1 y 2 cuando se cuente con información molecular, de lo contrario evaluar los criterios y 4 que son estimaciones indirectas.

1. Variación molecular (heterocigosis).

Se refiere a la cantidad de variación genética detectada

a) Baja (= 10%) = 1

b) Alta (> 10%) = 0

2. Estructura genética molecular (Fst, Gst, proporción de la variación genética encontrada entre poblaciones).

a) Baja (= 20%) = 0

b) Alta (> 20%) = 1

3. Cantidad de variación genética (estimada indirectamente mediante otros caracteres).

a) Baja = 1

b) Alta = 0

4. Nivel de diferenciación entre poblaciones (estimada indirectamente mediante otros caracteres).

Cuando no haya estimadores de diferenciación genética, se puede usar el grado de diferenciación fenotípica (morfológica, fisiológica, de susceptibilidad a patógenos, etc.).

- a) Baja = 0
b) Alta = 1

Sección Genética. Total = 1

Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca.

C-3. Interacciones bióticas especializadas.

¿Se ha observado (o inferido) la presencia de las siguientes interacciones bióticas en el taxón? (si no existe información=0).

1. ¿El taxón requiere una “nodriza” para su establecimiento?

- a) No = 0
b) Sí = 1

2. ¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico (en el caso de holoparásitas o hemiparásitas y epífitas o hemiepífitas, respectivamente)?

Ejemplo: *Laelia speciosa* es una orquídea que se ha reportado como epífita sobre encinos (*Quercus deserticola* y *Q. laeta*), algunas otras plantas como *Opuntia* y *Yucca*, e incluso creciendo sobre rocas. Sin embargo, estudios cuantitativos en una localidad de Michoacán (donde existen los otros sustratos) indican que prácticamente 100 de varios miles de individuos registrados en una hectárea crecían sobre *Quercus deserticola* y que el de ellos germinaba directamente sobre líquenes del género *Parmelia*. Estos datos sugieren que *Quercus deserticola* y *Parmelia* constituyen el forofito específico de *Laelia speciosa* y que los otros sustratos son más bien accidentales (Hernández, 1997).

- a) No = 0
b) Sí = 1

3. ¿El taxón requiere un polinizador específico?

Ejemplo: Las orquídeas del género *Stanhopea* son polinizadas por abejas macho de la tribu *Euglossini* que recolectan fragancias florales. *Stanhopea hernandezii* es polinizada exclusivamente por machos de la especie *Eufriesia coerulescens* y nunca se ha observado a ningún otro polinizador, en un periodo de muchos días de observaciones. Evidentemente la reproducción de *Stanhopea hernandezii* se vería interrumpida si desapareciera su polinizador (Soto Arenas, 2003).

- a) No = 0
b) Sí = 1

4. ¿El taxón tiene un dispersor específico?

- a) No = 0
b) Sí = 1

5. ¿El taxón presenta mirmecofilia obligada?

Ejemplo: La orquídea *Coryanthes picturata* vive exclusivamente en los nidos arbóreos de varios géneros de hormigas y al parecer es dependiente de las condiciones físico químicas del hormiguero y la protección continua de las hormigas para prosperar (Hágsater et al. 2005).

- a) No = 0
b) Sí = 1

6. ¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza?

Ejemplo: Las plantas de varios géneros de orquídeas son micoheterótrofas estrictas, careciendo de la función fotosintética y dependiendo completamente para su nutrición de sus hongos simbios (Hágsater *et al.* 2005).

- a) No = 0
b) Sí = 1

7. ¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos (incluyendo competencia muy intensa con especies alóctonas o invasoras)?

- a) No = 0
b) Sí = 1

Interacciones bióticas especializadas. Total = 2

Suma del componente C1, C2 y C3/23
 $12/23 = 0.52$

INDICE DE IMPACTO ANTROPOGENICO

Criterio D. Impacto de la actividad humana

1. ¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat?

Ejemplo: Muchas especies, incluso algunas ubicadas en alguna categoría de riesgo, incrementan sus números poblacionales con la alteración de su hábitat que resulta de las actividades humanas. *Cecropia obtusifolia* es un árbol pionero que coloniza claros de gran tamaño en la selva alta perennifolia. Sin embargo, es aún más abundante en la vegetación secundaria de la selva en acahuals y orilla de caminos. Al menos en ciertas áreas, el árbol es actualmente más abundante que en el pasado.

- a) Es beneficiado por el disturbio = -1
b) No le afecta o no se sabe = 0
c) Es perjudicado por el disturbio = 1

2. ¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón? (impacto = fragmentación, modificación, destrucción, urbanización, pastoreo o contaminación del hábitat y se refiere tanto a la intensidad como a la extensión).

Ejemplo: *Carpinus caroliniana* es un árbol abundante en algunos bosques mesófilos de montaña. La apertura de caminos y aclaramiento del bosque en zonas de barrancas parece afectarle al crear condiciones más secas y expuestas que las preferidas por esta especie. Por otro lado, hay observaciones que sugieren que esta especie es favorecida por el aclaramiento de algunos bosques por extracción selectiva madera si la perturbación no ha sido muy intensa. Esta misma especie además parece tener buen reclutamiento y sus poblaciones son estables en zonas con asentamientos humanos de muchos años, como las barrancas de Mexicapa, Morelos. Se sugiere que en esta especie el disturbio humano afecta negativamente

algunas poblaciones, beneficia a otras y no parece afectar a otras más, dependiendo de la intensidad de la perturbación. Otras especies son afectadas negativamente por el disturbio derivado de las actividades humanas. El aclaramiento de la selva mediana perennifolia en las laderas del cerro Teotepec, Guerrero y el Volcán Tacaná, Chiapas para el establecimiento de cafetales ha modificado la estructura del dosel y algunas especies ombrófilas y con altos requerimientos de humedad atmosférica, muy sensibles a los cambios ambientales, muestran un claro decremento en sus poblaciones.

- a) El hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes = **4**
- b) El impacto es fuerte y afecta a todas las poblaciones = **3**
- c) El impacto es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = **2**
- d) El impacto es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = **1**
- e) No hay impacto significativo en ninguna población = **0**

3. ¿Existe evidencia (mediciones, modelos o predicciones) que indique un deterioro en la calidad o extensión del hábitat como efecto de cambios globales (sensibilidad a cambio climático) o, se prevé un cambio drástico en el uso del suelo?

- a) No = **0**
- b) Sí = **1**

4. ¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón?

- a) El impacto de uso implica la remoción de las poblaciones = **4**
- b) El impacto de uso es fuerte y afecta a todas las poblaciones = **3**
- c) El impacto de uso es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = **2**
- d) El impacto de uso es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = **1**

e) No hay impacto de uso significativo en ninguna población = **0**

5. ¿El taxón es cultivado o propagado ex situ?

- a) Sí = **-1**
- b) No = **0**

Subtotal del Criterio D = Suma del puntaje obtenido / 10

5/10 = 0.5

Resumen de resultados

Criterios	Puntaje
I. INDICE DE RAREZA	0.27
Criterio A. Características de la distribución geográfica	
Criterio B. Características del hábitat.	0.56
Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. C-1. Demografía.	
Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. C-2. Genética	

Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca. C-3. Interacciones bióticas especializadas.	0.52
II. INDICE DE IMPACTO ANTROPOGENICO	0.50
Criterio D. Impacto de la actividad humana	
Total	1.85