

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Iztacala

**“*Ariocarpus kotschoubeyanus* (Cactaceae) en Querétaro:
Una evaluación de aspectos básicos de demografía y
conservación”**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
BIOLÓGO

PRESENTA:
Oscar Díaz Castro

DIRECTOR DE TESIS
DR. Héctor Octavio Godínez Álvarez



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Los Reyes Iztacala a 27 de febrero de 2014

DRA. PATRICIA D. DAVILA ARANDA
DIRECTORA DE LA FES IZTACALA
Presente

Atención: Lic. Eloy González Fernández
 Jefe de la Unidad de Administración Escolar

Los abajo firmantes, miembros de la Comisión Dictaminadora del trabajo de **TESIS DE INVESTIGACION**
 Titulado "**Ariocarpus kotschoubeyanus (Cactaceae) en Querétaro: Una evaluación de aspectos básicos de demografía y conservación**"

Que presenta el (la) pasante de Biología **OSCAR DIAZ CASTRO** número de cuenta: **30506637-2**
 Para obtener el título de Biólogo.

Informan que después de haber revisado cuidadosamente el trabajo, consideramos que reúne las características de calidad académica que se requieren para aspirar a la obtención del título citado, razón por la cual otorgamos nuestros **votos aprobatorios** para la presentación del examen profesional correspondiente.

GRADO	NOMBRE	FIRMA	CARGO
DR	RAFAEL LIRA SAADE		Presidente
DRA	LETICIA RIOS CASANOVA		Vocal
DR	HECTOR OCTAVIO GODINEZ ALVAREZ		Secretario
DR	OSWALDO TELLEZ VALDES		Suplente
M EN C	RICARDO XAVIER ALVAREZ ESPINO		Suplente

Con base en lo anterior solicito su autorización para que los profesores que otorgan los votos aprobatorios funjan como sinodales del examen profesional en el cargo anotado, y a la Administración Escolar otorgue la fecha para la Réplica Oral del trabajo presentado.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

JEFA DE CARRERA



DRA. CLAUDIA TZASNA HERNANDEZ DELGADO

JEFA DE CARRERA DE BIÓLOGOS

Vo. Bo.

Dra. Patricia D. Dávila Aranda
Directora



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA
 SECRETARÍA GENERAL ACADÉMICA
 CARRERA DE BIÓLOGOS

Agradecimientos

A mi tutor Héctor Octavio Godínez Álvarez por su apoyo, tiempo, conocimientos y profesionalidad.

A mi asesor Ricardo Xavier Álvarez Espino por revisar minuciosamente mi tesis y enriquecerla con sus comentarios.

A mi asesora Leticia Rios Casanova por sus recomendaciones en la estructura y redacción de mi tesis.

A Jessica Sosa por apoyarme en la observación de la viabilidad de las semillas.

A Ivan Castellanos Vargas por la identificación de los ejemplares de ortópteros.

Gracias Aide Cruz Santos por apoyarme con la toma de datos en campo, de la morfología de las semillas y la elaboración escrita en general de la tesis.

A don Lorenzo por ayudarnos en campo y transmitirnos un poco de su conocimiento sobre el ramoneo.

Al niño Miguel por apoyarme en campo, principalmente con la localización de plantulas de *A. kotschoubeyanus*.

A mis padres por su apoyo en la toma de datos en campo.

A mis asesores Rafael Lira Saade y Oswaldo Tellez Valdés por sus comentarios y opiniones para mejorar mi tesis.

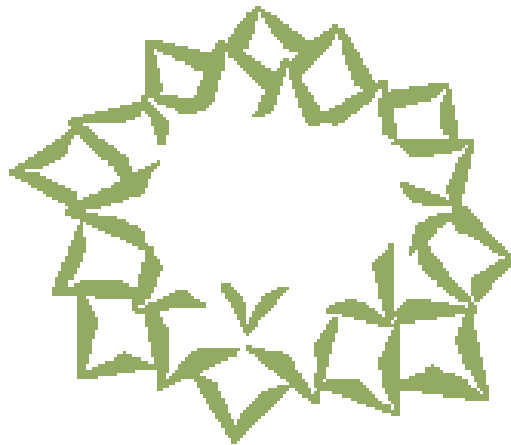
A los docentes del laboratorio de microscopía y de la cabecera de metodología 2 por apoyarme con materiales.

*“Hace un millón de años, en la Prehistoria,
ellos eran los más fuertes y la fuerza era la ley.
Gigantescos, brutales, salvajes, animales.
Pero ocurrió, así fue: todos sucumbieron.*

Ahora son petróleo, necesario en nuestro tiempo.

*Cuando los dinosaurios dominaban la Tierra
era por la fuerza y ahora es de otra manera”*

Eskorbuto



“Partiendo de la premisa de que para conservar es necesario conocer”

J. Trinidad Hernández-Barrera

Resumen

Ariocarpus kotschoubeyanus forma *elephantidens*, es una cactácea rara y endémica que habita en el estado de Querétaro, en la porción sur del Desierto Chihuahuense. Esta especie está en las listas nacionales e internacionales de plantas amenazadas debido a que sus poblaciones están sujetas a la sobrecolecta y destrucción del hábitat. Distintos trabajos han evaluado varios aspectos biológicos y ecológicos de esta especie, pero dichos aspectos han sido evaluados de manera aislada, en distintas poblaciones. En esta tesis se seleccionaron tres poblaciones de esta especie para estudiar simultáneamente varios aspectos como la densidad, la estructura poblacional, el patrón de distribución, la fenología y la germinación de las semillas. Además se evaluó el grado de perturbación y los agentes de disturbio que afectan a las poblaciones. Los resultados muestran que las poblaciones son similares en la densidad, aunque difieren en el patrón de distribución y la estructura poblacional. La floración y fructificación solo duran tres semanas y la germinación es $< 1\%$. Además, las poblaciones difieren en el grado de perturbación y los agentes de disturbio. Dos poblaciones presentan un alto grado de perturbación, por lo que sería recomendable concientizar a los pobladores sobre la importancia de conservar a esta especie.

Introducción

Las cactáceas son uno de los principales grupos de plantas que habitan en las zonas áridas y semiáridas del continente americano (Hernández y Godínez, 1994; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011). En México, el país con mayor diversidad de cactáceas en el mundo, existen aproximadamente 600 especies, de las cuales un 80% son consideradas endémicas (Guzmán et al., 2003; Ortega-Baes y Godínez-Alvarez, 2006). La gran diversidad cactológica de este país se distribuye principalmente en el Desierto Sonorense, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y el Desierto Chihuahuense (Peters y Martorell, 2000).

De acuerdo con diversos autores, el Desierto Chihuahuense concentra una alta riqueza de cactáceas (Hernández y Godínez-Alvarez, 1994; Godínez-Alvarez y Ortega-Baes, 2007; Del Conde et al., 2009; Granados-Sánchez et al., 2011) y se encuentra dividido en tres subregiones: 1) la subregión principal que abarca una pequeña porción de Estados Unidos, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí y Guanajuato, 2) la subregión oriental que se encuentra solo en una pequeña parte de Nuevo León y Tamaulipas, y la subregión meridional que abarca Guanajuato Querétaro e Hidalgo (Hernández et al., 2004). La subregión meridional se considera una zona de importancia cactológica, ya que presenta un gran número de endemismos y especies amenazadas (Hernández y Godínez, 1994; Hernández et al., 2004; Hernández-Oria et al., 2007; Hernández et al., 2008). Sin embargo, la gran diversidad que se encuentra en la subregión meridional esta en problemas, ya que poco más del 30% está bajo algún grado de amenaza o en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010). La norma oficial mexicana NOM-059-ECOL-2010 enlista 23 especies, el apéndice I de la CITES 5 especies y la Lista Roja de la UICN 48 especies (Hernández et al., 2010; SEMARNAT, 2010; CITES, 2013; UICN, 2013).

Las cactáceas presentan ciertas características biológicas y ecológicas como bajas tasas de crecimiento y reclutamiento, ciclos de vida largos y distribuciones restringidas. Además, habitan en condiciones edáficas muy especializadas. Estas características las hacen vulnerables a factores de disturbio (Hernández y Godínez, 1994) como los desmontes agrícolas, la deforestación y comercio ilegal. Estos factores afectan negativamente las poblaciones de cactáceas debido a que disminuyen su supervivencia y reproducción (Hunt, 1999; Godínez-Álvarez et al., 2003, Hernández-Oria et al., 2007). Todo lo anterior hace a esta familia, uno de los grupos de plantas más amenazados del país (Hernández, 2006), por lo que es esencial generar información sobre la

demografía y los factores que amenazan a sus poblaciones.

Los estudios ecológicos son esenciales para conservar las poblaciones de las cactáceas (Godínez-Álvarez et al., 2003; Arias et al., 2005) ya que permiten diseñar planes de monitoreo y proyectos de aprovechamiento (Godínez-Alvarez et al., 2008). El estudio de la estructura de tamaños y la densidad por ejemplo, proveen información sobre el número de individuos en distintas categorías de tamaño, asimismo ayudan a inferir los cambios en el tamaño de la población. El estudio de la reproducción permite identificar los factores que podrían limitar la capacidad de regeneración de las poblaciones (Álvarez et al., 2004; Godínez-Alvarez et al., 2008). El estudio del patrón de distribución y la asociación con plantas nodriza permite conocer la disponibilidad de hábitats para la planta, ayudando a elegir sitios adecuados para su supervivencia y crecimiento en condiciones naturales. El reconocimiento de los factores que amenazan a las poblaciones, contribuye a tener un panorama más completo y detallado de su estado de conservación (Álvarez et al., 2004). Un método útil para evaluar los factores que amenazan a las cactáceas, es el propuesto por Martorell y Peters (2005) ya que permite medir el grado de perturbación de un sitio a través de la medición de tres agentes de disturbio como: las actividades humanas, las actividades ganaderas y el grado de conservación del sitio (Martorell y Peters, 2005; Valverde et al., 2009).

Ariocarpus kotschoubeyanus (Lemaire) Schumann es una cactácea rara y endémica que se distribuye en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas, Zacatecas y Querétaro (Guzmán et al., 2003; Hernández, 2006; Del Conde et al., 2009; Hernández et al., 2010; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011). En estos estados su distribución es restringida, discontinua y extremadamente especializada (Hernández et al., 2010; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011), por lo que se encuentra en la norma oficial mexicana NOM-059-ECOL-2010 dentro de la categoría “sujeta a protección especial”, está presente en el apéndice I de la CITES, y en la categoría de “casi amenazada” en la Lista Roja de la UICN (SEMARNAT, 2010; CITES, 2013; UICN, 2013). Algunos autores sugieren que esta especie presenta dos formas, *albiflorus* y *elephantidens*. La primera está presente en el norte del país, mientras que la segunda está solo en el estado de Querétaro. Las poblaciones de la forma *elephantidens* se consideran casi extintas, debido a la sobrecolecta y a la pérdida de su hábitat que va en aumento por su proximidad con bancos de materiales pétreos, la creación de basureros, la creación de campos agrícolas y el desplazamiento de la mancha urbana (Anderson et al., 1994; Anderson et al., 2001; Scheinvar, 2004; Hernández, 2006; Hernández-Oria et al., 2007; Hernández et al., 2007). Un ejemplo de esto es “La Presa de Zimapán”, construida hace apenas una decena de años, la cual provocó el desplazamiento de

comunidades humanas enteras afectando un alto número de poblaciones de cactáceas en la región (Jiménez-Sierra, 2007; Hernández et al., 2007).

La información sobre la biología y ecología de *A. kotschoubeyanus* es relativamente escasa. Existen algunos trabajos que han estudiado la germinación, la organogénesis, la densidad poblacional, el patrón de distribución de los individuos, la asociación con plantas nodriza y la distribución geográfica (Rojas-Aréchiga y Batis, 2001; Moebius-Goldammer et al., 2003; Flores et al., 2006; Flores et al., 2011; Rojas-Aréchiga et al., 2012; López, 2004; Hernández, 2008; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011; Suzán-Azpiri, 2011). Además, existen otros trabajos sobre la florivoría y la fenología (Martínez-Peralta, 2009; Díaz, 2013; López, 2013). No obstante esta información, no existen trabajos que hayan evaluado simultáneamente aspectos como la densidad, la estructura poblacional, el patrón de distribución, la fenología y la germinación de las semillas en una o varias poblaciones de esta especie y que además hayan evaluado el grado de perturbación de las poblaciones y los agentes de disturbio. En esta tesis se evaluaron estos aspectos en tres poblaciones de *A. kotschoubeyanus* forma *elephantidens* en el estado de Querétaro.

Objetivo General

Generar información sobre la ecología y los factores de disturbio que afectan a las poblaciones de *Ariocarpus kotschoubeyanus* forma *elephantidens* en el estado de Querétaro.

Objetivos particulares

- Determinar la densidad y estructura de tamaños de las poblaciones.
- Registrar la floración y fructificación de los individuos.
- Evaluar la germinación de las semillas.
- Determinar el patrón de distribución y la asociación con plantas nodriza.
- Evaluar el grado de perturbación y los agentes de disturbio en las poblaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se realizó en una fracción del Desierto Chihuahuense que se encuentra separada en su extremo sur y es conocida como el Semidesierto Queretano. De acuerdo con Rzedowski (1978), forma parte de la provincia florística denominada Zona Árida Queretano-Hidalguense, y alberga una alta riqueza florística dentro de una de sus porciones conocida como Cuadrante Tolimán (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011; Hernández-Magaña et al., 2012). El Cuadrante Tolimán se caracteriza por su heterogeneidad de comunidades vegetales como el matorral xerófilo-micrófilo, xerófilo-rosetófilo, y xerófilo-crasicaule (Zamudio et al., 1992). El área converge entre las provincias fisiográficas Sierra Madre Oriental, Mesa del Centro y Eje Neo-volcánico, presenta una asociación litológica sedimentaria y volcánica. La topografía comprende montañas que van de 1450 a 2100 m s. n. m., y precipitaciones de 800 a 1000 mm. El clima que predomina es semiseco templado con lluvias en verano (BS₁K), caracterizado por una temperatura media anual de 16 - 18°C con precipitación media anual de 400-600 mm (Hernández-Oria et al., 2007).

Específicamente, el trabajo se llevó a cabo en tres poblaciones de *A. kotschoubeyanus* que fueron ubicadas dentro del cuadrante Tolimán durante el mes de noviembre de 2012 (Fig. 1). La población A es ampliamente conocida por los colectores y ha estado expuesta a sobrecolecta a lo largo de los años (Scheinvar 2004). La población B se localiza aproximadamente a 4 km de la población A y es protegida por los pobladores del ejido. La población C se localiza aproximadamente a 40 km de las otras poblaciones y se creía extinta hasta el año pasado, debido al crecimiento de la mancha urbana y la sobrecolecta. No se proporcionan los nombres específicos de las localidades, ni sus coordenadas geográficas para proteger las poblaciones.



Figura 1. Localización del área de estudio en el extremo sur del Desierto Chihuahuense. El Cuadrado Tolimán. Las poblaciones de *A. kotschoubeyanus* están señaladas con las letras A, B y C.

Características de la especie estudiada

Ariocarpus kotschoubeyanus (Lemaire) Schumann es una especie que fue nombrada en honor al príncipe Kostchoubeyan, que fue un gran promotor de la horticultura en Europa (Britton y Rose, 1963). Es una planta geófito, solitaria, de raíz tuberosa, con tallo que va de verde grisáceo a verde olivo, crece al ras de suelo, raramente sobre él. Tiene crecimiento en forma de roseta y tubérculos triangulares tan largos como anchos. Durante la época seca permanece oculta dificultando su localización, ya que su hábitat se inunda durante la estación lluviosa y la entierra (Anderson et al., 1994; Scheinvar, 2004). Entre los meses de Septiembre a Noviembre puede presentar uno o dos eventos de floración, sus flores son de color magenta o blanco y crecen en la base de los tubérculos. Sus frutos están expuestos o permanecen entre una masa de tricomas hasta secarse y adquirir una coloración marrón, son carnosos, con forma globosa hasta oblonga, tienen color blanco verdoso o rojizo purpúreo. Las semillas son piriformes, negras tuberculadas, presentan hilo grande basal y un micrópilo en su extremo. El embrión es ovoide, con los cotiledones muy gruesos y presenta rudimento del perispermo (Anderson 1962; Bravo y Sánchez-Mejorada, 1989; Anderson et al., 1994). Halda et al. (2002) y Scheinvar (2004) reconocen dos formas: *albiflorus* y *elephantidens* (Fig. 2). La forma *elephantidens* es grande, ancha, robusta, con flores de color rosa purpúreo. Tiene un hábitat muy especializado que difiere al de las

poblaciones más norteñas, el cual es característico solo del estado de Querétaro (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011).



Figura 2. *Ariocarpus kotschoubeyanus* en medio natural. a) Forma *albiflorus* en el estado de Tamaulipas, b) Forma *elephantidens* en el estado de Querétaro. Fotos: de la forma *albiflorus* (M. Y. López); de la forma *elephantidens* (O. Díaz-Castro)

Densidad y Estructura de tamaños

Para determinar la densidad y estructura de tamaños, en cada población se ubicaron tres áreas en donde se observó el mayor número de individuos. En cada área se estableció una parcela de 12 m² (2 x 6 m), dividida en 12 cuadrantes de 1 m² (Álvarez et al., 2004). En cada cuadrante de 1 m² se midió el diámetro de cada individuo y se contó el número de individuos. La densidad fue estimada como el número de plantas por metro cuadrado en cada población y se comparó entre las poblaciones mediante una prueba de ANOVA de un factor y pruebas post-hoc.

La estructura de tamaños se construyó clasificando a los individuos de cada población en 9 categorías de tamaño de acuerdo con su diámetro. Las categorías se definieron con base en los datos registrados en campo y fueron las siguientes: c1 ≤ 10 mm, c2 = 10.1 - 20 mm, c3 = 20.1 - 30 mm, c4 = 30.1 - 40 mm, c5 = 40.1 - 50 mm, c6 = 50.1 - 60 mm, c7 = 60.1 - 70 mm, c8 = 70.1 - 80 mm, c9 > 80 mm. La estructura de tamaños fue comparada entre las tres poblaciones mediante una prueba de χ^2 .

Floración y fructificación

Se realizaron visitas semanales durante los meses de Noviembre y Diciembre para registrar cualitativamente la presencia de botones, flores y frutos. Durante la floración se contó el número de flores por individuo y se registró si las flores presentaban daños por herbivoría en los tépalos, el androceo, el gineceo o en todas las estructuras. Estos registros solo se realizaron en la poblaciones A y B debido a que la población C fue visitada después de la fructificación. La relación entre el número de flores y el diámetro de los individuos se analizó mediante un análisis de covarianza (ANCOVA), en el que la población se consideró como una covariable. La proporción de daño observada en las flores fue comparada entre las poblaciones mediante pruebas de χ^2 .

En la población A se colectó una flor por planta de cinco individuos para describir su morfología. Las flores se preservaron en frascos con alcohol al 70%. Para cada flor se registró: el diámetro de la corola, la longitud externa e interna, el número y la longitud de los estambres, la longitud del estigma y el número de óvulos y granos de polen (Martínez-Peralta y Mandujano, 2011). El número de granos de polen se estimó diluyendo una antera en 1 ml de agua destilada con azul-anilina para contar los granos en una cámara de Neubauer (Cruden, 1977; Martínez-Peralta y Mandujano, 2011). El número de granos contados se multiplicó por el número de estambres para calcular el número de granos de polen por flor. Con el número de óvulos y polen por flor se calculó la proporción polen-óvulo para determinar el sistema reproductivo (Cruden, 1977).

Durante la época de fructificación, en la población A se colectaron 15 frutos maduros de distintos individuos y se guardaron en bolsas de papel encerado. Posteriormente, se contaron y pesaron las semillas de cada fruto en una balanza analítica. Se seleccionaron 60 semillas con apariencia turgente, coloración negro-marrón para medir el largo, ancho, grueso y apertura del micrópilo (Ayala-Cordero et al., 2004). También se realizaron cortes a 20 semillas para estimar su viabilidad mediante la observación de los embriones. Los embriones turgentes y blanquecinos fueron considerados viables.

Germinación

Las semillas se almacenaron en un lugar fresco y oscuro, dentro de bolsas de papel encerado, por seis meses. Para evaluar la germinación de las semillas se utilizaron dos tratamientos experimentales: luz natural y

oscuridad. Para cada tratamiento, se colocaron 25 semillas en una caja de Petri, con papel filtro humedecido con agua destilada, y se realizaron 8 repeticiones con una temperatura que varió entre 20 y 30°C. En el tratamiento de oscuridad las cajas se envolvieron con una capa doble de papel aluminio. Las cajas fueron selladas con cinta adhesiva y se revisó su humedad cada siete días en un cuarto de luz verde para no estimular la germinación. Después de 30 días se contó el número de semillas germinadas (Flores et al., 2006). Una semilla se consideró germinada cuando emergió la radícula (Álvarez et al., 2004; Godínez-Alvarez et al., 2008). Este experimento solo se realizó con semillas colectadas en la población A debido a que no se pudieron coleccionar semillas en las otras poblaciones. La proporción de semillas germinadas se comparó entre los tratamientos mediante una prueba de *t de Student*, después de transformar los datos con el arcoseno.

Asociación con plantas nodriza

Para determinar si las plantas crecen asociadas a plantas nodriza, se contó el número de individuos observado en espacios abiertos (EA) y debajo de arbustos (DA) en 36 cuadrantes de 1 m². Además, se midió la longitud ocupada por EA y DA en un transecto de 30 m de largo. Con estos datos se calculó la proporción de EA y DA existente en la población, dividiendo la longitud total ocupada por EA y DA entre la longitud total del transecto. En cada población se hicieron tres transectos. Con el número total de individuos en un cuadrante de 1 m² y la proporción de EA y DA, se calculó el número de individuos que se esperaba encontrar en EA y DA para cada población (Álvarez et al., 2004). El número de individuos observado y esperado se analizó en cada población mediante una prueba de χ^2 .

Grado de perturbación y agentes de disturbio

El grado de perturbación y los agentes de disturbio en cada población se evaluarán modificando el índice de disturbio (ID) propuesto por Martorell y Peters (2005). En cada población se realizaron seis transectos de 25 m, colocados perpendicularmente formando tres cruces, para evaluar 8 indicadores relacionados con dos agentes principales de disturbio: actividades humanas y ganadería (Cuadro 1). El método propuesto por Martorell y Peters (2005) considera 15 indicadores; sin embargo, 7 indicadores no se registraron en todas las poblaciones de estudio, por lo que no fueron incluidos en el análisis.

Los valores de los indicadores se estandarizaron restando el promedio y dividiendo entre la desviación estándar, y se analizaron con un análisis de componentes principales para calcular los coeficientes de cada indicador. Los coeficientes de cada indicador se sumaron de acuerdo con el agente de disturbio y se obtuvo el ID para cada población. El índice de disturbio fue re-escalado (IDr) para que sus valores estuvieran entre 0 (menor disturbio) y 100 (mayor disturbio), de acuerdo con lo propuesto por Valverde et al. (2009). Además de lo anterior, se analizó la relación entre el IDr y la densidad poblacional mediante un modelo lineal generalizado, con una distribución de error tipo quasi-Poisson y función de enlace logarítmica. Los análisis estadísticos se realizaron con los programas SPSS versión 15 y R versión 8.

Cuadro 1. Agentes e indicadores de disturbio evaluados en las poblaciones de *A. kotschoubeyanus*. Los métodos para evaluar los indicadores fueron modificados de Martorell y Peters (2005).

Agentes e indicadores de disturbio	Método
a) Ganadería	
Excrementos de cabra (CABR)	Número de excrementos de cabra en 12 cuadros de 1m ²
Excrementos de ganado mayor (GANA)	Número de excrementos de ganado en 12 cuadros de 1m ²
Ramoneo (RAMO)	Número de arbustos con signos de pastoreo dividido por el número de arbustos enraizados en el transecto
Caminos de ganado (CAMG)	Número de caminos de ganado que cruzan el transecto
Compactación del suelo (COMP)	Proporción entre el tiempo de infiltración de 250 ml de agua en suelo con y sin evidencias de pisoteo
b) Actividades humanas	
Caminos humanos (CH)	Número de caminos usados por las personas para viajar que cruzan el transecto
Cobertura de caminos humanos (CCHU)	Ancho (cm) de los caminos que cruzan el transecto
Poblaciones humanas cercanas (POBL)	Inverso multiplicativo de la distancia del pueblo más cercano al sitio de estudio

RESULTADOS

Estructura de tamaños y densidad

Los resultados obtenidos muestran que las poblaciones de *Ariocarpus kotschoubeyanus* difieren en su estructura de tamaños ($\chi^2 = 148.2$, g. l. = 16, $p < 0.001$). El comportamiento de las poblaciones A y B fue similar, ya que concentran un mayor número de individuos en las categorías **c4** (ca. 30%) y **c5** (ca. 33%), presentan pocos individuos en la categoría **c2** (ca. 5%), y no presentan individuos de la categoría **c1**. La población C concentra la mayor parte de individuos en la categoría **c3** (ca. 34%), presenta individuos de la categoría **c1** (ca. 10%), y no presenta individuos de las categorías que van de **c7** a **c9**. La densidad de las poblaciones no tuvo diferencias significativas ($F = 2.6$, g. l. = 2,89, $p = 0.078$). La densidad (promedio \pm 1 error estándar) en cada población fue: A = 5.86 ± 0.87 individuos / m^2 , B = 4.80 ± 0.53 individuos / m^2 , C = 2.66 ± 0.51 individuos / m^2 (Fig. 3).

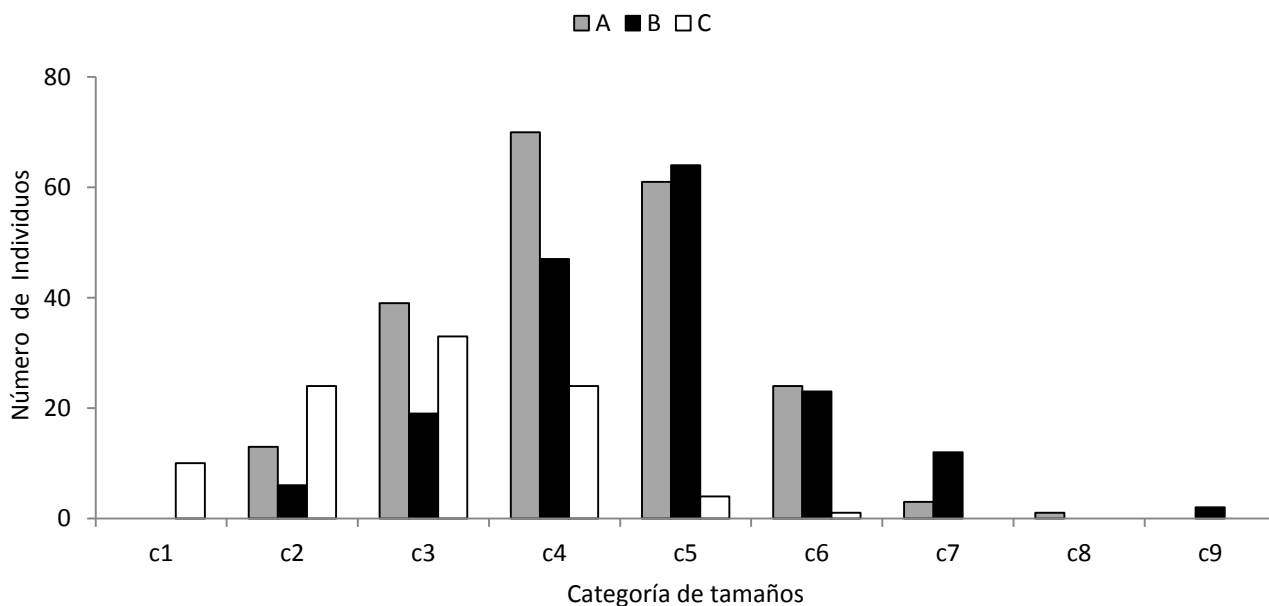


Figura 3. Estructura de tamaños de tres poblaciones (A, B y C) de *Ariocarpus kotschoubeyanus* en el estado de Querétaro. Las categorías de tamaño son: c1 ≤ 10 mm, c2 = 10.1 - 20 mm, c3 = 20.1 - 30 mm, c4 = 30.1 - 40 mm, c5 = 40.1 - 50 mm, c6 = 50.1 - 60 mm, c7 = 60.1 - 70 mm, c8 = 70.1 - 80 mm, c9 > 80 mm.

Floración y fructificación

Los botones florales se presentaron en las dos últimas semanas de noviembre. Las flores abrieron sincrónicamente entre el 29 de noviembre y el 1 de diciembre y fueron visitadas por himenópteros (abejas solitarias) y lepidópteros (mariposas diurnas). Las observaciones mostraron que *A. kotschoubeyanus* tiene flores de color magenta con tamaño relativamente pequeño y un bajo número de estambres y óvulos (Cuadro 2). De acuerdo con la proporción polen/óvulo (P/O) propuesta por Cruden (1977), presenta una estrategia de reproducción de tipo xenógama.

Cuadro 2. Características morfológicas de las flores de *Ariocarpus kotschoubeyanus*. P = número de granos de polen, O = número de óvulos por flor.

Característica	Media ± E. S.
Diámetro de la corola (mm)	20.63 ± 0.15
Longitud externa (mm)	2.48 ± 0.11
Longitud interna (mm)	1.23 ± 0.02
Número de estambres	128.6 ± 9.06
Longitud de los estambres (mm)	1.12 ± 0.02
Longitud del estigma (mm)	1.49 ± 0.08
Número de óvulos por flor	54.2 ± 8.4
Número de granos de polen por antera	2459.2 ± 273.62
Número de granos de polen por flor	317239.2 ± 47685.89
Proporción P/O	6578.09 ± 1278.55

Los individuos reproductivos presentaron de una a cuatro flores. El número de flores por planta se relacionó positivamente con el tamaño de las plantas ($F = 4.88$, g. l. = 1,56, $p = 0.03$; Fig. 4). Los individuos de mayor tamaño, tienen mayor número de flores. Por otro lado, la población y la interacción entre el diámetro y la población no mostraron influencia sobre el número de flores (Población: $F = 3.23$, g. l. = 1,56, $p = 0.08$; Diámetro-población: $F = 27$, g. l. = 1,56, $p = 0.11$).

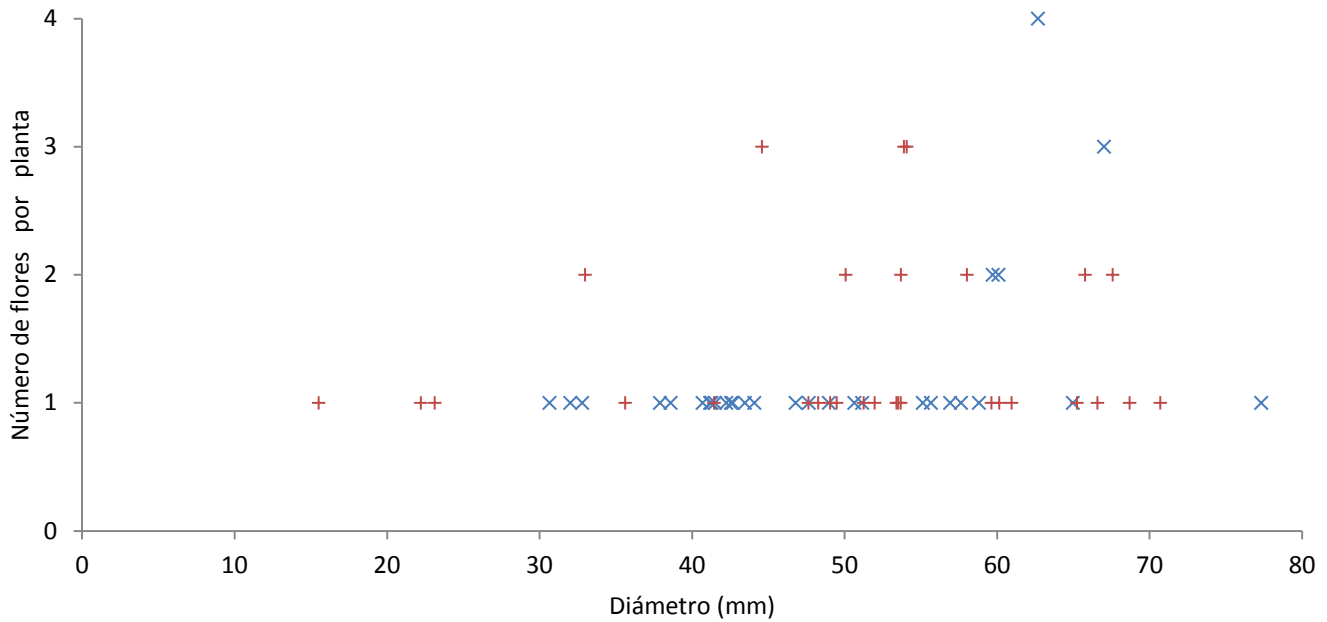


Figura 4. Relación entre el número de flores y el tamaño de los individuos de *Ariocarpus kotschoubeyanus* en dos poblaciones (A y B) del estado de Querétaro. La población A está señalada con X y la población B con +.

Las flores presentaron daños provocados por 2 especies de saltamontes: *Leprus wheelerii* en la población A y *Phoetaliotes sp* en la población B. El 96.60% de los individuos muestreados en la población A y el 23.3% de los individuos muestreados en la población B presentaron algún tipo de daño (Fig. 5). No se obtuvieron datos para población C debido a que fue visitada después de la floración.



Figura 5. Daños por florivoría en *A. kotschoubeyanus* forma *elephantidens* comparados con A.

kotschoubeyanus forma *albiflorus*. Con (a) daños en todas las estructuras de la forma *elephantidens*. Con (b) daños en todas las estructuras de la forma *albiflorus*. Con (c) daños en tépalos de la forma *albiflorus*. Fotos: de la forma *elephantidens* (O. Díaz-Castro); de la forma *albiflorus* M. Y. López.

Las estructuras de la flor que presentaron mayor daño fueron los tépalos, seguidos por el gineceo, el androceo y todas las estructuras juntas (Fig. 6). La proporción de daño en las estructuras de la flor fue significativamente diferente entre la población A y B (tépalos: $\chi^2 = 27.75$, g. l. = 1, $p < 0.001$, gineceo: $\chi^2 = 11.82$, g. l. = 1, $p < 0.001$, androceo y todas las estructuras: $\chi^2 = 11.42$, g. l. = 1, $p < 0.001$). La población A tuvo mayor daño en todas las estructuras que en la población B.

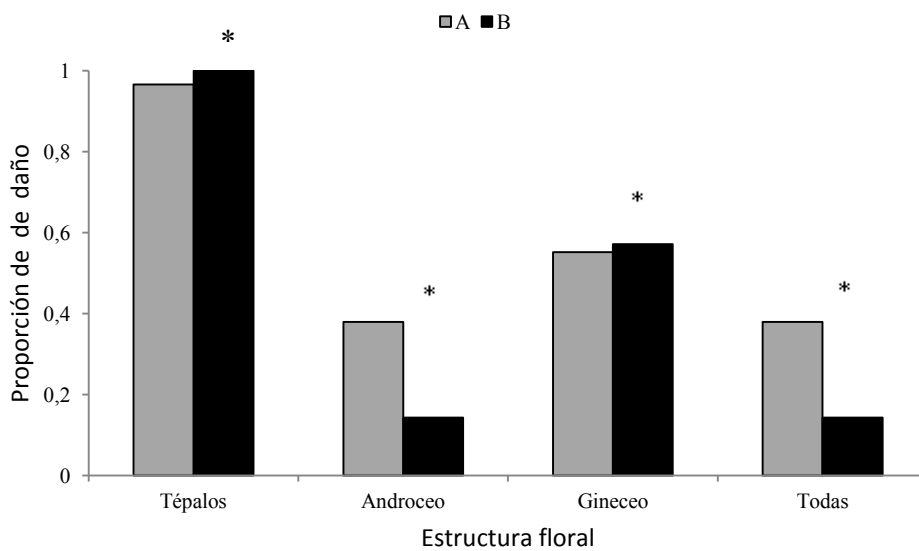


Figura 6. Proporción de daño en diferentes estructuras de las flores de *Ariocarpus kotschoubeyanus* en dos poblaciones (A y B) en el estado de Querétaro. El * indica las diferencias significativas entre las poblaciones.

Tres semanas después de la antesis, se registraron los primeros frutos maduros. Los frutos presentaron dos tamaños de semilla, las cuales se clasificaron de acuerdo con sus características morfológicas en grandes y chicas (Fig. 7, Cuadro 3)

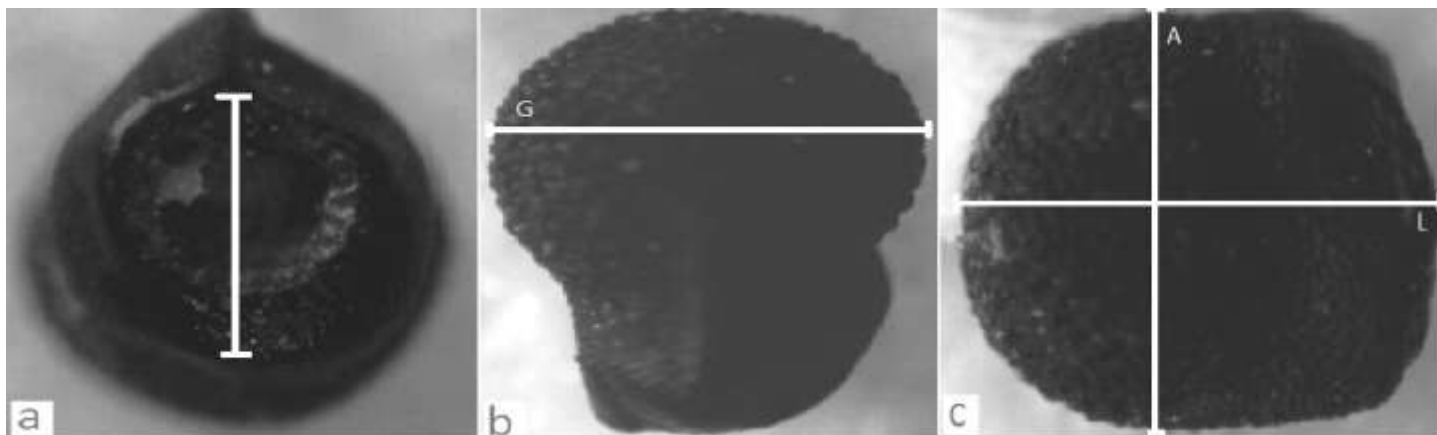


Figura 7. Características morfológicas de las semillas de *Ariocarpus kotschoubeyanus*. (a) Región hilo-micropilar, (b) grosor y (c) largo (L) y ancho (A) de la semilla.

Las semillas grandes pesaron 0.08 ± 0.003 mg y las semillas chicas 0.05 ± 0.01 mg. Las semillas grandes se encontraron en mayor proporción en los frutos (0.59, N = 15 frutos) y siempre presentaron embrión y material de reserva. La proporción de semillas chicas fue menor (0.41) y no presentaron embrión, ni material de reserva. Todas las características morfológicas fueron significativamente diferentes entre las semillas grandes y chicas (apertura del micrópilo: $t = 6.94$, g. l. = 53.31, $p = 0.03$, largo de la semilla: $t = 13.01$, g. l. = 58, $p < 0.001$, ancho de la semilla: $t = 14.32$, g. l. = 39.01, $p < 0.001$, y grueso de la semilla: $t = 11.28$, g. l. = 58, $p < 0.001$; Cuadro 3).

Cuadro 3. Características morfológicas (media \pm E. E.) de las semillas de *Ariocarpus kotschoubeyanus*. Para cada característica, las letras distintas indican diferencias significativas.

Característica	Semilla	
	Grande	Chica
Largo de Micrópilo (μ)	$882.21 \pm 27.44a$	$645.5 \pm 20.21b$
Largo de la semilla (μ)	$1736.07 \pm 34.8a$	$1177.34 \pm 25.17b$
Ancho de la semilla (μ)	$1532.5 \pm 29.09a$	$1031.28 \pm 13.25b$
Grueso de la semilla (μ)	$1417.23 \pm 29.53a$	$1014.04 \pm 20.13b$

Germinación

La proporción de semillas germinadas seis meses después de la colecta de los frutos fue 0.09 ± 0.01 en luz natural y 0.02 ± 0.003 en oscuridad (Fig. 8). La proporción de semillas germinadas en los dos tratamientos fue significativamente diferente ($t = 3.04$, g. l. = 14, $p = 0.009$).

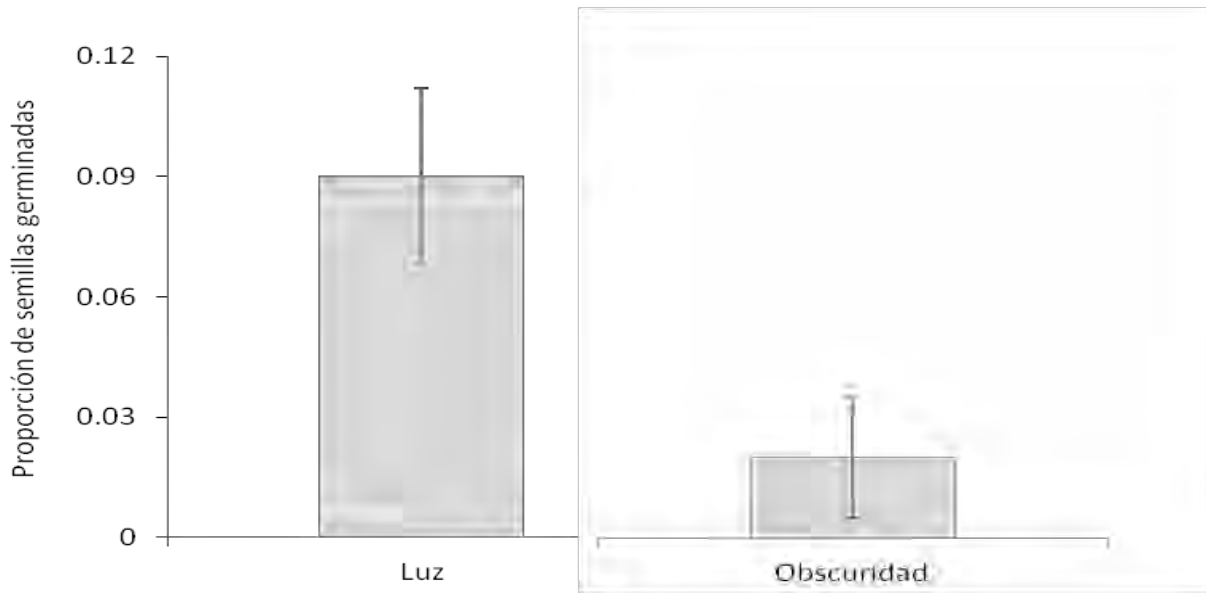


Figura 8. Proporción de semillas germinadas (\pm E. E.) seis meses después de la colecta de frutos, en luz natural y oscuridad.

Asociación con plantas nodriza

La asociación con plantas nodrizas varió dependiendo de la población. Las poblaciones A y B no presentaron asociación con plantas nodriza, mientras que la población C si presentó asociación (Fig. 9). Todas las poblaciones presentaron diferencias significativas en la proporción de individuos observados y esperados en EA y DA (A: $\chi^2 = 26.18$, g. l. = 1, $p < 0.001$; B: $\chi^2 = 35.49$, g. l. = 1, $p < 0.001$ y C: $\chi^2 = 5.7$, g. l. = 1, $p < 0.01$).

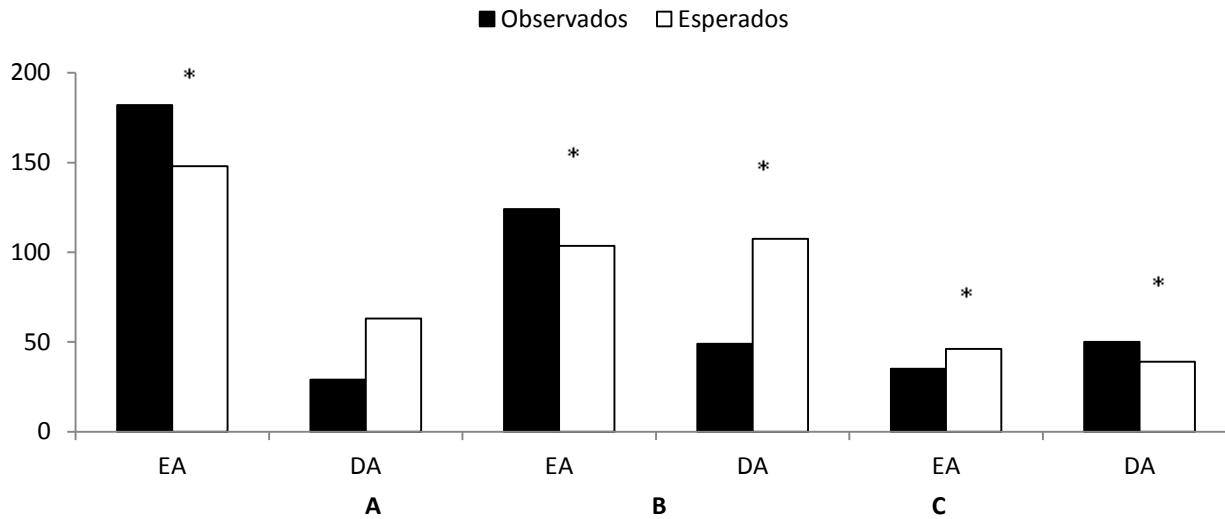


Figura 9. Proporción de individuos de *Ariocarpus kotschoubeyanus* en espacios abiertos (EA) y debajo de arbustos (DA) en tres poblaciones (A, B y C). El * indica diferencias significativas.

Grado de perturbación y agentes de disturbio

Las actividades humanas tuvieron mayores valores que la ganadería en las tres poblaciones, por lo que su contribución fue mayor al índice de disturbio reescalado (IDr, Cuadro 4). En la población A, los caminos humanos, la cobertura de caminos humanos y los excrementos de ganado fueron los indicadores más importantes. En la población B, los indicadores con mayor importancia fueron caminos de ganado y excrementos de cabra. En la población C, los caminos humanos, los excrementos de cabra y la cobertura de caminos humanos tuvieron la mayor importancia.

Cuadro 4. Agentes de disturbio, índice de disturbio (ID) e índice de disturbio re-escalado (IDr) en tres poblaciones de *Ariocarpus kotschoubeyanus*. Los indicadores más importantes dentro de cada población están señalados con negritas. CABR = excrementos de cabra, GANA = excrementos de ganado mayor, RAMO = ramoneo, CAMG = caminos de ganado, COMP = compactación de suelo, CH = caminos humanos, CCHU = cobertura de caminos humanos, POBL = poblaciones humanas cercanas.

Población	Agente de disturbio				ID	IDr
	Ganadería		Actividades humanas			
	Indicador	Suma	Indicador	Suma		
A	CABR = -0.72	0.78	CH = 0.97	1.65	2.43	53
	GANA = 0.81		CCHU = 0.84			
	RAMO = 0.62		POBL = -0.17			
	CAMG = -0.35					
	COMP = 0.42					
B	CABR = 0.92	0.11	CH = 0.20	1.00	1.11	0
	GANA = -0.94		CCHU = 0.36			
	RAMO = -0.17		POBL = 0.44			
	CAMG = 0.95					
	COMP = -0.64					
C	CABR = 0.96	0.91	CH = 0.97	2.67	3.58	100
	GANA = -0.69		CCHU = 0.94			
	RAMO = -0.54		POBL = 0.76			
	CAMG = 0.35					
	COMP = 0.82					

La relación entre la densidad y el índice de disturbio re-escalado fue significativa (Devianza = 45.71, g. l. = 2, $p < 0.001$). Las poblaciones en las que se registraron las menores densidades, B y C, presentaron un valor bajo y alto del IDr, respectivamente. Por su parte, la población A mostró la mayor densidad y un valor de IDr intermedio (Fig. 11).

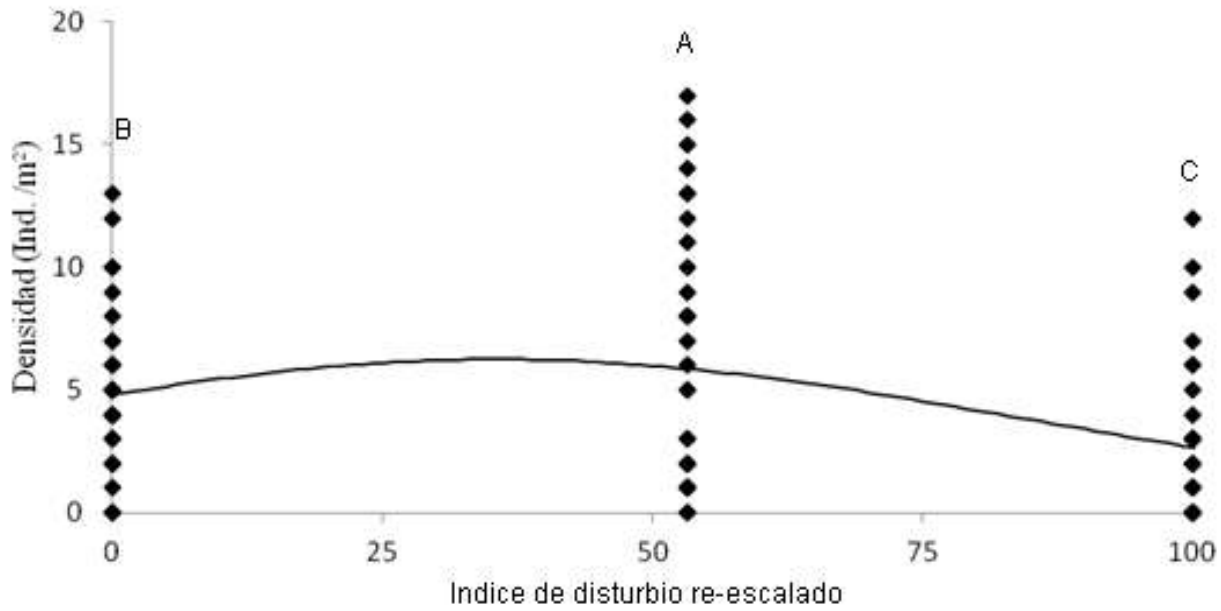


Figura 11. Relación entre la densidad y el índice de disturbio re-escalado (IDr). La línea continua indíca el ajuste a un modelo lineal generalizado con una distribución de error tipo quasi-Poisson y una función de enlace logarítmica (Devianza = 45.71, g. l. = 2, $p < 0.001$). Los diamantes indican las densidades registradas en cada una de las poblaciones.

Discusión

En términos generales, los resultados muestran que las poblaciones A y B son similares en densidad, estructura de tamaños, floración, fructificación y patrón de distribución. Estas poblaciones además tienen un índice de disturbio relativamente bajo. La población C tiene una estructura de tamaños diferente y un índice de disturbio mayor.

La densidad de *A.kotschoubeyanus* forma *elephantidens* varió entre 2.66 y 5.86 individuos/m², sin embargo no existieron diferencias entre las poblaciones. Estas densidades son mayores a las reportadas para la misma especie en el estado de Coahuila, las cuales variaron entre 0.68 y 2.72 individuos /m² (López et al., 2004; Villavicencio et al., 2006). Estas densidades también son mayores que las densidades reportadas para otras especies del mismo género como *A. fissuratus* var. *fissuratus* (0.29 individuos /m²), *A. fissuratus* var. *lloydii* (0.08 individuos /m²), *A. retusus* (0.36 individuos /m²), *A. scaphirostris* (0.25 individuos /m²) y *A. trigonus* (1 individuo /m²; Martínez et al., 1993; López et al., 2004; Villavicencio et al., 2006; Mandujano et al., 2007). La especie *A. agavoides* tiene una densidad similar a la encontrada en este trabajo (4.31 individuos / m²; Aguilar-Morales com. pers.). Las diferencias observadas entre las densidades pueden deberse a factores intrínsecos de la especie como la producción de semillas, requerimientos para la germinación y establecimiento de plántulas, así como factores extrínsecos como el tipo de suelo y la disponibilidad de sitios para el reclutamiento. Por último a factores externos como el disturbio antropogénico y la colecta ilegal que sufre este género (Anderson et al., 1994; Anderson, 2001; Hernández, 2008; Martínez-Peralta y Mandujano, 2009; Portilla-Alonso y Martorell, 2011).

La estructura de tamaños de las poblaciones A y B fue relativamente similar debido a que no se observaron plántulas. Este resultado sugiere que el reclutamiento es bajo. Esta misma situación ha sido reportada en otras especies de cactáceas como *Ariocarpus trigonus*, *Astrophytum ornatum*, *Mammillaria pectinifera* y *Turbincarpus pseudomacrochele* (Martínez et al., 1993; Álvarez et al., 2004; Peters et al., 2008; Zepeda-Martínez et al., 2013). A pesar de que no se observaron plántulas, en las poblaciones A y B se encontraron las plantas de mayor tamaño (74-82 mm), lo cual sugiere que esta población no ha sido perturbada. Estas plantas tienen diámetros mayores a los registrados hace veinte años en individuos de la misma especie en el estado de Querétaro y San Luis Potosí (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Anderson,

2001). Por el contrario, en la estructura de tamaños de la población C si se observaron plántulas. Los individuos de mayor tamaño en esta población tuvieron diámetros entre 50 y 60 mm. La ausencia de adultos mayores podría sugerir que estos individuos han sido colectados. No obstante lo anterior, el comportamiento de las estructuras de tamaños de esta especie es similar a las estructuras que presentan otras cactáceas de crecimiento globoso como *Ariocarpus trigonus*, *Astrophytum myriostigma*, *Astrophytum ornatum*, *Coryphantha werdermannii*, *Mammillaria crucigera*, *M. pectinifera* y *Turbincarpus pseudomacrochele*, debido que el número de individuos incrementa con el tamaño hasta alcanzar un máximo en las categorías intermedias y después disminuye (Martínez et al., 1993; Godínez-Alvarez et al., 2003; Álvarez et al., 2004; Portilla, 2007; Peters, 2008; Zepeda, 2010; López, 2012).

Las observaciones sobre la floración solo fueron registradas en las poblaciones A y B debido a que la población C fue muestreada después de este evento. La producción de botones florales y flores maduras ocurrió durante el mes de noviembre y fue un evento relativamente breve pues solo duró 3 semanas (6-31 de noviembre) en las dos poblaciones. Anderson et al. (1994) reportan que el periodo de floración de *A. kotschoubeyanus* forma *elephantidens* ocurre entre Septiembre y Noviembre, mientras que el de *A. kotschoubeyanus* forma *albiflorus* ocurre en Noviembre. La duración de la floración encontrada en este trabajo contrasta con la duración reportada para *A. agavoides*, la cual fue de aproximadamente 5 semanas (Hernández-Barrera, 1992). La antesis de las flores de *A. kotschoubeyanus* forma *elephantidens* observada en este trabajo fue de solo duró 2 días. Esta duración es similar a la reportada para *A. kotschoubeyanus* forma *albiflorus* y para otras especies del género (Martínez-Peralta y Mandujano, 2012).

Las flores de *A. kotschoubeyanus* forma *elephantidens* fueron xenógamas y hercogámicas. Es decir, las flores son polinizadas con el polen proveniente de las flores de otros individuos de la misma especie, y las anteras y el estigma están separados espacialmente. Estas características son similares a las reportadas para *A. fissuratus*. La hercogamia es común dentro de la familia Cactaceae y favorece el entrecruzamiento (Mandujano et al., 2010; Martínez-Peralta y Mandujano, 2011). El número de flores de *A. kotschoubeyanus* incrementó con el tamaño de las plantas y las flores presentaron daños por herbivoría causados por los ortópteros *Leprus weeleri* y *Phoetaliotes sp.* Las poblaciones A y B presentaron una proporción de flores dañadas de 0.78 y 0.16, respectivamente. Esta situación también ha sido reportada para *A. kotschoubeyanus* forma *albiflorus* en la que la proporción de flores dañadas fue de 0.46. Sin embargo en esta especie las flores fueron dañadas por coleópteros (López, 2013). La florivoría por estos insectos disminuye la preferencia de los polinizadores,

afectando la polinización y el éxito reproductivo (Martínez-Peralta y Mandujano, 2012; López, 2013).

Los frutos de *A. kotschoubeyanus* forma *elephantidens* presentaron un promedio de 50.9 semillas. En contraste, *A. kotschoubeyanus* forma *albiflorus* presentó un promedio de 9.2 semillas por fruto, *A. agavoides* 32.2 semillas por fruto y *A. scaphirostris* 23.5 semillas por fruto (Hernández y Treviño, 1998; Mandujano et al., 2007; López, 2013). De las 50.9 semillas que se encontraron en los frutos, solo el 59% eran viables de acuerdo con los cortes realizados a las semillas. No existen otros estudios de cactáceas en los que se haya contado la proporción de semillas viables mediante el corte de las semillas y la observación de los embriones, por lo que no es posible determinar si la viabilidad encontrada es alta o baja. La proporción de semillas germinadas en luz fue de 0.09, en tanto que en la oscuridad fue de 0.01. Estas proporciones son mucho menores a las reportadas en estudios anteriores con esta misma especie en los que la germinación en luz varió de 0.56 a 0.7 y en oscuridad de 0 a 0.01 (Rojas-Aréchiga y Batis, 2001; Moebius-Goldamme et al., 2003; Flores et al., 2006; Flores et al., 2011; Rojas-Aréchiga et al., 2012). La baja proporción de semillas germinadas en este estudio pudo deberse a que los frutos fueron colectados antes de que las semillas estuvieran completamente maduras.

Las plantas en las poblaciones A y B no estuvieron asociadas con plantas nodriza, lo cual coincide con lo reportado para esta especie por Suzán-Azpiri et al. (2011). Sin embargo, las plantas de la población C estuvieron asociadas con arbustos y cactáceas. Este último resultado es similar a lo reportado para *A. trigonus*, el cual necesita de arbustos nodriza (Martínez et al., 1993). El cambio observado en el patrón de distribución entre las poblaciones podría deberse a la sobrecolecta de las plantas. En la población A y B no se observaron evidencias de colecta, mientras que en la población C se observaron agujeros en el suelo de los espacios abiertos. En esta población también se observaron plantas con tallos dañados por la posible extracción de plantas contiguas así como plantas que habían sido extraídas y abandonadas en el sitio. Por último, en las primeras visitas realizadas a esta población, algunos pobladores se acercaron para preguntar si se iban a comprar plantas (obs. pers.). La sobrecolecta de las plantas en espacios abiertos podría modificar el patrón de distribución, sin embargo es necesario corroborar esta idea.

Las poblaciones también variaron en el índice de disturbio. Las poblaciones A y C tuvieron un índice alto, mientras que la población B tuvo un valor bajo. En las poblaciones A y C los principales factores de disturbio fueron las actividades humanas y la ganadería. Estos resultados son similares a los reportados para *A. kotschoubeyanus* forma *albiflorus* en Coahuila, en donde las actividades humanas, el pastoreo y la erosión

fueron los principales factores de riesgo (Villavicencio et al., 2006). De igual forma, la principal amenaza para *A. kotschoubeyanus* forma *albiflorus* en San Luis Potosí es la creación de zonas agrícolas (Anderson, 2001). No obstante, nuestros resultados son diferentes a los reportados para *A. kotschoubeyanus* forma *elephantidens* en Tolimán, en donde el principal factor de riesgo fue la creación de bancos de materiales (Hernández-Oria et al., 2007). En la población B, los factores de riesgo que afectan a esta cactácea fueron el ganado caprino y los caminos de ganado. Sin embargo estos factores de riesgo no afectan gravemente a la población debido a que la gente del poblado más cercano está consciente del valor de esta planta y la protege (com. pers).

El disturbio estuvo relacionado con la densidad poblacional. Las poblaciones con un disturbio alto (C) y bajo (B) tuvieron densidades bajas, mientras que la población con un disturbio intermedio tuvo una densidad alta. Estos resultados apoyan las ideas propuestas por Martorell y Peters (2005, 2008) para distintas especies del género *Mammillaria*. Estos autores han sugerido que la disponibilidad de microhábitats está en relación con el disturbio. Cuando los niveles de disturbio son bajos, la disponibilidad de microhábitats para las plantas es menor y por lo tanto la competencia por ocupar estos espacios aumenta. Cuando los niveles de disturbio son intermedios, la cobertura de arbustos disminuye y la erosión superficial aumenta, generando superficies gravosas e incrementando los microhábitats adecuados para la germinación y el establecimiento. Por último, cuando los niveles de disturbio son altos, la cobertura arbustiva también disminuye, pero tiende a generar condiciones edáficas hostiles, las cuales no son aptas para el reclutamiento (Martorell y Peters, 2005).

En conclusión, las poblaciones difieren en algunas características demográficas como la estructura de tamaños y el patrón de distribución, así como en el grado de perturbación y los agentes de disturbio. Las poblaciones A y C tienen el mayor grado de disturbio, por lo que sería recomendable concientizar a las autoridades locales sobre la importancia de conservar esta especie de cactácea y convencerlas de incentivar algunas actividades como el monitoreo, la protección, reproducción y reintroducción de la especie en las comunidades cercanas a estas poblaciones. Estas actividades podrían fomentar el interés de la comunidad para conservar a esta especie y consecuentemente podrían disminuir la colecta ilegal.

Literatura citada

- Álvarez, R., Godínez-Álvarez, H., Guzmán, U., Dávila, P. (2004). Aspectos ecológicos de dos cactáceas mexicanas amenazadas: implicaciones para su conservación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 7-16.
- Anderson, E. F., (1962). A revision of *Ariocarpus* (Cactaceae). II. The status of the proposed genus neogemesia. *Botanical Society of America*. 49: 615-622.
- Anderson, E. F., (2001). The cactus family. Timber Press, Portland, Oregon, EUA.
- Anderson, E. F., Arias S., Taylor, N.P. (1994). Threatened cacti of Mexico. Royal Botanic Gardens. Kew. London.
- Arias, S., Guzmán, U., Mandujano, M.C., Soto, M., Golubov, J. (2005). Las especies mexicanas de cactáceas en riesgo de extinción. I. Una comparación entre los listados NOM-059-ECOL-2001 (México), La Lista Roja (UICN) y CITES. *Cactáceas y Suculentas de México*. 50: 100-125.
- Ayala-Cordero, G., Terrazas, T., López-Mata, L., Trejo, C. (2004). Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia*. 29: 692-697.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, R. (1989). Claves para la Identificación de las Cactáceas de México. Publicación de Difusión Cultural No. 3., México.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. (1991). Las Cactáceas de México. Vol. III. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Britton, N. L. y Rose, J. N. (1963). The cactaceae. Dover Publications. New York, EUA.
- CITES. 2013. Cites Apéndices I, II y III. < <http://www.cites.org>>.
- Cruden, R. W. (1977). Pollen-Ovule Ratios: A Conservative Indicator of Breeding Systems in Flowering Plants. *Society for the Study of Evolution*. 31: 32-46

- Del Conde-Juárez, H., Contreras-Medina, R., Luna-Vega, I. (2009). Biogeographic analysis of endemic cacti of the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Biological Journal of the Linnean Society*. 97: 373-389.
- Díaz, S., Martínez-Peralta, C., Mandujano-Sánchez, M. C. (2013). Estudio de la sincronía floral y su influencia sobre el éxito reproductivo en un cactus del Desierto Chihuahuense. Congreso mexicano de botánica. Tuxtla Gutierrez, Chiapas, Sesión OR28: ID_782
- Flores, J., Jurado, E., Arredondo, A. (2006). Effect of light on germination of seeds of Cactaceae from the Chihuahuan Desert, Mexico. *Seed Science Research*. 16: 149-155.
- Flores, J., Jurado, E., Chapa-Vargas, L., Ceroni-Stuva, A., Dávila-Aranda, P., Galíndez, G., Gurvich, D., León-Lobos, P., Ordóñez, C., Ortega-Baes, P., Ramírez-Bullón, N., Sandoval, A., Seal, C. E., Ullian, T., Pritchard, H.W. (2011). Seeds photoblastism and its relationship with some plant traits in 136 cacti taxa. *Environmental and Experimental Botany*. 71: 79-88.
- Godínez-Álvarez, H., Jiménez, M., Mendoza, M., Pérez, F., Roldán, P., Ríos-Casanova, L., Lira, R. (2008). Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 79: 393-403.
- Godínez-Álvarez, H. y Ortega-Baes, P. (2007). Mexican cactus diversity: environmental correlates and conservation priorities. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 81: 81-87.
- Godínez-Álvarez, H., Valverde, T., Ortega-Baes, P. (2003). Demographic trends in the cactaceae. *The Botanical Review*. 69: 173-203.
- Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados Victorino, R., Borja de la Rosa, A. (2011). Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17: 111-130.
- Guzmán, U., Arias, S., Dávila, P. (2003). Catalogo de cactáceas mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México, D.F.
- Halda, J.J. 1998. New descriptios. *Acta musei Richnoviensis Sect natur*. 5: 165-186

- Halda, J. J., Fischer, L., Heřtus, P., Horáček, L., Hovorka, L., Chalupa, J., Chvostek, J., Malina, M., Milt, I., Kracík, K., Kupčák, P., Panarotto, P., Sladkovský, J., Soroma, V. (2002). Notes on the descriptions, published as "Short communications" in *Acta Musei Richnoviensis Sect. natur. Acta musei Richnoviensis Sect natur.* 1: 1-50.
- Hernández-Barrera, J. T. (1992). Aspectos biológicos de *Ariocarpus agavoides* (Castañeda) Anderson. *Cactaceas y suculentas mexicanas.* 2: 40-45.
- Hernández-Barrera, J. T. (1998). Notas referentes al fruto de *Ariocarpus agavoides* (Castañeda) Anderson. *Cactaceas y Suculentas Mexicanas.* 43: 80-84.
- Hernández, H. (2006). La vida en los desiertos mexicanos. FCE,SEP,CONACYT,CAB, México.
- Hernández, J.G., Chávez, R.J., y Sánchez, E.M. (2007). Diversidad y estrategias para la conservación de cactáceas en el semidesierto Queretano. CONABIO. *Biodiversitas.* 70:6-9
- Hernández, M. H. (2008). Conservation massacre. *Cactus and Succulent Society of America.* 5: 220-221.
- Hernández, M. H., Gómez-Hinostrosa, C. (2011). Mapping the Cacti of México: Their Geographical Distribution Based on Referenced Records. DH Books. *Succulent Palnt Reaserch.* 7:
- Hernández, M. H., Gómez-Hinostrosa, C., Hoffman, G. (2010). Is geographical rarity frequent among the cacti of the Chihuahuan Desert? *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 81: 163-175.
- Hernández, M. H. y Godínez-Alvarez, H. O. (1994). Contribución al conocimiento de las cactaceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana.* 26: 33-52.
- Hernández, M. H., Goettsch, B., Gómez-Hinostrosa, C., Arita, T. H. (2008). Cactus species turnover and diversity along a latitudinal transect in the Chihuahuan Desert Region. *Biodiversity Conservation.* 17: 703-720.
- Hernández, M. H., Gómez-Hinostrosa, C., Goettsch, B. (2004). Checklist of chihuahuan desert cactaceae. *Harvard Papers in Botany.* 9: 51-68

- Hernández-Magaña, R., Hernández-Oria, J., Chávez, R. (2012). Datos para la conservación florística en función de la amplitud geográfica de las especies en el Semidesierto Queretano, México. *Acta Botanica Mexicana* 99: 105-140.
- Hernández-Oria, J.G., Chávez, R.J., Sánchez, E. (2007). Factores de riesgo en las Cactaceae amenazadas de una región semiárida en el sur del desierto chihuahuense, México. *Interciencia*. 32: 728-734
- Hunt, D. (1999). C.I.T.E.S. Cactaceae checklist. Ed. 2. Royal Botanic Gardens & International Organization for Succulent Plant Succulent plants, also known as succulents or fat plants, are water-retaining plants adapted to arid climate or soil conditions. Succulent plants store water in their leaves, stems and/or roots. Study, Kew, England.
- Jiménez-Sierra, C. (2007). Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria*. 12: 1067-1079
- López, J. J., García, G. (2004). Distribución y evaluación de las poblaciones naturales del género *Ariocarpus* (Scheidweiler) en Coahuila, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 49: 68-79.
- López, M. Y. (2013). Florivoría en *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Cactaceae). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- López, F. G. (2012). Demografía de *Astrophytum myriostigma* Lem. (Cactaceae). Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Mandujano, M. C., Carrillo-Angeles, I. G., Martínez-Peralta, C., Golubov, J. (2010). Reproductive biology of Cactaceae. En: Ramawat KG, ed. *Desert Plants: Biology and Biotechnology*. Berlin: Springer-Verlag. 197–230.
- Mandujano, C., Verhulst, A.M., Carrillo-Angeles, G., Golubov, J. (2007). Population dynamics of *Ariocarpus scaphirortris* Boerh. (Cactaceae): evaluating the status of a threatened species. *International Journal of Plant Sciences*. 7: 1035–1044.
- Martínez, J.G., Suzan, H., Salazar, C. (1993). Aspectos ecológicos y demográficos de *Ariocarpus trigonus*. *Cactaceas y suculentas mexicanas*. 38: 30-38.

- Martínez-Peralta, C., Mandujano, M. C., Márquez-Guzmán, J. (2009). Pollen tube growth in a living rock cactus, *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Cactaceae): A case of partial-self-incompatibility? *Ecological knowledge and society*. ESA, Albuquerque. PS 37-157.
- Martínez-Peralta, C. y Mandujano, M. C. (2009). Nota: Saqueo en poblaciones naturales de *Ariocarpus*: el caso de *A.agavoides*. *Cactáceas y suculentas mexicanas*. 54:60-62.
- Martínez-Peralta, C. y Mandujano, M.C. (2011). Reproductive ecology of the endangered living rock cactus, *Ariocarpus fissuratus* (Cactaceae). *The Journal of the Torrey Botanical Society*. 138:145-155.
- Martínez-Peralta, C. y Mandujano, M. C. (2012). Biología de la polinización y fenología reproductiva del género *Ariocarpus* Scheidweiler (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 57: 114-127.
- Martorell, C., Peters, E. M. (2005). The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation*. 124: 199–207.
- Martorell, C., Peters, E. M. (2008). Disturbance-Response Analysis: a Method for Rapid Assessment of the Threat to Species in Disturbed Areas. *Conservation Biology*. 23: 377–387.
- Moebius-Goldammer, K. G., Mata-Rosas, M., Chávez-Avila, V. (2003). Organogenesis and somatic embryogenesis in *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem) K. Schum. (Cactaceae), an endemic and endangered mexican species. *Society for In Vitro Biology*. 39: 388–393.
- Ortega-Baes, P., Godínez-Alvarez, H. (2006). Global diversity and conservation priorities in the Cactaceae. *Biodiversity and Conservation*. 15:817-827.
- Portilla, R. M. (2007). “Estudio demográfico de tres poblaciones de *Coryphantha werdermannii* (Cactaceae) en condiciones contrastantes de disturbio”. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Portilla-Alonso, R.M. y Martorell, C. (2011). Demographic consequences of chronic anthropogenic disturbance on three populations of the endangered globose cactus *Coryphantha werdermannii*. *Journal of Arid Environments*. 75: 509-515.
- Rojas-Aréchiga, M., y Batis, A. I. (2001). Las semillas de cactáceas... ¿forman bancos en el suelo? *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 46: 76-82.

- Rojas-Aréchiga, M., Mandujano, M. C., Golubov, J. K. (2012). Seed size and photoblastism in species belonging to tribe Cacteeae (Cactaceae). *The Botanical Society of Japan*. 126: 373-386.
- Scheinvar, L. (2004). Flora Cactológica del estado de Querétaro. Fondo de Cultura económica, USA.
- Peters, E. M., Martorell, C., Ezcurra, E. (2008). Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mamillaria*) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Enviroments*. 72: 593-601.
- Semarnat (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, diciembre de 2010.
- Suzán-Azpiri, H., Malda, G., Caiceros, A., Sánchez, A., Guevara, A., García, O. (2011). Spatial Analysis for Management and Conservation of Cactaceae and Agavaceae Species in Central Mexico. *Procedia Environmental Sciences*. 7: 329–334.
- IUCN. (2013). 2013 IUCN Red List of Threatened Species. < <http://www.iucnredlist.org>>.
- Valverde, P. L., Zavala-Hurtado, J. A., Jiménez-Sierra, C., Rendón-Aguilar, B., Cornejo-Romero, A., Rivas-Arancibia, S., López-Ortega, G., Pérez-Hernández, M. A. (2009). Evaluación del riesgo de extinción de *Mamillaria pectinifera*, cactácea endémica de la región de Tehuacan-Cuicatlan. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 80: 219-230.
- Villavicencio, G. E., López, G. J., Martínez, B. O., García, P. G. (2006). Distribución digitalizada y características ecológicas del genero *Ariocarpus spp.* en Coahuila. INIFAP-CIRNE, México Coahuila.
- Zepeda, M. V., (2010). “Ecología de poblaciones y asociación nodriza-protégido de *Astrophytum ornatum* (DC.) F. A. C. Weber ExBriton & Rose (Cactaceae) en Querétaro, México”. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Zepeda-Martínez, V., Mandujano, M.C., Mandujano, F.J., Golubov, J.K. (2013). What can the demography of *Astrophytum ornatum* tell us of its endangered status? *Journal of Arid Environments*. 88: 244-249.

Dedicatorias

Principalmente a las personas que se tomaron la molestia de leer esta tesis por gusto.

A mis padres por tener miedo de mis decisiones, pero principalmente por apoyarlas.

A mis hermanos por hacerme enojar con su frase *“eres biólogo marino”*

A Willy y Rotsa por fingir interés con mis platicas aburridas.

A Rebeca (mugrosina) por brindarme su amistad y apoyo durante la carrera.

A Erick (carpa) por compartir sus puntos de vista, apoyarme en las dificultades y por ser un gran amigo.

A Marbe por la comida que me debe... y por su amistad.

A Fabi, Manlio, John (rasta), Carlos (morro), Fabian, Nayade, Eduardo, Betty por su amistad, aunque no tan fuerte, pero existente.

A Marcialito y al Doc. Héctor por introducirme al mundo de las cactáceas.

A la familia Cruz Santos por apoyarme en muchas cosas.

A toda la familia que siempre me pregunto en buen plan por la carrera.

Por último Aide que es la variable en mi vida, que me apoya en los momentos difíciles y que es responsable de que yo encontrara el lado más bonito de la carrera... por tantas cosas que no caben en pocas líneas...

Gracias a todos!!!