



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

**Biología floral y uso de *Myrtillocactus geometrizans*  
(Mart. ex Pfeiff.) Console (Cactaceae) en Cadereyta  
de Montes Querétaro, México.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

Mariana Cano Rodríguez



**DIRECTOR DE TESIS:  
Doctora María del Carmen Mandujano Sánchez  
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

1. Datos del alumno  
Cano  
Rodríguez  
Mariana  
53038919  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
307025953
2. Datos del tutor  
Dra.  
María del Carmen  
Mandujano  
Sánchez
3. Datos del sinodal 1  
Dra.  
Martha Juana  
Martínez  
Gordillo
4. Datos del sinodal 2  
Dra.  
Sonia  
Vázquez  
Santana
5. Datos del sinodal 3  
Dr.  
Daniel  
Sánchez  
Carbajal
6. Datos del sinodal 4  
Dr.  
Ángel Salvador  
Arias  
Montes
7. Datos del trabajo escrito  
Biología floral y uso de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.)  
Console (Cactaceae) en Cadereyta de Montes Querétaro, México  
Tesis profesional  
90 p.  
2017

## **Agradecimientos institucionales**

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por ser mi segunda casa y permitirme crecer y desarrollarme íntegramente dentro de sus instalaciones. A la Facultad de Ciencias, UNAM, a sus profesores y alumnos, por enseñarme el camino al conocimiento y la ciencia.

A la Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez por aceptar dirigir esta tesis, gracias por aceptar mi peculiar forma de trabajar. Al Laboratorio de Genética y Ecología, UNAM, por prestar sus instalaciones para realizar este proyecto.

Esta tesis se realizó gracias al financiamiento del proyecto PAPIIT-UNAM IN207411-3, SEP-Conacyt 221362 y del presupuesto operativo del Instituto de Ecología, UNAM, otorgados a la Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez.

Dentro del Taller “Ecología Terrestre y Manejo de los Recursos Bióticos”, de la Facultad de Ciencias, UNAM, se llevó a cabo el desarrollo de esta tesis bajo la asesoría de los profesores: Dr. Zenón Cano Santana, M. en C. Irene Pisanty Baruch, M. en C. Iván Israel Castellanos Vargas, Dr. Jordán K. Golubov Figueroa, M. en C. Joanne Rebeca Peel, Dra. Mónica Elisa Queijeiro Bolaños y Dra. Mariana Hernández Apolinar.

Agradezco la disposición y tiempo que brindaron para la toma de datos en campo y el análisis de los mismos: Biól. Jessica Magdalena Reyes Tovar, M. en C. Aldanelly Galicia Pérez, Biól. Guadalupe Roldán, Biól. José Antonio Aranda Pineda, Biól. Rebeca Hernández Peña, Biól. Hugo Altamirano, Karla Cervantes, Violeta Licon, Biól. Linda Mariana Martínez Ramos, Biól. Isabel Briseño Sánchez, Dr. Gabriel Arroyo Cosultchi y Biól. Oscar Sandino Guerrero Eloiza.

A la Biól. Ruth Chávez Martínez, por su ayuda en la elaboración de las entrevistas para conocer el uso de la especie.

Al personal del Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, en especial al Ing. Emiliano Sánchez, director, por el apoyo y las facilidades otorgadas durante el muestreo.

Al Dr. Ismael Alejandro Hinojosa Díaz por su colaboración en la identificación de las abejas y al Biól. Manuel Edday Farfán Beltrán por la identificación de los otros visitantes florales.

A la Dra. Mariana Rojas Aréchiga y a la Lic. Anabel Domínguez Reyes, por el apoyo en la logística y trabajo de laboratorio.

A los miembros del jurado asignado para la revisión de este trabajo: Dra. Martha Juana Martínez Gordillo, Dra. Sonia Vázquez Santana, Dr. Daniel Sánchez Carbajal y Dr. Ángel Salvador Arias Montes, gracias por sus valiosos comentarios que mejoraron este trabajo.

A la M. en C. Amaranta Ramírez Terrazo por la revisión de esta tesis, que a pesar de no ser elegida como sinodal oficial, sus comentarios y ayuda siempre estuvieron presentes desde el comienzo de este trabajo.

A todos los habitantes de la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro, quienes participaron respondiendo amablemente a mis preguntas, muchas gracias.

## **Agradecimientos personales**

A mi madre Lorena Rodríguez Esquivel, por enseñarme a leer y siempre creer en mí; a mi padre Timoteo Cano Dueñas, por enseñarme a pensar y hablar con las plantas. Gracias por darme educación, amor, respeto y la oportunidad de ser libre a mi manera.

A mi hermano Ricardo Cano Rodríguez, por enseñarme que la vida siempre te da cosas buenas y valiosas, eres el mejor hermano que me pudo tocar; gracias por enseñarme a dar un buen abrazo, pero sobre todo, por existir.

A mi tía Graciela Cano Dueñas, por sus palabras que siempre me reconfortaban, por sentirse orgullosa de mí, y ayudar siempre a mi familia, ¡la quiero mucho tía!

A mis primos Nando, Pepe, Ale, Gera y Sandy; por apoyarme siempre de una y mil formas en los momentos más difíciles; por el cariño, las bromas, las pláticas profundas y todos los momentos felices que vivimos.

A mis amigas de la vida (Ana Cristina Bernabé, Maribel Pérez, Berenice Santiago, Karla Cervantes, Guadalupe Roldan, Tania Mendoza, Karen Mondragón, Alondra Terrones, Andrea Vargas, Leslie Núñez, Irlanda Morales, Linda Mariana, Jessica Reyes, Rebeca Peña e Isabel Briseño), por enseñarme que la amistad femenina existe, por hacer de mis días una aventura al natural, por ser parte de mi vida y querer siempre lo mejor para mí.

A mis amigos (José Antonio Aranda, José Luis Jiménez, Xiuhnel Peña, Diego Morales, Rafael Serrano, Eduardo Olivos, Iván Reyes, Hoper, Charly, Esteban Munguía y Sandino Guerrero), por los consejos, por su sinceridad, por lo vivido, por cuidarme, pero sobre todo por impulsarme a concluir esta etapa.

A todos mis amigos del Pulpo, Hoyo-funky, Casa "V", House of pain, Podrigo's y al legendario Atlético Mostaza; gracias por hacer que mis días fueran tan ligeros como el humo, por arroparme y siempre compartir muchos buenos momentos conmigo.

A todos ustedes mi más humilde ¡GRACIAS!, mi vida no sería tan valiosa como lo es ahora sin todos ustedes... los amo.

También quiero agradecer a todo el pueblo de México, que mediante sus contribuciones permiten a muchos el libre acceso a una educación de calidad; gracias a ustedes la UNAM es y seguirá siendo la mejor universidad pública, gratuita, científica y popular.

# Índice

<b>Resumen</b>	<b>8</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
Reproducción y biología floral	9
<i>Fenología y sincronía reproductiva</i>	10
<i>Morfología floral</i>	10
<i>Ciclo floral</i>	11
<i>Sistema de apareamiento</i>	11
<i>Sistema de cruza</i>	12
<i>Síndromes de polinización y limitación de polen</i>	12
Uso de productos forestales no maderables (PFNM)	14
Especie de estudio	16
Antecedentes de <i>Myrtillocactus geometrizans</i>	18
<b>2. Justificación</b>	<b>20</b>
<b>3. Objetivos e hipótesis</b>	<b>21</b>
Objetivo general	21
Objetivos particulares	21
Hipótesis	21
<b>4. Materiales y métodos</b>	<b>22</b>
Sitio de estudio	22
Técnica de muestreo y análisis de datos	23
<i>Fenología y sincronía reproductiva</i>	23
<i>Morfología floral</i>	24
<i>Ciclo floral</i>	25
<i>Sistema de apareamiento</i>	26
<i>Sistema de cruza</i>	28
<i>Síndromes de polinización y limitación de polen</i>	32
<i>Uso de M. geometrizans</i>	33
<b>5. Resultados</b>	<b>35</b>
<i>Fenología y sincronía reproductiva</i>	35
<i>Morfología floral</i>	36
<i>Ciclo floral</i>	37
<i>Sistema de apareamiento</i>	38
<i>Sistema de cruza</i>	40
<i>Síndromes de polinización y limitación de polen</i>	42
<i>Uso de M. geometrizans</i>	47
<b>6. Discusión</b>	<b>54</b>
<i>Fenología y sincronía reproductiva</i>	54
<i>Morfología floral</i>	57

<i>Ciclo floral</i>	58
<i>Sistema de apareamiento</i>	59
<i>Sistema de cruza</i>	60
<i>Síndromes de polinización y limitación de polen</i>	63
<i>Uso de <i>M. geometrizans</i></i>	65
<b>7. Conclusiones</b>	<b>69</b>
<b>8. Literatura consultada</b>	<b>70</b>
<b>9. Anexo</b>	<b>87</b>
Anexo I. Cuestionario sobre el uso del “garambullo” en la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro, México	87
Anexo II. Material didáctico utilizado en las encuestas estructuradas sobre el uso del “garambullo” en la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro, México	89



## Resumen

La biología floral permite conocer las características morfológicas y funcionales en las flores que maximizan el éxito reproductivo de las angiospermas. Para la conservación de poblaciones de plantas útiles, es necesario conocer aspectos ecológicos y de aprovechamiento con el fin de explorar características en la reproducción que permitan detectar si hay factores causantes de una baja producción de frutos y si el uso afecta su permanencia. En las zonas áridas y semiáridas de México diversas comunidades humanas subsisten mediante prácticas como la recolección; los frutos de las cactáceas (plantas características de estos sitios) son comestibles y poseen un considerable valor de uso. *Myrtillocactus geometrizans* es una cactácea arborescente y diversas comunidades consumen su fruto (garambullo). El objetivo de este estudio es describir la biología floral y usos de *M. geometrizans* en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, para determinar si la reproducción natural de la especie permite mantener la viabilidad de su población y si el uso puede ser sostenible. Una población de 30 plantas se revisó periódicamente para el seguimiento fenológico de la reproducción y determinar si hay una floración sincrónica. Se tomó una muestra de flores y se observaron desde su apertura hasta el cierre: se describió la morfología; además se determinó el sistema de apareamiento y se evaluó longevidad, ciclo floral y visitantes florales. El sistema de cruzamiento se determinó experimentalmente con polinizaciones controladas y el uso mediante entrevistas estructuradas a los habitantes de la cabecera municipal de Cadereyta. *Myrtillocactus geometrizans* florece sincrónicamente de febrero a abril; tiene flores diurnas, protándricas, blanco-verdosas y la longevidad floral es de un día. El sistema de apareamiento es xenógamo y los experimentos de polinización muestran que su sistema de cruza es por entrecruzamiento. El síndrome de polinización es generalista por abejas, los visitantes florales identificados son polinizadores melitófilos, abejas solitarias y *Apis mellifera* en alta frecuencia. En Cadereyta *M. geometrizans* tiene uso alimentario principalmente el fruto y se consume en fresco, mermeladas, helados, paletas o aguas.

# 1. Introducción

## Reproducción y biología floral

La reproducción es la característica propia de los seres vivos que consiste en la formación de un nuevo individuo (Martínez-Peralta, 2007). En las angiospermas se reconocen dos tipos de reproducción: (1) reproducción sexual es la vía por la cual se da la fusión de gametos masculinos y femeninos, provenientes de distintos individuos y en la cual la meiosis es necesaria para formar células haploides (Crumpacker, 1967) y (2) reproducción asexual, la cual no involucra procesos meióticos ni de singamia e implica la producción de nuevos individuos a partir de tejidos somáticos, pudiendo estar o no en relación con los órganos reproductivos (Mogie, 1992). Una planta puede presentar sólo una de las modalidades de reproducción sexual, asexual, clonal o todas. En el caso de que se presente más de un tipo de reproducción, cada uno puede tener diferente contribución en la perpetuación de la población (Mandujano *et al.*, 1996).

En la reproducción sexual, la flor es la unidad estructural y funcional que caracteriza a las angiospermas. En particular, la flor está implicada en los fenómenos de polinización, fecundación y por lo tanto en todos los sucesos que conducen a la formación de semillas y frutos maduros (Cruz y Rosas, 2013). La flor, representa un tallo o rama altamente modificado(a), con crecimiento limitado, que porta apéndices especializados para la reproducción sexual: los órganos florales o antófilos (sépalos, pétalos, estambres y carpelos), los cuales son homólogos a hojas. Estos apéndices se encuentran condensados en un receptáculo (un braquiblasto), el cual equivale a la región de los últimos nudos y entrenudos de este tallo con crecimiento limitado (Cruz y Rosas, 2013).

La biología floral estudia la producción de flores, el desarrollo de los gametos y los patrones de cruza (Lloyd, 1980); estas características determinan directamente la cantidad y calidad de las semillas que se produzcan (Eguiarte, 1983). Debido a que las características funcionales y morfológicas de una flor influyen en el éxito reproductivo de la planta (Navarro y Guitián, 2002), se espera que este conjunto de características resulte en una combinación óptima, la cual maximice la adecuación individual (Barrett, 2003).

La biología floral incluye la fenología, morfología floral, ciclo floral, sistema de apareamiento, sistema de cruza y síndrome de polinización (del Castillo, 1994; Mandujano *et al.*, 1996; Piña, 2000; Bowers, 2002; McIntosh, 2002; Nassar y Ramírez, 2004). Entenderla es de suma importancia para el proceso de reproducción sexual en las angiospermas y para su estudio es necesario conocer cada uno de los aspectos que incluye. A continuación, se desarrolla una breve explicación de lo que se estudia en los diferentes componentes de la biología floral.

**Fenología y sincronía reproductiva.** La fenología es el estudio de los acontecimientos biológicos periódicos con relación a las estaciones del año entre los que se incluye el crecimiento de las plantas y la formación de estructuras reproductoras (botones, flores y frutos) (Begon *et al.*, 1999). La fenología floral se refiere a la ocurrencia estacional de la presencia de flores en una planta individual, o bien, en poblaciones y comunidades vegetales, que se encuentra sujeta a una fuerte presión de selección y tiene un papel muy importante en la estrategia reproductiva de estos organismos (Kudo, 2006). Las razones para estudiar fenología floral son tanto ecológicas como evolutivas, ya que las flores son recursos alimenticios importantes para los polinizadores en el tiempo ecológico y, además, proveen un mecanismo para el aislamiento reproductivo, el mantenimiento de la diversidad genética intra-poblacional y la especiación en el tiempo evolutivo (Harder, 2006). Dentro de esta categoría se debe incluir a la sincronía de floración, que es el grado en el cual el periodo de floración de una planta se superpone con los periodos de floración de todas las otras plantas en la población (McIntosh, 2002). Este índice muestra como la disponibilidad y producción de flores puede afectar el cruzamiento en la población.

**Morfología floral.** Características como la forma, el color y la arquitectura floral son atractivos de la flor para los visitantes, y repercuten en la efectividad de la transferencia de polen por éstos (Faegri y Van der Pijl, 1979; Johnson y Dafni, 1998; Endress, 1999; Ishii y Sakai, 2001; Celedón-Neghme *et al.*, 2007). Las características señaladas conforman la morfología floral que juega un papel determinante en la adecuación o éxito reproductivo de la planta (Strauss, 1997).

**Ciclo floral.** El ciclo floral constituye toda la serie de cambios en la amplitud (diámetro) de la corola en las flores, inicia cuando una flor abre (antesis) y termina cuando ésta cierra por completo; indica el tiempo de duración de una flor durante el proceso de polinización (longevidad).

**Sistema de apareamiento.** Los sistemas de apareamiento son todos los aspectos de expresión sexual en plantas (como son las características florales, la distribución y el funcionamiento espacial y temporal de las estructuras reproductivas) que afectan de alguna manera la contribución genética a los individuos de la siguiente generación en una especie (Wyatt, 1983). El índice de entrecruza de Cruden (*outcrossing index*, OCI) permite clasificar a las poblaciones de plantas en diferentes categorías del sistema de apareamiento. En cualquier sistema de apareamiento el número de granos de polen debe ser suficiente para permitir, tanto la fecundación efectiva de los óvulos producidos como la selección sexual, así como evitar los efectos en caso de que haya polen defectuoso. Sin embargo, no debe ser tan alto como para reducir las posibilidades de que polen de diferentes genotipos llegue a los estigmas de flores compatibles (Cruden, 2000). La relación polen/óvulo (P/O), involucra las características sexuales de la flor; de manera general, se ha demostrado que las plantas con sistemas de entrecruza presentan P/O muy elevados ya que necesitan transferir su polen a grandes distancias o requieren de vectores para la transferencia del mismo, por estas razones se ven obligadas a producir grandes cantidades de polen de manera que se asegure la llegada de éste a otras plantas y se promueva la fertilización efectiva, se compense la producción de polen defectuoso y que se recompense a los vectores bióticos que se encarguen de transferirlo (Cruden, 1977, Mandujano *et al.*, 2010). Las plantas que presentan sistemas de autocruza tienen en general P/O bajo, en comparación con aquellas que requieren entrecruza (Cruden, 1977, 2000). La gradación de los sistemas de apareamiento se debe a una tendencia evolutiva desde la cleistogamia hasta la xenogamia, y se correlaciona con el P/O. En las plantas existen diferentes mecanismos que parecen haber evolucionado en respuesta a presiones de selección a favor de una mayor variabilidad genética y que por lo tanto evitan la autopolinización. Entre ellos está la dicogamia, que consiste en la presencia de una

barrera temporal entre la liberación del polen y la receptividad del estigma de una misma flor o un mismo geneto. En las flores protándricas, el polen se libera antes de que madure el gineceo, mientras que las flores protóginas primero presentan el estigma receptivo y posteriormente se da liberación del polen. Otro mecanismo que evita la autopolinización es la hercogamia, que consiste en una barrera espacial entre el androceo y el gineceo. En este caso, las estructuras masculinas y femeninas presentan posiciones relativas en la flor que impiden la autofecundación (Faegri y Van der Pijl, 1979; Bertin, 1989; Eguiarte *et al.*, 1992; Proctor *et al.*, 1996).

**Sistema de cruzamiento.** Los sistemas de cruce se refieren a la transferencia de polen, de las anteras al estigma de una flor y la posterior formación de semillas. Pueden identificarse tres tipos principales de sistemas de cruce: autocruza, entrecruza y mixto, este último es cuando en la población existen los dos primeros sistemas. La autocruza se presenta cuando hay transferencia de polen al estigma de la misma flor (autogamia) o a una flor diferente que pertenezca al mismo geneto (geitonogamia). Hay entrecruza si la transferencia de polen es de las anteras de una flor al estigma de otra, perteneciente a un geneto diferente (xenogamia) (Richards, 1986; Crawley, 1997). Una forma directa de conocer el sistema de cruce es realizar experimentos de polinizaciones controladas, los cuales simulan las diferentes opciones de transferencia de polen entre flores: control, autocruza automática, autocruza manual, geitonogamia, entrecruza manual, entrecruza natural y apomixis (Dafni, 1992; Kearns e Inouye, 1993; Mandujano *et al.*, 1996; Navarro y Guitián, 2002). Los resultados de estos experimentos (como la producción de frutos y semillas), permiten determinar el éxito de la autocruza contra la entrecruza, además de que dan evidencias de la eficiencia de los polinizadores (Dafni, 1992).

**Síndromes de polinización y limitación de polen.** Una característica de las plantas, que afecta directamente su modo de reproducción es la inmovilidad, por lo que requieren de vectores, bióticos (animales) o abióticos (agua o viento), que transfieran los gametos masculinos hasta los estigmas (Barrett, 2003). Como consecuencia, en las plantas polinizadas por animales las características florales (como el diseño y la forma en que se presentan a los polinizadores) están sujetas a

presiones de selección relacionadas con la efectiva dispersión del polen, para asegurar una máxima adecuación por medio de la producción de semillas viables (Zimmerman, 1988; Endress, 1994; Harder y Barrett, 1996).

Faegri y Van der Pijl (1979) propusieron los síndromes de polinización, que se refieren a la relación entre las convergencias de características florales en diferentes especies (relacionadas o no) y el tipo de polinizadores que atraen. Estas características se interpretan como adaptaciones evolutivas que permiten una transferencia óptima de polen entre los individuos de una misma especie que asegura la fecundación (Howe y Westley, 1997). Estos síndromes florales (o de polinización) se basan en varios caracteres florales, tales como tamaño de la flor, color, néctar, olor, entre otros. Las características florales, que en conjunto describen a cada uno de los síndromes florales, se encuentran bajo selección natural, y son favorecidas aquéllas que representan para la planta una mayor adecuación, aunque sea mínima en comparación con las otras (Chittka *et al.*, 2001).

La conducta de los polinizadores modula, en gran medida, la diversidad de los sistemas sexuales, el flujo génico entre poblaciones y la morfología floral (Waddington, 1983). Para poder asegurar que los animales visitantes realmente actúan como polinizadores, se deben hacer observaciones detalladas sobre su comportamiento en el momento de visitar la flor y en el destino al que llegan después de hacerlo, para cuantificar, por ejemplo, la cantidad de polen que se les adhiere al cuerpo y su efectividad para colocarlo en el estigma de otra flor de la misma especie, o por lo menos, registrar si se han tocado regularmente las anteras y/o los estigmas de las flores que visitan (Slauson, 2000; Rocha *et al.*, 2005). La limitación por polen se refiere a la insuficiencia cualitativa y cuantitativa de los granos de polen al depositarse en el estigma que implica una menor producción de semillas (*seed set*) en los grupos control, en contraste con aquellos a los que se les añade una carga de polen suplementario (Larson y Barret, 2000; Argueta *et al.*, 2013; Galicia-Pérez, 2013).

### **Uso de productos forestales no maderables (PFNM)**

En México, la cubierta vegetal de las zonas áridas y semiáridas es muy variada, por lo que se consideran bajo el rubro colectivo de matorral xerófilo, ocupando aproximadamente el 40% de la superficie del país (Rzedowski, 1981). En estas zonas se estima que la diversidad florística se compone de más de 6000 especies vegetales, dentro de las cuales hay múltiples endemismos, ofreciendo así un enorme potencial de recursos naturales (ya sean maderables o no), susceptibles de ser aprovechados de manera racional y sustentable. De hecho, han existido diversas comunidades humanas subsistiendo en esos lugares, a través de prácticas como la agricultura y la recolección (Cervantes, 2002).

Dentro de los recursos más utilizados se encuentran los productos forestales no maderables (PFNM), definidos en el 2014 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization*, FAO) como bienes de origen biológico, distintos de la madera, derivados del bosque, de otras áreas forestales y de los árboles fuera de los bosques, que pueden recolectarse en forma silvestre o producirse en plantaciones forestales o sistemas agroforestales; algunos ejemplos son productos utilizados como alimentos y aditivos alimentarios (semillas comestibles, hongos, frutos, fibras, especies y condimentos, aromatizantes, fauna silvestre); productos vegetales y animales para construcciones, muebles, leña combustible, forraje, utensilios, resinas, gomas, y los utilizados con fines medicinales, cosméticos o culturales (Cervantes, 2002).

En comunidades rurales, sobre todo en áreas muy marginadas, la importancia de los PFNM radica en la satisfacción de necesidades básicas, como vivienda, alimento y salud, así como en la generación de ingresos económicos mediante su comercialización (Casas y Valiente-Banuet, 2001; Cunningham, 2001; Zamora *et al.*, 2001; Casas, 2002). El conocimiento tradicional que tienen las poblaciones campesinas sobre las especies de zonas áridas más útiles y el manejo de las poblaciones silvestres, puede ser un elemento clave para su aprovechamiento comercial sustentable (Tapia-Tapia y Reyes-Chilpa, 2008).

Los ingresos son rara vez suficientes para mantener los requerimientos de subsistencia de los recolectores, obligándolos a sobreexplotar sus recursos, buscar nuevas actividades o manipular la zona sin considerar una adecuada planeación de cosecha, o la búsqueda de prácticas que promuevan la sustentabilidad (Zamora *et al.*, 2001).

El aprovechamiento de los PFNM en zonas áridas y semiáridas de México, según Zamora *et al.* (2001) se centra en diversas especies, como la candelilla, el orégano mexicano, la yuca, la jojoba, los mezquites, los magueyes y diversas cactáceas, por señalar algunas. El uso de las especies vegetales varía considerablemente, pues involucra diferentes plantas completas o partes de la planta, como puede ser raíz, tallo, flores, frutos, corteza y exudados (Betanzos-González, 2008).

Uno de los principales recursos son las cactáceas, grupo característico de estas zonas (Benítez y Dávila, 2002; Casas, 2002). En la región mesoamericana se han registrado aproximadamente 420 especies de esta familia (Bravo-Hollis, 1978; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991), de las cuales, 118 son utilizadas por los pueblos indígenas de la región, incluyendo 45 cactáceas columnares, cuyos frutos son comestibles. Por lo tanto, en esta región la recolección representa una actividad común que los pobladores realizan de manera selectiva dependiendo del destino del producto (Casas, 2002).

Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991), indican que, en general, la pulpa de los frutos de las cactáceas, integrada por los funículos de las semillas, que al madurar se llena de líquidos azucarados y constituyen un alimento fresco y dulce, muy consumido en el país. Su importancia alimenticia radica en su alto contenido de azúcares y de cantidades considerables de vitamina B, C y E. Las numerosas especies de cactáceas que producen frutos utilizados por el hombre como alimento pertenecen principalmente a los géneros *Pereskia*, *Opuntia*, *Hylocereus*, *Escontria*, *Heliabruva*, *Pachycereus*, *Stenocereus*, *Carnegiea*, *Neobuxbaumia*, *Myrtillocactus*, *Polaskia*, *Echinocereus*, *Ferocactus* y *Mammillaria*, pero de mayor importancia económica, por ser los más utilizados, son los de *Opuntia*, *Hylocereus*



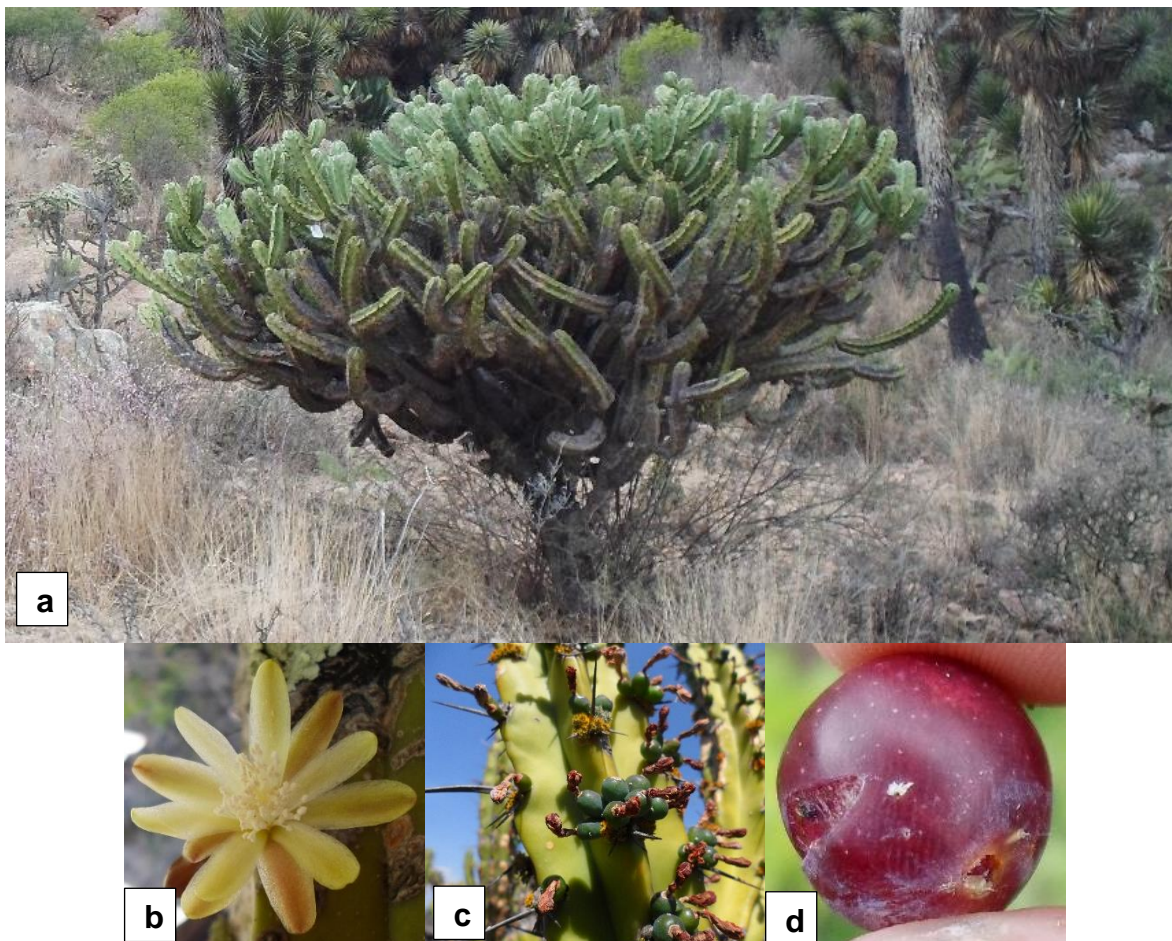
y *Stenocereus*, cuyos frutos son conocidos comúnmente como tunas y pitayas (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

### **Especie de estudio**

*Myrtillocactus geometrizans* (Martius ex Pfeiff.) Console, es una especie que pertenece al género *Myrtillocactus*, tribu Echinocereae, subfamilia Cactoideae, de la familia Cactaceae y tiene como nombre común “garambullo” o “padre nuestro” (Fig. 1). Son plantas arborescentes, que llegan a medir más de 4 m de alto. Tronco bien definido, corto; ramificación abundante, formando una copa bastante amplia, como de 5 m. Ramas numerosas que a su vez se ramifican, algo encorvadas, de 6 a 10 cm de diámetro, de color verde azulado. Costillas 5 o 6, redondeadas, de 2 a 3 cm de alto. Aréolas distantes entre sí 1.5 a 3 cm, lanosas, prolíferas, a veces creciendo en forma ramificada. Espinas radiales y centrales muy diferentes. Espinas radiales generalmente 5, a veces 8 o 9, cortas, de 2 a 10 mm de largo, en ocasiones hasta de 3 cm, rojizas cuando jóvenes, algo aplanadas o hinchadas en la base. Espina central, muy grande, en forma de daga, aplanada lateralmente, de 1 a 7 cm de largo y de 6 mm de ancho, negra (Bravo-Hollis, 1978). Las flores miden de 2.0 - 3.0 cm de largo, de 2.5 - 3.5 cm de ancho, de color blanco, diurnas y se desarrollan varias en la misma areola. Los frutos son de 1.0 - 2.0 cm de largo, 0.8 - 2.0 cm de ancho, globosos a elipsoides, púrpura oscuro, con pulpa púrpura (Arias *et al.*, 1997). La literatura indica que el periodo de floración para *M. geometrizans* inicia en febrero y termina en abril; el de fructificación comienza en el mes de marzo, siendo abril y mayo cuando maduran y que corresponde a la época de colecta (Betanzos-González, 2008).

Es una especie de amplia distribución geográfica, se localiza en México, en los estados de Aguascalientes, Baja California Sur, Distrito Federal, Durango, Guerrero, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán y Zacatecas (Guzmán *et al.*, 2003).

La especie no está en ninguna categoría de riesgo a nivel nacional (Norma Oficial Mexicana NOM-059) e internacional (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, IUCN). Sin embargo, está protegida del comercio internacional (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, CITES) apéndice II. Este apéndice incluye especies no necesariamente amenazadas de extinción, pero cuyo comercio debe controlarse para evitar que así sea. También incluye especies que necesitan regularse por su similitud con otras. El comercio internacional se permite, pero bajo ciertos requisitos (CONABIO, 2016). La SEMARNAT, en el 2014, la catalogó como una especie prioritaria, con alto grado para la conservación.



**Figura 1.** *Myrtillocactus geometrizans* en Cadereyta de Montes, Querétaro, se muestra: a) Individuo completo arborescente. b) Flor abierta con los verticilos florales. c) Tallos con frutos inmaduros, con más de un fruto por areola. d) Fruto maduro, con una pequeña semilla color negro.

### **Antecedentes de *M. geometrizans***

Los trabajos relacionados con la biología floral de *M. geometrizans* son escasos. Para el estado de Querétaro, se reporta que la floración de *M. geometrizans*, ocurre desde el mes de enero hasta el mes de abril y la cosecha se realiza desde el mes de junio hasta principios del mes de agosto (Pérez-González, 1999). En la familia Cactaceae predomina el sistema reproductivo por entrecruzamiento, también denominado xenogamia obligada (Gibson y Nobel, 1986; Pimienta-Barrios y del Castillo, 2002; Mandujano *et al.*, 2010); y todas las polinizaciones son bióticas, siendo los murciélagos y polillas los importantes en especies columnares, pero de manera particular, son las abejas los polinizadores más comunes en flores pequeñas y diurnas en especies globosas y columnares (Beutelspacher, 1971; Mandujano *et al.*, 1996; Schindlwen y Wittmann, 1997; Nassar y Ramírez, 2004; Oaxaca-Villa *et al.*, 2006; Mandujano *et al.*, 2010).

Aguilar-García (2015), determinó el efecto de la orientación de los botones florales y flores sobre los caracteres reproductivos en una población de *M. geometrizans* en Zapotitlán Salinas, Puebla; encontró que hay un efecto significativo de la orientación floral, en la relación de P/O; en los botones florales orientados hacia el sureste existe una mayor relación P/O y de acuerdo con la clasificación de Cruden, *M. geometrizans* tiene un sistema reproductivo xenógamo facultativo, también se observó una ligera tendencia hacia la autogamia facultativa. Este hallazgo plantea la necesidad de realizar estudios más detallados sobre la variación en el sistema reproductivo, entre orientaciones de botones y flores, contrastantes.

Los frutos de la mayoría de cactáceas columnares son comestibles (Casas *et al.*, 1999, Casas y Barbera, 2002) y, en general, poseen un considerable valor de uso complementando la dieta de las familias campesinas de las zonas áridas en distintas épocas del año. Existen diversos trabajos relacionados con la utilidad de la especie (Cuadro I). Betanzos-González, en el 2008, caracterizó el subsistema de aprovechamiento del garambullo en la Colonia San Martín, Zapotitlán Salinas, Puebla; sus resultados indican que el garambullo es un recurso utilizado por la gente de la comunidad, a través de su recolección. Su aprovechamiento radica en el

consumo, en fresco, del fruto y la preparación de una bebida alcohólica, mediante su fermentación; la recolección del fruto depende en gran medida del tiempo asignado para dicha actividad, el modelaje de distribución potencial de la especie en la zona (en 668.78 hectáreas existen 1429 individuos, los cuales, en promedio, producen entre  $275 \pm 195$  frutos por hectárea) muestra que existe un potencial mayor de recolecta, sin que ésta afecte las poblaciones; la recolección se lleva a cabo principalmente por mujeres muy jóvenes, dedicadas al hogar y actividades de campo. Pocas son las personas que venden el fruto y/o lo procesan en licor.

**Cuadro I.** Usos reportados y estructura utilizada en el aprovechamiento de *Myrtillocactus geometrizans*, en diferentes localidades de México.

Localidad	Uso	Estructura utilizada	¿Cómo la consumen? Presentación	Referencia
Zapotitlán Salinas, Puebla	Alimentario	Frutos	En fresco Bebida alcohólica	Betanzos-González, 2008
Valle de Tehuacán- Cuicatlán	Alimentario	Frutos	En fresco Licor de Garambullo	Las plantas del Valle Tehuacán- Cuicatlán, 2008
	Construcción	Tallo	Cercas vivas Control de la erosión Como forrajera	
	Combustible		Leña	
“Los Mármoles”, Hidalgo	Alimentario	Frutos	Mermelada Dulces	Arias <i>et al.</i> , 2012
Estado de México, Hidalgo, Querétaro	Alimentario	Frutos	Frescos como postre Aguas frescas Nieves, paletas heladas Mermelada Almíbar Orejones Licor	Coronado y Vega, 1999
		Flores	Verdura Capeadas con huevo Fritas Complemento de algunos guisos Se cuecen y se utilizan en tostadas, tamales, tortitas con frijoles Cristalizada “claveles de garambullo”	
Querétaro	Alimentario	Frutos	Fresco Mermelada Paleta de hielo Pasa	Pérez-González, 1999

## **2. Justificación**

Para conservar poblaciones de cactáceas, es necesario conocer aspectos ecológicos y de aprovechamiento, con el fin de explorar características en la reproducción de las especies, que permitan detectar aquellos factores causantes de una baja producción de frutos y cómo el uso puede afectar la permanencia de las poblaciones en el sitio. La razón por la cual se realizó este estudio es debido a que, en la actualidad, no existe información de la biología floral y usos de *Myrtillocactus geometrizans*, en el sitio de estudio. Este trabajo busca vincular el conocimiento científico con el conocimiento y aprovechamiento tradicional de las comunidades, uno de los grandes retos de la ciencia actual en México.

### **3. Objetivos e hipótesis**

#### **Objetivo general**

Describir la biología floral y el uso de *M. geometrizzans* en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, para determinar si la reproducción natural de la especie permite la permanencia de su población en el sitio y si el uso puede ser sostenible.

#### **Objetivos particulares**

1. Describir la fenología, sincronía reproductiva, morfología y ciclo floral.
2. Conocer el sistema de apareamiento.
3. Determinar el sistema de cruce.
4. Identificar el síndrome de polinización y si hay limitación de polen.
5. Conocer los usos de la especie en la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro.

#### **Hipótesis**

Las hipótesis que se proponen para explicar la biología floral y uso de la especie de estudio, plantean que:

1. Dadas las características morfológicas y fisiológicas de las flores de *M. geometrizzans* (diurnas, blancas y pequeñas), se espera que los visitantes florales sean abejas y que estas promuevan el entrecruzamiento.
2. Si *M. geometrizzans* favorece el entrecruzamiento, se espera una mayor proporción de frutos y semillas en el tratamiento de entrecruza en comparación con el tratamiento de autocruza.
3. Sí presenta entrecruzamiento, el sistema de apareamiento será de tipo xenógamo (obligado o facultativo), presentando una alta relación de P/O.
4. Se espera que el principal uso sea de tipo alimentario, como se ha registrado en otros estados del país.

## 4. Materiales y métodos

### Sitio de estudio

El estudio se realizó en una zona de vegetación silvestre, en una loma adjunta al Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío”. Este sitio se localiza al sureste del municipio de Cadereyta de Montes, en el estado de Querétaro, entre las coordenadas geográficas 20° 41' 15.8" N y 99° 48' 17.7" O, a una altitud de 2046 m snm. La vegetación natural corresponde a un matorral xerófilo crasicaule; el clima es de tipo BS1 kw (w), semi-seco templado, con lluvias en verano (Fig. 2). La temperatura promedio anual es entre el rango de 12° - 19 °C y la precipitación promedio es de cerca de 550 mm al año. El suelo, de origen volcánico, es una mezcla de vertisol pélico y feozem háplico (Jardín Botánico Regional de Cadereyta, 2016).



**Figura 2.** Fisonomía de la vegetación y características físicas de la parte silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, en Cadereyta de Montes, Querétaro, México.

## Técnica de muestreo y análisis de datos

### ***Fenología y sincronía reproductiva***

El trabajo de campo se determinó mediante revisiones en el Herbario Nacional de México (MEXU), consulta de literatura y consultas personales. Por lo que se visitó la zona de estudio durante el 2014 con la siguiente periodicidad: de febrero a abril para la floración, marzo y abril para la fructificación y de mayo a agosto para la obtención de frutos.

Para describir la fenología floral, se muestrearon y marcaron, con una etiqueta de aluminio, a 30 individuos reproductivos de *M. geometrizzans*, donde se contabilizaron todas las ramas reproductivas presentes en cada individuo, posteriormente fueron seleccionadas y marcadas cinco ramas reproductivas, alrededor de la planta. En cada rama, se contaron el número de estructuras reproductivas (botones, flores abiertas, flores cerradas y frutos; Fig. 3) presentes durante cada uno de los cuatro muestreos, éstos se realizaron entre el 6 y 17 de marzo; y entre el 3 y 18 de abril del 2014. El número de estructuras reproductivas registradas en cada muestreo se multiplicó por el número total de ramas reproductivas de cada individuo, los datos se analizaron mediante gráficas de barras para los distintos muestreos en el programa de Excel 2013. La sincronía en la floración, se determinó mediante el *índice de Marquis* (1988): el cual estima la sincronía de floración entre individuos de una especie como:

$$S = \sum_{t=0}^n \frac{x_t}{\sum_{t=0}^n x_t} \cdot p_t$$

Donde  $x_t$  es el número de flores floreciendo durante el tiempo  $t$ , es la  $\frac{x_t}{\sum_{t=0}^n x_t}$

proporción de flores floreciendo durante el tiempo  $t$  del número total de flores floreciendo anualmente,  $n$  es el número de censos por año, y  $p_t$  es la proporción de individuos censados en flor durante el tiempo  $t$ . La proporción de individuos se



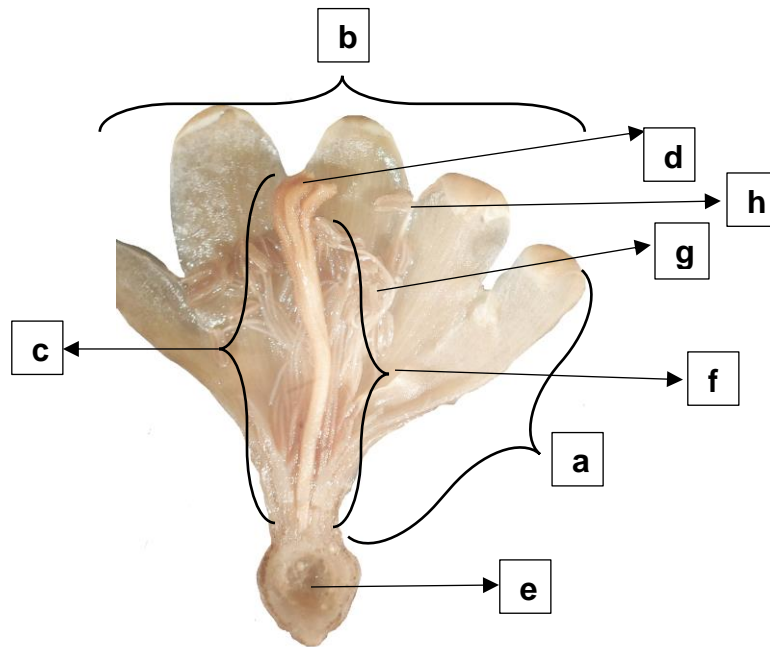
incluye aquí en lugar del número absoluto porque el tamaño de la muestra cambia con el tiempo. Esto significa que la sincronía máxima ( $S= 1$ ) se alcanza, para un individuo, cuando su patrón de visualización de recursos coincide con el número máximo de la floración de los individuos en la población. Se decidió utilizar el *Índice de Marquis*, ya que es el más apropiado, cuando se estudia la sincronía fenológica en relación con el forrajeo de polinizadores, la adecuación de la planta o el costo de entrecruzamiento (Freitas y Bolmgren, 2008).



**Figura 3.** Estructuras reproductivas de *Myrtillocactus geometrizans*. En una areola se observa: a) flor abierta, b) flor cerrada, c) un fruto inmaduro y d) botón floral.

### ***Morfología floral***

Mediante observaciones en campo se describió la morfología floral, se recolectaron 87 flores de 30 plantas diferentes, las cuales se preservaron en una solución fijadora de FAA (formaldehído, etanol, ácido acético y agua destilada). En el laboratorio, con ayuda de un vernier electrónico, se midieron los caracteres florales en (mm) presentes en *M. geometrizans* (Fig. 4). Se obtuvo la media y el error estándar para cada uno de los caracteres florales; los datos se analizaron en el programa estadístico Excel 2013.



**Figura 4.** Corte longitudinal de una flor de *Myrtillocactus geometrizans*. Se muestran los caracteres florales utilizados para describir la morfología floral: a) longitud del perianto, b) diámetro del perianto, c) longitud estilo-estigma, d) número de lóbulos del estigma, e) número de óvulos, f) longitud de estambres, g) número de estambres por flor y h) número de granos de polen por antera.

### **Ciclo floral**

El ciclo floral se describió midiendo con un vernier electrónico el diámetro del perianto de cada flor ( $n= 250$  flores), desde la antesis hasta el cierre completo del mismo; se consideró el diámetro de la flor a la hora máxima de apertura en flores de primer día (Mandujano *et al.*, 1996). Las observaciones iniciaron a las 9:30 h y concluyeron a las 13:00 h, con intervalos de 1 hora. Se obtuvo la media, el error estándar para el diámetro del perianto de la flor, en las distintas horas del día, los datos se analizaron mediante gráficas de barras, en el programa de Excel 2013.

### **Sistema de apareamiento**

Para conocer el sistema de apareamiento, se utilizó el índice de entrecruza de Cruden (OCI), este índice toma en cuenta tres características de la planta: diámetro de la flor, la presencia de hercogamia y de dicogamia (Cruden, 1977; Dafni, 1992). Para evaluar la presencia de hercogamia en laboratorio se midió sincrónicamente, con un vernier electrónico, la longitud del estilo-estigma y los estambres, en una muestra de 87 flores de 30 plantas diferentes (Martínez-Peralta, 2007). Posteriormente los datos se analizaron con una prueba de *t-pareada*, para saber si existen diferencias significativas entre la longitud del estilo-estigma y los estambres, con el programa minitab 17.0. (Minitab 17 Statistical Software, 2010).

Para determinar el nivel de dicogamia, se registró el comportamiento de los órganos sexuales. Se observó con lupa la dehiscencia de las anteras (ruptura del estomio y la posterior exposición de los granos de polen) y la receptividad del estigma (textura húmeda, viscosa y separación de los lóbulos del estigma) (Plasencia, 2004).

De acuerdo con las características del OCI en la flor, se asigna una calificación y la suma de estos valores corresponde con las siguientes categorías: 0= cleistogamia, 1= autogamia obligada (autocompatibles), 2= autogamia facultativa (autocompatibles y autógamas, con cierto grado de entrecruza), 3= xenogamia facultativa (autocompatible con cierta demanda de polinizadores) y 4= xenogamia (con entrecruza y demanda de polinizadores (Cuadro II).

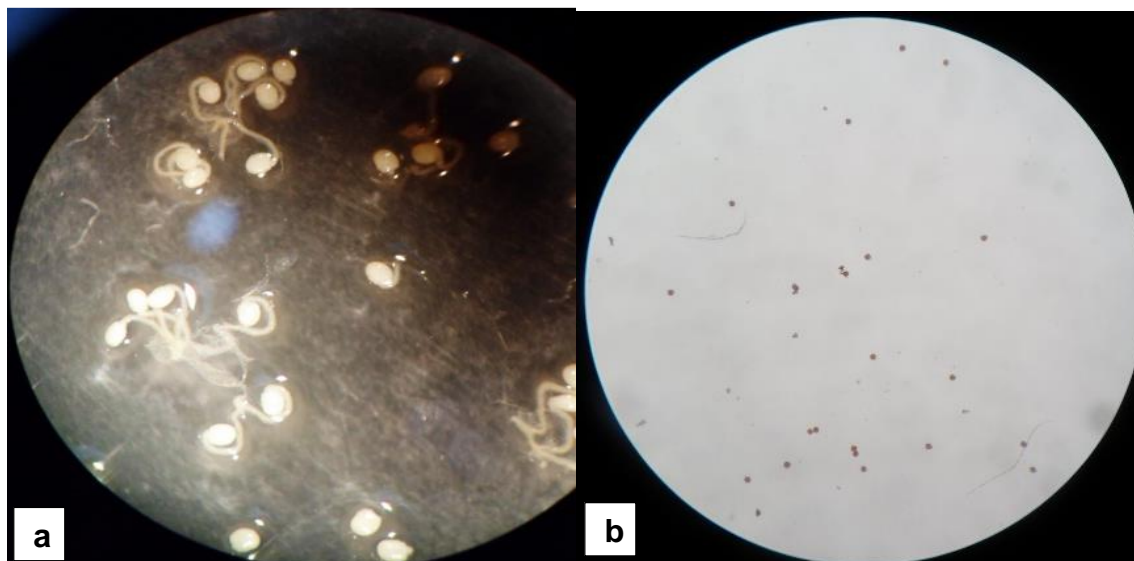
**Cuadro II.** Conducta floral y características evaluadas en el índice de entrecruza de Cruden (1977) (OCI). Se asigna una calificación a cada atributo y la suma de estos valores corresponde al OCI.

<b>Diámetro de la flor</b>	<b>Calificación</b>	<b>Separación temporal de las funciones sexuales</b>	<b>Calificación</b>	<b>Separación espacial de los órganos sexuales</b>	<b>Calificación</b>
< 1 mm	0	Homogamia y protoginia	0	Misma altura	0
1 – 2 mm	1	Protandria	1	Separados espacialmente	1
2 – 6 mm	2				
> 6 mm	3				

Otra forma de evaluar el sistema de apareamiento, es mediante el cociente P/O, propuesto por Cruden (1977) (Cuadro III). Para determinar la relación P/O se colectaron 87 flores de 30 plantas diferentes, éstas se preservaron en una solución fijadora de FAA (formaldehído, etanol, ácido acético y agua destilada). En el laboratorio se realizaron cortes longitudinales de las flores, y se procedió a contabilizar todos los óvulos presentes en el ovario de la flor, visualizándolos con un microscopio estereoscópico, Leica ZOOM 2000, a un aumento de 100x (Fig. 5). Posteriormente, de los cortes longitudinales de las flores se contaron el número de anteras totales. También fueron recolectadas 86 anteras indehiscentes de flores de 30 plantas diferentes, las cuales se colocaron en tubos Eppendorf de 2 ml. En el laboratorio se procedió a contar lo granos de polen de cada antera, para ello, se colocó una antera dentro de un tubo Eppendorf de 1.5 ml, se abrió con una aguja de disección y se adicionó 1 ml de agua, después se agitó vigorosamente, para tomar una alícuota que se depositó sobre un portaobjetos, para visualizar y contabilizar los granos de polen se usó un microscopio estereoscópico Leica ZOOM 2000, este proceso se repitió hasta agotar el volumen de agua empleado (Fig. 5). El número promedio de granos de polen de todas las muestras se multiplicó por el número promedio de anteras por flor, dando como resultado el número de granos de polen por flor (Kearns e Inouye, 1993).

**Cuadro III.** Sistemas de apareamiento y su relación con el cociente P/O (Cruden, 1977).

<b>Sistema de apareamiento</b>	<b>Coficiente P/O Cruden</b>
Cleistogamia	4.7 ± 0.7
Autogamia obligada	27.7 ± 3.1
Autogamia facultativa	168.5 ± 22.1
Xenogamia facultativa	769.6 ± 87.7
Xenogamia	5859.2 ± 936.5



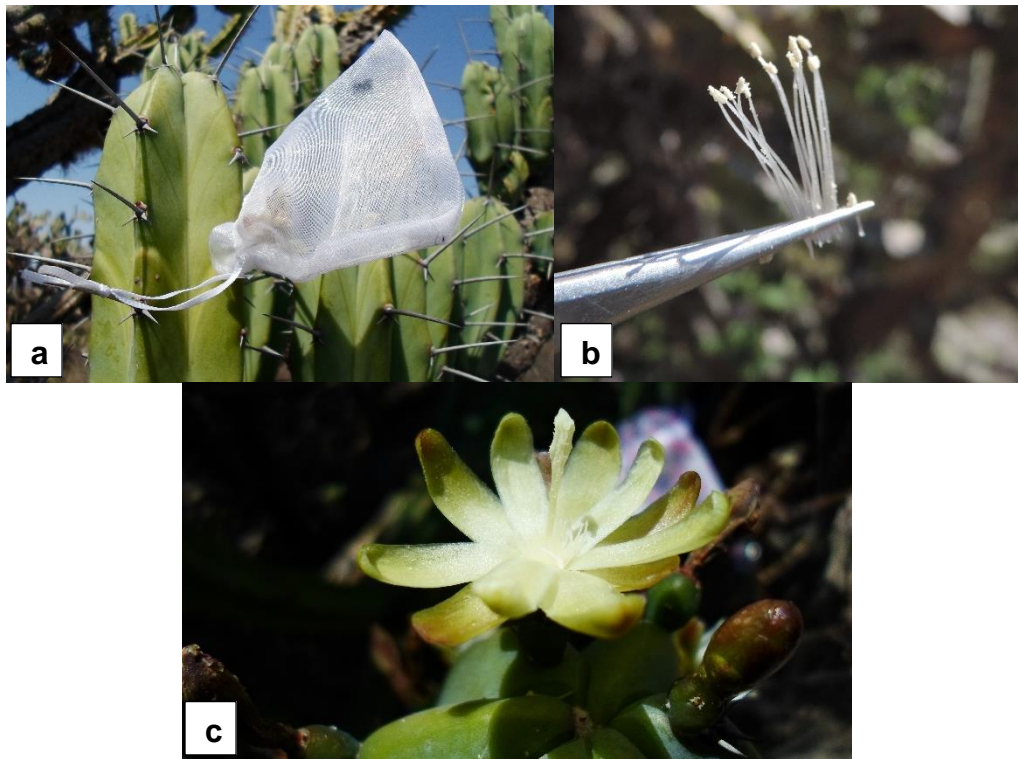
**Figura 5.** Fotografía tomada a través del lente a 100x, de un microscopio estereoscópico Leica ZOOM 2000, se observan: a) óvulos y b) granos de polen de *Myrtillocactus geometrizans* durante su conteo.

### **Sistema de cruza**

El sistema de cruza se determinó experimentalmente mediante polinizaciones controladas en la temporada reproductiva del 2015, se midió el efecto del tipo de polinización (factor) en el éxito reproductivo utilizando un diseño de bloques completamente aleatorizado. La muestra consistió de 30 individuos (bloque) de *M. geomerizans*, en los cuales se aplicaron cuatro tratamientos de polinización (niveles) y un grupo control. Los tratamientos de polinización controlada fueron entrecruza, autocruza manual, autocruza natural, polen-suplementario y control siguiendo la metodología general propuesta por Kearns e Inouye (1993). En cada individuo se usaron cinco flores (unidad experimental), tratadas con los distintos tratamientos, fueron asignadas de forma aleatoria dentro de cada bloque. La cantidad de flores manipuladas fue de 750 (cinco flores x cinco tratamientos de polinización x 30 individuos).

Para el tratamiento de entrecruza, los botones fueron aislados de los visitantes florales, antes de que abrieran, con bolsas de tul (Fig. 6a). Cuando las flores abrieron, se descubrieron y fueron emasculadas (Fig. 6c). Posteriormente, se tomó el polen de flores de individuos diferentes de las flores a las cuales se les aplicaba

el tratamiento (Fig. 6b). Este polen se colocó con un pincel en el estigma de las flores emasculadas previamente. Después de aplicar el tratamiento, las flores se marcaron con barniz color azul y fueron embolsadas en bolsas de tul y sujetadas alrededor del brazo vegetativo de la planta ( $n= 150$  flores).



**Figura 6.** Experimento de entrecruza en flores de *Myrtillocactus geometrizans*, se observa: a) flores aisladas de los visitantes florales; b) estambres utilizados como donadores de polen y c) flor emasculada (receptora) ( $n= 150$  flores).

En la autocruza manual, los botones fueron aislados de los visitantes florales con bolsas de tul, antes de que abrieran, cuando las flores abrieron, se descubrieron y el polen de las anteras fue colocado con un pincel en el estigma de la misma flor (Fig. 7). Después de aplicar el tratamiento, las flores se marcaron con barniz color amarillo, posteriormente fueron embolsadas en bolsas de tul y se sujetaron alrededor del brazo vegetativo de la planta ( $n= 150$  flores).



**Figura 7.** Experimento de autocruza manual en flores de *Myrtillocactus geometrizans*, ( $n= 150$  flores).

En el tratamiento de autocruza natural, los botones fueron embolsados con bolsas de tul antes de que abrieran. Sucesivamente, los botones se mantuvieron encerrados durante la apertura y hasta el cierre de la flor (Fig. 8). Posteriormente, las flores se descubrieron para marcarlas con barniz color naranja, fueron embolsadas en bolsas de tul y se sujetaron alrededor del brazo vegetativo de la planta. No hubo manipulación de las flores, pues se probó si hay autofecundación de manera natural o espontánea, sin requerimientos de un polinizador ( $n= 150$  flores).



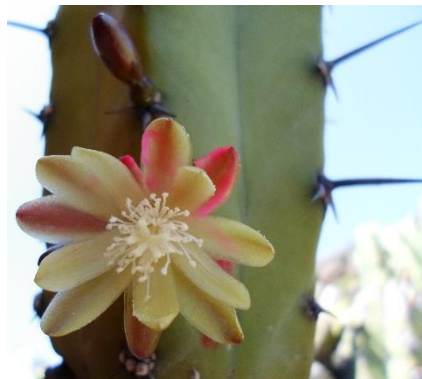
**Figura 8.** Experimento de autocruza natural en flores de *Myrtillocactus geometrizans*, ( $n= 150$  flores).

Para evaluar el tratamiento control, las flores se dejaron expuestas a los polinizadores durante el tiempo que permanecen abiertas (Fig. 9), se marcaron con un barniz blanco ( $n= 150$  flores).



**Figura 9.** Tratamiento control en flores de *Myrtillocactus geometrizans*. Se observa la flor abierta y expuesta a los visitantes florales, ( $n= 150$  flores).

El último experimento fue el tratamiento de polen-suplementario, en este tratamiento, las flores se dejaron expuestas a los polinizadores durante el tiempo que duran abiertas y a la hora de receptividad del estigma se les adicionó, con un pincel, una mezcla de polen de 10 flores de individuos diferentes en el estigma. Una vez que las flores cerraron, se procedió a marcarlas con barniz color rosa (Fig. 10), se cubrieron con bolsas de tul, sujetadas alrededor del brazo vegetativo de la planta.



**Figura 10.** Experimento de polen-suplementario en flores de *Myrtillocactus geometrizans*, ( $n= 150$  flores).

Para analizar los tratamientos del sistema de cruce, se colectaron los frutos de cada uno de los tratamientos después de su maduración y desprendimiento de la areola.



Se contó el número de frutos obtenidos por tratamiento y se contabilizaron todas las semillas presentes en cada fruto. Con los datos obtenidos del tratamiento control, se calculó el número y porcentaje de frutos y el promedio de semillas por fruto. Posteriormente se hizo un análisis, ajustando un modelo lineal generalizado (GLM), para evaluar las diferencias entre las proporciones de frutos formados (*fruit set*) en los tratamientos de polinización, asignando un error de tipo binomial (Crawley, 1993). Los datos del número de semillas por fruto (*seed set*) se analizaron con una tabla de contingencia, ajustando GLM con una distribución del error de tipo Poisson (Crawley, 1993). Para encontrar diferencias entre tratamientos se realizaron pruebas de contrastes múltiples, con el estadístico de chi-cuadrada. Todos los análisis se hicieron con el programa JMP 5.0.1 (SAS 2001).

Finalmente, se realizaron pruebas de germinación *in vitro* de las semillas formadas en los tratamientos de polinización controlada. Se colocaron en una caja Petri 10 semillas por tratamiento, con agar bacteriológico simple al 10%, se mantuvieron incubadas en una cámara ambiental (germinación/ establecimiento) modelo: Lab-line 844, con fotoperiodo controlado (12h luz/ 12h oscuridad), a una temperatura de 25°C, hasta que emergió la radícula, la germinación fue monitoreada semanalmente, durante el mes de octubre de 2015.

### ***Síndrome de polinización y limitación de polen***

El síndrome de polinización se identificó mediante observaciones en campo, se realizaron durante seis días un total de 36 horas de observación, del 30 de marzo al 4 de abril de 2015. En una muestra de 80 flores de 30 plantas distintas, se observaron los visitantes que llegaban a las flores de *M. geometrizans*, se contaron el número de visitas en cada flor, desde las 9:30 h hasta las 13:00 h, las observaciones se realizaron durante lapsos de 15 min cada hora. Se registró la frecuencia de visitas por morfoespecie a cada flor y se describió su conducta (si tiene contacto o no con el estigma y/o anteras). Las trampas de cianuro se usaron para recolectar y sacrificar a las morfoespecies identificadas de los visitantes florales de *M. geometrizans*, se registró la hora de colecta y posteriormente se

procedió a montarlos con alfileres entomológicos para su posterior identificación. Los ejemplares montados se llevaron con el especialista en sistemática de abejas, el Dr. Ismael Alejandro Hinojosa Díaz, del Instituto de Biología de la UNAM, quien identificó las morfoespecies o los morfotipos de abejas asignados en campo, hasta género, en algunos casos a especie; los demás visitantes florales, que no son abejas, fueron identificados por el Biól. Manuel Edday Farfán Beltrán, del Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Con los datos obtenidos, se graficó la frecuencia de visita de los diferentes insectos en las distintas horas, en el programa de Excel 2013.

Los resultados del tratamiento de polen suplementario comparados con los del tratamiento control, servirán para saber si existe limitación por polen (Kearns e Inouye, 1993). El índice de limitación por polen ( $L$ ) se calcula con la fórmula:

$$L = 1 - (P_o/P_s)$$

Donde  $P_o$  es el porcentaje del conjunto de frutos de los controles de polinización abierta y  $P_s$  es el porcentaje del conjunto de frutos por plantas que han recibido polen suplementario de entrecruza.  $L = 0$  indica que no hay limitación por polen en la población en estudio y  $L = 1$  indica que existe una total limitación por polen (Young y Young, 1992; Burd, 1994).

### **Uso de *M. geometrizzans***

Para conocer el uso de *M. geometrizzans*, se realizaron entrevistas estructuradas. Una entrevista es una herramienta metodológica de obtención de información mediante preguntas orales o escritas, planteadas a un universo o muestra de personas que tienen las características requeridas por el problema de investigación (Briones, 1996). Esta entrevista fue de tipo seccional, debido a que se realizó en una muestra de la población, en un período corto de tiempo. Son estudios sincrónicos, en un mismo tiempo y corresponden a “fotografías instantáneas” que se toman en un momento dado (Briones, 1996).

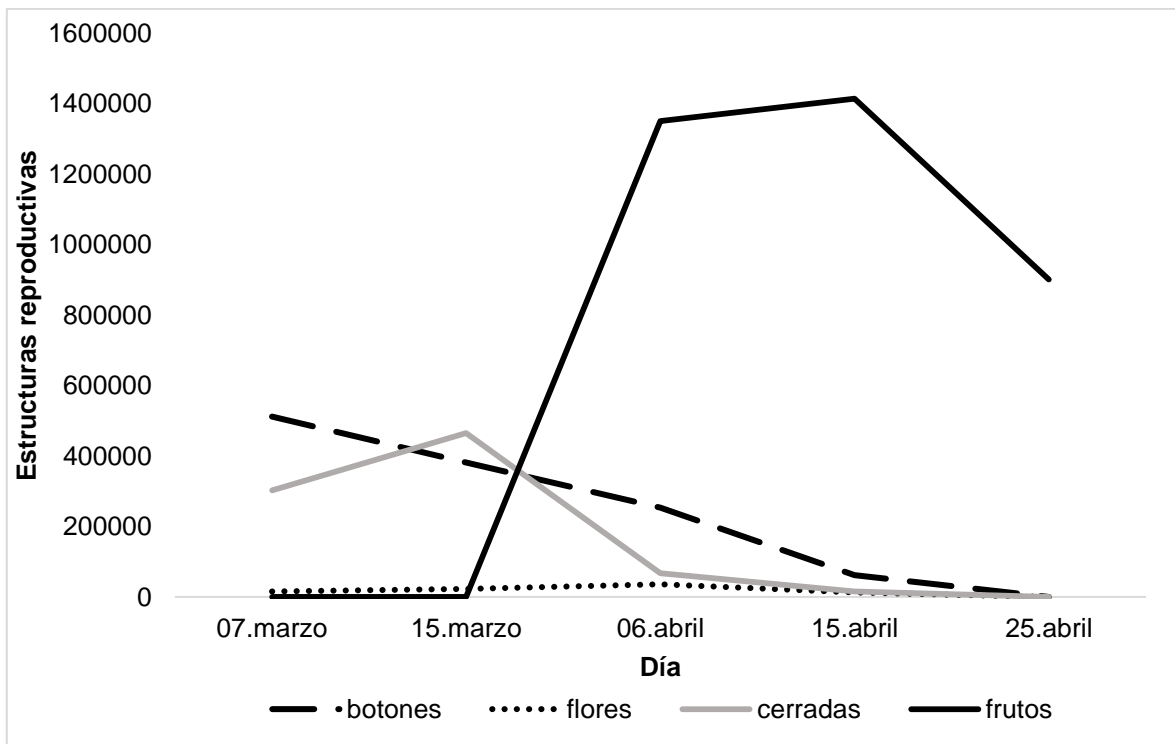
El sitio de muestreo fue la cabecera municipal de Cadereyta de Montes en el estado de Querétaro, y se realizaron 100 encuestas al azar (83% de los encuestados fueron

mujeres y el 17% hombres), del 23 de septiembre al 2 de octubre del 2015, se aplicaron ese número de encuestas, ya que cuando el tamaño del colectivo es demasiado grande, el investigador toma sólo una parte del mismo, de acuerdo con ciertas reglas de procedimiento, que están basadas en la teoría de las probabilidades. El formato de la entrevista se construyó con la asesoría de la Biól. Ruth Julieta Chávez Martínez y la M. en C. Amaranta Ramírez Terrazo (ver Anexo I). La entrevista fue apoyada con el uso de fotografías que sirvieron como estímulo para la obtención del conocimiento local sobre los órganos de la planta (ver Anexo II). Los datos recabados se analizaron mediante categorías que permitieron conocer los patrones en el conocimiento local sobre las prácticas del uso de la especie. Dichos datos se graficaron en el programa de Excel 2013.

## 4. Resultados

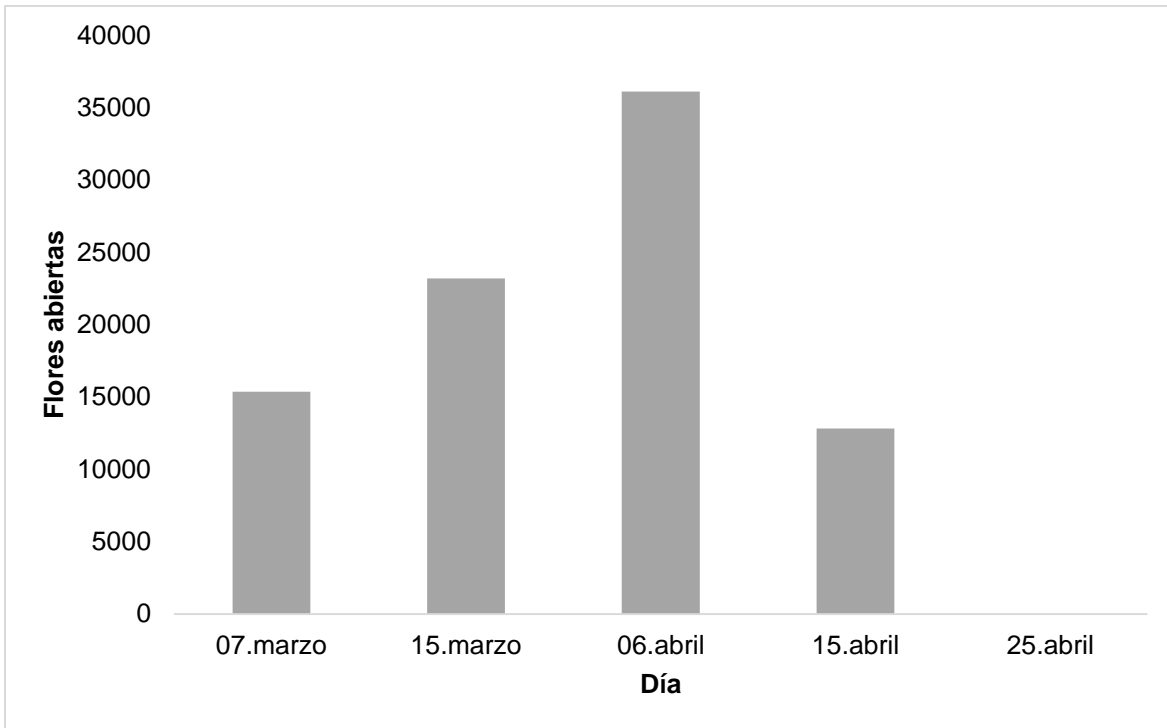
### ***Fenología y sincronía reproductiva***

*Myrtillocactus geometrizans* florece una vez al año, presenta una floración primaveral, que inicia a finales del mes de febrero y se prolonga hasta finales del mes de abril, con un pico de floración en los primeros días de este mes. Su período de fructificación comienza a principios de abril y finaliza cuando los frutos están completamente maduros, entre finales de julio y principios de agosto (Fig. 11).



**Figura 11.** Fenología reproductiva de *Myrtillocactus geometrizans* en Cadereyta de Montes, Querétaro ( $n=30$ ).

El pico de floración dura dos semanas, con el máximo número de flores abiertas 1203 (en una planta) para el día 6 de abril (Fig. 12). El *Índice de Marquis* (1988), indica que la población presenta una floración sincrónica ( $S=0.78$ ), es decir, la mayoría de los individuos en la población producen una cantidad similar de flores, las cuales se encuentran abiertas al mismo tiempo.



**Figura 12.** Pico de floración de *Myrtillocactus geometrizans*, en Cadereyta de Montes, Querétaro ( $n= 30$ ).

### **Morfología floral**

Las flores de *M. geometrizans* son hermafroditas, diurnas, protándricas, de simetría radial y tienen forma de campana. El perianto está compuesto de tépalos obtusos y libres, dispuestos en espiral, se aprecian los segmentos externos del perianto blanco-verdosos en la base, con toques color rojizo-marrón en el ápice del tépalo, los segmentos del perianto interno son blanco-verdosos con toques color verde en el ápice (Fig. 13). Las flores son pequeñas, el diámetro del perianto, a la hora de mayor apertura, mide menos de 4 cm. En el cuadro IV, se muestran las medidas florales promedio de distintas estructuras.



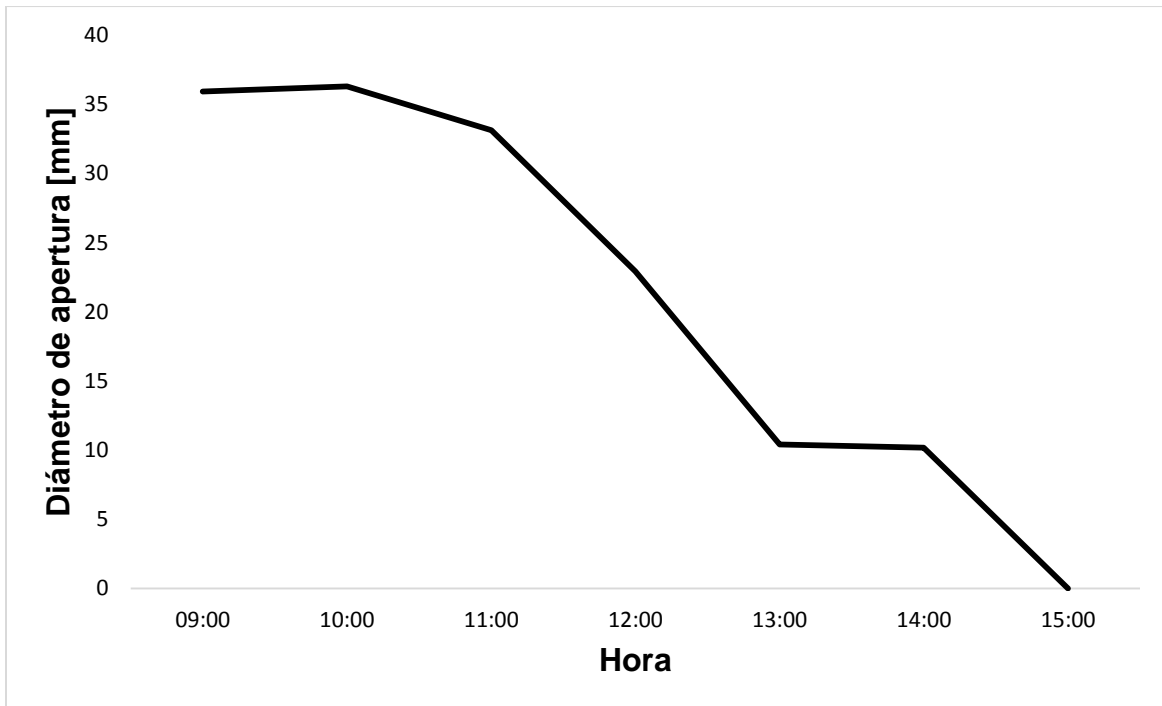
**Figura 13.** Flor de *Myrtillocactus geometrizans* en Cadereyta de Montes, Querétaro. Mostrando el perianto, androceo y gineceo.

**Cuadro IV.** Medidas de los caracteres florales de *Myrtillocactus geometrizans* en Cadereyta de Montes, Querétaro ( $n= 87$ ).

Característica	$\bar{X} \pm e. e$
Longitud del perianto	$22.6 \pm 0.23$
Diámetro de perianto	$22.4 \pm .034$
Longitud estilo-estigma	$15.4 \pm 0.20$
Número de lóbulos del estigma	$4.7 \pm 0.08$
Número de óvulos	$110 \pm 2.87$
Longitud de estambres	$12.7 \pm 0.18$
Número de estambres por flor	$87 \pm 1.42$
Número de granos de polen por antera	$511.9 \pm 19.94$

### **Ciclo floral**

Las flores presentan una hora de apertura variable, que parece responder a la incidencia de luz solar y comienzan a cerrar entre las 13:00 y 14:00 h ( $\bar{X} \pm e. e.= 10.42 \pm 1.49$  mm de apertura a las 13:00 h y  $10.98 \pm 1.41$  mm de apertura a las 14:00 h), a las 15:00 h la flor se encuentra completamente cerrada, la máxima apertura del perianto se alcanza alrededor de las 10:00 h ( $\bar{X} \pm e. e.= 36.30 \pm 0.45$  mm) (Fig. 14). La longevidad floral observada fue de solo un día, por unas horas.



**Figura 14.** Ciclo floral de *Myrtillocactus geometrizans* Cadereyta de Montes, Querétaro ( $n=250$ ).

### **Sistema de apareamiento**

La prueba de *t*-pareada ( $t= 12.41$ ,  $P=<0.0001^*$ ,  $g. l.= 85$ ), indica que las flores de *M. geometrizans* presentan hercogamia; las anteras y estigma están separados espacialmente y la longitud estilo-estigma es significativamente mayor que la longitud de los estambres ( $\bar{X} \pm e. e.= 12.7 \pm 0.18$  mm estambres y  $15.4 \pm 0.20$  mm estilo-estigma). Respecto a la separación temporal de las funciones sexuales se propone que *M. geometrizans* presenta dicogamia; ya que primero se observó la liberación de polen y posteriormente los lóbulos del estigma se separaron e hidrataron favoreciendo la receptividad (Fig. 15). Considerando los resultados obtenidos en las sincronías reproductivas y el diámetro del perianto, se obtuvo un OCI de 5 (Cuadro V), lo que indica que *M. geometrizans* presenta xenogamia con entrecruza y demanda de polinizadores.



**Figura 15.** a) Flor de *Myrtillocactus geometrizans* con los lóbulos del estigma cerrados y anteras de aspecto granuloso (dehiscentes). b) flor con los lóbulos del estigma abiertos, las anteras son más pequeñas debido a que están vacías (los granos de polen ya fueron liberados y transportados).

**Cuadro V.** Cálculo del OCI (Cruden, 1977) de *Myrtillocactus geometrizans* en Cadereyta de Montes, Querétaro ( $n= 87$  flores de 30 plantas).

Característica de la flor	Puntaje OCI	
Diámetro del perianto	> 6 mm	3
Separación temporal de las funciones sexuales	Protandria	1
Separación espacial de los órganos sexuales	Hercogamia	1

Con respecto al conteo de polen y óvulos por flor, se obtuvo una relación P/O de 408.19 y se sugiere que la especie presenta xenogamia facultativa, es autocompatible con cierta demanda de polinizadores (Cuadro VI).

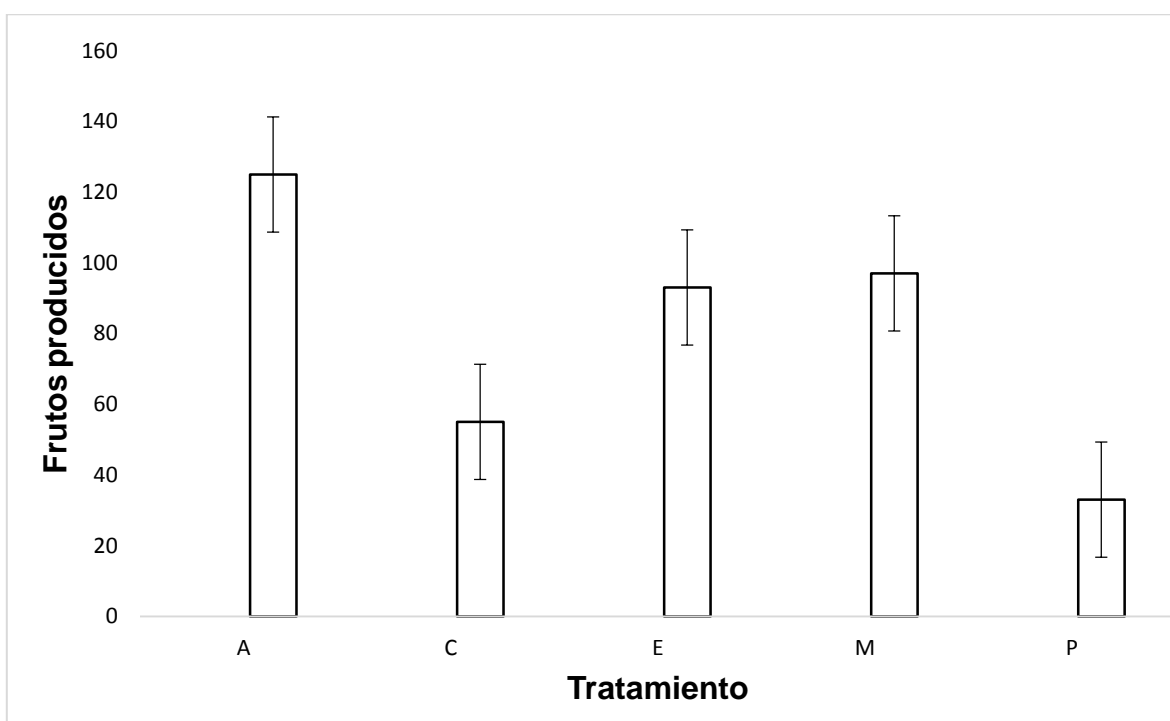
**Cuadro VI.** Características florales que determinan el sistema de apareamiento considerando la relación P/O de *Myrtillocactus geometrizans* en Cadereyta de Montes, Querétaro ( $n= 87$  flores de 30 plantas).

Característica floral	$\bar{X} \pm e. e.$
Óvulos por flor	$110 \pm 2.87$
Estambres por flor	$87 \pm 1.42$
Promedio total de granos de polen por flor	$44901.4 \pm 1986.55$
Relación P/O	$408.19 \pm 0.22$
Sistema de apareamiento	<b>xenogamia facultativa</b>



### **Sistema de cruza**

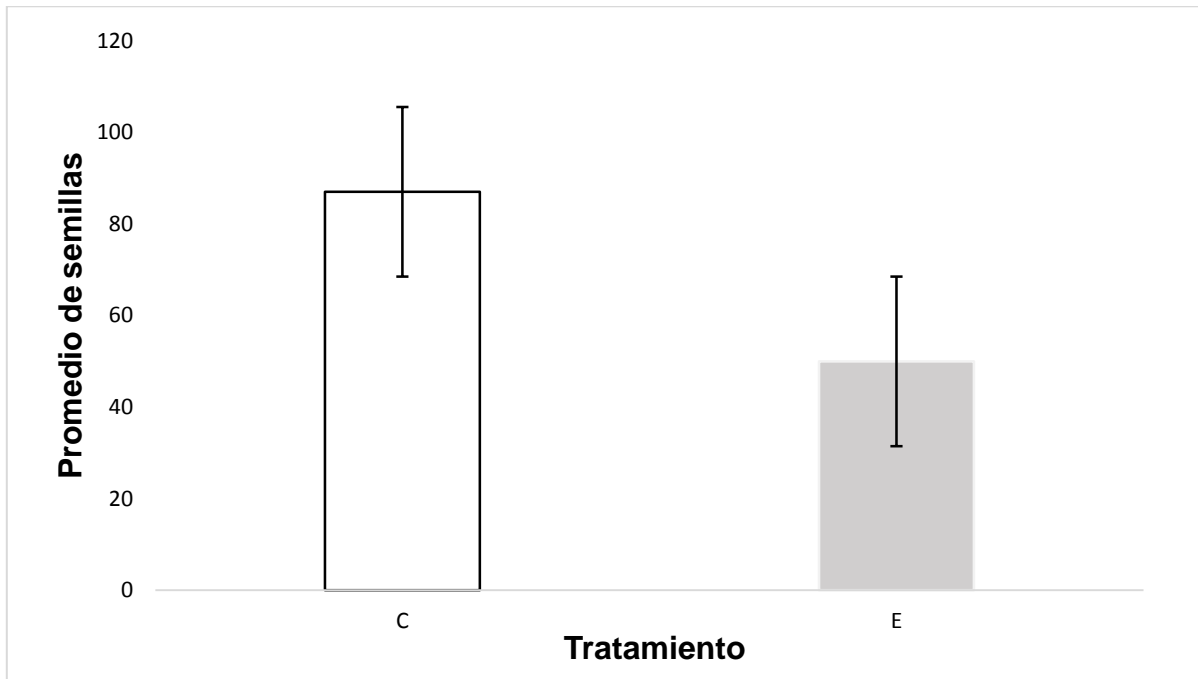
El análisis de modelos lineales generalizados indica que existen diferencias significativas en la producción de frutos entre tratamientos (frutos:  $\chi^2 = 151.08$ , g. l. = 4,  $P = < 0.0001^*$ ; Fig. 16). Se presentó una alta producción de frutos en los tratamientos entrecruza, autocruza manual y autocruza natural, se registró la formación en los tratamientos entrecruza, autocruza manual y autocruza natural, se registró la formación de 93 frutos en entrecruza (62%), 97 en autocruza manual (64.66%) y 125 frutos para autocruza natural (83.33%). En cambio, los experimentos control y polen suplementario presentaron una baja producción de frutos, se formaron 55 frutos en el tratamiento control (36.66%) y 33 frutos para polen suplementario (22%).



**Figura 16.** Producción de frutos por tratamiento de polinizaciones controladas en *Myrtillocactus geometrizans*. A= autocruza natural, C= control, E= entrecruza, M= autocruza manual y P= polen suplementario.

Solamente los frutos de los tratamientos control y entrecruza lograron formar semillas; el análisis de modelos lineales generalizados indica que existen

diferencias significativas en la producción semillas entre tratamientos (frutos:  $\chi^2=151.08$ , g. l.= 4,  $P=<0.0001^*$ ; semillas:  $\chi^2=4564.15$ , g. l.= 1,  $P=<0.0001^*$ ). De los 55 frutos producidos en el tratamiento control se encontró un promedio de ( $\bar{X} \pm e. e.=87 \pm 12$  semillas), mientras que en el tratamiento de entrecruza de los 93 frutos producidos, sólo siete de éstos lograron formar semillas y se encontró un promedio de ( $\bar{X} \pm e. e.=50 \pm 19$  semillas; Fig. 17). En el resto de las cruza, los frutos sí se formaron y maduraron, pero solamente contienen pulpa, sin semillas (Cuadro VII). Respecto a la germinación de semillas, el tratamiento de entrecruza tuvo un mayor porcentaje de germinación (60%) en comparación con el tratamiento control (10%).



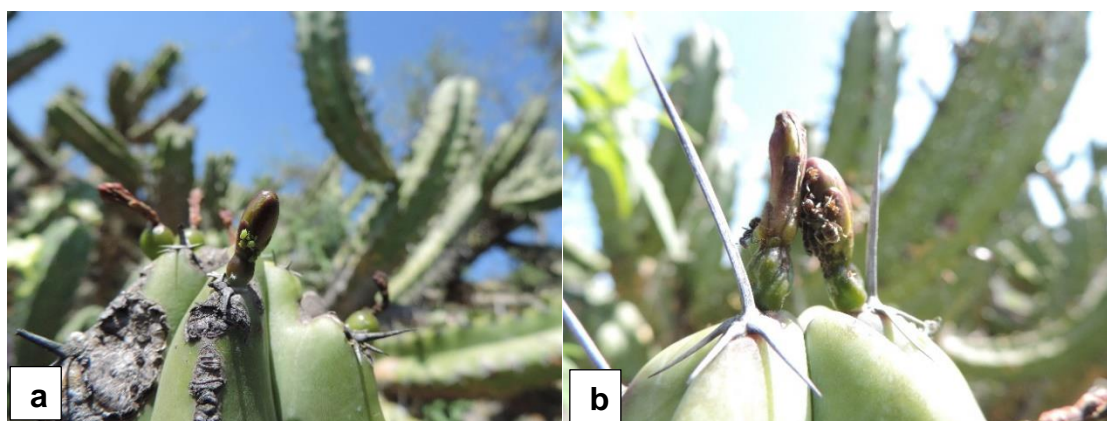
**Figura 17.** Promedio del número de semillas formadas en frutos producidos de los tratamientos C= control y E= entrecruza de polinizaciones controladas en *Myrtillocactus geometrizans*.

**Cuadro VII.** Formación de frutos y semillas por tratamiento en *Myrtillocactus geometrizans*. A= autocruza natural, C= control, E= entrecruza, M= autocruza manual y P= polen suplementario ( $n= 750$  flores).

Tratamiento	Número de flores	Número de frutos	(%) de frutos	Número $\bar{X}$ de semillas
A	150	125	83.33	sin semillas
C	150	55	36.66	87
E	150	93	62	50
M	150	97	64.66	sin semillas
P	150	33	22	sin semillas

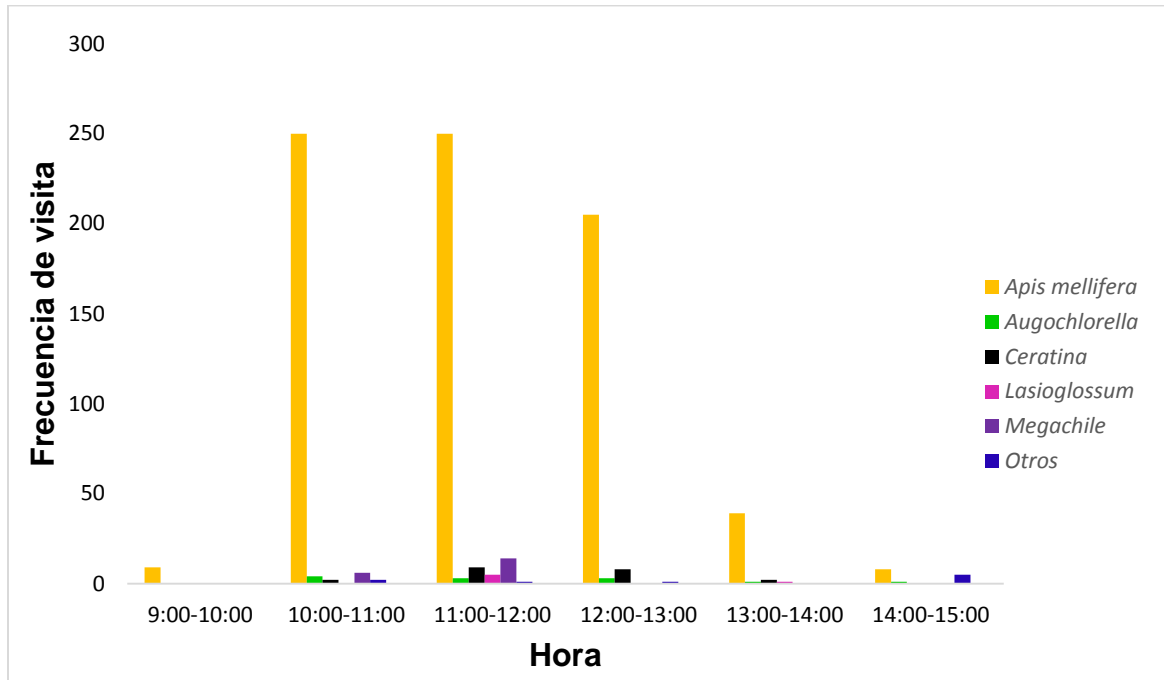
### **Síndrome de polinización y limitación de polen**

Los visitantes florales observados son la abeja europea *Apis mellifera* y nueve abejas pertenecientes a los géneros *Ceratina*, *Megachile*, *Augochlorella*, *Lasioglossum* (dos morfoespecies), *Macrotera*, *Bombus* (dos morfoespecies) y *Colletes*; además de chinches pertenecientes a la familia *Lygaeidae*, hormigas del género *Companotus*, un díptero de la familia *Phoridae*, una morfoespecie de mariposa y una avispa. Se observaron pulgones pertenecientes a la familia *Aphididae* que consumen néctar extrafloral de los botones florales (Fig. 18).



**Figura 18.** Se observan: a) pulgones de la familia *Aphididae* y b) hormigas del género *Companotus*, consumiendo néctar en los botones de *Myrtillocactus geometrizans*.

Las flores comienzan a ser visitadas alrededor de las 9:00 h y a las 11:00 h se presenta la mayor frecuencia de visitas. La especie que más visitas realiza a las flores de *M. geometrizarans* es *Apis mellifera* (250 visitas a las 11:00 h;  $n= 80$  flores), seguida de tres géneros de abejas solitarias *Ceratina*, *Megachile* y *Augochlorella* (con 21, 20 y 12 visitas registradas entre las 11:00 y 12:00 h respectivamente;  $n= 80$  flores; Fig. 19).



**Figura 19.** Frecuencia de visitas a flores de *Myrtillocactus geometrizarans* de los cinco principales visitantes durante la antesis floral ( $n=80$ ).

*Apis mellifera* (Fig. 20) y las especies pertenecientes a los géneros *Bombus* y *Megachile* son los visitantes de talla más grande y debido a su actividad de forrajeo, durante sus visitas, pueden ser los polinizadores más eficientes de *M. geometrizarans*.



**Figura 20.** Individuo de *Apis mellifera* realizando visitas a flores de *Myrtillocactus geometrizans*.

*Apis mellifera* inicialmente ubica grandes parches con una gran cantidad de flores, cuando llega a una flor, se sujeta de los filamentos del estambre y su abdomen tiene contacto directo con el estigma, mientras busca néctar para comer, permanece entre 8 y 10 s, aproximadamente; después de consumir néctar recolecta pocas cantidades de polen. Se observó que algunas veces vuelan hacia otras ramas en busca de parches con más flores, pero regresan 30 s después a la flor inicial (Fig. 21).

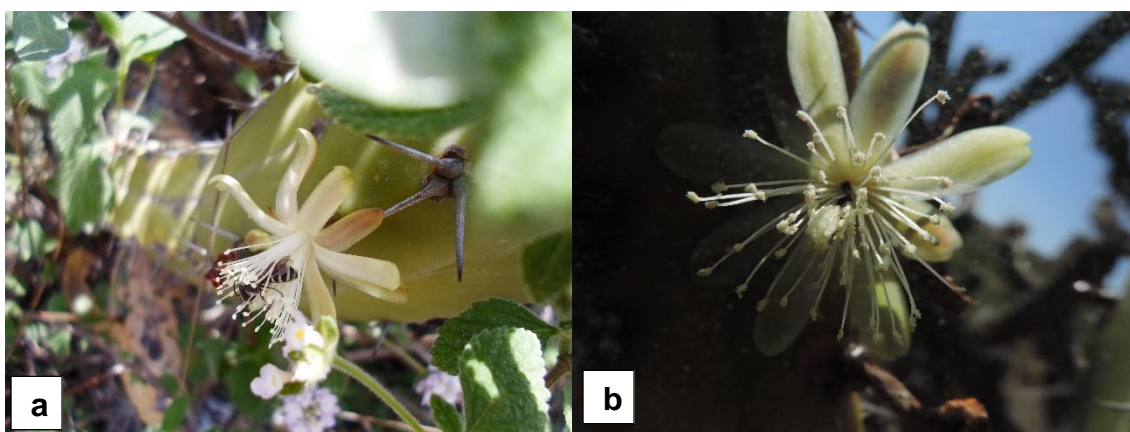


**Figura 21.** Individuos de *Apis mellifera* consumiendo néctar y polinizando diferentes flores de *Myrtillocactus geometrizans*.

Las abejas solitarias, pertenecientes al género *Megachile*, realizan vuelos rápidos sobre los parches florales, aparentemente detectan la disponibilidad de flores y seleccionan lugares donde hay una mayor cantidad; cuando llegan a la flor, se abren paso entre los múltiples estambres y su abdomen tiene contacto directo con el estigma, al igual que la abeja de la miel, la principal recompensa por la cual son atraídas las abejas es el néctar, cuando éste se agota, recolectan grandes cantidades de polen, su forrajeo lo realizan de forma individual y permanecen 8 s aproximadamente en contacto con la flor.

Los representantes del género *Bombus* llegan a las flores que se encuentran en las ramas más altas del cactus, durante el vuelo ubican las flores y mientras buscan néctar, con sus patas se sujetan de los estambres y su abdomen tiene contacto directo con el estigma, una vez que terminan de alimentarse de néctar, proceden a revolotear ente 3 y 4 s frente a la flor, después de este revoloteo recolectan polen.

Las abejas solitarias, de tallas menores, corresponden a los géneros *Ceratina*, *Augochlorella*, *Lasioglossum*, *Macrotera* y *Colletes* (Fig. 22). Su comportamiento y patrón de forrajeo difiere de abejas de tallas grandes. Estas abejas realizan búsquedas rápidas de parches con grandes cantidades de flores, realizan su forrajeo individual y debido a su tamaño, frecuentemente tienen menor contacto con el estigma. Cuando llegan a la flor caminan por los segmentos internos del perianto, hasta llegar y permanecer en el androceo durante un minuto recolectando polen, la recolección la realizan sujetándose de los filamentos del estambre, salen de la flor tocando el estigma; la mayoría de estas abejas fueron poco frecuentes.



**Figura 22.** Individuos posiblemente pertenecientes a los géneros *Colletes* (a) y *Lasioglossum* (b) polinizando flores de *Myrtillocactus geometrizans*.

Mariposas, avispas, chinches, hormigas, dípteros y pulgones fueron visitantes ocasionales, considerados como robadores de néctar, ya que nunca se observó un contacto directo con el estigma, y tampoco se observó que tuvieran contacto directo con los estambres.

*Myrtillocactus geometrizans* presenta un síndrome de polinización melitófilico, generalista, ya que no hay un polinizador específico que lleve a cabo el proceso; sin embargo, los visitantes florales identificados como potenciales polinizadores son abejas (Cuadro VIII), en su mayoría, especies de abejas solitarias nativas, aunque el mayor número de visitas lo realiza la abeja europea.

**Cuadro VIII.** Polinizadores y otros visitantes florales en *Myrtillocactus geometrizans* en Cadereyta de Montes, Querétaro ( $n= 80$ ).

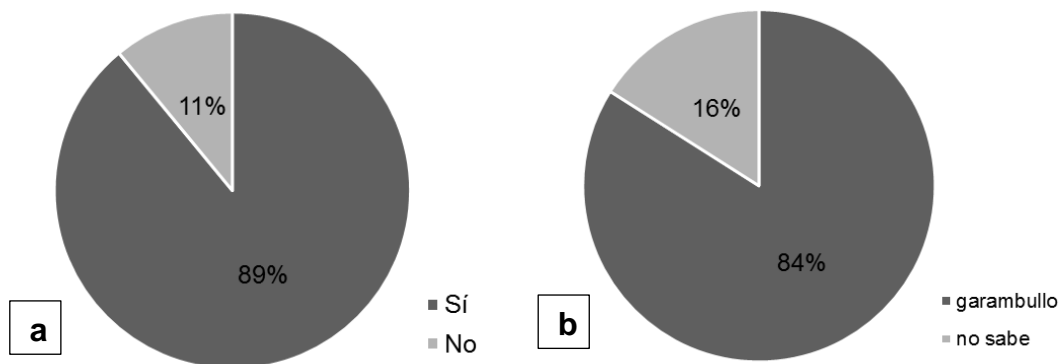
<b>Visitante floral</b>	<b>Actividad</b>
<i>Apis mellifera</i> (abeja)	Polinizador
Aphididae (pulgón)	Nectarívoro
<i>Augochlorella</i> (abeja)	Polinizador
Avispa	Nectarívoro
<i>Bombus</i> (abeja)	Polinizador
<i>Ceratina</i> (abeja)	Polinizador
<i>Colletes</i> (abeja)	Polinizador
<i>Companotus</i> (hormiga)	Nectarívoro
<i>Lasioglossum</i> (abeja)	Polinizador
Lygaeidae (chinche)	Nectarívoro
<i>Macrotera</i> (abeja)	Polinizador
Mariposa	Polinívoro y nectarívoro
<i>Megachile</i> (abeja)	Polinizador
Phoridae (díptero)	Nectarívoro

Con respecto a la limitación por polen, se encontró que el porcentaje de frutos formados en el tratamiento control fue de 36.66% y en el tratamiento de entrecruza fue de 62%, el índice de limitación por polen, propuesto por Barret y Larson (1993), indica que *M. geometrizans* presenta limitación por polen ( $L= 0.66 > 0.5$ ), es decir, que la especie se vale de entrecruza y así mismo que los polinizadores no son efectivos durante la visita.



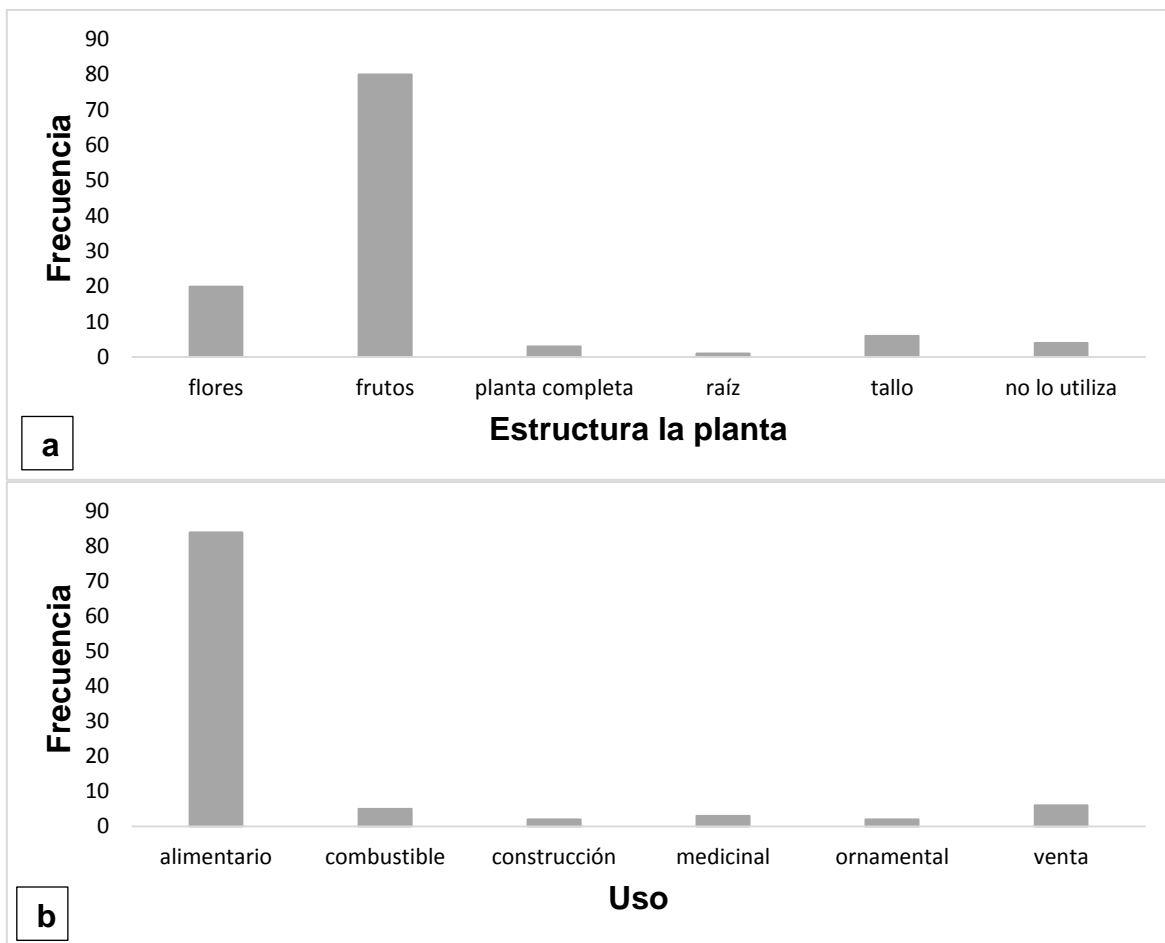
### **Uso de *M. geometrizans***

Del sector encuestado, 89% conoce a la especie de estudio, y el porcentaje restante (11%) no la identifica (Fig. 23a); un alto porcentaje (84%) reconoce a la planta con el nombre de “garambullo” y el resto (16%) no sabe si la planta tiene algún nombre común (Fig. 23b).



**Figura 23.** Gráficos circulares, se representa: a) reconocimiento de la planta en campo y c) nombre común de *M. geometrizans* en la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro, ( $n = 100$  encuestas).

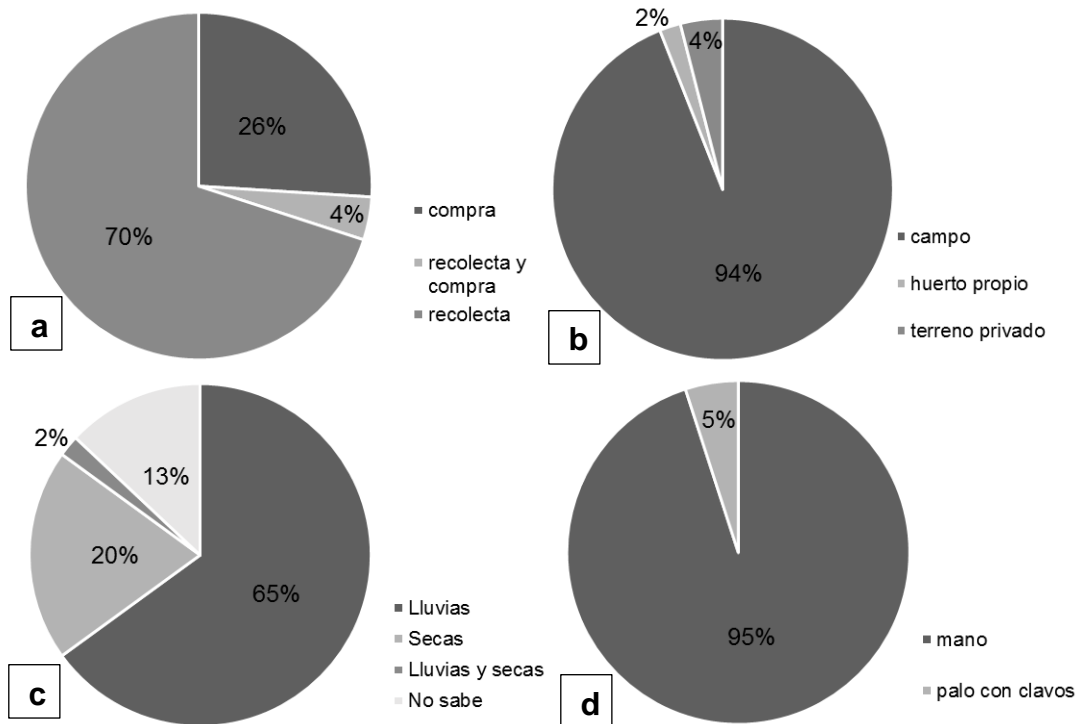
Los entrevistados indican que la parte más utilizada son los frutos (83 personas), seguida de las flores (21 personas) y los tallos (6 personas); algunos (15 personas) a pesar de conocer a la especie no la utilizan (Fig. 24a). El uso principal que le dan es alimentario; muchos venden el fruto para generar ingresos adicionales que contribuyen a la economía familiar, mediante la venta de los frutos en el mercado local. Además de estos usos se encontró que utilizan la planta como combustible, medicina, en la construcción y de forma ornamental (Fig. 24b).



**Figura 24.** Gráficos de barras, se representa: a) estructura de la planta utilizada y b) usos de *Myrtillocactus geometrizans*, en la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro, ( $n= 100$  encuestas).

El 70% de los entrevistados recolecta los frutos del garambullo, 26% compra los frutos y 4% recolecta y compra los frutos para su consumo (Fig. 25a). Los que recolectan el fruto (94%) lo realizan directamente en el campo, 4% tiene huerto propio y 2% realiza esta actividad en terrenos privados (Fig. 25b). La temporada del año en que recolectan los frutos es, principalmente, en época de lluvias (65%), 20% los recolecta en época de secas, 13% no sabe la temporada de recolecta y 2% realiza sus recolectas tanto en la época de lluvias y secas (Fig. 25c). El 95% de los encuestados no utiliza una herramienta específica para recolectar el fruto, ellos lo extraen con la mano, 5% utiliza un palo con clavos en el extremo para poder desprenderlos de las areolas (Fig. 25d). La actividad de recolección no es específica

para solo un solo sector de la población, cualquier persona (niños, ancianos, mujeres y hombres) pueden recolectar los frutos, esta labor es considerada como una actividad familiar.



**Figura 25.** Gráficos circulares, se representa: a) formas de adquisición; b) sitios de recolecta; c) época de recolecta y d) herramientas para recolectar; frutos de *Myrtillocactus geometrizans*, en la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro, ( $n = 100$  encuestas).

El fruto se vende en el tianguis del lugar (Fig. 26), 90% de los encuestados indican que la mayoría de las personas que recolectan el fruto lo hacen para su venta, 10% afirma que la recolecta es para autoconsumo. El precio varía, ya que depende de la cantidad (porción) y la forma de venta. Las principales formas de venta son: en platos de unicel, cuyo precio está entre \$10.00 y \$20.00; y por kilogramo, cuyo precio suele variar ampliamente y va desde los \$20.00 hasta los \$50.00 pesos.



**Figura 26.** Presentación de los frutos de *Myrtillocactus geometrizans* para venta en el tianguis dominical de la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro.

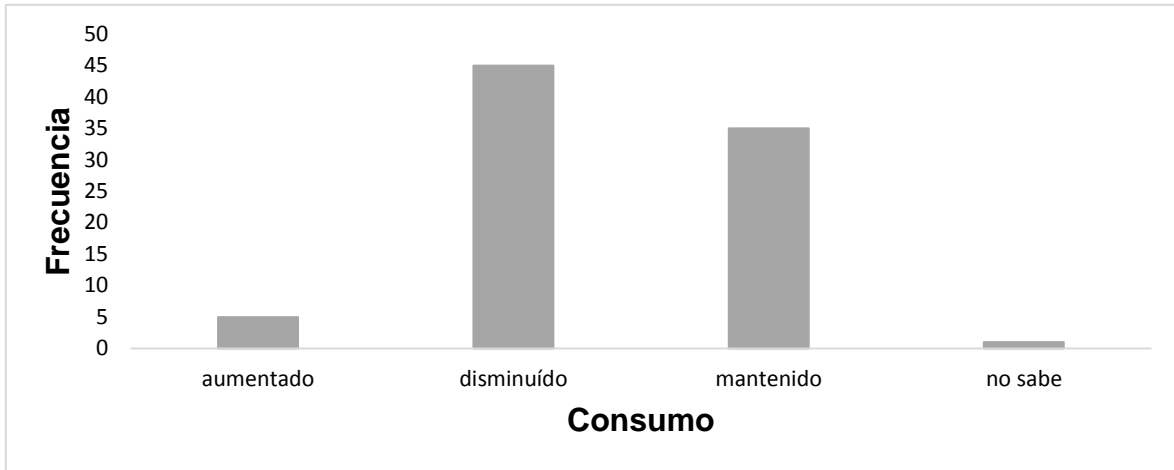
El uso por parte de los pobladores es muy variado (Cuadro IX), utilizan todas las partes, incluyendo la planta completa. Una de las estructuras más utilizada, son los frutos y prefieren consumirlos en fresco. Por otro lado, estructuras como la raíz es utilizada con una menor frecuencia, esto puede estar relacionado con la dificultad del proceso para su obtención, puesto que se tiene que esperar a que la planta muera para poder utilizarla. La raíz es usada como medicina, ya que mencionan que ayuda a controlar los niveles de azúcar en sangre. La forma de prepararla es en té o agua de uso.

**Cuadro IX.** Usos, estructuras de la planta utilizadas, presentaciones de consumo y frecuencia de mención, del aprovechamiento de *Myrtillocactus geometrizans* en la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro, México.

Uso	Estructura utilizada	¿Cómo las consumen? Presentación	Frecuencia de mención
Alimentario	Frutos	Aguas frescas	3
Alimentario	Frutos	Fresco	32
Alimentario	Frutos	Pasita cuando se seca	20
Alimentario	Frutos	Paletas de hielo	1
Alimentario	Frutos	Helado o nieves	5
Alimentario	Frutos	Mermelada	2
Alimentario	Flores	La flor se come en tacos con sal	1
Alimentario	Flores	Con un puño de flores lavadas, se hace una tortita que se capea en huevo para después guisarse en salsa	12
Alimentario	Flores	La flor entera lavada, se agrega en los frijoles para dar un mejor sabor	1
Ornamental	Flores	La flor es utilizada como adorno en altares religiosos	1
Medicinal	Tallo	Los tallos se asan y la parte de adentro se utiliza para aliviar el malestar provocado por piquetes de insecto o golpes, actúa disminuyendo la inflamación en la zona afectada	3
Combustible	Tallo	El tallo seco se utiliza como leña	4
Ornamental	Tallo	Los tallos secos se utilizan como adorno en el hogar	1
Construcción	Planta completa	La planta se utiliza como cerca viva	3
Medicinal	Raíz	La raíz se utiliza para regular los niveles de azúcar en sangre; de una planta muerta, toman tres trozos de raíz (del tamaño del dedo índice) y los hierven en 1 l de agua, se toma durante el día como agua de uso	2

Las personas que consumen garambullos, lo hacen porque los frutos son naturales (no contienen químicos) y crecen en la región; les gusta comer garambullos debido a que son sabrosos, jugosos, dulces y frescos. Los entrevistados afirman que el consumo ha disminuido (Fig. 27), debido a estas cinco causas:

1. No hay sitios donde se puedan encontrar garambullos creciendo de forma natural, los sitios donde extraían el fruto en el pasado se han privatizado y los pocos lugares que no lo están, son inaccesibles y tienen muy pocas plantas sanas.
2. La planta tarda mucho en crecer y producir frutos, es difícil encontrarlas en el campo, ya que las personas prefieren tirar los garambullos porque les estorba para construir nuevas casas o para utilizarlos como leña.
3. No consumen el fruto, porque es de temporada, están muy pequeños y les cuesta mucho trabajo acceder a los frutos maduros, que regularmente se encuentran en la copa de la planta, mientras lo hacen corren el riesgo de espinarse o ser mordidos por una víbora.
4. No es un fruto que llame la atención de los pobladores, su recolección ha pasado a segundo término, antes las personas se dedicaban a recolectarlos para sobrevivir, ahora no es necesario, las personas mayores ya no van al monte y sólo las aves son los que los aprovechan.
5. La juventud y las necesidades del mundo han cambiado; ahora que hay más acceso a la educación, se ven obligados a migrar y trabajar en las grandes ciudades, debido a esto las nuevas generaciones han perdido conocimiento acerca del uso y en la actualidad es un producto natural que se está perdiendo; solo personas mayores de 40 años saben comerlo, cortarlo y lo conocen, esto se debe principalmente, a que en la actualidad ya no se convive con personas ni con la naturaleza.



**Figura 27.** Consumo de garambullo, a través del tiempo, en la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro.

## 5. Discusión

### ***Fenología y sincronía reproductiva***

La fenología floral es un factor que ha determinado el éxito reproductivo de las angiospermas (Bertín, 1989). *Myrtillocactus geometrizans* florece una vez al año, entre los meses de febrero y abril, y fructifica desde principios del mes abril y finaliza los primeros días del mes de agosto. Ortiz *et al.* (2010), reportan que el periodo de floración en poblaciones silvestres y manejadas de *Myrtillocactus schenckii* inicia a principios de septiembre y finaliza entre mediados y finales de marzo, los frutos están disponibles todo el año en poblaciones cultivadas y en las otras poblaciones (silvestres y con manejo silvícola) se logran observar exclusivamente entre enero y junio; este contraste entre especies del mismo género, indica que en efecto, como ocurre en el caso específico de la fenología reproductiva de las cactáceas columnares, suelen responder a condiciones climáticas como presencia o ausencia de lluvias, un fenómeno ampliamente distribuido entre muchas especies (Pimienta-Barrios y Nobel, 1995; Ruíz *et al.*, 2000; Pavón y Briones 2001; Petit, 2001; Esparza-Olguín y Valverde, 2003). Otros factores que pueden explicar este contraste los proponen Otero-Arnaiz *et al.* (2003), quienes indican que diferencias fenológicas están asociadas con la heterogeneidad ambiental natural y esto puede maximizarse debido a disturbios humanos. La heterogeneidad ambiental, sin embargo, es un resultado de inducciones humanas, disturbios naturales, o una combinación de estos factores. Bustamante y Burquez (2005) indican que algunas especies de cactáceas columnares han sido manejadas *in situ* y cultivadas para la comercialización de sus frutos. Estas poblaciones muestran variación fenológica, al compararlas con las poblaciones silvestres de la misma especie. El desarrollo de las flores y frutos es comúnmente asincrónico, en cactáceas columnares, con producción simultánea de botones, flores en anthesis y frutos (Lomeli-Mijes y Pimienta-Barrios, 1993; Pimienta-Barrios y Nobel, 1995; Bustamante, 2003), este fenómeno se presenta en *M. geometrizans*, ya que hay un despliegue asincrónico de estructuras reproductivas, simultáneamente se puede observar en una areola la presencia de botones, flores abiertas, flores cerradas y frutos. Los patrones



asincrónicos de producción de flores y frutos pueden ser especialmente ventajosos en condiciones ambientales adversas (Pimienta-Barrios y Nobel, 1995).

El pico de floración de *M. geometrizzans* en Cadereyta ocurrió los primeros días del mes de abril, mientras que en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, ocurre en febrero y abril (Arias *et al.*, 1997), en esta última región Ortiz *et al.* (2010), determinaron que el pico de floración de *M. schenckii* tuvo lugar en diciembre, en las poblaciones silvícolas y cultivadas, y en la población silvestre ocurrió en febrero. El período de floración en *M. geometrizzans* ocurre en temporada de secas, es una floración primaveral, porque el pico de floración sucede en abril y hay una sincronía alta entre las plantas, aunque algunas plantas inician la floración a finales del invierno. Existe una marcada variabilidad entre especies, sitios y años en los patrones de floración de cactáceas columnares. Gran parte de las especies presentan una fenología floral unimodal, con un pico generalmente en la época de secas (Fleming *et al.*, 2001; Pavón y Briones, 2001; Petit, 2001; Bustamante, 2003; Esparza-Olguín y Valverde, 2003; Otero-Arnaiz *et al.*, 2003). El inicio de la floración durante la época de secas, como ocurre en *M. geometrizzans*, puede ser óptimo, ya que en las cactáceas columnares, la maduración y dispersión de las semillas ocurre durante la época de lluvias, por lo que se favorece la germinación y establecimiento de las plántulas el mismo año de producción (Bustamante y Búrquez, 2005). Otros autores, sin embargo, encuentran que las semillas de cactáceas columnares sobreviven más de un año después de su dispersión (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2016). Los patrones de floración de algunas especies vegetales están íntimamente relacionados con las épocas en que los polinizadores son más abundantes, por lo que se pueden considerar que dichos patrones de floración de las plantas se encuentran determinados por la propia fenología de los polinizadores (Bertín, 1989). Asimismo, existe una relación entre la duración del evento de floración con la disponibilidad de polinizadores, los recursos invertidos en la flor, el sistema de apareamiento, la longevidad floral, entre otras (Primack, 1985).

El patrón de floración en una población es una característica que afecta directamente la reproducción sexual (Janzen, 1971). La población utilizada en este

estudio, presentó una floración sincrónica. La sincronía floral es muy importante, porque se ha demostrado que la densidad mayor de flores es la principal forma que tienen las plantas para atraer a sus polinizadores (Stephenson, 1981; Elliot e Irwin, 2009; Essenberg, 2012). No obstante, a muy altas densidades florales, los polinizadores se mueven muy poco, promoviendo la autocruza entre flores de la misma planta (geitonogamia), o de plantas cercanas, disminuyendo las tasas de entrecruza, y puede incrementar la depresión por endogamia (Karron *et al.*, 1995). De esta forma, algunas plantas que florecen fuera del pico de floración pueden incrementar su adecuación. Otra hipótesis a la sincronía reproductiva la propone Janzen (1976), como una estrategia de atracción a polinizadores, y al mismo tiempo, de escape a la florivoría (hipótesis de saciación de los depredadores: los herbívoros se sacian sin eliminar a todas las estructuras reproductivas de la población); en la población de estudio no se encontró que existiera florivoría, pero se observó que el despliegue floral de *M. geometrizzans* coincide con otras especies pertenecientes a la familia Cactaceae en el sitio. Como lo menciona Janzen (1976), la floración sincrónica de los individuos, de una cierta población, puede afectar la cantidad y calidad de su descendencia, porque influye el número de posibles parejas de cada individuo y también afecta la eficiencia de forrajeo de los polinizadores. Se debe considerar que los grados de floración, fructificación y también la sincronización tienen relevancia ecológica y evolutiva en varias escalas, desde la secuencia intra-individual de flores, que se abren a la comunidad y patrones interespecíficos de todo el paisaje (Freitas y Bolmgren, 2008).

### ***Morfología floral***

La descripción de la morfología de las flores de *M. geometrizzans*, en este estudio, difiere de la descripción de otros autores, se encontró que la flor tiene segmentos externos e internos, que conforman el perianto, los segmentos externos son color blanco-verdoso en la base, con toques color rojizo marrón en el ápice y los segmentos internos son color blanco-verdoso con toques color verde en el ápice; Arias *et al.* (1997), describieron las flores de *M. geometrizzans* como blancas, y para Bravo-Hollis y Scheinvar (1995) las flores son color blanco-verdosas. Las medidas

florales coinciden en el rango propuesto por Arias *et al.* (1997) para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, que va de los 2.0 – 3.0 cm de largo y de 2.5 – 3.5 cm de ancho, las flores, en este estudio miden en promedio 2.2 cm de diámetro y 2.2 cm de largo.

### **Ciclo floral**

El horario de antesis parece estar relacionado con el síndrome de polinización de las especies, especialmente cuando existe algún agente polinizador específico, mientras que las especies que tienen varios polinizadores generalistas o síndromes melitófilos son predominantemente diurnas (Mandujano *et al.*, 1996; 2010; Johnson y Steiner, 2000). *M. geometrizzans* presenta una antesis diurna, las flores abren en respuesta a la incidencia de los primeros rayos solares. Ortiz *et al.* (2010), reportaron, para todas las poblaciones estudiadas de *M. schenckii* (silvestres, cultivadas y con manejo silvícola), que la antesis fue predominantemente diurna, en primavera observaron que la antesis inicia entre las 07:00 y 08:00 h, con la separación de los tépalos de la flor, en cambio en invierno, encontraron que la antesis inicia entre las 06:00 h y 06:30 h, por lo que concluyen que la diferencia en el tiempo de inicio de la antesis parece estar relacionada con la orientación de las ramas y flores, la antesis inicia primero en flores que reciben la primera radiación solar.

La información disponible en las cactáceas indica que predominan las especies con flores de un solo día de vida (Mandujano *et al.*, 2010), como *Hylocereus undatus* (Valiente-Banuet *et al.*, 2007), uno a dos días como en *Opuntia* (del Castillo, 1994; Mandujano *et al.*, 1996), uno o hasta tres días como en *Ariocarpus fissuratus* (Martínez-Peralta y Mandujano, 2011), y alrededor de seis días en *Mammillaria huitzilopochtli* (Flores-Martínez *et al.*, 2013). Las flores de *M. geometrizzans* viven solo un día, por unas pocas horas; la variabilidad en la longevidad floral podría relacionarse con condiciones ambientales o con la falta de polinización. En días nublados y lluviosos la duración de la antesis por día disminuye por la falta de radiación solar, originando que las flores sean capaces de abrir un tercer día, como en *Ariocarpus* (Martínez-Peralta y Mandujano, 2011). Por otro lado, se ha registrado

que las flores que no son polinizadas viven más días (por ejemplo, *Mammillaria grahamii*, Bowers, 2002; *Petrocotis viscosa* (Caryophyllaceae), Guitián y Sánchez, 1992), lo cual sucedería en días nublados y lluviosos por la falta de polinizadores.

### **Sistema de apareamiento**

Diversos autores afirman que, a nivel de entrecruza, se han reportado al menos 20 especies de cactáceas de la tribu *Echinocereae* que tienen un sistema de apareamiento xenógamo (Alcorn *et al.*, 1961; Suzán *et al.*, 1994; Valiente-Banuet *et al.*, 1997; Casas *et al.*, 1999; Cruz y Casas, 2002; Clark-Tapia y Molina-Freaner, 2004; Molina-Freaner *et al.*, 2004; Ibarra-Cerdeña *et al.*, 2005; Méndez *et al.*, 2005; Oaxaca-Villa *et al.*, 2006). El índice de entrecruza de Cruden, indica que el sistema de apareamiento de *M. geometrizers* es por xenogamia, este resultado coincide con lo reportado para la mayoría de las cactáceas columnares estudiadas, las cuales han resultado ser especies xenógamas con sistemas de autoincompatibilidad (Sahley, 2001). Las especies xenógamas obligadas requieren de polinizadores que transporten el polen de una flor a otra, en individuos genéticamente diferentes y así lograr una polinización cruzada efectiva que produzca progenie viable (Cruden, 1977). Fleming *et al.* (1996), sugieren que como consecuencia de un sistema reproductivo xenógamo se pueden modificar los patrones fenológicos de floración, en condiciones de competencia por polinizadores con otras especies. En campo se observó que la floración de *M. geometrizers* se sincroniza temporalmente con la floración de otras especies de cactáceas; sin embargo hay una alta producción de frutos, la dependencia de polinizadores generalistas, los cuales, con su consecuente menor eficiencia en la transferencia de polen, incrementan la posibilidad de que un polinizador que la visite a *M. geometrizers* pase por flores de otras especies antes de que vuelva a visitar una flor de la especie en cuestión, con su consiguiente pérdida de polen en la fase de transportación o acarreo (Richards, 1986; Johnson y Steiner, 2000), por lo tanto, como algunos estudios sugieren, la abundancia de polinizadores juega un papel importante en el mantenimiento de estos sistemas reproductivos (Fleming *et al.*, 1998). En ciertos casos puede existir una limitación en el movimiento y cantidad del polen debido a la variabilidad en la

presencia de polinizadores específicos (Sahley 2001); *M. geometrizzans* ofrece una abundante cantidad de polen, por flor como recompensa para sus visitantes florales, lo cual parece indicar una tendencia evolutiva propuesta por Orians (1997), donde la flor ofrece más recursos para atraer polinizadores que las flores vecinas de otra especie.

Por otro lado, la relación de P/O indica que el sistema de apareamiento de *M. geometrizzans* es por xenogamia facultativa, este resultado coincide con lo encontrado por Aguilar-García (2015), quien determinó que *M. geometrizzans* tiene un sistema de apareamiento xenógamo facultativo; sin embargo, en sus resultados se puede observar una ligera tendencia hacia la autogamia facultativa, ya que las flores orientadas hacia el sur tuvieron una relación P/O significativamente mayor que las flores orientadas hacia el norte ( $850.29 \pm 39.47$  = xenogamia facultativa;  $721.01 \pm 43.75$  = autogamia facultativa, respectivamente;  $t=3.40$ , g. l.=28  $p=0.0009$ ), el resultado de este estudio concuerda con lo propuesto por Cruden (1977), quien sugiere que altos valores de polen:óvulo indican un sistema de apareamiento xenógamo facultativo, cosa que ocurre con las flores de *M. geometrizzans* utilizadas en este trabajo.

### **Sistema de cruza**

En las cactáceas predominan las especies con sistemas de entrecruza y xenogamia obligada (Gibson y Nobel, 1986; Pimienta-Barrios y del Castillo, 2002; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). El tipo de sistema de cruza de *M. geometrizzans* es entrecruza, este resultado coincide con el OCI (Cruden, 1977), que como anteriormente se indicó es xenógamo. Se observaron diferencias significativas en la proporción de frutos formados en los experimentos de polinización controlada en *M. geometrizzans*; se formaron 83.33% en la autocruza natural y 64.66% en autocruza manual; Flores-Martínez *et al.* (2013), obtuvieron proporciones similares entre los tratamientos autocruza natural (89.79%) y autocruza forzada (66.66%) en *Mammillaria huitzilopochtli*. Respecto a la proporción de frutos formados en los tratamientos de entrecruza (62%) y control (36.66%), *Stenocactus arrigens* tuvo una proporción diferente, se formaron 53.84% frutos en la entrecruza y 67% frutos en el control

(Reyes, 2016). Existen otros trabajos con *Opuntia tomentosa*, en los cuales presentan el mismo resultado con todos los tratamientos, 100% de frutos formados en los tratamientos de polinización cruzada, geitonogamia, control y polen suplementario (Galicia-Pérez, 2013; Mandujano *et al.*, 2014). También hay casos que sugieren diferencias entre los tratamientos en donde hay alguna polinización experimental y el control, por ejemplo, en *Ariocarpus spp.*, todos los tratamientos de entrecruza son significativamente menores que el control, y proponen que es posible que se requieran varias polinizaciones o que el polen utilizado haya sido insuficiente o afectado por la manipulación (Martínez-Peralta *et al.*, 2014). Por otro lado se encontró que la menor proporción de frutos obtenidos fue para el tratamiento de polen suplementario (22%), no se descartan problemas por la manipulación, las causas probables: cargas de polen insuficientes, saturación del estigma con polen de menor calidad, daño a la flor durante la manipulación (aplicación de barniz para su marcaje) o falta de receptividad del estigma. Galicia-Pérez (2013) indica que las flores pueden presentar, tanto pérdida de polen, como limitación de polen compatible para la función femenina o interferencia sexual (saturación del estigma con polen incompatible). Esta última sucede cuando el polen de flores de la misma flor, planta o rameto, ocupa espacio en el estigma e impide la entrada de polen de otro geneto (i.e. interferencia; de Jong *et al.*, 1993; Barrett, 2002), provocando que la cantidad de óvulos disponibles para la entrecruza no sean fecundados. Fleming *et al.* (2001), muestran que la producción de frutos, en cactáceas columnares, puede variar espacialmente en una misma especie, dependiendo del sistema de polinización. En sistemas complementarios de polinizadores, donde la producción de frutos es la suma de la contribución de todos los polinizadores, una baja producción de frutos se da generalmente por limitación de polen; sin embargo, en sistemas redundantes de polinizadores donde sólo una fracción de los polinizadores es necesaria para la polinización de los frutos, puede deberse a limitación de recursos.

Los únicos frutos que lograron formar semillas, fueron los provenientes de los tratamientos de entrecruza y control, ya que los tratamientos de autopolinización (automática y manual), los frutos sí se formaron y maduraron, pero solamente

contienen pulpa, no hay semillas, Flores-Martínez et al. (2013), encontraron la formación de frutos sin semillas (frutos vanos) en el tratamiento de geitonogamia, con lo cual corroboran la limitante genética de producción de semillas entre óvulos y polen del mismo individuo. Aunque los frutos que se desarrollan, producto de autopolinización, producen relativamente menos semillas que los del producto de entrecruza, pueden ser ventajosos en periodos de escasez de polinizadores aumentando la producción de frutos (Baker, 1961).

De las especies de cactáceas columnares que han sido estudiadas, únicamente en *Pachycereus pringlei*, *Pilosocereus moritzianus*, *Polaskia chende*, *P. chichipe* y *Weberbauerocereus weberbauri* se ha encontrado evidencia de autocompatibilidad (Fleming et al., 1994; Sahley, 1996; Nassar et al., 1997; Cruz y Casas, 2002; Otero-Arnaiz et al., 2003). Considerando la formación de semillas y el sistema de apareamiento (presenta hercogamia y dicogamia), es posible que *M. geometrizzans* presente mecanismos de autoincompatibilidad. De las estrategias involucradas en la promoción del entrecruzamiento, los sistemas de autoincompatibilidad consisten en una serie de mecanismos moleculares utilizados por las plantas para prevenir la autofecundación y la endogamia (Rea y Nasrallah, 2008; Martínez-Peralta et al., 2014); lo anterior implica un sistema de reconocimiento celular entre los genotipos de las plantas madre y padre, que regulan la aceptación o rechazo de los granos de polen (Larson y Barret, 2000; Mandujano et al., 2010; Galicia-Pérez, 2013). Se ha demostrado que la mayor parte de las cactáceas que presentan hercogamia y/o dicogamia, también expresan sistemas de autoincompatibilidad; un ejemplo de lo anterior son las especies del género *Schlumbergera* (Mandujano et al., 2010). Posiblemente lo mismo ocurre en *M. geometrizzans*; por ello, la dicogamia y la hercogamia pueden tener otras funciones, como la de evitar la interferencia reproductiva y el descuento de polen (Lloyd y Webb, 1986; Lloyd, 1992).

Las cactáceas, al igual que otras angiospermas, han desarrollado una serie de adaptaciones morfofisiológicas que les permiten promover el entrecruzamiento y evitar con ello los efectos nocivos de la endogamia, como la disminución de la adecuación de sus poblaciones (depresión endogámica) (Mandujano et al., 2010;

Argueta *et al.*, 2013). La diferencia en el porcentaje de germinación de las semillas formadas en los tratamientos control y entrecruza en *M. geometrizans*, explica este proceso, el 60% de las semillas, producto de la entrecruza, germinaron, en comparación con las semillas control que sólo germinaron el 10%. Como se mencionó, *M. geometrizans* puede ser una especie autoincompletable, diversos autores indican que si se trata de una especie autocompatible o no, de todas formas, la llegada de polen propio genera un desperdicio de gametos en un fenómeno denominado interferencia sexual intraespecífica (Lloyd y Webb, 1986; Barrett y Harder, 2006). En la interferencia sexual intraespecífica, si la especie es autoincompatible hay una doble pérdida de la adecuación de la planta, debida a la autopolinización: por vía femenina, porque se interfiere con la posibilidad de fertilización de una planta genéticamente diferente, y por vía masculina (pérdida de polen), porque no puede exportar sus gametos masculinos y la paternidad de otra progenie (Barrett, 2002).

En las plantas clonales, como en el caso de *M. geometrizans*, el despliegue floral (el número de flores abiertas por planta), es generalmente alto, y por lo tanto se incrementa el número de flores visitadas por rameto; no obstante, aumenta notablemente la autocruza vía geitonogamia, ya que en cada visita consecutiva del polinizador hacia flores del mismo rameto, menos polen es exportado a otro geneto (Zimmerman, 1988; de Jong *et al.*, 1993; Harder y Barrett, 1995; Wilcock y Neiland, 2002). Este fenómeno posiblemente ocurrió en los experimentos control y se corrobora con el porcentaje de germinación de semillas, 50% menos en comparación con la entrecruza. Existen algunos mecanismos para evitar la geitonogamia, la pérdida de polen y la interferencia sexual; entre ellos está extender el periodo de floración y producir pocas flores cada día, para maximizar la entrecruza y la fertilidad masculina (Zimmerman, 1988; de Jong *et al.*, 1993; Harder y Barrett, 1995; Charpentier, 2002).

### **Síndrome de polinización y limitación de polen**

En la familia Cactaceae, los síndromes de polinización son quiropterofilia, ornitofilia, falenofilia y, más frecuentemente, melitofilia (Mandujano *et al.*, 2010). En este



estudio se encontró que *M. geometrizzans* presenta un síndrome de polinización melitofílico generalista, es decir, no hay un polinizador específico que lleve a cabo el cruzamiento; sin embargo, su polinización tiene una amplia gama de abejas nativas como potenciales polinizadores. Diversos autores indican que es menos frecuente en cactáceas columnares encontrar flores con rasgos que favorecen la polinización por abejas (melitofilia), no obstante, este síndrome se presenta en los géneros *Escontria*, *Myrtillocactus* y *Polaskia* (Cruz y Casas 2002; Valiente-Banuet *et al.* 2002; Otero-Arnaiz *et al.* 2003). Las flores de *M. geometrizzans* presentan anthesis diurna, simetría radial, color claro, aroma dulce y abundantes cantidades de polen y néctar como recompensa, características florales que corresponden al síndrome de polinización por abejas (Mandujano *et al.*, 2010).

Las flores son visitadas a lo largo de su periodo de apertura y la mayor frecuencia de visita es a las 11:00 h. *Apis mellifera* es la especie que visita con mayor frecuencia las flores de *M. geometrizzans*, seguida de los géneros de abejas solitarias *Ceratina*, *Megachile* y *Augochlorella*, y con frecuencias bajas, *Lasioglossum*, *Macrotera*, *Bombus* y *Colletes*; las especies de abejas que polinizan cactus son solitarias en su mayoría, nativas de las regiones desérticas de Norteamérica (Mandujano *et al.*, 2010); sin embargo, la abeja de la miel (*Apis mellifera*), originaria de Europa, Asia y África y naturalizada en todo el mundo (Butz, 1997), también participa activamente en la polinización de algunos cactus en la actualidad (Martínez-Peralta y Mandujano, 2011). La alta frecuencia de visitas por parte de *Apis mellifera* puede estar afectando la polinización de la especie. Butz (1997), indica que la abeja de la miel puede no ser un polinizador tan efectivo como algunas especies nativas que requieren de entrecruza, debido a su limitado forrajeo que promueve la endogamia. Martínez-Peralta y Mandujano (2012), señalan que la alta abundancia de *Apis mellifera* podría desplazar a las poblaciones de abejas nativas debido a la competencia, en campo se observó este comportamiento, *Apis mellifera* al interactuar con abejas solitarias de menor talla, mostraban un comportamiento agresivo, desplazándolas de la flor en disputa durante el forrajeo. A pesar de esto, se sabe que, en la actualidad, existe una crisis de polinizadores y como lo indican Martínez-Peralta y Mandujano (2012), es posible que la participación de *Apis mellifera* en estos sistemas compense la falta

de polinizadores nativos. En *M. geometrizzans* es preocupante que su visitante y posible polinizador potencial sea *Apis mellifera*, cualquier escenario posible, la pérdida de polinizadores, la competencia y desplazamiento de otros polinizadores nativos, sugiere decaimiento en la producción de frutos y semillas para esta cactácea. Un resultado interesante es la formación de frutos sin semillas, esto puede deberse a una mala polinización. Flores-Martínez *et al.* (2013), presentan un reporte de formación de frutos sin semillas en una cactácea, como en este caso, proponen la escasez de polinizadores en el desarrollo de esta estrategia, y plantean que este tipo de frutos atraen a los dispersores. Los frutos de *M. geometrizzans* son consumidos por el pinzón mexicano (*Haemorhous mexicanus*), el cuitlacoche pico curvo (*Toxostoma curvirostre*), y la matraca del desierto (*Campylorhynchus brunneicapillus*), y otras especies propias de zonas áridas, como el toquí pardo (*Melospiza fusca*) y las palomas (*Zenaida spp.*) (Bautista-Salazar, 2013).

En especies con flores hermafroditas es común que se produzca una mayor cantidad de flores y óvulos que frutos y semillas (Wilson y Bertin, 1979; Bawa y Webb, 1984; Sutherland y Delph, 1984; Sutherland, 1986). Una de las explicaciones para este fenómeno, es que las flores reciben una cantidad limitada de polen, resultando en menor cantidad de frutos y semillas (Johnston, 1991). Cuando una planta depende de vectores animales para la polinización, tanto la calidad del polen (polen genéticamente compatible), como la cantidad de polen depositado sobre el estigma pueden ser afectadas por el comportamiento de los polinizadores a la abundancia de plantas individuales y/o a las características florales (Barrett *et al.*, 1994). De esta manera, el éxito reproductivo podrá estar limitado por la visita de un polinizador inadecuado (Levin y Anderson, 1970; Schemske *et al.*, 1978; Willson y Schemske, 1980; Bierzychudek, 1981; Anderson y Beare, 1983), por la transferencia insuficiente de polen conoespecífico (Campbell y Motten, 1985) o por la transferencia inadecuada de polen en plantas auto-incompatibles (Silander y Primack, 1978; Snow, 1982; Schemske y Pautler, 1984).

### **Uso de *M. geometrizans***

*Myrtillocactus geometrizans* es una especie abundante, con amplia distribución, y por sus múltiples usos, suele ser protegida por los campesinos (Scheinvar, 2004). La diagnosis social indica que un alto porcentaje de personas encuestadas afirma conocer la especie de estudio y en su mayoría la llaman con el nombre común de “garambullo”. Dávila-Aranda y Lira (2002), reportan que esta cactácea columnar es también conocida en Zapotitlán y en Coxcatlán como garambullo.

El principal uso de *M. geometrizans* encontrado en la cabecera municipal del municipio de Cadereyta de Montes, es alimentario y se registró que muchas personas para generar ingresos económicos adicionales recolectan el fruto para su venta. En la población local de Zapotitlán, el garambullo es una de las especies comestibles más apreciadas, del cual se obtienen beneficios económicos por la venta de sus productos (Paredes-Flores *et al.*, 2007).

La parte de *M. geometrizans* utilizada con mayor frecuencia, con fines alimentarios, son los frutos, seguida de flores y tallos. Las flores se lavan y con un puño de ellas se hace una tortita que se capea con huevo, para después guisarla en salsa o también flores recién lavadas se agregan a los frijoles para que den un mejor sabor; los frutos son consumidos en fresco, pasa, agua fresca, paleta de hielo, nieves, helados o mermelada. Scheinvar (2004), reporta cosas similares para flores y frutos que son utilizados en la alimentación humana, la flor, capeada con huevo, es muy sabrosa, y el fruto, muy dulce, se come crudo, seco, como uva pasa, o sirve para elaborar mermeladas y vino.

Otros usos encontrados fueron como combustible, el tallo seco es utilizado como leña, se tienen registros en donde, plantas útiles como el garambullo, son utilizados para leña, el valor atribuido a la especie como leña se debe a su duración, a la cantidad de calor que produce y a los beneficios económicos que se derivan de su venta o intercambio, tanto local como en los mercados regionales (Paredes-Flores *et al.*, 2007); para su uso como leña, sólo se utilizan las partes secas o las partes viejas del garambullo (sistema vascular de la planta) (Betanzos-González, 2008).

En la construcción, la planta completa se utiliza como cerca viva, diversos autores indican que los tallos de esta cactácea columnar, son utilizados en Zapotitlán de las Salinas, Puebla, por la comunidad de origen Popoloca, para construir cercas vivas (Dávila-Aranda y Lira, 2002; Paredes-Flores *et al.*, 2007).

Uno de los usos encontrados fue el medicinal, los tallos son arrancados de la planta y posteriormente se asan, el parénquima es utilizado como tópico para aliviar el malestar provocado por piquetes de insecto o golpes, actúa disminuyendo la inflamación de la zona afectada. Scheinvar (2004), en cambio, encontró un uso diferente del tallo, en infusión es utilizado para combatir la tos. Aunado a esto, el consumo de la raíz en té para ayudar a controlar los niveles de azúcar en sangre no ha sido reportado en la literatura, los entrevistados indican que el consumo de la raíz en té, ayuda a controlar los niveles de azúcar en sangre. Otros cactus tienen usos similares de acuerdo con Mangloire *et al.* (2006) y Shedbalkar *et al.* (2010), las especies de *Opuntia* se han utilizado por las culturas nativas americanas como alimento y medicina, entre ellas se encuentran: *O. dillenii* (Loro *et al.*, 1999), *O. streptacantha* (Andrade-Cetto y Wiedenfield, 2011), *O. ficus-indica*, entre otras. Las partes utilizadas comúnmente para uso medicinal son el tallo, los cladodios, el fruto y ocasionalmente la raíz, todo esto varía de acuerdo al lugar y a la especie (Estrada-Castillón *et al.*, 2012). En la actualidad, diferentes partes de la planta se aplican para el tratamiento de diabetes, dolores musculares y otras enfermedades, en forma de polvos y píldoras, o como suplemento alimenticio. *Opuntia megarrhiza* es una especie endémica de México, distribuida en algunas regiones del desierto Chihuahuense (Segura-Venegas y Rendón-Aguilar, 2016). Los pocos antecedentes bibliográficos, registros de herbario y las investigaciones realizadas por Hernández *et al.* (2001), la reportan en el estado de San Luis Potosí. La raíz de *O. megarrhiza* es utilizada para preparar férulas en casos de fractura de huesos, principalmente de animales domésticos; así, la raíz es macerada y mezclada con agua para untarla en una venda y colocarla en la parte dañada (Hernández *et al.*, 2001).

Las cactáceas, además de los usos mencionados, tienen otros usos con fines diversos, como para la protección y el mejoramiento de los suelos, como

combustibles, como material de construcción, se utilizan con fines artesanales, como fuente de azúcar, alcohol y vinagre, como fuente de mucílagos, gomas y pectinas, para la industria cosmetológica, para la obtención de colorantes, así como plantas de ornato, entre otras (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

De forma general, los resultados de las entrevistas del uso de *M. geometrizzans*, realizadas a los pobladores de la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro, indican que la especie no está amenazada debido al uso por los habitantes. Sin embargo, la transición que sufre el pueblo de zona rural a urbana, es la causa principal que afecta a las poblaciones de garambullos, aunado a esto, la pérdida del conocimiento acerca del uso pone en riesgo la permanencia de esta especie en el sitio, dado que ya no la consideran tan importante. Jiménez-Sierra (2011) apoya esta idea, indica que las perturbaciones antropogénicas en las zonas desérticas son muchas y su intensidad se ha acentuado con el incremento de la población humana. Indica que en primer lugar el cambio de usos del suelo provoca que los ambientes naturales sean completamente transformados, ya sea en áreas agrícolas, ganaderas o utilizados con fines urbanos, como ocurre actualmente en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro; afirma que estas transformaciones provocan la pérdida indirecta de muchas poblaciones de especies silvestres (Jiménez-Sierra, 2011).

Como lo indica Jiménez-Sierra (2011), el conocimiento de los pobladores sobre los recursos naturales que pueden aprovechar de las zonas desérticas y semidesérticas, constituye parte de la herencia cultural; para llevar a cabo cualquier estrategia de conservación en poblaciones de cactáceas, es necesario considerar y conocer el conocimiento tradicional de las comunidades. Las culturas humanas que se han desarrollado en estos ambientes, han aprendido a hacer un uso múltiple y sostenible de los recursos que ahí se encuentran. Las cactáceas han jugado un papel muy importante en el desarrollo de los pueblos indígenas de México desde tiempos prehispánicos (Jiménez-Sierra, 2011).

## 7. Conclusiones

- El periodo de floración de *M. geometrizzans* dura tres meses, inicia a finales de febrero y termina en el mes de abril, presenta un despliegue floral de tipo sincrónico, con dos semanas de duración, el pico de floración se registró en la primera semana del mes de abril.
- La flor es campanular, actinomorfa, blanco-verdosa, con toques marrón en los ápices del tépalo, es además hermafrodita, diurna, protándrica y presenta hercogamia, la longevidad floral registrada fue de solo un día.
- El sistema de apareamiento identificado es xenógamo, lo que indica que la especie necesita de vectores (polinizadores) que muevan el polen de una flor a otra. El sistema de cruzamiento es por entrecruza. Además, se encontró limitación de polen y la producción de frutos sin semillas.
- El síndrome de polinización es melitofílico generalista, se observaron en bajas frecuencias a nueve géneros de abejas solitarias nativas: *Ceratina*, *Megachile*, *Augochlorella*, *Lasioglossum*, *Macrotera*, *Bombus*, *Colletes*, así como la presencia de la abeja exótica *Apis mellifera* con una frecuencia 20 veces mayor a las abejas solitarias, posiblemente *A. mellifera* compensa la falta de polinizadores nativos.
- El principal uso de *M. geometrizzans* es alimentario, la estructura de la planta que más se utiliza es el fruto y la forma en cómo se consume es diversa: en fresco, mermeladas, helados, paletas o aguas.
- *Myrtilocactus geometrizzans* (garambullo) no está amenazada, debido al uso por los habitantes; sin embargo, la transición que sufre el municipio de zona rural a urbana y la pérdida del conocimiento del uso pone en riesgo la permanencia de la especie en el sitio.

## 8. Literatura consultada

Aguilar-García S. 2015. Efecto de la orientación de las flores sobre los caracteres reproductivos de *Myrtillocactus geometrizans*. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas, Posgrado en Ciencias Biológicas, Unidad Iztapalapa, Universidad Autónoma Metropolitana. México, D. F. 66 pp.

Alcorn S. M., S. E. McGregor y G. Olin. 1961. Pollination of saguaro cactus by doves, nectar-feeding bats, and honey bees. *Science* 133: 1594-1595.

Anderson R. C. y M. H. Beare. 1983. Breeding system and pollination ecology of *Tridentalis borealis* (Primulaceae). *American Journal of Botany* 70: 408-415.

Andrade-Cetto A. y H. Wiedenfeld. 2011. Antihyperglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lem. *Journal Ethnopharmacol* 133: 940-943.

Argueta-Guzmán M. P., D. A. Barrales-Alcalá, A. García-Pérez, J. Golubov y M. C. Mandujano. 2013. Sistema reproductivo y visitantes florales de *Zephyranthes carinata* Herb (Asparagales: Amaryllidaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 58: 100-117.

Arias M. S., L. S. Gama y C. L. Guzmán. 1997. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 14. Cactaceae A. L. Juss. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

Arias M. S., R. Medina, S. Gama y D. A. Aquino. 2012. Actualización de la base de datos de Cactáceas del Valle de Tehuacán- Cuicatlán (Puebla, Oaxaca). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. HA011. México D. F.

Arroyo-Cosultchi, J. Golubov y M. C. Mandujano. 2016. Pulse seedling recruitment on the population dynamics of a columnar cactus: Effect of an extreme rainfall event. *Acta Oecologica* 71: 52-60.

Baker H. G. 1961. The adaptation of flowering plants to nocturnal and crepuscular pollinators. *The Quarterly Review of Biology* 36: 64-73.

- Barrett S. C. H. 2002. Sexual interference of the floral kind. *Heredity* 88: 154-159.
- Barrett S. C. H. 2003. Mating strategies in flowering plants: the outcrossing- selfing paradigm and beyond. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences* 358: 991-1004.
- Barrett S. C. H. y L. D. Harder. 2006. David G. Lloyd and the evolution of floral biology: from natural history to strategic analysis. En: L. D. Harder y S. C. H. Barrett (Ed.) *Ecology and Evolution of flowers*. Oxford, University Press.
- Barrett S. C. H., L. D. Harder y W. Cole. 1994. Effects of flower number and position on self- fertilization in experimental populations of *Eichornia paniculata* (Pontederiaceae). *Functional Ecology* 8: 526-535.
- Bautista-Salazar L. 2013. Manual de plantas útiles para las aves en la ciudad de Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. México, Querétaro. 65 pp.
- Bawa K. S. y C. J. Webb. 1984. Flower, fruit and seed abortion in tropical forest trees: implications for the evolution of paternal and maternal reproductive patterns. *American Journal of Botany* 71: 736-751.
- Begon M., J. Harper y C. Townsend. 1999. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3ra ed. Blackwell Science. Londres. 1148 pp.
- Benítez H. y P. Dávila. 2002. Las cactáceas mexicanas en el contexto de la CITES. CONABIO. *Biodiversitas* 40: 8-11.
- Bertin R. I. 1989. Pollination biology. En: W. G. Abrahamson (Ed.). *Plant- animal interactions*. McGraw- Hill. Nueva York. p: 23-83.
- Betanzos-González T. 2008. Caracterización del sistema de aprovechamiento del garambullo *Myrtillocactus geometrizans* (C. Martius) Console (Cactaceae) en colonia San Martín, Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Licenciatura (Biólogo), Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 63 pp.



- Beutelspacher C. R. 1971. Polinización en *Opuntia tomentosa* Salm- Dyck y *O. robusta*, Wendland en el Pedregal de San Ángel. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 16: 84-86.
- Bierzychudek P. 1981. Pollinator limitation of plant reproductive effort. *The American Naturalist* 17: 838-840.
- Bowers J. E. 2002. Flowering patterns and reproductive ecology of *Mammillaria grahamii* (Cactaceae), a common, small cactus in the Sonoran Desert. *Madroño* 49: 201-206.
- Bravo-Hollis H. 1978. Las cactáceas de México. Vol. I. 2da ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 746 pp.
- Bravo-Hollis H. y L. Scheinvar. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 233pp.
- Bravo-Hollis H. y R. H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las cactáceas de México. Vols. I y II. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 404 pp.
- Briones G. 1996. La investigación cuantitativa. En: Instituto Colombiano para el fomento de la Educación Superior (Ed.). Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales. ARFO. Colombia, Bogotá p: 17-65.
- Burd M. 1994. Bateman's principle and plant reproduction: The role of pollen limitation in fruit and seed set. *The Botanical Review* 60: 83-139.
- Bustamante E. 2003. Variación espacial y temporal en la reproducción y estructura poblacional de *Stenocereus thurberi*: una cactácea columnar del matorral costero del sur de Sonora, México. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas (Experimental, Ambiental, Sistemática) Posgrado en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 94 pp.
- Bustamante E. y A. Búrquez. 2005. Fenología y biología reproductiva de las cactáceas columnares. *Cactáceas y suculentas mexicanas* 50: 68-88.

- Butz V. M. 1997. Ecological impacts of introduced honey bees. *The Quarterly Review of Biology* 72: 275-297.
- Campbell D. R. y A. F. Motten. 1985. The mechanism of competition for pollination between two forest herbs. *Ecology* 66: 554-563.
- Casas A. 2002. Uso y manejo de cactáceas columnares mesoamericanas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 47: 11-18.
- Casas A. y A. Valiente-Banuet. 2001. Los recursos vegetales del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. CONABIO. *Biodiversitas* 35: 12-14.
- Casas A. y G. Barbera. 2002. Mesoamerican domestication and diffusion. En: Park Nobel (Ed.). *Cacti biology and uses*. University of California Press. Berkeley p: 143-162.
- Casas A., A. Valiente-Banuet, A. Rojas-Martinez y P. Dávila. 1999. Reproductive biology and the process of domestication of the columnar cactus *Stenocereus stellatus* in Central Mexico. *American Journal Botany* 86: 534-542.
- Celedón-Neghme C., W. Gonzáles y E. Gianoli. 2007. Cost and benefits of attractive floral traits in the annual species *Madia sativa* (Asteraceae). *Evolutionary Ecology* 21: 247-257.
- Cervantes M. 2002. Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 155 pp.
- Charpentier A. 2002. Consequences of clonal growth for plant mating. *Evolutionary Ecology* 15: 521-530.
- Chittka L., J. Spaethe, A. Schmidt y A. Hickelsberger. 2001. Adaptation, constraint, and chance in the evolution of flower color and pollinator color vision. En: Chittka L. y J. D. Thomson (Eds.). *Cognitive ecology of Pollination: animal behavior and floral evolution*. Cambridge University. Cambridge p: 106-126.

Clark-Tapia R. y F. Molina-Freaner. 2004. Reproductive ecology of the rare clonal cactus *Stenocereus eruca* in the Sonoran Desert. *Plant Systematics and Evolution* 247: 155-164.

CONABIO. 2016. EncicloVida. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. Página en red: bios. Conabio. Gob. Mx/especies/6008005

Coronado M. y S. Vega. 1999. Aprovechamiento de recursos silvestres en zonas áridas y semiáridas de México, garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). *Cuadernos de Nutrición* 14: 34-40.

Crawley M. 1993. GLIM for ecologists. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Crawley M. 1997. Sex. En: Crawley M. J. (Ed.). *Plant Ecology*. University Press. Cambridge p: 156-213.

Cruden R. W. 1977. Pollen- ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution* 31: 32-46.

Cruden R. W. 2000. Pollen grains: why so many? *Plant Systematics and Evolution* 222: 143-165.

Crumpacker D. W. 1967. Genetic loads in maize (*Zea mays* L.) and other cross-fertilized plants and animals. *Evolutionary biology* 1: 306-324.

Cruz R. D. y U. L. Rosas. 2013. La flor. En: Márquez J., M. Collado, M. Martínez, A. Orozco y S. Vázquez. (Eds.). *Biología de angiospermas*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. pp: 44-59.

Cruz M. y A. Casas. 2002. Morphological variation and reproductive biology of *Polaskia chende* (Cactaceae) under domestication in Central Mexico. *Journal of Arid Enviroments* 51: 561-576.

Cunningham A. B. 2001. *Etnobotánica aplicada. Pueblos, uso de plantas silvestres y conservación*. Earthscan. Reino Unido, Londres. 300 pp.

Dafni A. 1992. *Pollination Ecology. A Practical Approach*. Oxford University Press. Oxford. 250 pp.

Dávila-Aranda P. y R. Lira Saade. 2002. La flora útil de dos comunidades indígenas del Valle de Tehuacán- Cuicatlán: Coxcatlán y Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB- CONABIO proyecto No. T015. México, D. F. 73 pp.

de Jong T. J., N. M. Waser y P. G. L. Klinkhamer. 1993. Geitonogamy: the neglected side of selfing. *TREE* 8: 321-325.

del Castillo R. F. 1994. Polinización y otros aspectos de la biología floral de *Ferocactus histrix*. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 39: 36-43.

Eguiarte L. 1983. Biología floral de *Manfreda brachystachya* (Cav.) Rose en el Pedregal de San Ángel México, D. F. Tesis de Licenciatura (Biólogo), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. 72 pp.

Eguiarte L., J. Núñez-Farfán, C. Domínguez y C. Cordero. 1992. Biología evolutiva de la reproducción de las plantas. *Ciencias* 6: 69-86.

Elliott S. E. y R. E. Irwin. 2009. Effects of flowering plant density on pollinator visitation, pollen receipt, and seed production in *Delphinium barbeyi* (Ranunculaceae). *American Journal of Botany* 96: 912-919.

Endress P. K. 1994. Diversity and evolutionary biology of tropical flowers. Cambridge University Press. Cambridge. 511 pp.

Endress P. K. 1999. Symmetry in flowers: diversity and evolution. *International Journal of Plant Sciences* 160: 3-23.

Esparza-Olguín L. y T. Valverde. 2003. Estudio comparativo de la fenología de tres especies de *Neobuxbaumia* que difieren en su nivel de rareza. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 48: 68-83.

Essenberg C. J. 2012. Explaining variation in the effect of floral density on pollinator visitation. *The American Naturalist* 180: 153-166.

Estrada-Castillón, E. B. Soto-Mata, M. Garza-López, J. Villareal-Quintanilla, J. Jiménez-Pérez, M. Pando-Moreno, J. Sánchez-Salas, L. Scott-Morales y M.

Contera-Correa. 2012. Medicinal plant in the southern región of the State of Nuevo León, México. *Journal Ethnobiology Ethnomedic* 8: 45.

Faegri K. y L. Van der Pijl. 1979. The principles of pollination ecology. Pergamon Press. Oxford. 244 pp.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014. Productos Forestales no madereros. Página en red: [www.fao.org/forestry/nwfp/6388/es/](http://www.fao.org/forestry/nwfp/6388/es/)

Fleming T. H., C. T. Sahley, J. N. Holland, J. D. Nason y J. L. Hamrick. 2001. Sonoran desert columnar cacti and the evolution of generalized pollination systems. *Ecological Monographs* 71: 511-530.

Fleming T. H., M. D. Tuttle y M. A. Horner. 1996. Pollination biology and the relative importance of nocturnal and diurnal pollinators in three species of Sonoran Desert columnar cacti. *The Southwestern Naturalist* 41: 257-269.

Fleming T. H., S. Maurice y J. L. Hamrick. 1998. Geographic variation in the breeding system and the evolutionary stability of trioecy in *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *Evolutionary Ecology* 12: 279-289.

Fleming T. H., S. Maurice, S. L. Buchmann y M. D. Tuttle. 1994. Reproductive biology and relative male and female fitness in a trioecious cactus, *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *American Journal of Botany* 8: 858-867.

Flores-Martínez A., G. I. Manzanero, J. Golubov y M. C. Mandujano. 2013. Biología floral de *Mammillaria Huitzilpochtli*, una especie rara que habita acantilados. *Botanical Sciences* 91: 349-356.

Freitas L. y K. Bolmgren. 2008. Synchrony is more than overlap: Measuring phenological synchronization considering time length and intensity. *Brazilian Journal of Botany* 31: 721-724.

Galicia-Pérez A. 2013. Estudios sobre los sistemas de autoincompatibilidad presentes en *Opuntia tomentosa* Salm- Dyck (Cactaceae). Tesis de Maestría en Biología. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México, D. F. 94 pp.

Gibson A. C. y P. S. Nobel. 1986. The cactus Primer. Harvard University Press, Londres.

Godínez-Álvarez H., T. Valverde y P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review* 69: 173-203.

Gutián J. y J. M. Sánchez. 1992. Flowering phenology and fruit set of *Petrocoptis grandiflora* (Cariophyllaceae). *International Journal of Plant Science* 153: 409-412.

Guzmán, U., S. Arias y P. Dávila. 2003. Catálogo de Cactáceas mexicanas. UNAM, Conabio, México. 315pp.

Harder L. D. 2006. Ecology and evolution of flowers. Oxford University Press, Oxford. 384 pp.

Harder L. D. y S. C. H. Barrett. 1995. Mating costs of large floral displays in hermaphrodite plants. *Nature* 373: 512-515.

Harder L. D. y S. C. H. Barrett. 1996. Pollen dispersal and mating patterns in animal-pollinated plants. En: Lloyd D. G. y S. C. H. Barrett (Eds.). *Floral Biology: studies on floral evolution in animal-pollinated plants*. Chapman y Hall. Nueva York. 410 pp.

Hernández M., C. Gómez-Hinostrosa y T. Bárcenas. 2001. Studies on Mexican Cactaceae. II. *Opuntia megarrhiza*, a poorly known from San Luis Potosí, México. *Brittonia* 53: 529-533.

Howe H. F. y L. C. Westley. 1997. Ecology of pollination and seed dispersal. En: Crawley M. J. (Ed.). *Plant ecology*. Blackwell Science. Cambridge. 717 pp.

Ibarra-Cerdeña C. N., L. I. Iñiguez-Dávalos y V. Sánchez-Cordero. 2005. Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a chiropterophilous columnar cacti, in a tropical dry forest of Mexico. *American Journal of Botany* 92: 503-509.

Ishii H. S. y S. Sakai. 2001. Effects of display size and position on individual floral longevity in racemes of *Nartheicum asiaticum* (Liliaceae). *Functional Ecology* 15: 396-405.

- Janzen D. H. 1971. Seed predation by animals. *Annual Review of Ecology and Systematics* 2: 465-492.
- Janzen D. H. 1976. Why bamboos wait so long to flower. *Annual Review of Ecology and Systematics* 7: 347-391.
- Jardín Botánico Regional de Cadereyta. 2016. Página en red: [www.concyteq.edu.mx/JB/colecciones.html](http://www.concyteq.edu.mx/JB/colecciones.html)
- Jiménez-Sierra C. L. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria* 12: 3-23.
- Johnson S. D. y A. Dafni. 1998. Response of bee- flies to the shape and pattern of model flowers: Implications for floral evolution in a Mediterranean herb. *Functional Ecology* 12: 289-297.
- Johnson S. D. y K. E. Steiner. 2000. Generalization versus specialization in plant pollination systems. *Trends in Ecology and Evolution* 15: 140-143.
- Johnston M. 1991. Pollen limitation of female reproduction in *Lobelia cardinalis* and *L. siphilitica*. *Ecology* 72: 1500-1503.
- Karron J. D., N. N. Thumser, R. Tucker y J. Hessenauer. 1995. The influence of population density on outcrossing rates in *Mimulus ringens*. *Heredity* 75:175-180.
- Kearns C. A. y D. W. Inouye. 1993. Techniques for pollination biologists. University Press of Colorado. Colorado. 583 pp.
- Kudo G. 2006. Flowering phenologies of animal- pollinated plants: reproductive strategies and agents of selection. En Harder L. D. y S. C. H. Barrett (Eds.). *Ecology and Evolution of Flowers*. Chippenham. Oxford University Press. pp: 139-158.
- Larson B. M. H. y S. C. H. Barrett. 2000. A comparative analysis of pollen limitation in flowering plants. *Biological Journal of the Linnaean Society* 69: 503-520.
- Levin D. y W. Anderson. 1970. Competition for pollinators between simultaneously flowering species. *The American Naturalist* 104: 455-467.

Lloyd D. G. 1980. Demographic factors and mating patterns in angiosperms. En: Solbrig, O. T. (Ed.). *Demography and Evolution in Plant Populations*. Oxford, England: Blackwell Scientific Publications.

Lloyd D. G. 1992. Self and cross- fertilization in plants. II. The selection of self-fertilization. *International Journal of Plant Sciences* 153: 370-380.

Lloyd D. G. y C. J. Webb. 1986. The avoidance of interference between the presentation of pollen and stigmas in angiosperms. I. Dichogamy. New Zelanda. *Journal of Botany* 24: 135-162.

Lomeli-Mijes E. y E. P. Pimienta-Barrios. 1993. Demografía reproductiva del Pitayo (*Stenocereus queretaroensis* (Web.) Buxbaum). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 38: 13-20.

Loro F., I. del Río y L. Pérez-Santana. 1999. Preliminary studies of analgesic and anti- inflammatory properties of *Opuntia dillenii* aqueous extract. *Journal Ethnopharmacology* 67: 213-218.

Mandujano M. C., C. Montana y L. Eguiarte. 1996. Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan Desert: Why are sexually derived recruitments so are? *American Journal of Botany* 83: 63-70.

Mandujano M. C., L. Placencia, G. Aguliar, G. Guzmán. A. Galicia-Pérez, M. Rojas-Arechiga y C. Martínez-Peralta. 2014. Sistema sexual de *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck (Cactaceae, Opuntioideae) en un pedregal de origen volcánico. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 59: 100-120.

Mandujano M. C., I. Carrillo-Ángeles, C. Martínez-Peralta y J. Golubov. 2010. Reproductive biology of Cactaceae. En: Ramawat K. G. (Ed.). *Desert Plant: biology and biotechnology*, Springer- Verlag. Berlín. pp: 197-230.

Mangloire F., P. Konarski, D. Zou, S. Conrad y C. Zou. 2006. Nutricional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia spp.*) cladodes and fruits. *Front Biosci* 11: 2574-2589.



Marquis R. J. 1988. Phenological variation in the neotropical understory shrub *Piper arieianum*: causes and consequences. *Ecology* 69: 1552-1565.

Martínez-Peralta C. 2007. Biología floral de *Ariocarpus fissuratus* (Engelmann) Schumann (Cactaceae) en Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. Tesis de Licenciatura (Biólogo), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 67 pp.

Martínez-Peralta C. y M. C. Mandujano. 2011. Reproductive ecology of the endangered living rock cactus, *Ariocarpus fissuratus* (Cactaceae). *Journal of the Torrey Botanical Society* 138: 145-155.

Martínez-Peralta C. y M. C. Mandujano. 2012. Biología de la polinización y fenología reproductiva del género *Ariocarpus Scheidweler* (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 57: 114-127.

Martínez-Peralta C., F. Molina-Freaner, J. Golubov, A. Vázquez-Lobo y M. C. Mandujano. 2014. A comparative study of the reproductive traits and morphology of a genus of geophytic cacti. *International Journal of Plant Sciences* 175: 663-680.

McIntosh M. E. 2002. Flowering phenology and reproductive output in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae). *Plant Ecology* 159: 1-13.

Méndez M., R. Durán, A. Dorantes, G. Dzib, L. Simá, P. Simá y R. Orellana. 2005. Floral demography and reproductive system of *Pterocereus gaumeri*, a rare columnar cactus endemic to Mexico. *Journal of Arid Environments* 62: 363-376.

Minitab 17 Statistical Software. 2010. [software de ordenador]. State College, PA: Minitab, Inc (www.minitab.com)

Mogie M. 1992. The evolution of asexual reproduction in plants. Chapman y Hall Press. Londres. 276 pp.

Molina-Freaner F., A. Rojas-Martínez, T. H. Fleming y A. Valiente-Banuet. 2004. Pollination biology of the columnar cactus *Pachycereus pecten-aboriginum* in north-western Mexico. *Journal of Arid Environments* 56: 117-127.

- Nassar J. M. y N. Ramírez. 2004. Reproductive biology of the melon cactus, *Melocactus curvinispinus* (Cactaceae). *Plant Systematics and Evolution* 248: 31-44.
- Nassar J. M., N. Ramírez, y O. Linares. 1997. Comparative pollination biology of Venezuelan columnar cacti and the role of nectar-feeding bats in their sexual reproduction. *American Journal of Botany* 84: 918-927.
- Navarro L. y J. Guitián. 2002. The role of floral biology and breeding systems on the reproductive success of the narrow endemic *Petrocoptis viscosa* rothm. (Caryophyllaceae). *Biological Conservation* 103: 125-132.
- Oaxaca-Villa B., A. Casas y A. Valiente-Banuet. 2006. Reproductive biology in wild and silvicultural managed populations of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) in the Tehuacan Valley, Central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 277-287.
- Orians G. H. 1997. Evolved consequences of rarity. En: Kunin W. E. y Gaston K. J. (Eds.). *The Biology of Rarity: Causes and Consequences of Rare-Common Differences*, Chapman y Hall, Londres. pp: 190-208.
- Ortíz F., K. Stoner, E. Pérez-Negrón y A. Casas. 2010. Pollination biology of *Myrtillocactus schenckii* (Cactaceae) in wild and managed populations of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* 74: 897-904.
- Otero-Arnaiz A., A. Casas, C. Bartola, E. Pérez-Negrón y A. Valiente-Banuet. 2003. Evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) under domestication in the Tehuacan Valley, Central Mexico: Reproductive biology. *American Journal of Botany* 90: 539-602.
- Paredes-Flores M., R. Lira-Saade y P. D. Dávila-Aranda. 2007. Estudio etnobotánico de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. *Acta botánica mexicana* 79: 13-61.
- Pavón N. P. y O. Briones. 2001. Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 49: 265-277.
- Pérez-González S. 1992. *Myrtillocactus geometrizans*: A potential fruit crop for the semiarid regions of Central Mexico. *Hortscience* 20: 80.

Pérez-González S. 1999. Estudio Etnobotánico, ecológico y de usos potenciales del Garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) como base para su domesticación y cultivo. CONACYT. Qro. Querétaro. 31 pp.

Petit S. 2001. The reproductive phenology of three sympatric species of columnar cacti on Curaçao. *Journal of Arid Environments* 49: 521-531.

Pimienta-Barrios E. y P. S. Nobel. 1995. Reproductive characteristics of pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) and their relationships with soluble sugars and irrigation. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 120: 1082-1086.

Pimienta-Barrios E. y R. F. del Castillo. 2002. Reproductive biology. En: Nobel P. S. (Ed.). *Cacti. Biology and Uses*. University of California Press. Berkeley. pp: 75-90.

Piña H. H. 2000. Ecología reproductiva de *Ferocactus robustus* en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Maestría. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas- IPN. México, D. F. 91 pp.

Plasencia L. M. T. 2004. Biología reproductiva de *Opuntia bradtiana* (Cactaceae) en Cuatro Ciénegas, Coahuila. Tesis de Licenciatura (Biólogo), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 49 pp.

Primack R. B. 1985. Longevity of individual flowers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 15-37.

Proctor M., P. Yeo y A. Lack. 1996. The natural history of pollination. Timber Press, Portland. 479 pp.

Rea A. C. y J. B. Nasrallah. 2008. Self- incompatibility systems: barriers to self-fertilization in flowering plants. *The international Journal Developmental Biology* 52: 627-636.

Reyes T. J. M. 2016. Biología floral y síndrome de polinización en *Stenocactus arrigens* (Link) A. Berger ex A. W. Hill. Tesis de Licenciatura (Biólogo), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, Ciudad de México. 55 pp.

- Richards A. J. 1986. *Plant Breeding Systems*. George Allen y Unwin, Londres. 529 pp.
- Rocha M., A. Valera y L. Eguiarte. 2005. Reproductive ecology of five sympatric *Agave Littaea* (Agavaceae) species in central Mexico. *American Journal of Botany* 92: 1330-1341.
- Ruiz A., M. Santos y J. Cavelier. 2000. Estudio fenológico de cactáceas en el enclave seco de Tatacoa, Colombia. *Biotropica* 32: 397-407.
- Rzedowski J. 1981. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D. F. 432 pp.
- Sahley C. T. 2001. Vertebrate pollination, fruit production, and pollen dispersal of *Stenocereus thurberi* (Cactaceae). *The Southwestern Naturalist* 46: 261-271.
- Sahley C. T. 1996. Bat and hummingbird pollination of an autotetraploid columnar cactus, *Waberbauerocereus weberbaueri* (Cactaceae). *American Journal of Botany* 83: 1329-1336.
- SAS Institute Inc. 2001. *JMP: a Business Unit of SAS*. Version 5.0.1 by Statistical Analysis System, Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Scheinvar L. 2004. *Flora cactológica del estado de Querétaro. Diversidad y riqueza*. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 390 pp.
- Schemske D. E. y L. Pautler. 1984. The effects of pollen composition on fitness components of a neotropical herb. *Oecologia* 62: 31-36.
- Schemske D. E., M. F. Willson, N. M. Melampy, J. L. Miller, L. Verner, K. M. Schemske y L. Best. 1978. Flowering ecology of some spring woodland herbs. *Ecology* 59: 351-366.
- Schindwen C. y D. Wittmann. 1997. Stamen movements in flowers of *Opuntia* (Cactaceae) favour oligolectic pollinators. *Plant Systematics and Evolution* 204: 179-193.

- Segura-Venegas D. y B. Rendón-Aguilar. 2016. *Opuntia megarrhiza* Rose (Cactaceae) en San Luis Potosí, México: Uso tradicional y distribución de nuevas poblaciones. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 62: 36-47.
- SEMARNAT. 2014. EncicloVida. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Página en red: bios. Conabio. Gob. Mx/especies/6008005
- Shedbalkar U., S. Adli, P. Jadhav y A. Bapat. 2010. *Opuntia* and other Cacti: applications and biotechnological insights. *Tropical Plant Biol* 3: 136-150.
- Silander J. y R. Primack. 1978. Pollination intensity and seed set in the evening primrose (*Oenothera fruticosa*). *The American Midland Naturalist* 100: 213-216.
- Slauson L. A. 2000. Pollination biology of two chiropterophilous agaves in Arizona. *American Journal of Botany* 87: 825-836.
- Snow A. A. 1982. Pollination intensity and potential seed set in *Passiflora vitifolia*. *Oecologia* 55: 321-337.
- Stephenson A. G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 12: 253-279.
- Strauss S. Y. 1997. Floral characters link herbivores, pollinators, and plant fitness. *Ecology* 78: 1640-1645.
- Sutherland S. 1986. Patterns of fruit- set: what controls fruit flower ratios in plants? *Evolution* 40: 117-128.
- Sutherland S. y L. Delph. 1984. On the importance of female fitness in plants: patterns of fruit- set. *Ecology* 65: 1093-1104.
- Suzán H., G. P. Nabhan y D. T. Pattern. 1994. Nurse plant and floral biology of a rare night- blooming cactus, *Peniocereus striatus* (Brandege) F. Buxbaum. *Conservation Biology* 8: 461-470.
- Tapia-Tapia E. C. y R. Reyes-Chilpa. 2008. Productos forestales no maderables en México: aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y bosques* 14: 95-112.

- Valiente-Banuet A., A. Rojas-Martínez, M. C. Arizmendi y P. Dávila. 1997. Pollination biology of two columnar cacti (*Neobuxbaumia mezcalaensis* and *Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Central Mexico. *American Journal of Botany* 84: 452-455.
- Valiente-Banuet A., G. R. Santos, M. C. Arizmendi y A. Casas. 2007. Pollination biology of the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* 68: 1-8.
- Valiente-Banuet A., M. C. Arizmendi, A. Casas, H. Godínez-Álvarez, C. Silva y P. Dávila-Vindiola. 2002. Biotic interactions and population dynamics of columnar cacti. En: Fleming T. H. y A. Valiente-Banuet (Eds.). *Columnar cacti and their mutualistic: evolution, ecology and conservation*. University of Arizona Press. Tucson, Arizona. pp: 225-240.
- Waddington K. D. 1983. Foraging behavior of pollinators. En: Real L. (Ed.). *Pollination Biology*. Academic Press. Orlando. pp: 213-239.
- Wilcock C. y R. Neiland. 2002. Pollination failure in plants: why it happens and when it matters. *Trends Plant Science* 7: 270-277.
- Wilson M. F. y D. E. Schemske. 1980. Pollinator limitation, fruit production, and floral display in Pawpaw (*Asimina triloba*). *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 107: 401-408.
- Wilson M. F. y R. Bertin. 1979. Flowers- visitors, nectar production, and inflorescence size of *Asclepias syriaca*. *Canadian Journal of Botany* 57: 1380-1388.
- Wyatt R. 1983. Pollinator- plant interactions and the evolution of breeding systems. En Real L. (Ed.). *Pollination Biology*. Academic Press. Orlando. pp: 51-95.
- Young H. J. y T. P. Young. 1992. Alternative outcomes of natural and experimental high pollen loads. *Ecology* 73: 639-647.
- Zamora M., J. Torres y L. Zamora. 2001. Análisis de la información sobre productos forestales no madereros en México. Proyecto Información y análisis para el manejo

forestal sostenible: integrando esfuerzos nacionales e internacionales en 13 países tropicales en América Latina (GCP/RLA/133/EC). FAO. Santiago, Chile.

Zimmerman M. 1988. Nectar production, flowering phenology, and strategies for pollination. En Lovett J. y L. Lovett (Eds.). Plant Reproductive Ecology. Oxford University Press. Nueva York. p: 157-178.

## 9. Anexo

**Anexo I.** Cuestionario sobre el uso del “garambullo” en la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro, México.

1. ¿Conoce el “garambullo”?
  - a) Sí
  - b) No
2. ¿lo nombran de alguna otra manera?
  - a) Sí, (mencionar)
  - b) No
3. ¿Qué partes utiliza?
  - a) Tallos o ramas
  - b) Flores
  - c) Frutos
  - d) Raíz

Sobre el uso de (TALLOS/FLORES/FRUTOS/RAIZ) \*

1. ¿Compra l@s (\*) o l@s junta?
  - a) Sí
  - b) No
2. ¿Dónde l@s junta?
  - a) Monte
  - b) Huerto propio
  - c) En ambas partes (monte y huerto propio)
3. ¿En qué temporada del año l@s junta?
  - a) Secas (mes)
  - b) Lluvias (mes)
  - c) En cualquier época del año (mes)
4. ¿Para qué l@s junta (USO)?
  - a) Alimento
  - b) Forraje (¿para qué tipo de animales?)
  - c) Medicina (¿para qué enfermedad y cómo?)
  - d) Ritual o ceremonial



- e) Construcción
  - f) Combustible
  - g) Otro uso (mencionar)
5. ¿Cómo se consumen (especificar)?
  6. ¿Cómo se juntan (herramientas)?
  7. ¿Quién l@s junta?
    - a) Mujeres
    - b) Hombres
    - c) Niños
    - d) Cualquiera
  8. ¿Por qué les gusta utilizar (\*)?
  9. ¿L@s venden?
    - a) Sí
    - b) No
  10. ¿Dónde l@s venden?
  11. ¿Cómo l@s venden?
  12. ¿Cuál es el precio?
  13. ¿Desde que usted era niñ@ el uso de (\*) ha sido siempre igual o...?
    - a) Aumentado
    - b) Disminuido
    - c) Se ha mantenido igual
  14. ¿Cuáles son los problemas que se tienen para poder aprovecharse y consumirse?

**Anexo II.** Material didáctico utilizado en las encuestas estructuradas sobre el uso del “garambullo” en la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, Querétaro, México.



