



a abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
Unidad Iztapalapa

Fecha : 25/11/2016

Página : 1/1

### CONSTANCIA DE PRESENTACION DE EXAMEN DE GRADO

La Universidad Autónoma Metropolitana extiende la presente CONSTANCIA DE PRESENTACION DE EXAMEN DE GRADO de MAESTRO EN BIOLOGIA del alumno ESTEBAN OMAR MUNGUIA SOTO, matrícula 2143800731, quien cumplió con los 190 créditos correspondientes a las unidades de enseñanza aprendizaje del plan de estudio. Con fecha veintiocho de noviembre del 2016 presentó la DEFENSA de su EXAMEN DE GRADO cuya denominación es:

Facilitación en la polinización por abejas generalistas y especialistas de cactáceas del semidesierto de Querétaro.

Cabe mencionar que la aprobación tiene un valor de 40 créditos y el programa consta de 230 créditos.

El jurado del examen ha tenido a bien otorgarle la calificación de:

APROBADO

### JURADO

Presidente

DR. PEDRO LUIS VALVERDE PADILLA

Secretario

DR. JORDAN KYRIL GOLUBOV FIGUEROA

Vocal

M. EN B ESPERANZA CORDOVA ACOSTA

Vocal

DR. GABRIEL ARROYO COSULTCHI

El jurado designado por la  
División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

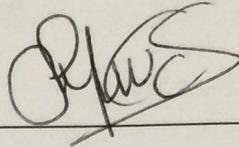
Esteban Omar Munguia Soto

El día \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del año de \_\_\_\_\_.

*Comité Tutorial y Jurado*

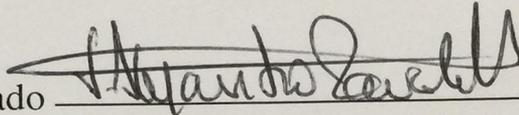
Cotutora:

Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez \_\_\_\_\_  
Instituto de Ecología.  
Universidad Nacional Autónoma de México.



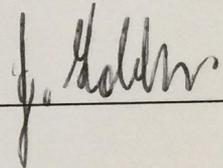
Cotutor:

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado \_\_\_\_\_  
Depto. de Biología.  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.



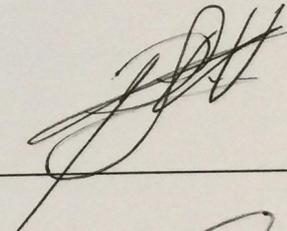
Asesor y Jurado:

Dr. Jordan Kyril Golubov Figueroa \_\_\_\_\_  
Depto. El Hombre y su Ambiente.  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.



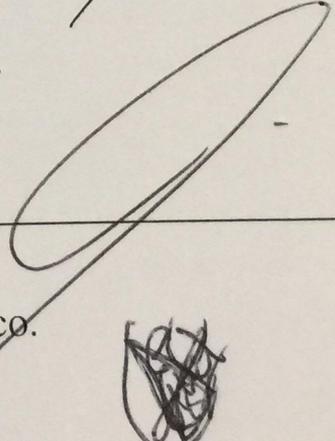
Jurado:

Dr. Pedro Luis Valverde Padilla \_\_\_\_\_  
Depto. de Biología.  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.



Jurado:

Dr. Gabriel Arroyo Colsultchi \_\_\_\_\_  
Depto. El Hombre y su Ambiente.  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.



Jurado:

M. en B. Esperanza Córdova Acosta \_\_\_\_\_  
Depto. de Biología.  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.





Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

---

UNIDAD IZTAPALAPA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Título :

**FACILITACIÓN EN LA POLINIZACIÓN POR ABEJAS  
GENERALISTAS Y ESPECIALISTAS DE CACTÁCEAS  
DEL SEMIDESIERTO DE QUERÉTARO**

TESIS:

Que para obtener el grado de MAESTRO EN BIOLOGÍA

Presenta:

Biól. Esteban Omar Munguia Soto

Matricula: 2143800731

---

Cotutores:

Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Aserores:

Dr. Jordan Kyril Golubov Figueroa

Fecha: 10 de marzo de 2017

La Maestría en Biología de la  
Universidad Autónoma Metropolitana  
pertenece al Padrón de  
Postgrados de Calidad del CONACyT.

El jurado designado por la  
División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Esteban Omar Munguia Soto

El día \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del año de \_\_\_\_\_.

*Comité Tutorial y Jurado*

Cotutora:

Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez \_\_\_\_\_  
Instituto de Ecología.  
Univerdidad Nacional Autónoma de México.

Cotutor:

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado \_\_\_\_\_  
Depto. de Biología.  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

Asesor y Jurado:

Dr. Jordan Kyril Golubov Figueroa \_\_\_\_\_  
Depto. El Hombre y su Ambiente.  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

Jurado:

Dr. Pedro Luis Valverde Padilla \_\_\_\_\_  
Depto. de Biología.  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

Jurado:

Dr. Gabriel Arroyo Cosultchi \_\_\_\_\_  
Depto. El Hombre y su Ambiente.  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

Jurado:

M. en B. Esperanza Córdova Acosta \_\_\_\_\_  
Depto. de Biología.  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

# Dedicatoria

DEDICADO A MIS PADRES

Marco Aurelio Munguia Rocha † y Griselda Soto Verduzco †

Y A MIS HERMANOS

Marco Aurelio Munguia, Oscar Rodrigo Munguia y Melissa Grisel Munguia

*"LOS VALORES NOS HACEN CREER"*

(Anonimo, 2016)

# Agradecimientos

La tesis se elaboró bajo la dirección de la Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez en el Laboratorio de Genética y Ecología, Departamento de Ecología de la Biodiversidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

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

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

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada, para la realización de este estudio (No. de becario 570393)

A la Coordinación de la Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, por los apoyos que me brindo a lo largo de la maestría

Al Dr. Miguel Ángel Armella, por su amabilidad y el apoyo constante como coordinador de la Maestría en Biología.

A la Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez, por creer en mí, darme la oportunidad de seguir con mis estudios, por toda su ayuda, confianza, paciencia y todas sus enseñanzas, y más que una tutora, es una gran amiga.

Al Dr. Alejandro Zavala, por aceptar amablemente ser mi asesor, por sus sugerencias, comentarios y aportaciones a esta tesis.

Al Dr. Jordan K. Golubov Figueroa por aceptar amablemente ser mi asesor, por sus comentarios, por sugerencias a esta tesis y más que un asesor se convirtió en un gran amigo.

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

Al Biól. Hugo G. Altamirano Vázquez, por su apoyo en la logística de las salidas de campo y

trabajo en campo

Al Dr. Ricardo Ayala por la ayuda en la identificación de las abejas.

Al Dr. Ismael Hinojosa por la ayuda en la identificación de las abejas.

A mi familia Marco Aurelio Munguia, Oscar Rodrigo Munguia y Melissa Grisel Munguia, Rodrigo Maximiliano Munguia, Mariano Munguia, Claudia Rodríguez y Pamela Jimenes por el apoyo y la motivación que tuvieron para poder lograr el objetivo.

Y a todos aquellas personas, cosas y lugares que por una u otra razón estuvieron a mi lado apoyando a la culminación de esta tesis. Y una mención especial Al famoso CMPSLL por cada evento a beneficio de un servidor que ayudaron para alcanzar la meta final. A los tomentosos del semidesierto por apoyar en las giras artisticas que se agendaron en el tiempo que duro este trabajo. A los succulent@s esa pandilla que ha estado conmigo desde antes de iniciar la maestría y a cada persona, cosa y lugar que me han llevado al éxito de esta tesis

# Resumen

En el presente trabajo se observó la polinización por abejas especialistas y generalistas de seis especies de cactáceas en floración y la estructura de interacción cactácea/abeja en el semi-desierto del estado de Querétaro. Se registro la frecuencia de visitas de abejas para observar un patrón de especialización o generalización y conocer la estructura de la comunidad cactácea/abeja: abundancia, riqueza y diversidad de Shannon. Se realizó un estudio de redes de interacción para entender si la red cactácea/abeja es generalista o especialista e identificar a las abejas que son especialistas y a las que podrían ser las posibles polinizadoras.

En lo que se refiere a la estructura de la comunidad cactácea/abeja en comparación con otros estudios nuestros valores de abundancia fueron altos, sin embargo, los valores de riqueza y diversidad fueron bajos. Por otra parte, la red de interacción cactácea/abeja no presento un patrón de anidamiento, sin embargo, se formaron 4 módulos de interacción y el sistema de polinización fue generalista. *Lithurgus planifrons* y *Melissodes* sp. fueron registradas como abejas especialistas en la red, mientras *Lasioglossum (Dialictus)* y *Augochlora* sp fueron las especies con mayor probabilidad de ser un polinizador eficiente. El deterioro del hábitat y la presencia de abejas exóticas puede estar contribuyendo a la baja riqueza de especies en el sitio de estudio. También se podría sugerir que la interacción cactácea/abeja se limita a un pequeño número de abejas que comparten los recursos proporcionados por las especies de cactáceas durante el período de floración. Lo generalizado que las especies involucradas en este estudio deben evaluarse adicionalmente para determinar la importancia de otras especies de plantas en la estructura de la red planta / polinizador para este sitio, y poder remarcar la importancia de mantener la vegetación nativa para la abundancia y riqueza de los polinizadores.

# Abstract

In this research the pollination by bees specialists and generalists of the six species of cactus and sampled structure interaction semidesierto the state of Queretaro it was observed. The frequency of performing a bee visits to observe the pattern of specialization was used and to know the structure of the community bee/cactus abundance, richness and diversity of Shannon were used. A study of interaction networks was conducted to understand if the network bee/cactus is generalist or specialist and identify bees are specialist and what could be the possible pollinators.

As regards the structure of the bee/cactus compared to other community our studies abundance values were high, however, values were low richness and diversity. Moreover, the network of bee/cactus interaction not show a pattern of nesting, however, 4 modules interaction and generalist pollination system was formed. *Lithurgus planifrons* and *Melissodes* sp. while *Lasioglossum* (*Dialictus*) and *Augochlora* sp were the species most likely to be an efficient pollinator. Habitat deterioration may be contributing to the presence of exotic bees and the low species richness found at this site. It could also suggest that the cactus/bee interaction is limited to a small number of bees that share the resources provided by cactus species during the flowering period. How generalised the species involved in this study should be further evaluated to determine the importance of other plant species in the structuring of the plant/pollinator network at this site, and highlight the importance of maintaining native vegetation for pollinator health.

# Índice general

<b>Dedicatoria</b>	<b>I</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>II</b>
<b>Resumen</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract</b>	<b>V</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>X</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Interacción Planta/Polinizador . . . . .	1
1.2. Especialistas y Generalistas . . . . .	3
1.3. Recursos Florales . . . . .	5
1.4. Generalidades de las Abejas. Apoidea: Hymenoptera . . . . .	7
1.5. Cactáceas . . . . .	9
1.6. Redes de Interacción . . . . .	10
1.7. Objetivo General . . . . .	13
1.7.1. Objetivos Particulares . . . . .	13
1.8. Hipótesis . . . . .	13
<b>2. Metodos</b>	<b>15</b>
2.1. Área de Estudio . . . . .	15
2.2. Diseño del Muestreo . . . . .	17

---

2.3. Métodos de captura . . . . .	18
2.3.1. Abejas en flores de cactáceas . . . . .	18
2.3.2. Abejas en Platos Trampa o <i>Pan traps</i> . . . . .	18
2.4. Abejas registradas con Cámaras de Vídeo . . . . .	19
2.5. Producción de Néctar . . . . .	21
2.6. Análisis de Diversidad de Abejas . . . . .	21
2.7. Red de Interacción Cactáceas/Abejas . . . . .	24
<b>3. Resultados</b>	<b>28</b>
3.1. Abundancia de Abejas . . . . .	30
3.1.1. Curva de Acumulación de Especies . . . . .	32
3.1.2. Abundancia, Riqueza y Diversidad . . . . .	34
3.1.3. Similitud de Especies de Abejas . . . . .	35
3.2. Frecuencias de Abejas . . . . .	36
3.3. Producción de Néctar . . . . .	45
3.4. Estructura de la Red de Cactáceas / Abeja . . . . .	47
<b>4. Discusión</b>	<b>52</b>
4.1. Abundancia de Abejas . . . . .	53
4.2. Diversidad de Abejas . . . . .	54
4.3. Estructura de la red de polinización . . . . .	57
<b>5. Conclusiones</b>	<b>60</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>61</b>

# Índice de figuras

1.1. Tipos de redes, a) Red unipartita b) Red bipartita. . . . .	11
2.1. Mapa del Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” . . . . .	17
3.1. Curva de acumulación de especies de abejas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” (Semidesierto queretano). Donde la parte sombreada color azul muestra la desviación estándar por mes que hubo durante los 12 meses de muestreo. . . . .	33
3.2. Dendograma de disimilitud de abejas que hay entre las diferentes cactáceas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto queretano). . . . .	36
3.3. Número de individuos de abejas capturados de enero a diciembre del 2015, los registros fueron tomados en el Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano) usando platos trampa y captura en flores de especies de cactáceas. . . . .	38
3.4. Frecuencia totales de especies de abejas registradas en <i>Ferocactus histrix</i> en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 (n= 16 flores). . . . .	39
3.5. Frecuencia totales de especies de abejas registradas en <i>Opuntia robusta</i> en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 (n= 16 flores). . . . .	40

3.6. Frecuencia totales de especies de abejas registradas en <i>Opuntia cantabrigiensis</i> en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 (n= 16 flores).	41
3.7. Frecuencia totales de especies de abejas registradas en <i>Opuntia streptacantha</i> en el Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 (n= 16 flores).	42
3.8. Frecuencia totales de especies de abejas registradas en <i>Opuntia tomentosa</i> en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 (n= 16 flores).	44
3.9. Frecuencia totales de especies de abejas registradas en <i>Myrtillocactus geometrizans</i> en el Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 (n= 16 flores).	45
3.10. Producción de néctar de las flores de cactáceas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto queretano).	46
3.11. Gráfico Red bipartita de interacción entre cactáceas (parte derecha) y abejas (parte izquierda) que se encontró en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015.	47
3.12. Gráfico de interacción entre cactáceas–abejas utilizando las frecuencia de visitas que se registró en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015.	48
3.13. Gráfico que muestra la clasificación promedio (n= 1000 repeticiones) de la red Cactácea–Abeja , de acuerdo con el análisis de la modularidad bipartito QUANBIMO. La intensidad de los colores indica la frecuencia de abejas por cactácea.	50

# Índice de cuadros

1.1. Familias, número de géneros y especies, forma de vida y formas de Anidación de abejas presentes en México. . . . .	8
2.1. Valores de temperatura, precipitación y velocidad del viento (mínimas y máximas) observadas de enero a diciembre del 2015 registrada en el Jardín Botánico de Cadereyta de Montes “Ing. Manuel González de Cosío”, Querétaro (Semidesierto queretano). . . . .	16
2.2. Fechas, número de filmaciones y tamaño de tubo capilar de extracción de néctar para las especies de cactácea en floración. . . . .	20
2.3. Análisis estadísticos e índices ecológicos utilizados para el análisis de la estructura de la comunidad de abejas. . . . .	23
2.4. Métricas para medir la estructura de la red interacciones Cactácea / Abejas a nivel de red y de especies. . . . .	26
3.1. Familias, especies y numero de individuos de abejas registradas en las seis especies de cactáceas (C) y trampas jabonosas (TJ) del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes “Ing. Manuel González de Cosío”, Querétaro (Semidesierto queretano), y el tipo de recompensa floral que utilizan (polen o néctar). . . . .	29
3.2. Abundancias de especies de abejas registradas de enero a diciembre del 2015 en el Jardín Botánico de Cadereyta de Montes Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío”, Querétaro (Semidesierto queretano). . . . .	31

3.3. Abundancias de especies de abejas registradas en las seis especies de cactáceas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” (Semidesierto queretano), Datos obtenidos de enero a diciembre del 2015. . . . .	32
3.4. Valores de eficiencia de muestreo de abejas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, “Ing. Manuel González de Cosío” (Semidesierto queretano) asociados a flores de Cactaceae y usando trampas, con diferentes indicadores de riqueza (Riqueza de especies ( $S$ ), Jackknife 1, Chao 1 y 2. . . . .	33
3.5. Valores de Riqueza específica ( $S$ ), Abundancia ( $N$ ) y Diversidad de Shannon ( $H'$ ) de las abejas registradas de enero a diciembre 2015 del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes “Ing. Manuel González de Cosío” (Semidesierto queretano). . . . .	34
3.6. Valores de Riqueza específica ( $S$ ), Abundancia ( $N$ ) y Diversidad de Shannon ( $H'$ ) de abejas para las seis especies de cactáceas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, “Ing. Manuel González de Cosío” (Semidesierto queretano). . . . .	35
3.7. Índices básicos a nivel red utilizadas para conocer la estructura de la red Cactácea–Abeja en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015.	49
3.8. Métricas de especialización de la estructura de la red Cactáceas–Abejas a nivel de especie . . . . .	51

# 1. Introducción

## 1.1. Interacción Planta/Polinizador

La polinización se define como el proceso de transferencia de gametos sexuales masculinos (polen) desde las anteras (función masculina) de una flor hasta la superficie receptora femenina (estigma) de otra flor (Ollerton, 1999). Por su parte la ecología de la polinización estudia los procesos que intervienen en la reproducción de una planta, esto incluye la floración, los visitantes florales y el transporte del polen por vectores bióticos o abióticos, los cuales han sido utilizados para entender el proceso de la selección natural como motor evolutivo en plantas (Herrera, 2009). Donde las interacciones entre plantas/polinizador han llegado a ser uno de los sistemas modelo en el cual se ha podido estudiar la evolución adaptativa en la naturaleza (Gómez, 2002). Muchos estudios de ecología evolutiva mencionan que las interacciones entre plantas y sus polinizador tienen como marco de referencia el “Principio del Polinizador más Eficiente” el cual postula que: *“La selección natural favorecerá los rasgos morfológicos, fisiológicos o ecológicos de las plantas que le sirvan para atraer a los visitantes florales que polinizan más eficientemente”* (Gómez, 2002), formulado originalmente por Stebbins (1970). Y como consecuencia a este principio los sistemas de polinización tendrían a la especialización.

A partir de la relación estrecha sugerida entre rasgos florales y preferencias de los visitantes florales mediadas por un proceso de selección y adaptación, fue como surgió el concepto denominado síndrome de polinización, el cual es definido como *“el conjunto de rasgos y recompensas florales, asociadas con la atracción y utilización de un grupo específico de animales que actúan como polinizadores”* (Fenster *et al.*, 2004), donde los animales polinizadores pueden ser aves, insectos y mamíferos. Los rasgos florales incluyen la forma,

tamaño y color de la flor, tipo y cantidad de recompensas florales (néctar, polen, fragancias, etc.), composición química del néctar, horario y época de floración (Gómez, 2002), y también se incluyen la longevidad floral y biología floral (Mandujano et al., 2010). Sin embargo, el concepto de síndrome de polinización ha sido criticado por varios autores en términos de que el estudio más fino de las interacciones por lo general lleva a conclusiones contrarias y a síndromes de polinización mucho más generalistas de lo que se pensaba, pero facilitan la manera de entender la diversificación de las estructuras florales (Herrera, 1996; Fenster *et al.*, 2004).

En las cactáceas se pueden distinguir tres tipos de síndrome de polinización. El primero es la polinización por abejas o melitofilia, el cual ha sido reportado por Mandujano *et al.* (1996) en *Opuntia rastrera* del desierto Chihuahuense, donde observaron que las flores de *O. rastrera* fueron diurnas, de color amarillo, una corola con diámetro grande (de 4-6 cm) y un estigma verde que contrasta con el color amarillo de la corola y un estigma verde. Concluyendo que esta cactácea era polinizada exclusivamente por abejas, siendo las más frecuentes *Diadasia* sp y *Lithurge* sp. El siguiente síndrome de polinización es la quiropterofilia, este síndrome realizado por murciélagos ha sido observado por Valiente-Banuet *et al.* (1996), el cual estudiaron la relación que hay entre una cactácea columnar (*Neobuxbaumia tetetzo*) y los murciélagos en México. Las flores de (*N. tetetzo*) variaban su entre color blanco y rosas, con forma de campana y de floración nocturna. Donde *Leptonycteris curasoae*, *Choeronycteris mexicana* y *Artibeus jamaicensis* fueron las especies de murciélagos que resultaron exitosa para la polinización de este cactus. Por último, el síndrome de polinización realizado por aves u ornitofilia, donde un ejemplo de este síndrome es el reportado por (Nassar y Ramírez, 2004) en la población de *Melocactus curvispinus*, en el cual observaron que sus flores fueron de color púrpura y rosa, con actividad diurna. Donde encontraron que su principal polinizador fue el colibrí *Leucippus fallax*.

Estudios teóricos y empíricos sobre interacciones entre plantas y polinizadores han apoyado la especialización como una idea central, básicamente para poder entender la evolución de los caracteres florales (Fenster *et al.*, 2004). Sin embargo, algunos autores señalan que las generalizaciones en los sistemas de polinización son más frecuentes que los supuestos teóricos mencionan, ya que las flores de muchas especies vegetales son visitadas por un gran número de animales (Herrera, 1996; Waser *et al.*, 1996; Gómez y Zamora, 1999; Olesen, 2000; Gómez, 2002; Fenster *et al.*, 2004). Por ejemplo Valiente-Banuet (2002), reporta diferentes grupos de visitantes florales sobre cuatro especies de cactáceas columnares (*Carnegiea gigantea*, *Pachycereus pringlei*, *Stenocereus thurberi* y *Neobuxbaumia mezcalaensis*) que presentan síndrome de polinización quiropterófila en dos lugares diferentes. Las poblaciones de cactáceas presnetes en el desierto Sororense fueron polinizadas por abejas y aves, mientras que las poblaciones ubicadas en el Valle Tehuacan-Cuicatlán eran polinizadas por murciélagos. Por su parte, Gómez y Zamora (1999) en la Sierra Nevada, España, observaron las interacciones mutualistas de tres poblaciones de *Hormathophylla spinosa* a lo largo de 4 años y distribuidas en varios gradientes altitudinales. En donde reportaron un sistema de polinización generalizado, identificando tres diferentes tipos de insectos (abejas, hormigas y moscas) como polinizadores. Al respecto, Ollerton (1996) propone una paradoja, en donde observa una aparente adaptación fenotípica muy especializada de las flores, mientras que sus polinizadores son más generalistas y no presentan una preferencia por un cierto tipo de flor (por ejemplo: abejas polinizando flores que tienen rasgos de polinización por aves).

## 1.2. Especialistas y Generalistas

Cuando se estudia la especialización o generalización de un sistema de polinización, un concepto clave es la eficiencia de un polinizador el cual se define como: *el efecto que*

tiene dicho polinizador sobre el fitness (adecuación) de la planta por cada visita que efectúa (Gómez, 2002). En donde un polinizador especialista es aquel que visita a una sola especie planta y este polinizador está morfológicamente diseñado para recolectar polen y néctar de dicha planta. Por lo tanto, una especie especialista puede ser un polinizador más eficiente que una generalista, ya que las especies generalistas se alimentan de flores de diferentes tipos de plantas, lo cual puede causar que el polinizador pierda granos de polen entre las visitas de las diferentes especies de plantas (Motten *et al.*, 1981). Así mismo, dicha eficiencia está relacionada con la calidad de visitas que realiza un polinizador a una planta y esta suele medirse con: el número de granos de polen depositados transportados, por la proporción de entrecruzas realizadas, la distancia de vuelo, el número de flores visitadas por planta consecutivamente, entre otras variables (Gómez, 2002).

Por ejemplo, Castellanos (2007) observó la eficiencia en la polinización de dos especies un abejorro del género *Bombus* y un colibrí del genero *Selasphorus* en *Penstemon strictus* (flor morada) y *Penstemon barbatus* (flor roja). Sus resultados mostraron que el abejorro es más eficiente que el colibrí en *P. strictus*, ya que deposito más granos de polen en las flores (76 y 32 granos promedio respectivamente). Mientras que en *P. barbatus* el colibrí es la especie más eficiente ya que transfirió el 2.5% de los granos y el abejorro un 1.6%. Estas diferencias se debieron a la forma de la flor que no permite que el abejorro acceda a la flor. Núñez-Avellaneda y Rojas-Robles (2008) estudiaron la biología reproductiva y ecología de la polinización de *Oenocarpus bataua* (Palmae) en los Andes colombianos, registrando un total de 81 especies de artrópodos que visitaron las flores y donde unas cuantas especies del orden Coleóptera (*Phyllotrox* sp, *Anchylorhynchus* sp, *Anchylorhynchus tricarinatus* (Curculionidae) y *Mystrops* sp (Nitidulidae)) fueron los responsables del 97% del flujo de polen entre inflorescencias, concluyendo que la especie *O. bataua* tiene un sistema especialista con las especies del orden Coleóptera como sus polinizadores.

Robertson (1925) en función de la preferencia que muestra el organismo para coleccionar polen de una planta, introdujo el término oligolético y polilético para distinguir entre especialistas y generalistas de polen, modificado por Müller y Kuhlmann (2008). El cual define como especie oligolética al polinizador que recolecte polen de dos a más especies pertenecientes a un género de planta y polilética al polinizador que colecta polen de varias familias de plantas, pero una planta (familia, subfamilia, tribu, género o especie) es la que predomina. Un ejemplo de especie oligolética se observa en el trabajo realizado por Ayala (1988) donde estudió a una especie oligolética de la familia Panurginae (*Macrotera* sp), la cual únicamente estuvo presente en las flores del género *Opuntia*. En el trabajo de Quiroz-García *et al.* (2011) muestra un sistema polilético de polinización con *Scaptotrigona hellwegeri* en dos comunidades vegetales (selva mediana subperennifolia y en la selva baja caducifolia) que visitan plantas pertenecientes a diferentes taxa.

### 1.3. Recursos Florales

Las plantas para su polinización requieren de vectores bióticos o abióticos para poder lograr la dispersión del polen, esto debido a su hábito sécil. La polinización abiótica es realizada por el viento, agua o gravedad, mientras que la mayor parte de las especies de plantas son polinizadas por animales (Polinización biótica) (Quesada *et al.*, 2012). Generalmente las flores presentan señales y recompensas que sirven de atrayentes para gremios específicos de polinizadores. Las señales pueden ser el color de los pétalos, guías de néctar, fragancias, partes florales, su morfología y fenología; factores que en conjunto determinan el tipo y frecuencia de visitantes (Faegri y Van Der Pijl, 1979; Espino *et al.*, 2012). Hay evidencia de que las abejas tienen preferencia por flores que abren durante el día, con fragancias, que tengan presencia de guías de néctar, preferentemente de color azul, morado, amarillo, blanco y tonos

ultravioleta, y con plataformas que les permitan posarse en ella (Rouibik, 1989; Krannitz y Maun, 1991; Gordón *et al.*, 2002).

Por otro lado, las flores también ofrecen recompensas a las abejas, estas se pueden dividir en nutritivas (teniendo néctar y polen como las más habituales, algunos tejidos florales, fluidos del estigma y aceites), las cuales utilizan para mantener su metabolismo y reproducirse, y las no nutritivas (tricomas, resinas, ceras y partes de la corola) que usan como materiales de construcción (Waser, 1983; Dafni, 1992; Navaro *et al.*, 2000). La composición y cantidad de néctar varía según la especie de planta, pero en general contiene azúcares (que va desde el 5 % hasta el 80 % (Rouibik, 1989) según la especie), proteínas, aminoácidos, lípidos, ácidos orgánicos y antioxidantes (Baker *et al.*, 1998). Por otra parte, las abejas adhieren el polen a sus cuerpos accidentalmente en escopas y / o vellosidades plumosas que tienen en sus cuerpo durante el consumo del néctar, o bien las abejas hembras cosechan polen activamente en estructuras especializadas (i.e., escopas y / o corbículas) para llevarlos a sus colmenas o nidos para alimentar a sus larvas (Rouibik, 1989; Grimaldi, 1999), en general el polen se compone de proteínas, almidones, azúcares, grasas y sales inorgánicas. Algunos autores han observado un incremento de polinizadores en flores que producen mayor cantidad de polen (Eguiarte *et al.*, 1987; Arroyo, 1988; del Pino y Ramoneda, 1990; Montenegro *et al.*, 1992). Este incremento en la fabricación del polen puede representar un mecanismo para compensar la deficiencia de otro de sus recursos o recompensas florales (Heithaus, 1982).

La afinidad de las abejas y otros insectos por los recursos florales ha derivado en el desarrollo de trampas con señuelos y recientemente se han utilizado platos trampa de colores o “*pan traps*”, los cuales han permitido el estudio de la diversidad de insectos con un esfuerzo de captura constante (Wilson *et al.*, 2016). Las trampas consisten de platos de colores llenos de agua y un aditivo (por ejemplo, jabón aromatizado) para atraer al insecto y hundirse al romper la tensión superficial del agua, donde el plato de color simula algunos recursos flo-

rales que usaría una planta para atraer a su polinizador. El uso de este tipo de trampas para capturas indirectas es común en varios trabajos (Toler *et al.*, 2005; Roulston *et al.*, 2007; Droege *et al.*, 2010; Grundel *et al.*, 2011; Ramírez-Freire *et al.*, 2014) en donde se usan platos trampas al mismo tiempo que capturas directas con y redes entomológicas para la captura de abejas.

#### **1.4. Generalidades de las Abejas. Apoidea: Hymenoptera**

Las abejas son especies claves en los ecosistemas y esenciales en el mantenimiento de las comunidades vegetales, ya que son los principales polinizadores de las plantas con flores y proveen servicios de polinización en diversos cultivos (Ayala *et al.*, 1996). La superfamilia Apoidea incluye a más de 20,000 especies de abejas (Michener, 1965, 1979; Hurd, 1979; Rouibik, 1989), que han sido ubicadas en siete familias: Stenotritidae, Colletidae, Andrenidae, Halictidae, Melittidae, Megachilidae y Apidae (Michener, 2000). De estas la primera únicamente habita en Australia (Michener, 2000). En México, la apifauna se agrupa en seis familias (Cuadro 1.1), 144 géneros y 1908 especies *sensu* Ayala (*comp. pers.*). Sin embargo, este número de taxa es conservador considerando la falta de revisiones recientes para muchos de los géneros y los escasos muestreos que tiene el país (Ayala *et al.*, 1996). La mayoría de las abejas son solitarias, donde cada hembra construye su propio nido y en él construyen celdas donde deposita un huevo. Estas especies de abejas solitarias producen una o más generaciones al año. Las especies gregarias están presentes en varias familias, generalmente formado castas (Michener, 1974).

**Cuadro 1.1:** Familias, número de géneros y especies, forma de vida y formas de Anidación de abejas presentes en México (Michener, 2000; Ayala *et al.*, 1998).

<b>Familia</b>	<b>Géneros</b>	<b>Especies</b>	<b>Forma de vida</b>	<b>Anidación</b>
Andrenidae	11	532	Solitarias <sup>a</sup>	Agujeros en el suelo
Apidae	73	623	Solitarias y Eusociales <sup>b</sup>	Agujeros en el suelo, troncos de madera y paredes
Collectidae	8	98	Solitaria y Parasociales <sup>c</sup>	Agujeros en el suelo, huecos de madera o tallos de plantas
Halictidae	26	217	Solitarias	Agujeros en el suelo y troncos de madera
Megachilidae	24	245	Solitarias o Comunes <sup>d</sup>	Hacen sus nidos con pedazos de hojas, resinas, ceras y materiales removidos de las plantas
Melittidae	22	11	Solitaria	Agujeros en el suelo y troncos de madera

<sup>a</sup>Son aquellas abejas que construyen sus nidos y aprovisionan las celdas con alimento para cada una de sus crías, sin la cooperación de otras hembras.

<sup>b</sup>Son abejas que tienen colonia de adultos de dos o más generaciones que abarca la madre e hijas, formada por la reina que pone huevos y obreras no reproductivas.

<sup>c</sup>hembras de la misma generación comparten el nido, en términos colectivos para formar colonias comunales, cuasisociales y semisociales

<sup>d</sup>Son abejas que tienen una colonia de hembras de la misma generación que comparten el nido, pero cada hembra hace, provee y pone sus huevos en su propio grupo de celdas.

De modo general, la región árida y semiárida a lo largo de la frontera entre EUA y México aloja la mayor apifauna del mundo, siendo California y Arizona en sus zonas desérticas y de matorrales donde se han registrado el mayor número de especies (Linsley, 1958; Michener, 1979). A si mismo, Moldenke (1976) propone que la rica apifauna de los desiertos está probablemente representada en sitios específicos, por lo cual es necesario que se cubran varias localidades y una mayor área cuando sean estudiados. En contraste, en nuestro país

las regiones más pobres son la Península de Yucatán y las áreas montañosas por encima de los 3000 m.s.n.m. (Ayala *et al.*, 1996).

## 1.5. Cactáceas

Las cactáceas son especies de angiospermas, principalmente polinizadas por animales y en general las especies de la subfamilia Opuntioideae y varias especies de las tribus dentro de la familia Cactaceae y subfamilia Cactoideae (excluyendo a la mayoría de las columnares) son polinizadas por insectos, principalmente abejas (Mandujano *et al.*, 1996, 2010, 2013; Martínez-Peralta y Mandujano, 2011, 2012). Varios autores han reportado la relación cactácea/polinizador, donde hay algunas especies que son especialistas y otras generalistas. Por ejemplo, los géneros de abejas solitarias *Diadasia*, *Lithurge* y *Lassioglossum* se registran como oligoléticas de *Opuntia* spp (Mandujano *et al.*, 1996, 2010, 2013). Martínez-Peralta y Mandujano (2011) en su estudio con *Ariocarpus fissuratus*, mencionan como principales polinizadores de esta cactácea a la abeja europea *Apis mellifera* y las abejas solitarias *Lasioglossum* sp, *Megachilidae* sp y *Diadasia* sp.

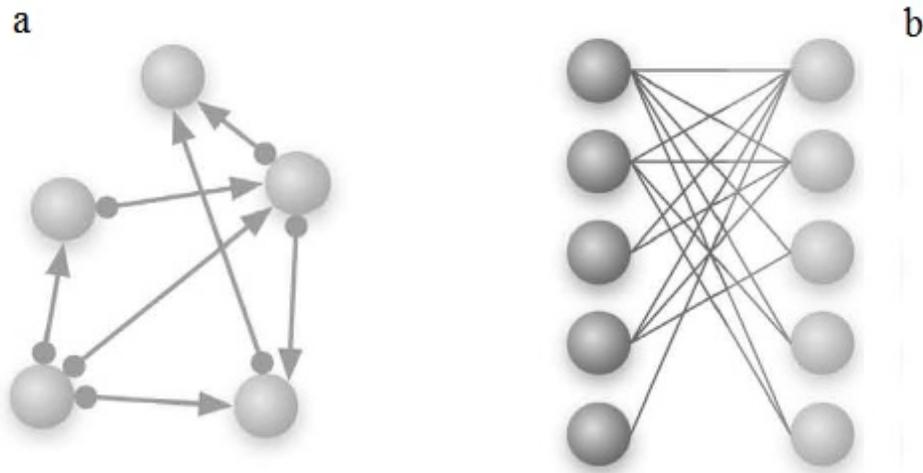
Por su parte Viana *et al.* (2001) reportan que *Trichocereus pasacana* (Cactaceae) sólo es polinizada por dos géneros de abejas *Xylocopa* (Apidae), las cuales son eusociales y poliléticas, y *Osmia* (Megachilidae), solitarias y oligoléticas. Mientras que Valiente-Banuet (2002), en su estudio de dos poblaciones de cactáceas columnares ubicadas en dos áreas geográficas diferentes de México, encontró que ambas poblaciones de cactáceas mostraban flores con síndrome de polinización quiropterófilo (polinizada por murciélagos); sin embargo, la población 1 que se encontraba al norte también era polinizada por abejas principalmente por las especies *Apis mellifera*, *Melipona* sp, *Trigona* sp., *Carpophylus* sp. y *Bombus* sp. De igual forma, Trujano (2003) observa que los visitantes florales más importantes para *Escontria*

*chiotilla* pertenecen a la familia Apoidea y de ésta la especie exótica *Apis mellifera* (abejas erusociales, poliléticas) fue la más abundante.

## 1.6. Redes de Interacción

En una comunidad cada especie interactúa de diferentes maneras con una o varias especies, dando lugar a redes complejas de interacciones (Jordano, 1987). Dependiendo del tipo de interacción y de la complejidad de la red, las interacciones pueden resultar favorables o desfavorables a la supervivencia de las especies involucradas (Begon *et al.*, 1988). Una de las interacciones positivas más importantes es la mutualista y la polinización es el proceso que ha sido más estudiado desde esta perspectiva (Olesen y Jordano, 2002; Jordano *et al.*, 2009). En la actualidad, las interacciones planta/polinizador han sido analizadas a nivel de comunidad con un nuevo enfoque de redes, de tal manera que los descriptores de la red dan pautas sobre el nivel de especialización de una comunidad (Bascompte y Jordano, 2006).

El estudio de redes está compuesto por dos elementos, nodos o vértices, que son las plantas y los polinizadores de la comunidad, y los enlaces que unen los nodos y se interpretan como las interacciones, estas interacciones pueden contener información cualitativa (presencia-ausencia) o cuantitativa (número de interacciones) (Memmott, 1999; Jordano *et al.*, 2009). Dentro de las redes se describen las redes unipartitas, donde las interacciones pueden darse entre cualquier nodo de la red y las bipartitas, en el cual los nodos están separados en dos (o más) grupos (plantas y polinizadores o niveles tróficos) que se conectan entre sí, de tal forma que no existen interacciones entre nodos del mismo grupo (Jordano *et al.*, 2009) (Figura 1.1).



**Figura 1.1:** Tipos de redes, a) Red unipartita b) Red bipartita (Jordano *et al.*, 2009).

En los estudios de redes también se estudian algunas propiedades como el número de enlaces por especies, la conectancia, el anidamiento y la modularidad. Donde el número de enlaces por especies indica cuantas veces un visitante floral visita a una planta (Jordano *et al.*, 2009; Trejo Soto, 2009). Mientras que el anidamiento es una medida que permite medir el ordenamiento de la red, donde las especies se ordenan de generalistas a especialistas (Jordano *et al.*, 2009). Se considera una red anidada cuando sus especialistas interactúan con subconjuntos propios de las especies que interactúan con los generalistas (Bascompte *et al.*, 2003). Y la modularidad es una medida que describe el grado en que las interacciones entre plantas–abejas ocurren más frecuentemente dentro de los módulos que entre los módulos (Olesen *et al.*, 2007). Las redes mutualistas y las redes de polinización generalmente suelen presentar un alto grado de anidamiento, pero una modularidad baja, esto si las comparamos con redes antagonistas (redes alimenticias) (Bascompte *et al.*, 2003). Así mismo, la teoría sugiere que estas características mencionadas de las redes mutualistas pueden dar estabilidad a la red y con ello contribuir a que más especies permanezcan en la comunidad (Spiesman e Inouye, 2013)

Por otro lado, en las últimas décadas el estudio de las interacciones planta/polinizador/visitantes florales ha tomado gran fuerza. Por ejemplo por Valido *et al.* (2011) en el Parque Nacional del Teide (Tenerife, Islas Canarias), realizaron un estudio de redes de interacción mutualista entre 17 plantas perteneciente a una vegetación de matorral sub-alpino y sus polinizadores potenciales (60 especies entre lagartos, aves e insectos), el cual les sirvió para estudiar la incidencia que representa la introducción de la abeja mielera (*Apis mellifera*) en el sistema de polinización, teniendo como conclusión que la estructura ecológica y funcional de la red de interacción mutualista planta-polinizador se ve afectada negativamente por la presencia de *Apis mellifera*. Otro trabajo, es el realizado por Lara-Rodríguez *et al.* (2012) que analizaron cuatro sub-redes de polinización formadas por colibrís y plantas en varios paisajes del centro-este de México, en el cual observaron que las cuatro sub-redes muestran un patrón anidado en su estructura, mostrando que, si se retira o se extingue una de las especies más conectadas como, por ejemplo el colibrí *Hylocharis leucotis* o las plantas *Penstemon roseus* y *Bouvardia ternifolia* el proceso de polinización se podría ver afectado a nivel comunidad. O el estudio de Razo (2015), donde observó las interacción de entre las abejas solitarias y la flora de la sierra de Quila, Jalisco, encontrando 134 especies de plantas y 195 especies de abejas, con un total de 653 interacciones, teniendo un fuerte patrón de anidamiento, con conectancias bajas (menores al 4%) y sus valores de robustez también fueron bajos. También realizó una simulación de extinción de las especies de plantas más generalistas (menores al 50%), lo que sugiere que las redes de esta zona son más susceptibles ante la pérdida de especies con mayor número de conexiones.

## **1.7. Objetivo General**

Estimar la abundancia y diversidad de la familia Apoidea (Hymenoptera) y su interacción sobre los recursos florales y el éxito reproductivo de diferentes cactáceas en el semidesierto en la región de Cadereyta de Montes, Querétaro, México.

### **1.7.1. Objetivos Particulares**

1. Estimar la diversidad de abejas de la familia Apoidea que visitan a todas las cactáceas en floración.
2. Estimar la diversidad temporal (por mes) de abejas de la familia Apoidea.
3. Estimar la relación y abundancia de visitantes florales y las especie de cactácea que visitan.
4. Estimar qué abejas de la familia Apoide son especialistas o generalistas.
5. Estimar la actividad de las abejas como consumidoras de polen o néctar.
6. Estimar la producción de néctar de las especies de cactáceas que se encuentran en floración al momento de observar a los visitantes florales.
7. Realizar un análisis de redes de interacción para determinar cómo están estructuradas las interacciones entre cactáceas y abejas.

## **1.8. Hipótesis**

1. La mayoría de las especies de abejas encontradas de la familia Apoidea estarán ubicadas como especies generalistas (visitan varias especies de plantas). Esto por que la

mayoría de las cactáceas presentes en el sitio de estudio presentan síndrome de polinización por melitofilia y porque varias cactáceas traslapan sus fenologías lo que ocasionaría mayores recursos florales para las abejas.

2. Todas las especies consumirán los recursos florales néctar y polen. Debido a que el néctar y el polen son los principales recursos que usan las abejas para mantener su metabolismo y reproducirse.
3. Con relación a la red de interacción cactáceas/abeja, esta será generalista, donde la mayoría de las abejas visitarán a la mayoría de las cactáceas, mientras que los atributos como el anidamiento permanecerá bajo, mientras que no se encontraran ningún módulo. Por que las abejas al tener mayores recursos, ya que algunas cactáceas traslapan sus fenologías y permitirá tener mas flores que visitar sin tener mucha competencia y por lo mismo tampoco se formarian modulos de interacción en la red cactáceas/abeja.

## 2. Metodos

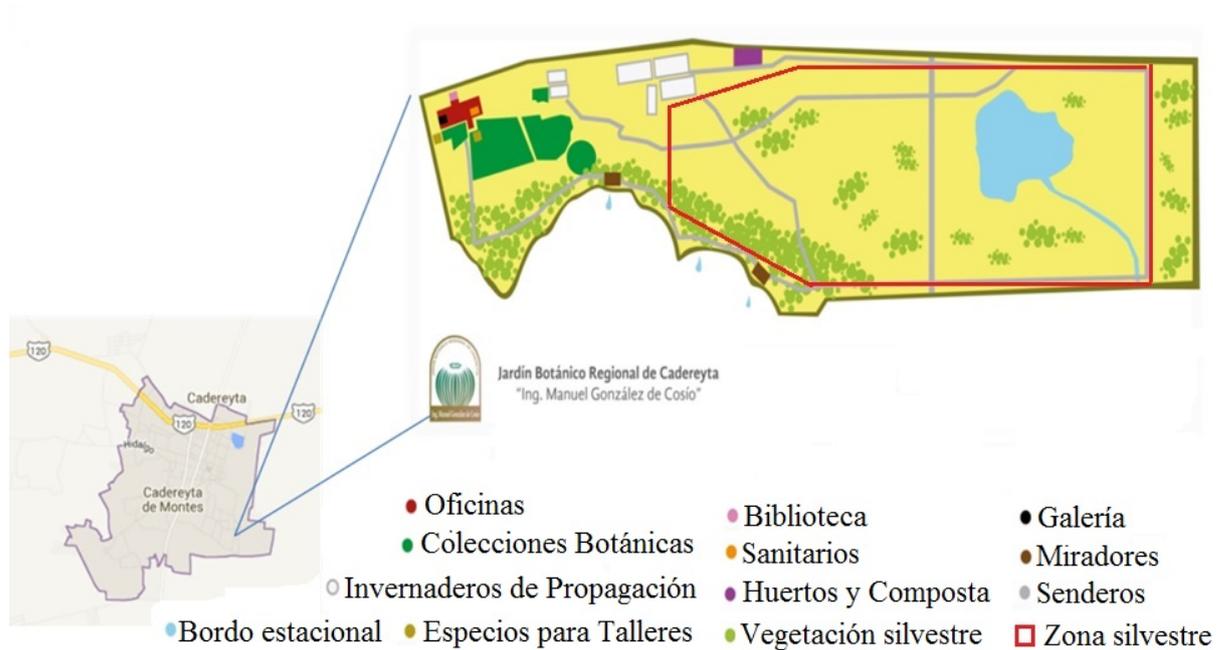
### 2.1. Área de Estudio

La región del Semidesierto Queretano es una porción separada del desierto Chihuahuense en su extremo sur. Fisiográficamente presenta áreas correspondientes a la Sierra Madre Oriental, Mesa del Centro y el Eje Neo-volcánico Transversal, asociadas a una litología sedimentaria y volcánica (caliza y caliza-lutita) de edad Cretácica, así como suelos poco y moderadamente desarrollados del tipo Rendzina y Regosol calcárico (INEGI, 2000). El clima predominante es semiseco templado con lluvias en verano (BS1kw; García, 1988), con una precipitación media anual entre 400–450 mm y un rango de temperatura media anual entre 16–18 °C (INEGI, 2000). En el cuadro 2.1 se presentan los valores máximos y mínimos de temperatura, precipitación y velocidad del viento que se registró cada mes de muestreo, la información fue obtenida de la estación meteorológica del Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” (CEA-CONCYTEQ, 2016). Las características heterogéneas del medio físico originan un mosaico variado de comunidades vegetales, donde la mayor parte de éstas, presentan diversas variantes del matorral xerófilo, tales como el micrófilo, rosetófilo y crasicaule, distribuidos en lomeríos y pie de montes (Zamudio *et al.*, 1992).

**Cuadro 2.1:** Valores de temperatura, precipitación y velocidad del viento (mínimas y máximas) observadas de enero a diciembre del 2015 registrada en el Jardín Botánico de Cadereyta de Montes “Ing. Manuel González de Cosío”, Querétaro (Semidesierto queretano).

Variables ambientales	meses											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temperatura maxima (°C)	23.7	28.4	26.9	29.7	29.1	30	26.7	26.8	26.8	26.7	25.1	25.2
Temperatura minima(°C)	2.9	0.2	4.6	7.9	9.4	8	8.9	8.3	6.6	6.4	5.1	2.4
Precipitación maxima (mm)	3.3	6.1	13	0.5	7.6	23.1	21.1	22.4	12.7	14.7	1.5	2.5
Precipitación minima (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Velocidad del viento maxima (kph)	23	21	19	18	18	14	18	16	13	18	14	13
Velocidad del viento minima (kph)	5	5	4	8	6	8	8	8	8	6	6	5

El estudio se realizó dentro de las instalaciones del Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío”, un centro de investigación dedicado al estudio, conservación y gestión de la flora árida mexicana. Se encuentra ubicado en la ciudad de Cadereyta de Montes, en el estado de Querétaro y presenta una superficie de 9.13 hectáreas, de los cuales 7.3 ha son de zona silvestre (sitio de estudio) (Figura 2.1) (H. Altamirano mapa sin publicar, 2016). La zona silvestre es un lugar de vegetación perturbada y de transición, donde se encuentran especies como el mezquite (*Prosopis laevigata*), nopal (*Opuntia* sp.), maguey (*Agave mapisaga*), Sangregado (*Jatropha dioica*), biznaga de chilitos (*Mammillaria uncinata*) y palma de yuca (*Yucca filifera* por mencionar algunas (Hailen *et al.*, 2004).



**Figura 2.1:** Mapa del Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” (H. Altamirano mapa sin publicar, 2016).

## 2.2. Diseño del Muestreo

Al inicio del estudio se llevó a cabo una identificación de las cactáceas presentes en el área (Cuadro 2.2) y con la ayuda de la Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez se identificaron las especies y su época de floración, esta identificación fue realizada por visitas periódicas previas al sitio. Durante un año, de enero a diciembre del 2015, se realizaron cuatro muestreos mensuales de dos días para coleccionar abejas (Apoidea: Hymenoptera) y con eso se determinó la abundancia y diversidad, así como su interacción con las especies de cactáceas esto con el fin de conocer si las abejas son especialistas o generalistas y cuál recurso floral utilizaron (polen o néctar). En las secciones posteriores se describen con detalle los muestreos realizados. Las especies de abejas capturadas fueron identificadas con las cla-

ves taxonómicas de (Michener *et al.*, 1994; Michener, 2007) y con la ayuda del Dr. Ricardo Ayala y el Dr. Ismael Hinojosa adscritos al Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## **2.3. Métodos de captura**

### **2.3.1. Abejas en flores de cactáceas**

Durante la temporada de floración de cada una de las especies de cactáceas (enero a mayo), se realizó un muestreo de 2 días, capturando a las abejas que se encontraron posando o volando cerca de la flor, utilizando redes entomológicas de 10 cm de diámetro y malla de tul ó de manera manual, usando cámaras letales de acetato de etilo. Las abejas capturadas fueron depositadas en frascos de plástico que contenían alcohol al 70% para su posterior montaje e identificación en el laboratorio (Lorea, 2004). Las capturas se realizaron durante el periodo de anthesis, es decir, desde que la flor de cualquiera de las cactáceas empezaba abrir hasta su cierre. Las observaciones y capturas se hicieron en intervalos de 20 min. captura x 20 min. observación por cada individuo de cactácea que tuviera flores.

### **2.3.2. Abejas en Platos Trampa o *Pan traps***

Para conocer la diversidad de abejas en el sitio de estudio, se utilizaron los platos trampas o *pan traps*, un método de colecta pasivo el cual requiere pocas horas/hombre de trabajo, no depende de colectores entrenados y elimina el sesgo del colector (Ramírez-Freire *et al.*, 2014). Sin embargo, los insectos que son atrapados usando este método dependen del color del recipiente que se utiliza, por lo tanto, se recomienda usar una gama amplia en los colores del plato trampa. Tomando en cuenta que los insectos varían dependiendo del color del plato, se escogieron los colores amarillo, azul y rojo, ya que las abejas solo pueden reconocer los

colores azul, amarillo, blanco, morado, y tonos ultravioleta (Schiestl y Johnson, 2003) y por que con estos colores se han observado una mayor abundancia y diversidad de organismos capturados (Gollan *et al.*, 2011). En este trabajo se utilizaron 30 platos (10 amarillos, 10 azules y 10 rojos) de 16 cm de diámetro y 6.5 cm de profundidad, a los cuales, se le agregó una solución de 125 ml de 95 % agua y 5 % champú de manzanilla con miel (marca Mennen). La adición del jabón fue por que tiene la propiedad de romper la tensión superficial del agua cuando los insectos entran en contacto con ella, muriendo por ahogamiento (Schauff, 2001; Domínguez-Álvarez *et al.*, 2009).

Los platos trampas fueron colocados dos veces al mes por 24 horas, a las 9:00 hrs y retirados a las 9:00 hrs del siguiente día, en 10 parcelas de 15 x 15m. En cada parcela se colocaron 3 platos trampa de diferente color que separaron por una distancia de 5 m entre ellos y entre las cactáceas que estuvieran cerca, intercalando colores, ya que a menor distancia se reduce la cantidad de abejas capturadas (Shapiro *et al.*, 2014). Las abejas capturadas fueron extraídas usando un colador para eliminar la solución jabonosa y depositados en frascos de plástico con alcohol al 70 % para su posterior montaje e identificación en el laboratorio (Lorea, 2004), procurando no mezclar organismos de trampas de diferentes colores. Cada frasco se etiquetó con los siguientes datos, nombre de la localidad colectada, fecha, nombre del colector y color de bandeja.

## **2.4. Abejas registradas con Cámaras de Vídeo**

Para determinar qué recursos florales utilizaron las abejas, se hicieron observaciones colocando una cámara reflex (Canon EOS digital) en una planta por día de muestreo, en un tripie a una distancia de 3 m, la cual se enfocó directamente a la flor de la cactácea. Las observaciones se realizaron a un individuo de una especie de cactácea por día de muestreo,

empezando las filmaciones desde la apertura hasta el cierre de la flor, teniendo observaciones en intervalos de 20 minutos para cada individuo de cactácea, tomando diferentes flores cada día (Cuadro 2.2). Para considerar que una abeja consumía néctar, esta debía introducirse a la base de la corola de la flor y como consumidoras de polen, cuando la abeja escarbaba en las anteras de las flor. El análisis de las filmaciones permitió construir tablas de contingencia de especie de cactácea visitada y conducta realizada por la abeja.

**Cuadro 2.2:** Fechas, número de filmaciones y tamaño de tubo capilar de extracción de néctar para las especies de cactácea en floración.

Generos y Especies	Longevidad Floral (días)	Color de la Flor	Fecha de Filmación	# de Filmaciones por cactácea	Tamaño de tubo capilar ( $\mu$ l)
<i>Ferocactus</i>					
<i>histris</i> (G.E.Linds.)	4 a 6	A	8, 15, 22 y 29 de enero	4	2
<i>Opuntia</i>					
<i>cantabrigiensis</i> (Lynch)	1 a 3	A	26 y 27 de marzo; 9 y 10 de abril	4	10
<i>robusta</i> (H.L. Wendl. ex Pfeiff.)	1 a 2	A	23 y 30 de enero; 12 y 13 de febrero	4	10
<i>streptacantha</i> (Lem.)	1 a 3	N	17, 18 y 30 de abril; 1 de mayo	4	10
<i>tomentosa</i> (Salm-Dyck)	1 a 2	N	14, 15, 18 y 19 de mayo	4	10
<i>Myrtillocactus</i>					
<i>geometrizans</i> (Console)	1 a 3	B	26 y 27 de febrero; 12 y 13 de marzo	4	2

## 2.5. Producción de Néctar

El volumen de néctar producido por las diferentes especies de cactáceas se cuantificó con un método de extracción usando micropipetas capilares. Un botón se cubrió con una bolsa de malla para evitar que algún visitante floral tuvieran acceso al néctar. Posterior a la apertura floral se extrajo el néctar acumulado cada 2 horas, la extracción se hizo introduciendo en la cámara nectarial tubos capilares de 2 ó 10  $\mu\text{l}$  de volumen dependiendo el tamaño de la flor (Cuadro 2.2). La extracción del néctar se realizó en tres flores de 2 individuos por especie de cactácea, por dos días, esta técnica se realizó una vez por especie de cactácea.

## 2.6. Análisis de Diversidad de Abejas

Se utilizó una curva de acumulación de especies para estimar el número de especies que se espera encontrar en un cierto hábitat, a partir de los resultados de captura obtenidos de los muestreos. El análisis revela cómo el número de especies se va acumulando a lo largo del tiempo. Para esto se utilizó el método aleatorio (Cuadro 2.3), donde encuentra la media y su desviación estándar a partir de 100 permutaciones aleatorias de los datos, o muestreo sin sustitución (Gotelli y Colwell, 2001). Se estimó el esfuerzo de muestreo usando los estimadores de riqueza esperada no paramétricos Jack1, Chao1 y Chao2 con base en 100 repeticiones del orden de las muestras. El primero y segundo estimador se basa en las especies que ocurren en una sola ocasión, mientras que el tercero es el estimador menos sesgado para muestras pequeñas y utiliza el número de especies que ocurren una y dos veces únicamente (Colwell y Coddington, 1994; Chao *et al.*, 2000; Gotelli y Colwell, 2001; Moreno, 2001). La curva de acumulación de especies y los estimadores de riqueza se obtuvieron con **R** 3.2.5 (R Core Team, 2013) usando el paquete **Vegan** (Oksanen *et al.*,

2013).

Para determinar la estructura de la comunidad de abejas se utilizó la riqueza de especies ( $S$ ), que se refiere al número total de especies, la abundancia ( $N$ ), el cual se calculó contando el número de individuos de cada especie que visitaban una flor-especie de cactácea y los que se recolectaron en los platos trampa y el índice de diversidad de Shannon-Weaver ( $H'$ ) (Magurran, 1988) (Cuadro 2.3). La diversidad se estimó para cada mes de muestreo, utilizando los datos de las abejas en cactáceas y los platos trampas, además se estimó una diversidad de la comunidad de abejas para cada especie de cactácea (durante su época de floración) y una diversidad englobando a todas las cactáceas que se incluyeron en el estudio (Cuadro 2.2). También, se determinó la frecuencia de visitas de cada especie de abeja para cada especie de cactácea, esto para conocer con qué frecuencia una cierta especie abeja visita a cada una de las especies de cactáceas (tomando como frecuencia el número de individuos de abejas (separado por especie) observados en una flor de cactácea). Por último, con los datos obtenidos se realizó un dendrograma utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis (Cuadro 2.3) esto para conocer si existía una similitud entre las seis cactáceas, basdo en la composición de abeja. Se utilizo el método para unir grupos en el dendrogama con enlace promedio (*average linkage*) ya que es insensible a los datos extremos por que forma forma grupos separados (Rencher, 2003; Johnson y Wichern, 2007).

Todos los análisis estadísticos e índices ecológicos se realizaron **R** 3.2.5. (R Core Team, 2013) utilizando el paquete **vegan** (Oksanen *et al.*, 2013).

**Cuadro 2.3:** Análisis estadísticos e índices ecológicos utilizados para el análisis de la estructura de la comunidad de abejas.

Análisis Estadístico / Índices ecológicos	Formula	Parámetro de medición	Descripción
Abundancia (N)		Numero total de individuos.	Estimación del numero total de individuos de una población o comunidad.
Coefficiente de similitud de Bray-Curtis (Moreno, 2001)	$B\&C = \frac{\sum_{i-l}^S [X_{ij} - X_{ik}]}{\sum_{i-l}^S [X_{ij} + X_{ik}]}$	<sup>a</sup> Análisis de similitud de la composición de especies.	Estudiar la composición de especies y su similitud entre flores de cactáceas y platos trampas.
Curva de acumulación de especies Colwell <i>et al.</i> (2012)		Esfuerzo de muestreo (con distribución al azar).	Estimación de la homogeneidad y efectividad del muestreo.
Estimador de Chao 1 (Krebs, 1986)	$S_{chao1} = S_{obs} + \frac{a^2}{2b}$	<sup>b</sup> Riqueza de especies.	Estimación del número de especies esperadas.
Estimador Chao 2 (Colwell y Coddington, 1994)	$S_{chao2} = S_{obs} + \frac{L^2}{2M}$	<sup>c</sup> Riqueza de especies.	Estimación del número de especies esperadas.
Estimador Jackknife 1 (Colwell <i>et al.</i> , 2012)	$S_{Jack1} = S_{obs} + L \frac{m-1}{m}$	<sup>d</sup> Riqueza de especies.	Estimación del número de especies esperadas.
Riqueza de especies (S) (Moreno, 2001)		Riqueza de especies.	Número total de especies observadas.
Diversidad de Shannon – Weaver (Magurran, 1988)	$H' = \sum p_i * \ln p_i$	<sup>e</sup> Equidad de especies	Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección.

<sup>a</sup>Donde:  $X_{ij}$ = abundancia o densidad de especies la j y  $X_{ik}$  = abundancia o densidad de las especies k.

<sup>b</sup>Donde:  $S_{obs}$ = número de especies en una muestra,  $a$ = número de especies que están representadas solamente por un único individuo en esa muestra (número de “singletons”) y  $b$ = número de especies representadas por exactamente dos individuos en la muestra (número de “doubletons”)

<sup>c</sup>Donde:  $S_{obs}$ = numero de especies observadas,  $L$ = número de especies que ocurren solamente en una muestra (especies “únicas”) y  $M$ = número de especies que ocurren en exactamente dos muestras

<sup>d</sup>Donde:  $S_{obs}$ = numero de especies observadas,  $L$ = número de especies que ocurren solamente en una muestra (especies “únicas”) y  $m$ = número de muestras

<sup>e</sup>Donde:  $p_i$ = Es la proporción total del número de individuos que constituyen la  $i$ ésima especies,  $\ln$ = logaritmo natural

## 2.7. Red de Interacción Cactáceas/Abejas

A partir de la información recabada con los muestreos de frecuencias de visitas de abeja a las flores de cactáceas, se realizó un análisis de redes de polinización para observar cómo está estructurada las interacciones entre abejas/cactáceas. Los pasos fue calcular el número de especies de plantas ( $P$ ), el número de abejas que visitan a la flor ( $A$ ), el tamaño de la red ( $S$ ) y las interacciones potenciales ( $A \times P$ ). Se obtuvieron las métricas básicas para la estructura o topología de una red de interacción, que son el número de enlaces por especies, el índice de especialización ( $H_2'$ ), anidamiento y modularidad. El número de enlaces por especie ó el número de interacciones por especie ( $\bar{L}_x$ ) (Cuadro 2.4). También se obtuvo el índice de grado de especialización ( $H_2'$ ), donde el rango de este índice va de cero (extrema generalización) a uno (extrema especialización). Este índice se deriva del índice de Shannon-Wiener (no es dependiente del tamaño de muestra) en donde las especies raras no están igualmente representadas y es robusto a los cambios en la intensidad de muestreo y en el número de especies que interactúan en la red (Poole, 1974; Blüthgen *et al.*, 2006) (Cuadro 2.4).

Para obtener el grado de anidamiento se utilizo una matriz binaria y se usó el algoritmo NODF (nestedness measure based on overlap and decreasing fills) (Cuadro 2.4) en el programa **ANINHADO 3.0.3** (Almeida-Neto *et al.*, 2008; Guimarães y Guimaraes, 2006). Los valores de NODF oscilan entre 0 (no hay anidamiento) a 100 (perfecto anidamiento). El grado de anidamiento obtenido se comparó con el modelo nulo II (Ce) (Bascompte *et al.*, 2003) generando 1000 matrices aleatorias del mismo tamaño que la registrada, en el cual, la probabilidad de interacción entre una planta y una abeja es proporcional a su número total de interacciones (Bascompte *et al.*, 2003) y se evaluó la modularidad ( $Q$ ) de la red de interacción cactácea/abejas con el algoritmo QUANBIMO utilizando datos cuantitativos descrito por Dormann y Strauss (2014) (Cuadro 2.4). Este algoritmo crea una división aleatoria de la

red como punto de partida, sobre la cual se realizan permutaciones al azar de las especies; cada uno de los intercambios es seguido de una nueva evaluación de  $Q$ . Después de  $1e^6$  intercambios con cualquier mejora en  $Q$  se detiene el algoritmo. Los rangos de modularidad varían de 0 a 1, donde valores altos de modularidad indican que las especies de plantas y abejas se agrupan en grupos que son semi-independientes dentro de la red (Olesen *et al.*, 2007). Se estimó la significancia de  $M$  con el Modelo nulo de Patefield, el cual crea modelos nulos con totales marginales idénticos a los observados en la matriz inicial, es decir, algunas especies son comunes y otras raras. Utilizamos estas métricas, debido a que proporcionan una manera de describir la organización de nuestra red de una manera que permite la comparación directa con los estudios anteriores sobre las redes planta-abeja.

**Cuadro 2.4:** Métricas para medir la estructura de la red interacciones Cactácea / Abejas a nivel de red y de especies.

Métricas nivel red	Formula	Mínimo	Máximo
Enlace por especie (Dormann <i>et al.</i> , 2009)	$\bar{L}_x = L/(I+J)$	<sup>a</sup> -	-
Anidamiento (Almeida-Neto <i>et al.</i> , 2008; Guimarães y Guimaraes, 2006)	$NODF = \frac{\sum N_{paired}}{\left[\frac{n(n-1)}{2}\right] + \left[\frac{m(m-1)}{2}\right]}$	0	100
Modularidad (Dormann y Strauss, 2014)	$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} (A_{ij} - K_{ij}) \delta(c_i, c_j)$	<sup>b</sup> 0	1
Métricas nivel especie			
Índice de especialización de la red ( $H_2$ ) (Blüthgen <i>et al.</i> , 2006)	$H_2 = -\sum_{i=l}^r \sum_{j=l}^c (p_{ij} \cdot \ln p_{ij})$	<sup>c</sup> 0	1
Índice de especificidad de especie o el coeficiente de variación de las interacciones ( $CoV$ ) (Poisot <i>et al.</i> , 2012)	$CoV = \frac{\sqrt{\sum_i (p_i - \mu)^2}}{\mu R \sqrt{\frac{R-1}{R}}}$	0	1
Componentes centrales y periféricos (Dáttilo <i>et al.</i> , 2013)	$G_c = (k_i - k_{mean})/\sigma_k$	<sup>d</sup> 1 >	1 <

<sup>a</sup>Donde:  $L$ = número de enlaces realizados en una red,  $I$ = número de especies de nivel trófico inferior y  $J$  número de especies de nivel trófico mayor.

<sup>b</sup>Donde:  $m$ = la mitad del número total de enlaces observados en la red,  $A_{ij}$ = versión binaria de nuestra matriz borde  $E$ , con valores de 1 si existe un vínculo entre  $i$  y  $j$ ,  $k = \frac{k_i k_j}{2m}$  y la función  $\delta(c_i, c_j)$  es igual a 1 si  $c_i = c_j$  y a 0 si  $c_i \neq c_j$ .

<sup>c</sup>Donde:  $p_{ij}$ = proporción del número de interacciones y  $\ln$ = logaritmo natural.

<sup>d</sup>Donde:  $k_i$ = es el número medio de enlaces para una determinada planta / especies de abejas,  $k_{mean}$ = es número medio de enlaces para todas las especies de abejas / planta en la red, y  $\sigma_k$ = desviación estándar del número de enlaces para las especies de plantas / abejas.

El segundo (nivel especie) es el índice de especificidad de especie ( $SSI$ ) que permite

el ordenamiento de las especies por especialistas (que se producen en algunas clases de hábitat) y para generalistas (que se producen en muchas clases de hábitat). Este índice tiene valores que oscilan entre 0 y 1, siguiendo la idea de Julliard *et al.* (2006), según lo propuesto por Poisot *et al.* (2012) (Cuadro 2.4). La fuerza de las especies es la métrica que mide la suma de las dependencias de cada especie y su objetivo es cuantificar la relevancia de una especie a través de las interacciones que tenga una abeja con las cactáceas de todos sus socios (Bascompte *et al.*, 2006; Poisot *et al.*, 2012). Y por último evaluamos los componentes centrales y periféricos de las especies a través de redes (Cuadro 2.4),  $G_c > 1$  son las especies con el mayor número de interacciones en relación a otras especies del mismo nivel trófico, y por lo tanto se consideran como especies que constituyen el núcleo generalista.  $G_c < 1$  son especies con menor número de interacciones en relación con otras especies del mismo nivel trófico, y por lo tanto se consideran como especies que constituyen la periferia de las redes especialistas (Dáttilo *et al.*, 2013). La importancia que tienen las especies centrales o núcleos en una red es de gran relevancia, ya que son las especies que sostienen la red cactáceas.

Los gráficos e la red, el análisis de Modularidad e índices de la estructura de la red de interacción Cactáceas/Abejas se realizaron con **R** 3.2.5. (R Core Team, 2013) utilizando el paquete **Bipartite** 2.02 (Dormann *et al.*, 2009).

### 3. Resultados

De manera global, agrupando a todos los tipos de muestreo se registraron un total de 3202 individuos pertenecientes a 14 especies de abejas, las cuales se distribuyen en cuatro familias (Cuadro 3.1), donde Halictidae fue la familia mejor representadas en cuanto al número de especies, mientras que Andrenidae fue la familia con menor número de especies con una sola especie, *Macrotera* sp. En lo que respecta a las abejas registradas en las seis especies de cactáceas (Cuadro 2.2), *Opuntia streptacantha* obtuvo la mayor cantidad de especies que visitaban sus flores y *Myrtillocactus geometrizans* fue la especie de cactus con menor número de visitas de abejas, donde solo la especie *Apis mellifera* visita a su flores.

De las 15 especies de abejas registradas en el estudio, el 53% (8 especies) se encontraron en los platos trampas, siendo *Apis mellifera*, *Macrotera* sp. y *Lasioglossum (Dialactus)* (Cuadro 3.1) las especies con mayor numero de captura, donde *Apis mellifera* fue la especie con mayor porcentaje de captura. En lo que se refiere a las abejas que visitaron las flores de las cactáceas, se observaron las 15 especies reportadas para este estudio, donde *Melissodes* sp., *Agapostemon* sp., *Augochlora* sp., *Ceratina* sp. 1, *Ceratina* sp. 2, *Lithurgus planifrons* y *Ashmeadiella opuntiae* solo se registraron en las flores de la cactáceas. Mientras que el resto de las abejas se registraron en las flores de las cactáceas y en las trampas jabonosas.

Respecto a la evaluación de la preferencia de las abejas por polen o néctar, se reporto que todas las especies de abejas transportaban polen de las especies de cactáceas que visitaron, ya sea de manera: activa (al coleccionar polen) o pasiva (al entrar a la base de la flor para consumir el néctar se impregna de granos de polen en alguna parte de su cuerpo), lo que sugiere que cualquier especie de abeja podría ser un polinizador eficiente. Mientras que para el consumo de néctar se observo que, todas las especies de la familia Apidae, *Agapostemon* sp. y dos especies de la familia Megahilidae fueron las abejas que consumieron néctar (Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.1:** Familias, especies y numero de individuos de abejas registradas en las seis especies de cactáceas (C) y trampas jabonosas (TJ) del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes “Ing. Manuel González de Cosío”, Querétaro (Semidesierto queretano), y el tipo de recompensa floral que utilizan (polen o néctar).

Familias y Especies	Cactáceas (# de indivi- duos)	Trampas jabonosas (# de individuos)	Ja- % de Captura de C-TJ <sup>a</sup>	Polen	Néctar
Andrenidae					
<i>Macrotera (Cockerellula) sp.</i>	208	305	40 – 60	x	–
Apidae					
<i>Apis mellifera</i> (Linnaeus)	492	326	60 – 40	x	x
<i>Bombus pensylvanicus</i> (De Geer)	67	12	85 – 15	x	x
<i>Diadasia rinconis</i> (Cockerell)	158	53	75 – 25	x	x
<i>Melissodes sp.</i>	34	0	100 – 0	x	x
Halictidae					
<i>Agapostemon sp.</i>	119	0	100 – 0	x	–
<i>Augochlora sp.</i>	14	0	100 – 0	x	–
<i>Augochlorella sp.</i>	208	212	49.5 – 50.5	x	–
<i>Ceratina sp. 1</i>	27	0	100 – 0	x	–
<i>Ceratina sp. 2</i>	33	0	100 – 0	x	–
<i>Lasioglossum (Dialictus) sp.</i>	231	305	43 – 57	x	–
<i>Lasioglossum (Eickwortia) sp.</i>	72	63	53 – 47	x	–
Megachilidae					
<i>Ashmeadiella opuntiae</i> (Cockerell)	33	0	100 – 0	x	x
<i>Lithurgus littoralis</i> (Cockerell)	107	59	64 – 36	x	x
<i>Lithurgus planifrons</i> (Friese)	51	0	100 – 0	x	x

<sup>a</sup>El porcentaje de captura se obtuvo con el total individuos registrados en las trampas jabonosa y las flores de las cactáceas (captura y observaciones).

### 3.1. Abundancia de Abejas

A lo largo de los 12 meses de muestreo y utilizando los datos de todos los tipos de muestreo, se observa que en mayo ( $N= 839$ ), abril ( $N= 619$ ) y marzo ( $N= 482$ ) fueron los meses con mayores abundancias de abejas capturadas, mientras que los meses con menores abundancias fueron septiembre ( $N= 95$ ) y octubre ( $N= 93$  individuos) (Cuadro 3.2). En los muestreos se observó *Apis mellifera* es la especie más abundante con 818 individuos, siguiéndole *Lasioglossum (Dialictus)* con una  $N= 536$  *Macrotera* sp. con  $N=526$  y *Augochlorella* sp. con  $N= 420$  y la especie con menor número de individuos es *Augochlora* sp. con una  $N= 526$  . Por su parte en lo que se refiere a las abundancias de las abejas en las cactáceas, *Opuntia tomentosa* es la especie con mayores visitas de abejas con 960 individuos, siguiéndola *Opuntia streptacantha* y *Opuntia cantabrigiensis* con una  $N= 375$  y 370 especímenes respectivamente. El mayor número de individuos de abejas la obtuvo *Apis mellifera* ( $N= 492$ ) siendo en las flores de *Myrtillocactus geometrizans* donde se registraron sus mayores frecuencias, siguiéndola *Lasioglossum (Dialictus)* con 231 individuos, teniendo su mayor número de observaciones en las flores de *O. tomentosa* y *Ceratina* sp. es la especie de abejas con menor número de captura ( $N= 27$ ), visitando tres cactáceas (Cuadro 3.3).

**Cuadro 3.2:** Abundancias de especies de abejas registradas de enero a diciembre del 2015 en el Jardín Botánico de Cadereyta de Montes Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío”, Querétaro (Semidesierto queretano).

Meses	Familias y Especies de abejas														Total	
	Andrenidae	Apidae				Halictidae						Megachilidae				
	<i>Macrotera</i> sp.	<i>Apis mellifera</i>	<i>Bombus pensylvanicus</i>	<i>Diadasia rinconis</i>	<i>Melissodes</i> sp.	<i>Agapostemon</i> sp.	<i>Augochlora</i> sp.	<i>Augochlora</i> sp.	<i>Ceratina</i> sp. 1	<i>Ceratina</i> sp. 2	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i>	<i>Lasioglossum (Eicckworita)</i>	<i>Ashmeadiella opuntiae</i>	<i>Lithurgus planifrons</i>	<i>Lithurgus littoralis</i>	
ene	27	20	–	5	1	9	4	12	4	13	16	14	–	–	23	148
feb	51	52	14	14	5	6	4	22	4	7	46	28	17	–	50	320
mar	71	79	42	57	6	–	6	45	7	5	57	48	16	16	33	482
abr	74	213	11	55	22	–	–	52	12	8	69	12	–	35	50	619
may	166	215	–	53	–	104	–	136	–	–	146	14	–	–	5	839
jun	47	24	–	6	–	–	–	18	–	–	30	10	–	–	5	140
jul	31	22	–	6	–	–	–	22	–	–	31	9	–	–	–	121
ago	20	29	–	5	–	–	–	20	–	–	30	–	–	–	–	104
sept	13	35	–	5	–	–	–	19	–	–	23	–	–	–	–	95
oct	–	45	–	5	–	–	–	16	–	–	27	–	–	–	–	93
nov	13	39	7	–	–	–	–	29	–	–	30	–	–	–	–	118
dic	13	45	5	–	–	–	–	29	–	–	31	–	–	–	–	123
<b>Total</b>	<b>526</b>	<b>818</b>	<b>79</b>	<b>211</b>	<b>34</b>	<b>119</b>	<b>14</b>	<b>420</b>	<b>27</b>	<b>33</b>	<b>536</b>	<b>135</b>	<b>33</b>	<b>51</b>	<b>166</b>	<b>3202</b>

**Cuadro 3.3:** Abundancias de especies de abejas registradas en las seis especies de cactáceas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” (Semidesierto queretano), Datos obtenidos de enero a diciembre del 2015.

Cactáceas	Familias y Especies de abejas															Total
	Andrenidae	Apidae					Halictidae					Megachilidae				
	<i>Macratera</i> sp.	<i>Apis mellifera</i>	<i>Bombus pensylvanicus</i>	<i>Diadasia rinconis</i>	<i>Melissodes</i> sp.	<i>Agapostemon</i> sp.	<i>Augochlora</i> sp.	<i>Augochlorella</i> sp.	<i>Ceratina</i> sp. 1	<i>Ceratina</i> sp. 2	<i>Lastiglossum (Dialictus)</i>	<i>Lastiglossum (Eickwortia)</i>	<i>Ashmeadiella opuntiae</i>	<i>Lithurgus planifrons</i>	<i>Lithurgus littoralis</i>	
<i>Ferocactus histrix</i>	26	–	–	–	–	15	17	4	8	4	27	22	–	23	–	146
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	–	200	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	200
<i>Opuntia cantabrigensis</i>	–	–	1	3	6	–	2	4	10	10	16	4	17	–	–	73
<i>O. robusta</i>	31	90	48	45	–	–	34	–	–	10	16	46	–	50	–	370
<i>O. streptacantha</i>	35	–	18	66	28	–	52	6	9	9	55	–	16	30	51	375
<i>O. tomentosa</i>	116	202	–	44	–	104	103	–	–	–	117	–	–	4	–	690
<b>Total</b>	<b>208</b>	<b>492</b>	<b>67</b>	<b>158</b>	<b>34</b>	<b>119</b>	<b>208</b>	<b>14</b>	<b>27</b>	<b>33</b>	<b>231</b>	<b>72</b>	<b>33</b>	<b>107</b>	<b>51</b>	<b>1854</b>

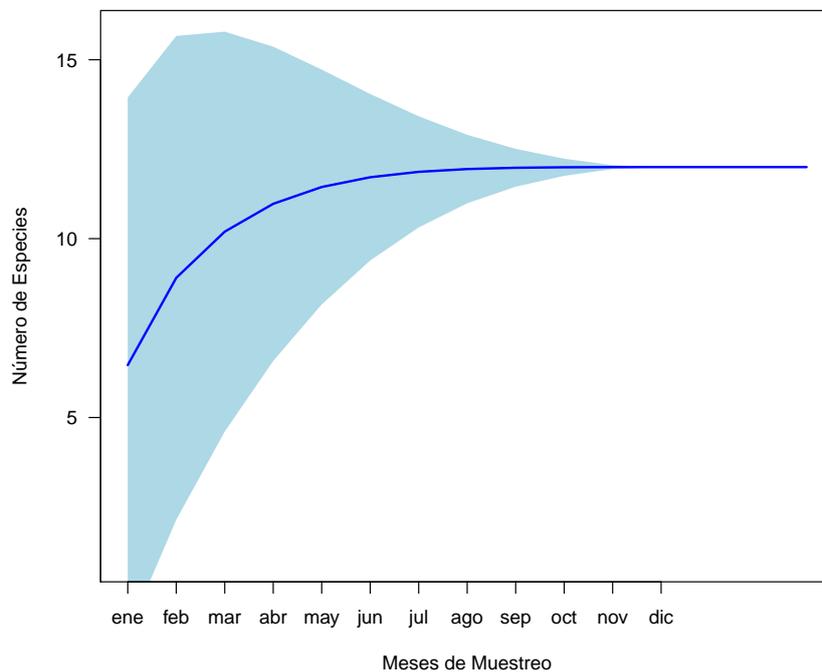
### 3.1.1. Curva de Acumulación de Especies

Utilizando los resultados obtenidos de todos los tipos de muestreos, se realizó la curva de acumulación de especies, que permitió evaluar la tendencia en la acumulación de especies que resultó de los 12 meses muestreados y con esto tener una estimación de la fauna de abejas presente en el semidesierto (Jardín Botánico de Cadereyta de Montes Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío”) asociados a las especies de Cactaceae y en los platos trampas, así como también para tener una idea del esfuerzo del muestreo. La curva de acumulación (Figura 3.1) muestra un comportamiento asintótico a mitad del año, esto muestra que se consiguió capturar la mayoría de las especies esperadas en el área. En lo que se refiere al esfuerzo de muestreo, el estimador de riqueza Jackknife 1

reflejo una eficiencia de muestreo de 89%, mientras que los otros tres estimadores de riqueza varían entre un 93 a un 97% de riqueza esperada, esto es debido a las características propias de cada estimador (Cuadro 3.4).

**Cuadro 3.4:** Valores de eficiencia de muestreo de abejas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, “Ing. Manuel González de Cosío” (Semidesierto queretano) asociados a flores de Cactaceae y usando trampas, con diferentes indicadores de riqueza (Riqueza de especies ( $S$ ), Jackknife 1, Chao 1 y 2).

	$S$	Jackknife 1	Chao 1	Chao 2
Estimadores	15	16.59	15.30	15.88
% de colecta	-	89%	97%	93%



**Figura 3.1:** Curva de acumulación de especies de abejas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” (Semidesierto queretano). Donde la parte sombreada color azul muestra la desviación estándar por mes que hubo durante los 12 meses de muestreo.

### 3.1.2. Abundancia, Riqueza y Diversidad

Respecto a los resultados de riqueza, abundancia y diversidad de abejas de los 12 meses de muestreo (valores obtenidos gracias a los datos obtenidos en todos los tipos de muestreos) (Cuadro 3.5), los mayores valores de riqueza se observaron entre los meses de enero a abril, donde en el mes de febrero se encontró el valor más alto con una  $S= 14$  y octubre fue el mes que registro el valor mas bajo con  $S= 4$ . En cuanto a abundancia, el valor más alto se registró en mayo ( $N= 866$ ), siguiéndola el mes de abril ( $N= 619$ ) y el valor más bajo se encontró en el mes de octubre ( $N= 93$ ) (Cuadro 3.2). Y, por último, los valores de diversidad se comportaron de forma similar a los valores de riqueza con los valores mayores entre enero y abril, sin embargo, el valor más alto de diversidad se observó en febrero y marzo y con una  $H'= 2.32$  cada uno y el más bajo se encontró en el mes de octubre con una  $H'= 1.17$ .

**Cuadro 3.5:** Valores de Riqueza específica ( $S$ ), Abundancia ( $N$ ) y Diversidad de Shannon ( $H'$ ) de las abejas registradas de enero a diciembre 2015 del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes “Ing. Manuel González de Cosío” (Semidesierto queretano).

Diversidad	meses												Total
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
$S$	12	14	13	13	8	7	6	5	5	4	5	5	15
$N$	148	320	482	619	839	140	121	104	95	93	118	123	3202
$H'$	2.26	2.32	2.32	2.10	1.80	1.71	1.66	1.49	1.46	1.17	1.47	1.42	2.16

Con lo que respecta a los valores de riqueza, abundancia y diversidad de abejas en las flores de cactáceas (Cuadro 3.6), la riqueza más alta se observó en *O. streptacantha* con una  $S= 12$ , siguiéndoles *O. robusta* con una  $S= 10$  y la menor riqueza se obtuvo en *M. geometrizzans* con una  $S= 1$ . En lo que se refiere a la abundancia el valor más alto se registró en *O. tomentosa* con una  $N= 690$  siguiéndola *O. streptacantha* (375) y *O. cantabrigiensis* (370) y *O. robusta* fue la cactácea con menor número de individuos con solo 73. Por último, el valor más alto de diversidad se encontró en *O. streptacantha* con una  $H'= 2.28$  y el valor

más bajo se registró en *M. geometrizzans* con un valor de  $H' = 0.00$ , esto porque sólo una especie de abeja (*Apis mellifera*) visitó esta cactácea.

**Cuadro 3.6:** Valores de Riqueza específica ( $S$ ), Abundancia ( $N$ ) y Diversidad de Shannon ( $H'$ ) de abejas para las seis especies de cactáceas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, “Ing. Manuel González de Cosío” (Semidesierto queretano).

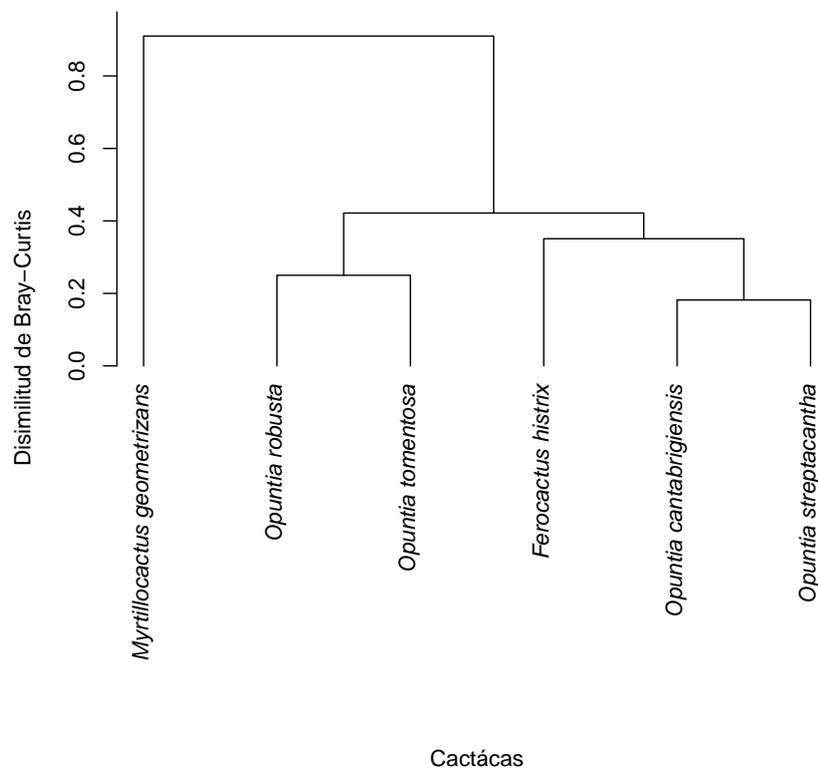
Diversidad	Especies de Cactáceas					
	<i>F. histrix</i>	<i>O. robusta</i>	<i>O. cantabrigensis</i>	<i>O. streptacantha</i>	<i>O. tomentosa</i>	<i>M. geometrizzans</i>
$S$	9	10	9	12	7	1
$N$	146	73	370	375	690	200
$H'$	2.04	2.03	2.06	2.28	1.73	0.00

### 3.1.3. Similitud de Especies de Abejas

Se comparó la similitud de especies de abejas que visitaron a las seis especies de cactáceas graficados en un dendrograma (Figura 3.2), donde el coeficiente similitud muestra cuatro grupos de cactáceas que comparten abejas a un valor de  $B\&C = 0.75$ . EL primer grupo lo conformaron *Opuntia cantabrigensis* y *O. streptacantha*. Este agrupamiento puede deberse a que dichas cactáceas presentan un traslape en sus floraciones entre el mes de abril y mayo en ambas cactáceas presentan un similaridad promedio en el número de flores producida por individuo de cactácea (A. Galicia datos no publicados). El segundo grupo lo formó *O. robusta* y *O. tomentosa*, aunque en estas cactáceas se traslaparon su fenologías, esto sucede al final del mes de floración de de *O. robusta* (A. Galicia datos no publicados). Por lo que la similitud de especies que se registro en estas cactáceas podría deberse a la cercanía que existe entre los individuos de ambas especies entre si en los cuadrantes que fueron muestreados.

El grupo tres y cuatro lo conformaron *Ferocactus histris* y *Myrtilocactus geometrizzans* respectivamente. Se atribuye que el grupo de *F. histris* se formó así ya que los individuos de esta cactáceas se encuentran distribuidos en lugares con menos vegetación en el sitio, incluyendo la cercanía entre las otras especies de cactáceas. Y por último, *M. geometrizzans*

no comparte especies de abejas con las demás cactáceas, esto por que básicamente tiene a *Apis mellifera* como único polinizador (especie exótica). sin embargo, la alta abundancia de *A. mellifera* ocasionó un desplazamiento de las especies de abejas nativas que visitaban a *M. geometrizans*.

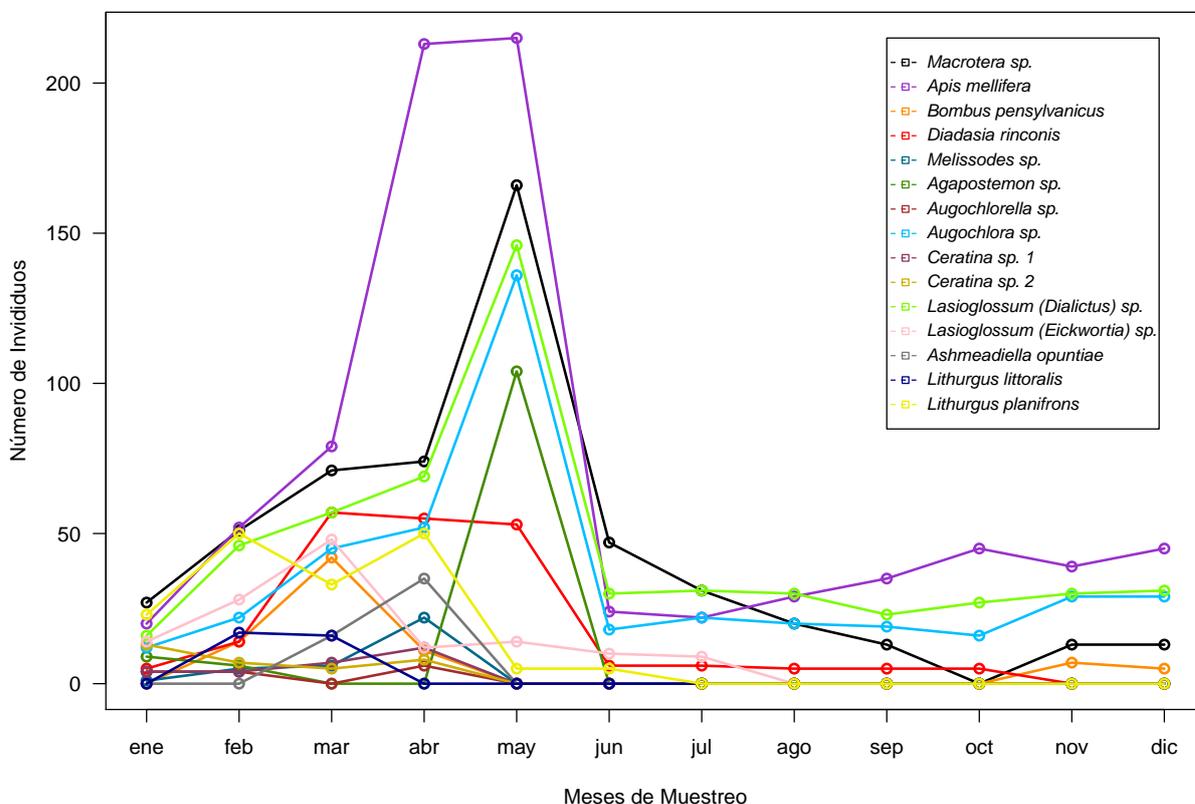


**Figura 3.2:** Dendrograma de disimilitud de abejas que hay entre las diferentes cactáceas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto queretano).

### 3.2. Frecuencias de Abejas

Con relación a la frecuencia de capturas/observaciones (flor de cactáceas y trampas jabonosas) de abejas por mes (Figura 3.3), se observó un incremento en el número especies y el

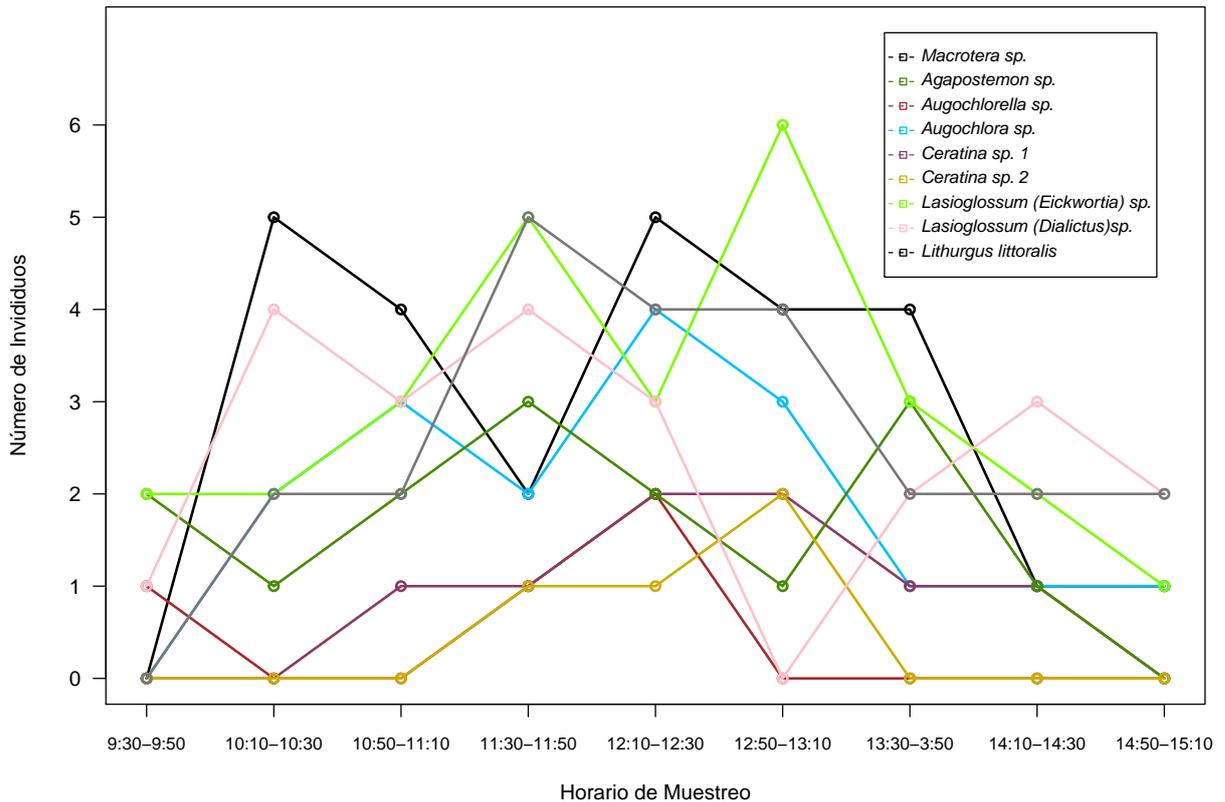
número de individuos de abejas a lo largo de los primeros 5 meses, registrándose el mayor número de especies en el mes de febrero (12), mientras que el mayor registro de capturas se observó en el mes de mayo (866 individuos). En contraste, en los meses de junio a diciembre se registró una marcada disminución en individuos y número de especies colectadas, donde en el mes de octubre se observaron los valores más bajos. Esta disminución puede deberse a que en este estudio solo se enfocó en la familia Cactaceae y la época de floración de estas cactáceas ocurre de diciembre/enero a junio. Con respecto a las especies de abejas, *Apis mellifera*, *Augochlorella* sp. y *Lasioglossum (Dialictus)* se observaron en todos los meses, y *A. mellifera* obtuvo la mayor abundancia con una  $N= 818$ , donde en los meses de abril y mayo se registraron los mayores número de individuos capturados. La especie con menor número de registro fue *Augochlora* sp. con presencia invernal, teniendo individuos en enero, febrero y marzo.



**Figura 3.3:** Número de individuos de abejas capturados de enero a diciembre del 2015, los registros fueron tomados en el Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano) usando platos trampa y captura en flores de especies de cactáceas.

Para el análisis de frecuencias de visita de abejas en cada una de las especies de cactáceas incluidas en el estudio (Cuadro 2.2) y horario de observación, la especie *Ferocactus histrix* (Figura 3.4) tuvo actividad de abejas desde que abrió la flor hasta el cierre, donde la mayor frecuencia de visitas de especies de abejas se observó de 11:30 a 13:10 con una  $S=9$ . En lo que se refiere a las abejas solo *Lasioglossum (Dialictus) sp.* se registro a todas horas y es la especie con mayor número de individuos registrado (27) que visitaron las flores de *F. histrix*. Mientras que las especies *Augochlora sp.* *Ceratina sp.* solo estuvieron presentes en

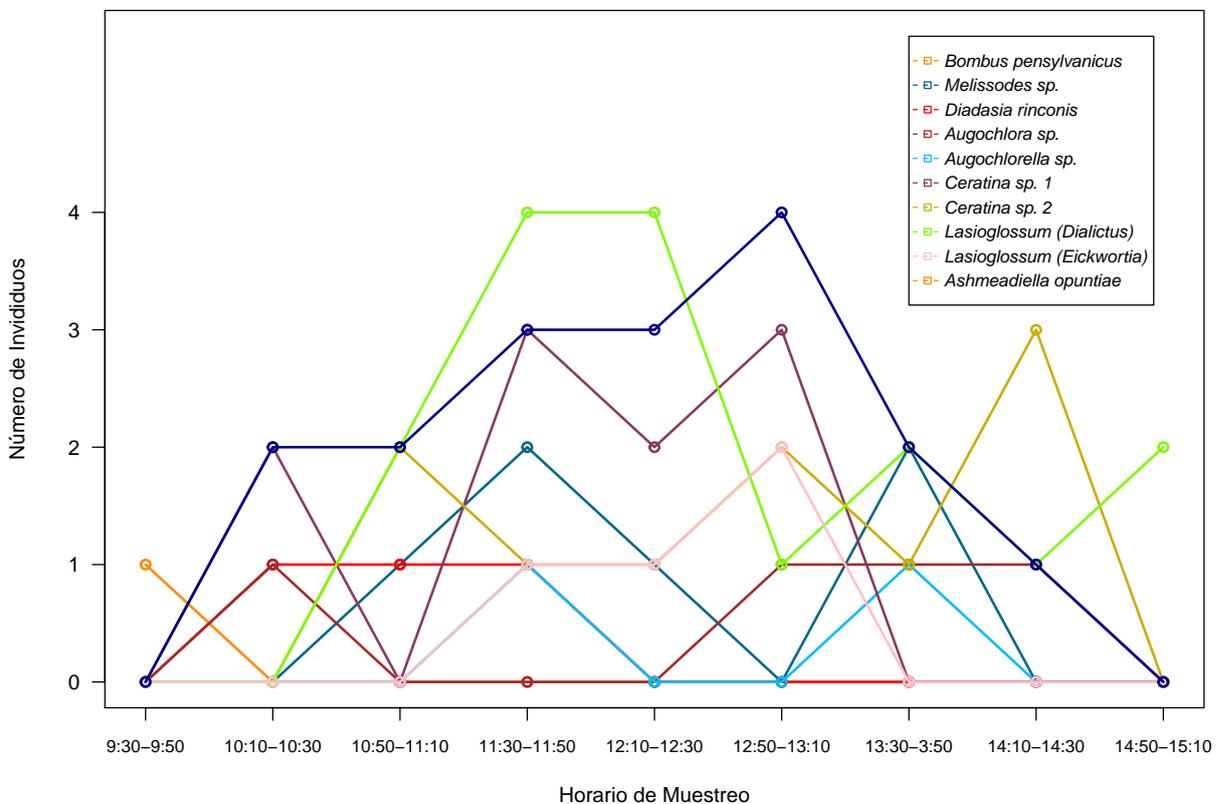
tres horarios de captura, así mismo son las especies con menor numero de individuos con un  $N= 4$  cada una.



**Figura 3.4:** Frecuencia totales de especies de abejas registradas en *Ferocactus histrix* en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 ( $n= 16$  flores).

En lo que respecta a *Opuntia robusta* (Figura 3.5), es la especie con menor número de individuos ( $N= 73$ ) de la 6 cactáceas muestreadas (Cuadro 2.2) y mostró visita de abejas en todos los horarios de captura/observación, donde la primera hora de observación y la ultima se registraron las frecuencias y las abundancias mas bajas. El horario de 11:30 a 11:50 presentó la mayor presencia de especies de abejas con una  $N= 8$ . *Ashmeadiella opuntiae* es

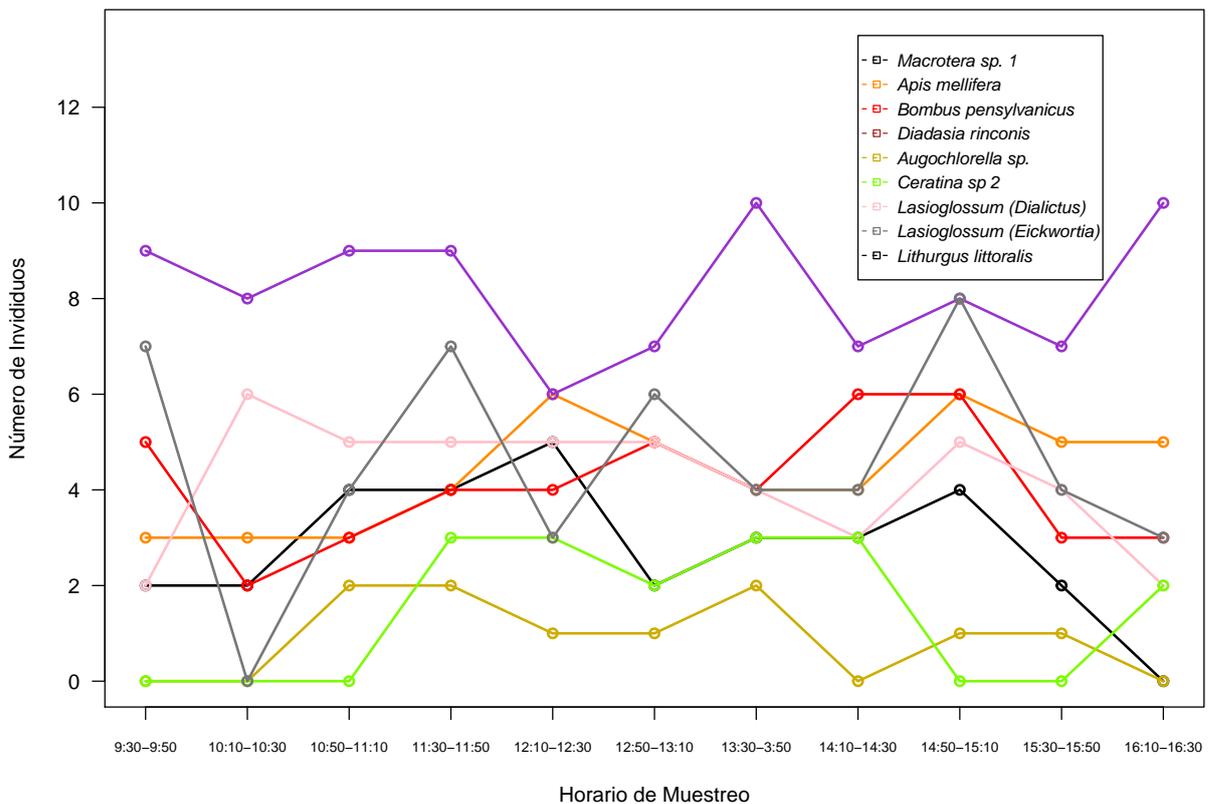
la única especie de abeja presente en todas las horas de captura/observación y a su vez es la especie con más individuos con una  $N= 17$ . Por otra parte *Bombus pensylvanicus* ( $N= 1$ ) y *Augochlorella* sp. ( $N= 2$ ) se registraron como especies de abejas raras para esta cactácea por su baja abundancia y poca frecuencia de vista.



**Figura 3.5:** Frecuencia total de especies de abejas registradas en *Opuntia robusta* en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 ( $n= 16$  flores).

*Opuntia cantebriensis* presentó visitas de abejas en sus flores en todos los horarios de captura/observación, donde se obtuvo una riqueza de nueve especies de abejas, siendo de 11:30 a 13:50 el rango de horario donde se registraron todas las especies de abejas y el

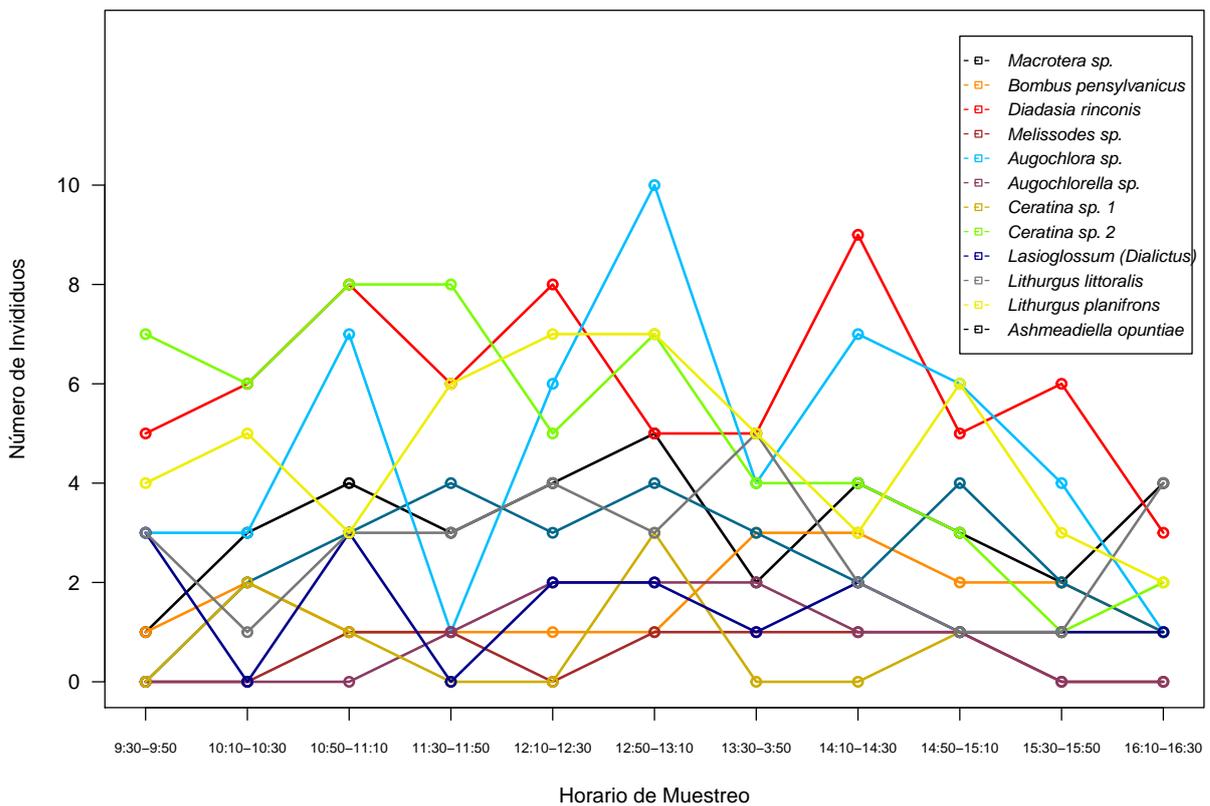
mayor número de individuos que visitaron a esta cactácea. Las especies de la familia Apidae estuvieron presentes en todas las horas de muestreo, siendo la especie exótica *Apis mellifera* la que tiene mayor abundancia ( $N=90$ ), mientras que *Ceratina sp. 2* ( $N=10$ ) y *Lasioglossum (Dialictus)* ( $N=16$ ) son la especies con menor número de individuos. Esta última especie de abeja también registró la menor frecuencia ya que sólo se observó en 6 de un total 11 intervalos de tiempo (Figura 3.6).



**Figura 3.6:** Frecuencia totales de especies de abejas registradas en *Opuntia cantabrigiensis* en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 ( $n=16$  flores).

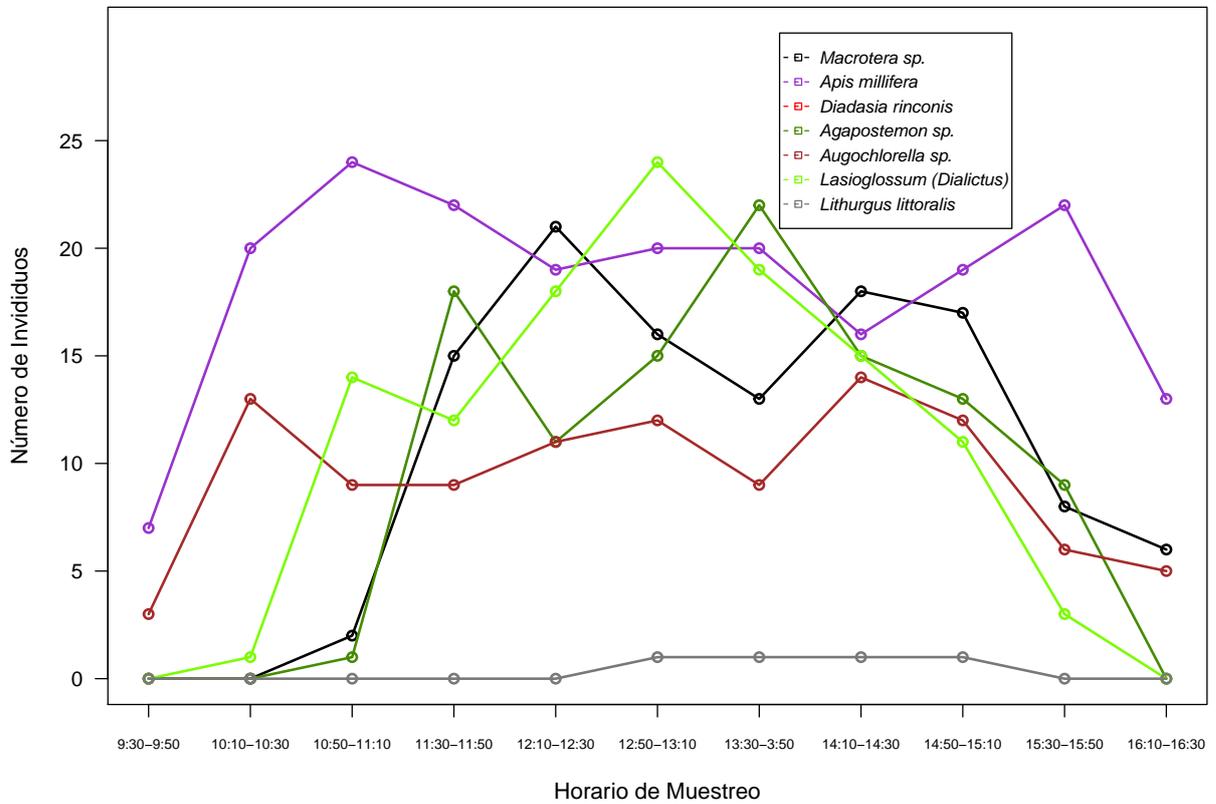
*Opuntia streptacantha* fue la cactácea con mayor riqueza de abejas ( $N=12$ ) y se regis-

traron visitas en todas las horas de captura/observación. De las 12 especies de abejas encontradas sobre esta cactácea, *Augochlora* sp., *Ceratina* sp. 1, *Ceratina* sp. 2 y *Ashmeadiella opuntiae* fueron las especies que no estuvieron en todos los horarios de muestreo, siendo las dos especies de *Ceratinas* las que tiene menor número de individuos ( $N = 9$ ). Por otro lado. *Diadasia rinconis* ( $N= 66$ ), *Lasioglossum (Dialictus)* ( $N= 55$ ), *Augochlorella* sp. ( $N= 52$ ) y *Lithurgus planifrons* ( $N= 51$ ) son las especies de abejas que presentaron la mayor cantidad de individuos que visitaron *Opuntia streptacantha* (Figura 3.7)



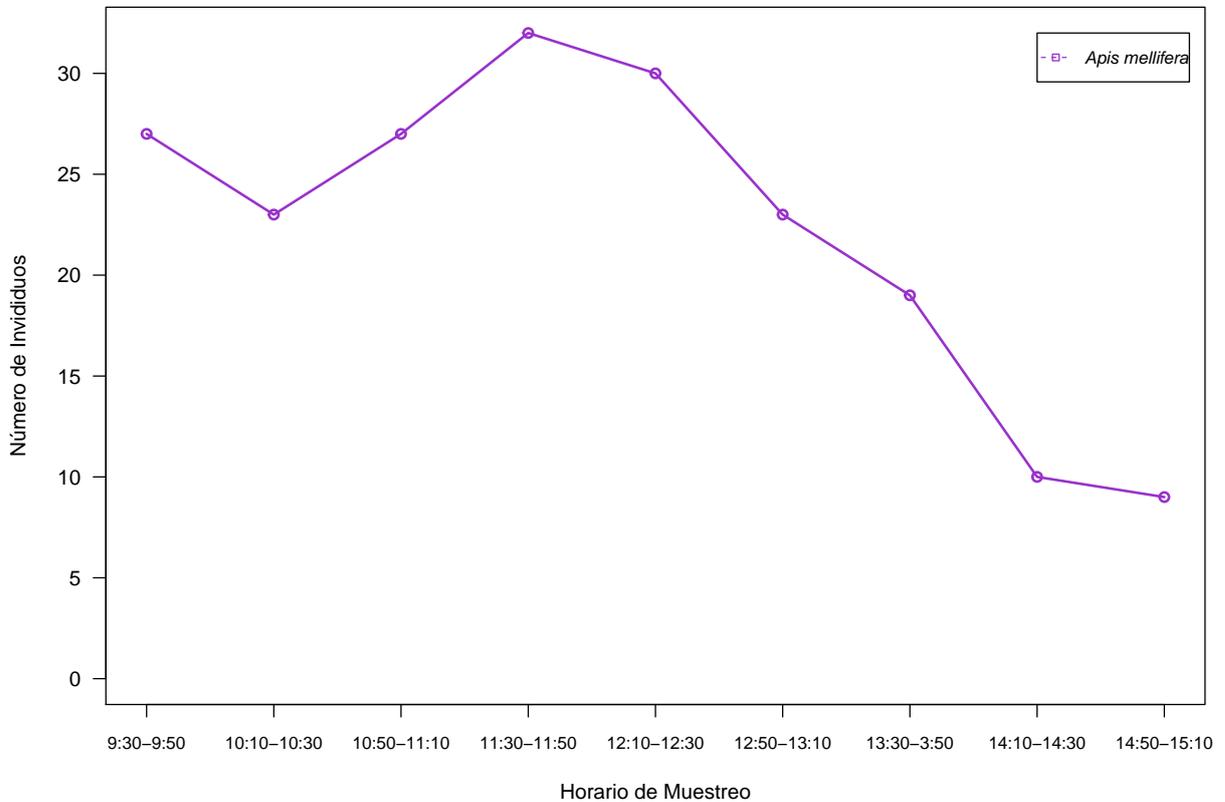
**Figura 3.7:** Frecuencia totales de especies de abejas registradas en *Opuntia streptacantha* en el Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 ( $n= 16$  flores).

*Opuntia tomentosa* fue la especie de cactáceas con mayor abundancia de abejas ( $N=690$ ) y al igual que el resto de las cactáceas hubo captura de abejas en todos los horarios de muestreo, donde la mayor riqueza de abejas ( $S=7$ ) fué de 12:50 a 15:10 hrs., en el cual se observaron todas las especies de abejas registradas para esta cactácea. Las especies de abejas con mayor frecuencia de visitas fueron *Apis mellifera* y *Augochlorella* sp. que estuvieron presente desde que abrió la flor hasta su cierre. Así mismo *A. mellifera* fue la especie con mayor abundancia ( $N=202$ ), mientras que *Lithurgus littoralis* fue la abeja con menor frecuencia de vistas, solo se registró en cuatro de los 11 intervalos de tiempo y también obtuvo la menor cantidad de individuos ( $N=4$ ) (Figura 3.8).



**Figura 3.8:** Frecuencia totales de especies de abejas registradas en *Opuntia tomentosa* en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 (n= 16 flores).

Para *Myrtillocactus geometrizans* (Figura 3.9) sólo se presentó una sola especie de abeja (*Apis mellifera*) la cual es una especie introducida, donde la mayor abundancia de esta especie se registró en el horario de 11:30 a 11:50 hrs. ( $N= 32$ ) y la menor en el horario de 14:50 a 15:10 hrs. con 9 individuos.

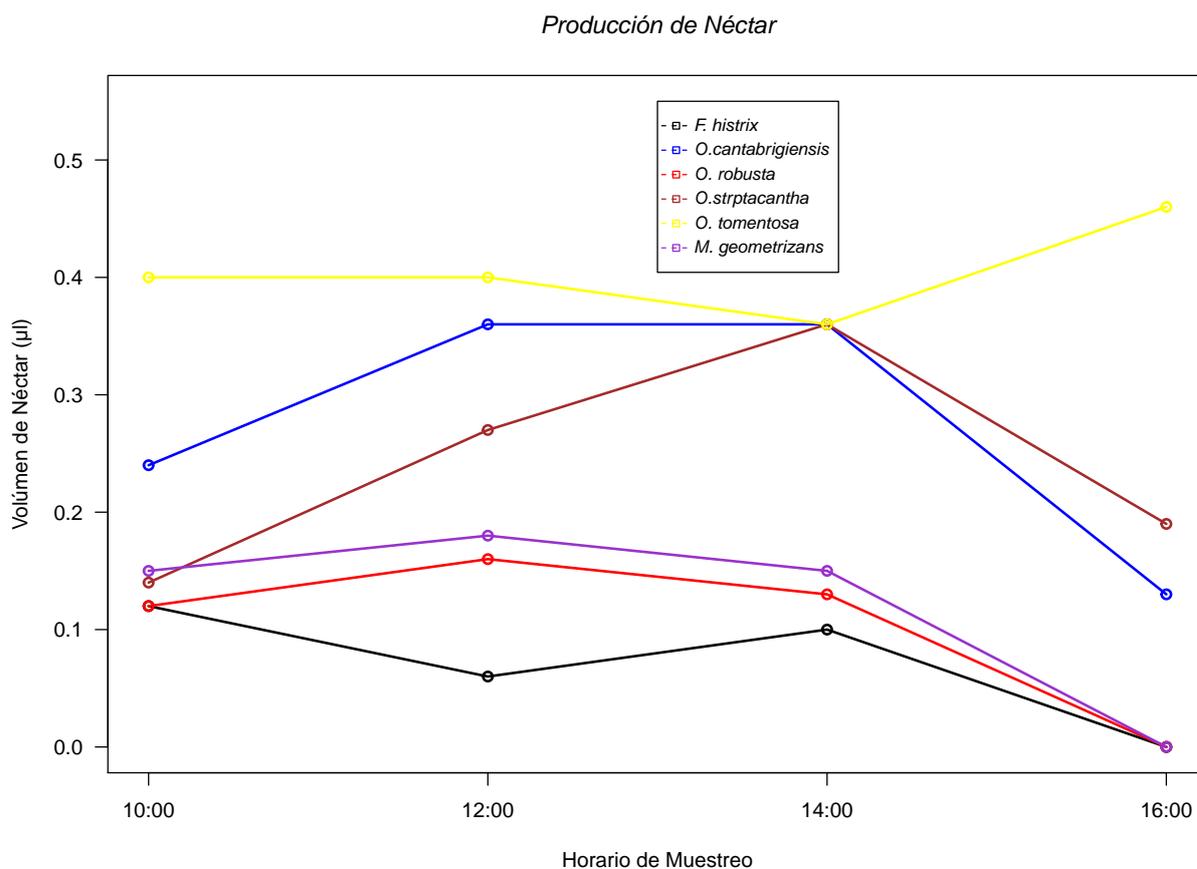


**Figura 3.9:** Frecuencia total de especies de abejas registradas en *Myrtillocactus geometrizans* en el Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto queretano). Datos de enero a diciembre del 2015 (n= 16 flores).

### 3.3. Producción de Néctar

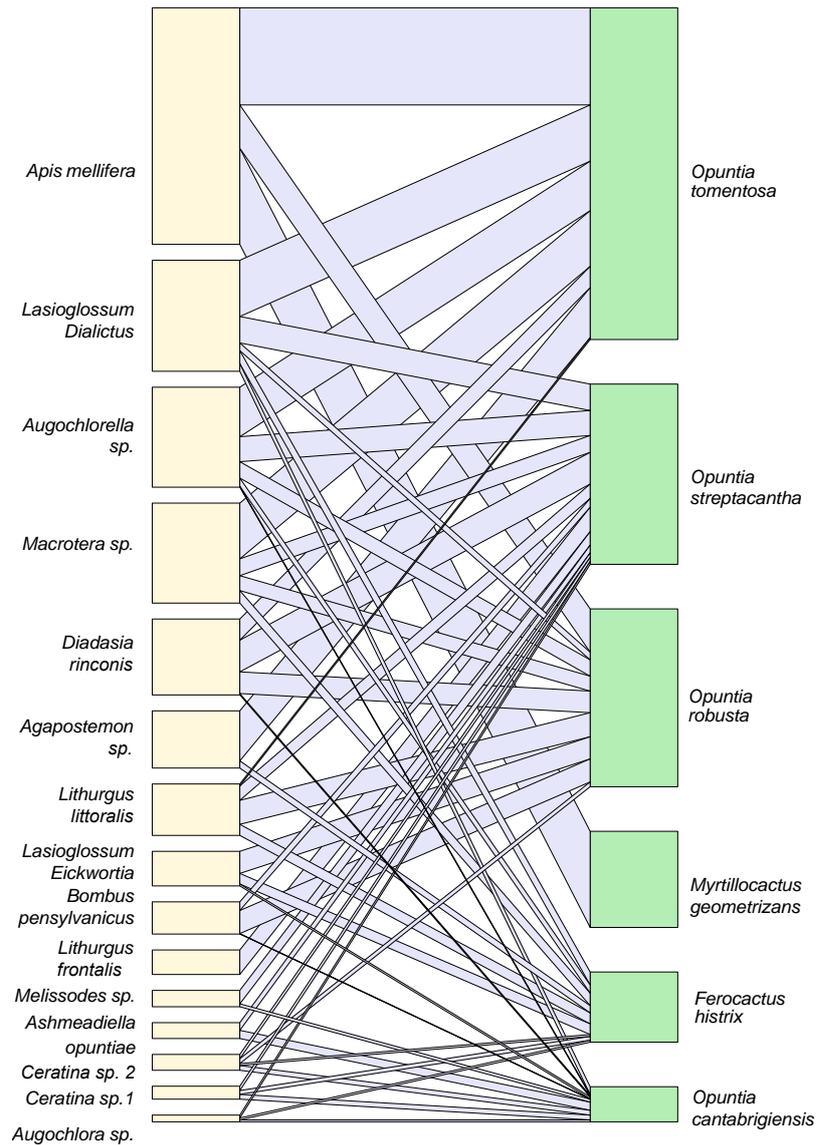
La medición de néctar (Figura 3.10), las flores de todas las cactáceas comenzaron a producir néctar desde la primera medición, en donde se observa un incremento en la producción a las 12:00 horas y teniendo un descenso considerable en su producción después de las 14:00 hrs., excepto *Opuntia tomentosa* que después de las 14:00 horas vuelve a tener un ascenso en la producción de néctar. Las cactáceas con las mayores producciones de néctar fueron *O.*

*tomentosa* con una producción promedio de 1.62  $\mu\text{l}$  y *O. cantabrigiensis* con 1.09  $\mu\text{l}$ , siendo estas dos cactáceas junto con *O. streptacantha* (también produce un alto volumen de néctar) las especies de cactáceas con las mayores abundancias de abejas (Cuadro 3.3), y la cactácea con la menor producción promedio fue *Ferocactus histrix* (0.28  $\mu\text{l}$ ).



**Figura 3.10:** Producción de néctar de las flores de cactáceas del Jardín Botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto queretano).

### 3.4. Estructura de la Red de Cactáceas / Abeja



**Figura 3.11:** Gráfico Red bipartita de interacción entre cactáceas (parte derecha) y abejas (parte izquierda) que se encontró en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015.

En lo que se refiere a la estructura de la red, se registraron un total de 15 especies de abejas (*A*) las cuales visitaron seis especies de cactáceas (*P*), donde el número de interacciones potenciales ( $A \times P$ ) fue de 90 (Figura 3.11). Con lo que respecta a las interacciones observadas, *Opuntia tomentosa* mostró las mayores interacciones con las abejas que visitan su flor, donde *Apis mellifera*, *Lasioglossum (Dialictus)*, *Macrotera* sp. *Agapostemon* sp. y *Augochlorella* sp, realizaron más de 100 visitas a esta cactácea. Mientras que *Myrtillocactus geometrizans* solo fue visitada por *Apis mellifera* una especie introducida que puede esta desplazado a las demás especies de abejas por ser mas agresivas y de mayor tamaño (Figura 3.12).

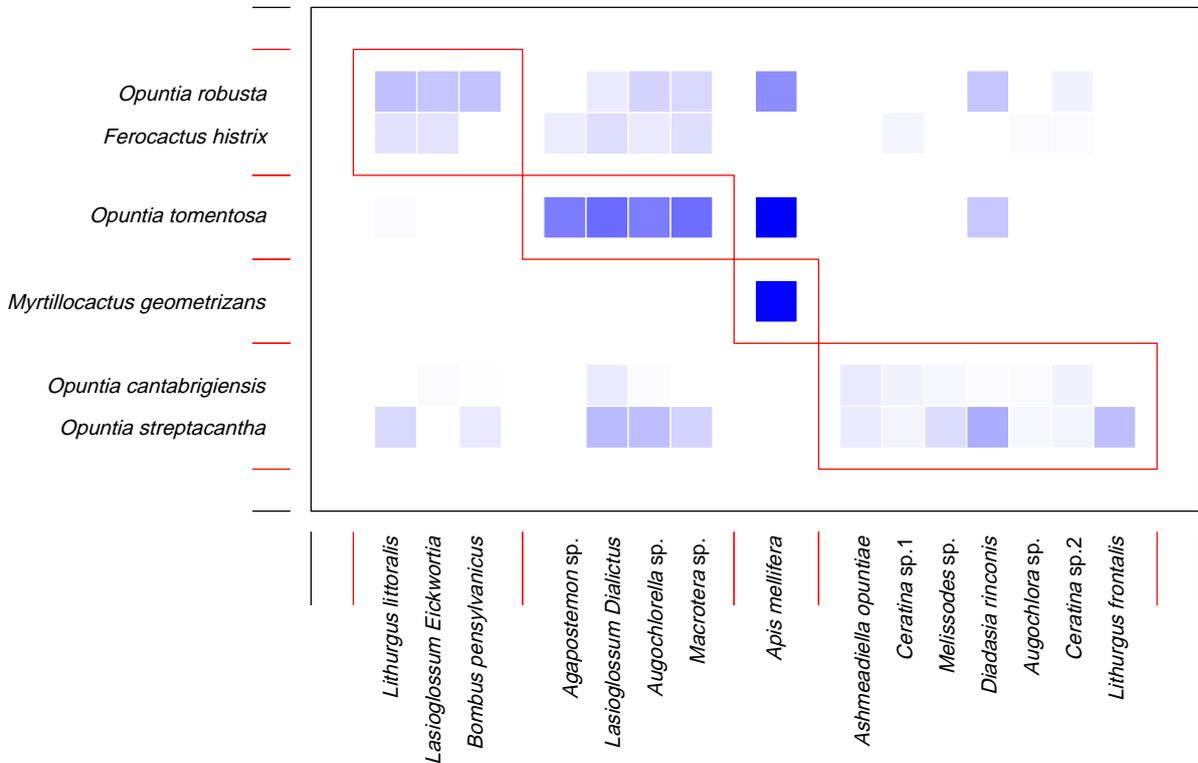
<i>Opuntia tomentosa</i>	202	117	116	103	44	104	4								
<i>Opuntia streptacantha</i>		55	35	52	66		30		18	51	28	9	16	9	6
<i>Opuntia robusta</i>	90	16	31	34	45		50	48	48			10			
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	200														
<i>Ferocactus histrix</i>		27	26	17		15	23	22				4		8	4
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>		16		2	3			4	1		6	10	17	10	4
	<i>Apis mellifera</i>	<i>Lasioglossum Dialictus</i>	<i>Macrotera</i> sp.	<i>Augochlorella</i> sp.	<i>Diadasia rinconis</i>	<i>Agapostemon</i> sp.	<i>Lithurgus littoralis</i>	<i>Lasioglossum Eickwortia</i>	<i>Bombus pensylvanicus</i>	<i>Lithurgus frontalis</i>	<i>Melissodes</i> sp.	<i>Ceratina</i> sp. 2	<i>Ashmeadiella opuntiae</i>	<i>Ceratina</i> sp. 1	<i>Augochlora</i> sp.

**Figura 3.12:** Gráfico de interacción entre cactáceas–abejas utilizando las frecuencia de visitas que se registró en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015.

En lo que se refiere a las índices utilizadas para medir la estructura de la red Cactácea–abeja, el número de enlaces por especies fue de 2.29, donde cada individuo de abeja visita por lo menos dos especies especies de cactáceas, por otra parte el nivel de especialización de la red ( $H_2'$ ) muestra un valor cercano a cero (Cuadro 3.7) que se interpreta que la red de interacción cactácea–abejas es un sistema generalizado. Asimismo, la red cactácea–abeja no mostró un patrón anidado ( $NODF= 62.92$ ) lo que sugiere que todas las especies de abejas interactúan con todas las especies de planta, teniendo un valor no significativo de  $p(Ce)$  (Cuadro 3.7). Por último, la red cactácea–abeja es significativamente modular (Cuadro 3.7) por lo que se observan grupos de especies de abejas que interactúan más con una cactáceas que con otras. En lo que se refiere a la composición de módulos (Figura 3.13), se encontraron cuatro grupos, el primero lo formaron *Myrtilocactus geometrizers* y *Apis mellifera*, el segundo *Opuntia tomentosa* con *Agapostemon* sp., *Lasioglossum (Dialictus)*, *Augochlorella* sp, y *Macrotera* sp., el tercer grupo se conformo por *Opuntia streptacantha* y *O. cantabrigiensis* con *Ceratina* sp.1, *Ceratina* sp.2, *Ashmeadiella opuntiae*, *Diadasia rinconis*, *Melissodes* sp., *Lithurgus frontalis* y *Augochlorella* sp, y el último grupo lo formaron *Ferocactus histrix* y *O. robusta*.

**Cuadro 3.7:** Índices básicos a nivel red utilizadas para conocer la estructura de la red Cactácea–Abeja en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro (Semidesierto Queretano). Datos de enero a diciembre del 2015.

	<b>Enlaces por especie</b>	$H_2'$	$NODF$ Total	$NODF(Ce)$	$p(Ce)$	$Q$	$p(Q)$
Cactácea–Abeja	2.29	0.36	62.92	57.51	0.23	0.31	0.04



**Figura 3.13:** Gráfico que muestra la clasificación promedio ( $n= 1000$  repeticiones) de la red Cactácea–Abeja , de acuerdo con el análisis de la modularidad bipartito QUANBIMO. La intensidad de los colores indica la frecuencia de abejas por cactácea.

En lo que se refiere a la especialización a nivel especie, el índice de especilización por especie nos muestra 5 especies de abejas *Lithurgus planifrons*, *Agapostemon* sp., *Melissodes* sp. y *Bombus pensylvanicus* con un valor alto de especialización (Cuadro 3.8), donde *Lithurgus planifrons* obtuvo un valor de 1.00 que significa que es especialista de *Opuntia streptacantha*. En el caso de las cactáceas solo *Myrtillocactus geometrizans* es la especie que necesita a una sola especie de abejas (*Apis mellifera*) para la polinización . En lo que se refiere a las especies núcleo, dos pequeños grupos se encuentran donde *Augochlorella* sp. y

*Lasioglossum (Dialactus)* son las especies más importantes en las interacciones cactáceas–abejas y un segundo grupo pero con valores mas bajos (Cuadro 3.8) de *Macrotera* sp. y *Lithurgus littoralis*. Y con los resultados de la métrica fuerza de las especies se confirma que las especies de abejas más importantes para la polinización de las cactáceas del semidesierto son *Lasioglossum (Dialactus)*, *Augochlorella* sp y *Macrotera* sp.

**Cuadro 3.8:** Métricas de especialización de la estructura de la red Cactáceas–Abejas a nivel de especie

<b>Especies de Abejas</b>	<b>Fuerza de las Especies</b>	<b>Núcleo/Periferia</b>	<b>Índice de Especialización</b>
<i>Macrotera</i> sp.	0.52	0.70	0.50
<i>Apis mellifera</i>	1.54	-0.17	0.49
<i>Bombus pensylvanicus</i>	0.19	-0.17	0.71
<i>Diadasia rinconis</i>	0.40	0.70	0.45
<i>Melissodes</i> sp.	0.16	-1.05	0.81
<i>Agapostemon</i> sp.	0.25	-1.05	0.86
<i>Augochlorella</i> sp.	0.10	-0.17	0.47
<i>Augochlora</i> sp.	0.52	1.57	0.46
<i>Ceratina</i> sp. 1	0.22	-0.17	0.45
<i>C.</i> sp. 2	0.22	0.70	0.36
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp.	0.76	1.57	0.45
<i>L. (Eickwortia)</i> sp.	0.33	-0.17	0.64
<i>Ashmeadiella opuntiae</i>	0.28	-1.05	0.63
<i>Lithurgus littoralis</i>	0.38	0.70	0.46
<i>L. planifrons</i>	0.14	-1.92	1.00
<b>Especies de Cactáceas</b>			
<i>Ferocactus histrix</i>	1.67	0.26	0.28
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	0.41	-1.84	1.00
<i>Opuntia cantabrigensis</i>	1.82	0.53	0.31
<i>O. robusta</i>	2.98	0.26	0.29
<i>O. streptacantha</i>	4.97	1.05	0.23
<i>O. tomentosa</i>	3.16	-0.26	0.37

## 4. Discusión

Aunque existen varios estudios relacionados con abejas nativas en México (Ayala, 1988; Ayala *et al.*, 1996, 1998; Hinojosa-Díaz, 2003; Ramírez-Freire, 2012; Ramírez-Freire *et al.*, 2014; Razo, 2015), el conocimiento sobre taxonomía y diversidad de estas especies aún está incompleto y las estimaciones actuales podrían variar de manera importante si se realizaran muestreos más exhaustivos y en zonas poco exploradas; esta información es aún más pobre si se toma en cuenta las interacciones que existen entre las especies de abejas con las comunidades vegetales. Ayala *et al.* (1996) mencionan que las familias con mayor riqueza de especies en México son Apidae ( $S= 597$ ) y Andrenidae ( $S= 522$ ), sin embargo, en el presente estudio las familias que aportaron más especies fueron Apidae ( $S= 4$ ) y Halictidae ( $S= 7$ ). La dominancia de Halictidae y Apidae es un resultado que coincide con los trabajos de Vergara y Ayala (2002) que en una vegetación xerófila del semidesierto de Puebla, registraron que la familia Apidae ( $S= 92$ ) y Halictidae ( $S= 50$ ) fueron las que obtuvieron mayor riqueza de especies. Por otra parte, Hinojosa-Díaz (2003) en la sierra del Chichinautzin, Morelos, reportó que las familias con mayor número de especies fueron Apidae y Halictidae con  $S= 118$  y  $S= 15$  respectivamente, estos resultados los obtuvo en siete tipos de vegetación, donde las familias Compositae y Leguminosae fueron las mejor representadas en el estudio, donde en conjunto suman el 42 % de la vegetación. Y Ramírez-Freire (2012) en su trabajo de abejas nativas asociadas a la vegetación del estado de Nuevo León, observó que Apidae ( $S= 11$ ) y Halictidae ( $S= 6$ ) fueron las familias con mayor número de especies de abejas, esto reportado en cuatro especies de cactáceas *Cylindropuntia imbricata*, *Opuntia engelmannii*, *O. microdasys* y *Opuntia* sp. Es relevante mencionar que de las seis cactáceas muestreadas, el género *Opuntia* fue la que presentó el mayor número de especies (4), esto puede ser porque es el género más diverso (120 especies) de la familia cactácea en México (Mandujano *et al.*, 2002). Di-

cho género esta ampliamente distribuidas por todo el país y sus especies son polinizadas principalmente por abejas, las especies del género *Opuntia* son consideradas de gran importancia biológica, cultural, económica y social (Mandujano *et al.*, 2002; Mondragón-Jacobo y Pérez-González, 2003; Cruzen *et al.*, 2011).

De las 15 especies de abeja reportadas para el semidesierto queretano, la mayoría de las abejas se encasillan en solitarias recolectoras de polen, sin embargo, solo las especies de la familia Apidae y Megachilidae consumieron el néctar de las flores de las cactáceas. Este comportamiento puede deberse a que estas familias de abejas cuentan con especies denominadas abejas de lengua larga (Michener, 2000). De manera observacional, se consideró a una abeja especialista como: aquella especie que visitó solo una especie de cactácea (modificado de la definición de Müller y Kuhlmann (2008)), esto debido a la poca cantidad de géneros de cactáceas presente en el sitio. Tomando esta definición de abeja especialista, *Lithurgus planifrons* se considera una especie especialista ya que solo visitó las flores de *Opuntia streptacantha*. Minckley *et al.* (1999) proponen que la temporada de vuelo de las abejas especialistas está estrechamente asociada al periodo de floración de las plantas de las cuales se alimentan, esta relación se observó en *Melissodes* sp. que visitó a *O. cantabrigiensis* y *O. streptacantha* y *Agapostemon* sp. que se registró en *Ferocatus histrix* y *O. tomentosa*, estas visitas pueden ser resultado de que estas especies de cactáceas traslapan sus fenologías (A. Galicia, datos sin publicar).

## 4.1. Abundancia de Abejas

Potts *et al.* (2003) mencionan que existe una relación positiva entre la abundancia de abejas y la abundancia de especies de plantas en floración. Esto concuerda con nuestros resultados, donde las mayores abundancias se observaron entre los meses de enero a mayo,

época de floración de las cactáceas (A. Galicia datos no publicados) y la mayoría de la vegetación presente en la zona (matorral xerofilo). Aunque el resto de la vegetación disminuye el número de especies que visitan las cactáceas, esta disminución es mínima, ya que las flores de las cactáceas son más atractivas para las abejas por el tamaño y coloración en comparación con las flores de las demás plantas (Krannitz y Maun, 1991; Gordón *et al.*, 2002). Las cactáceas también se ven favorecidas el estrato que ocupa en la estructura vegetal ya que se ha reportado una mayor cantidad de polinizadores en vegetación que va de 0.5 a 2.70 metros (Ramírez, 1993).

Otro factor que ayuda a las altas abundancias en esos meses (enero a mayo), fueron las condiciones ambientales que se presentaron en esos meses, las cuales fueron las adecuadas para que las abejas pudieran volar (Ayala *et al.*, 1998). Estos resultados de abundancia coincide con trabajos como el de Vergara y Ayala (2002) el cual registro el mayor pico de abundancia de abejas en los meses de septiembre y octubre, temporada donde también observó la mayor floración en la zona. Razo (2015) también registro la mayor abundancia de abejas en la temporada máxima floración (julio, octubre y noviembre), la cual coincide con la época de lluvias.

## 4.2. Diversidad de Abejas

EL análisis de acumulación de especies mostró que la pendiente de la curva alcanzo su asíntota dos meses antes de terminar el año, teniendo un eficiencia de muestreo mayor al 89 % según los estimadores de riqueza (Jacknife 1, Chao 1 y 2). Estos resultados deben tomarse con cautela, ya que no existe un listado de especies de abejas para la zona del semidesierto queretano, sin embargo en la base de datos Discover Life (Ascher y Pickering, 2016) se tienen reportadas 109 especies de abejas para el estado de Querétaro. Por ésto la necesidad

de incrementar los muestreos en otras zonas mas amplias del semidesierto, esto con el fin de obtener un listado apifaunistico.

Comparando nuestros resultados de diversidad de abejas con el trabajo de Ramírez-Freire (2012), donde trabajando en un matorral xerófilo y un chaparral (muestreo de mayo 2009 a mayo 2010) del estado de Nuevo León, reportó una  $N= 2036$ ,  $S= 116$  y  $H' = 3.12$ , y una  $N= 115$ ,  $S= 19$  y  $H' = 2.32$  para cada tipo de vegetación respectivamente . Y el trabajo de Razo (2015), que en un año de muestreo (octubre 2013 a octubre 2014) obtuvo una  $N= 1044$ ,  $S= 153$  y  $H' = 4.51$  en el bosque tropical caducifolio y en el bosque de pino-encino una  $N = 450$ ,  $S = 93$  y  $H = 4.05$  de la Sierra Quina, Jalisco. Teniendo el mismo esfuerzo de muestreo de un año (enero 2015 a diciembre 2015), nuestra abundancia fue mayor a la de los dos trabajos anteriores con una  $N = 3202$ . Mientras que la riqueza y la diversidad fueron más baja con una  $S = 15$  y una  $H' = 2.16$ . A pesar de que este trabajo estuvo dirigido a la diversidad de abejas de la familia cactácea del semidesierto queretano, los resultados deben de tomarse con cautela. Ya que la riqueza y diversidad de especies de los trabajos comparados fueron realizados en zonas de vegetación de poca perturbación. Mientras que los muestreos en este trabajo fueron realizados dentro de las instalaciones del Jardín Botánico, la toma de datos se realizó en el área silvestre (vegetación perturbada y de transición (Hailen *et al.*, 2004)) y en sus alrededores existe un nivel de deterioro ambiental que sin duda afecta la diversidad de abejas (Reyes-Novelo *et al.*, 2009).

Para la diversidad de cactáceas, la abundancia de abejas registradas fue mayor ( $N= 1854$ ) a la que obtuvo Ramírez-Freire *et al.* (2014) en la comunidad de cactáceas del estado de Nuevo León, donde usando el mismo método de muestreo (redes entomológicas y duración de un año) reportaron una  $N = 68$ ,  $S = 27$  y  $H' = 2.95$ . Mientras que nuestra riqueza y diversidad es menor  $S (15)$  y en  $H' (2.31)$  a la suya. En ambos estudios se registraron las mismas familias de abejas que visitaron a las cactáceas de Nuevo León y las cactáceas del semidesierto de

Querétaro, lo que se podría suponer una especialización de las familias de abejas asociadas a las Cactaceae de México. Por último, Ramírez-Freire (2012) registró una diversidad para tres especies de cactáceas *Opuntia engelmannii* ( $N = 33$   $S = 14$  y  $H' = 2.34$ ), *O. microdasys* ( $N = 21$   $S = 8$  y  $H' = 1.88$ ) y *Opuntia* sp. ( $N = 13$   $S = 9$  y  $H' = 2.09$ ) y si lo comparamos con nuestro resultados de abundancia todas las cactáceas de este estudio tuvieron mayor abundancia, sin embargo, *O. tomentosa* tiene menor riqueza ( $S = 7$ ) y las diversidades no varían mucho entre cactáceas de ambos estudios. Exceptuando *Myrtillocactus geometrizans* que su riqueza y diversidad de especies fueron bajas ( $S =$  y  $H' = 0.00$ ).

En lo que se refiere a la similitud de cactáceas por la composición de abejas que visitan su flor, se formaron dos grupos relevantes, el integrado por *Opuntia cantabrigiensis* y *O. streptacantha* que comparten nueve especies de abejas y el de *O. robusta* y *O. tomentosa* que comparten cinco especies de abejas. Este agrupamiento pudo haber ocurrido gracias a que las cactáceas agrupadas traslapan sus fenologías (A. Galicia, datos no publicados). Lo cual pudo haber provocado que las abejas sincronizaran sus ciclos de vida con la fenología de estas cactáceas (Michener, 1974; Ayala, 1988).

La fenología de las especies de cada grupo se traslapan, por lo que se podría esperar cierta asociación de los polinizadores también (A. Galicia, datos no publicados). Mientras que *Myrtillocactus geometrizans* solo la visita *Apis mellifera*, la nula presencia de otra especie de abejas en esta cactáceas podría ser que *A. mellifera* este desplazando a las demás especies de abejas. Campos-Navarrete *et al.* (2013) reportó en su estudio de estructura de las redes planta–himenóptero arbustos costeros en México que *A. mellifera* es capaz de desplazar a las especies de abejas nativas. La ausencia de especies nativas y la abundancia de la especie exótica puede ser un indicador de deterioro ambiental que en primer término se ve reflejado en *M. geometrizans* aunque *O. tomentosa* y *O. robusta* ya muestran presencia de *A. mellifera* que puede estar desplazando a las especies nativas.

La cactácea que tuvo más especies de abejas y con mayores frecuencias fue *O. streptacantha*. Este valor alto se pudo deber a que esta especie fue una de las cactáceas que produjeron más néctar, tal como lo registró Golubov *et al.* (2010), en donde observaron que las flores de la planta *Prosopis glandulosa* que producía más néctar era la que registraba mayor abundancia y riqueza de visitantes florales. Se observó que *Lithurgus planifrons* y *Agapostemon* sp. son las especies que consideramos especialistas, por visitar 1 y 2 especies de cactáceas cada una. La especialización de *L. planifrons* en *O. streptacantha* puede deberse a que algunas especies del género *Lithurgus* son especialistas del género *Opuntia* (Ayala *et al.*, 1996). Las mayores frecuencias se encontraron a partir del mediodía, donde se ha sugerido que son las horas más adecuadas de vuelo para las abejas (Ayala *et al.*, 1996; Michener, 2007).

### 4.3. Estructura de la red de polinización

Los estudios de interacción plantas/polinizador usando un enfoque de redes son relativamente nuevos y entre ellos el estudio de interacciones cactáceas/abejas es nulo para fines prácticos. Un patrón de anidamiento y una baja o nula modularidad en una red planta/visitantes florales es una característica común en las interacciones planta/animal (Bascompte y Jordano, 2008), sin embargo, la red de interacción cactácea–abeja no mostró dicho patrón de anidamiento y de modularidad, ya que se observaron cuatro módulos significativos (modelo nulo de Patefield ( $p_Q= 0.04$ )). Este patrón sugiere que la red de interacción cactácea/abeja es pequeña, con solo seis especies de cactáceas y 15 especies abejas ((Bascompte y Jordano, 2008)); y a la pérdida de hábitat que se observó a los alrededores puede, ya que es un factor que está relacionado con la pérdida de especies y con la formación de Módulos (Bascompte y Jordano, 2008; Ascher y Pickering, 2016). lo cual provocaría una

inestabilidad en la red y con ello contribuir a que menos especies permanezcan en el sistema de polinización cactácea–abeja (Ascher y Pickering, 2016). . Mientras que los valores de especialización ( $H_2'$ ) sugieren que la red es cactácea/abeja es generalista. Por otra parte, se observaron cuatro módulos significativos (modelo nulo de Patefield ( $p_Q= 0.04$ )).

Otra causa que podría estar afectando la falta de anidamiento es la presencia de *Apis mellifera* (especie exótica) en algunas cactáceas (Valido *et al.*, 2011), siendo en la especie *Myrtillocactus geomerizans* donde se registro sus mayores abundancias y frecuencia de visitas. Así mismo, se ha reportado que esta especie es capaz de desplazar a las especies nativas induciendo cambios significativos en la estructura de redes de polinizadores nativos (Campos-Navarrete *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2012). Este desplazamiento se comparó con los resultados M. Cano (Tesis en revisión) que reportó nueve especies de abejas que visitó a *M. geomerizans* en las misma zona del semidesierto.

El impacto de *Apis mellifera* posiblemente es negativo, ya que esta especie no suele ser un eficiente polinizador de plantas nativas (Santos *et al.*, 2012). La presencia de *A. mellifera* puede ser una consecuencia de la degradación ambiental. El acceso de los recursos florales va a depender en parte de qué tan sensibles son los visitantes a factores externos como el disturbio. La pérdida de hábitat es uno de los contribuyentes más importantes en el declive de las poblaciones de abejas y afecta tanto la conducta como las interacciones interespecíficas (Fischer y Lindenmayer, 2007). En un estudio reciente, Winfree *et al.* (2009) encontraron un efectos negativo del disturbio sobre la abundancia de abejas silvestres mientras que *A. mellifera* y *Bombus* fueron las especies más resilientes al disturbio.

Con el fin de conocer las interacciones de la red cactácea/abeja a un nivel de especies. El índice de especialización de especies nos mostró cuatro especies con un nivel alto de especialización. Sin embargo los valores de las especies núcleo y periféricas muestran que *Augochlorella* sp., *Lasioglossum (Dialactus)*, *Macrotera* sp. y *Lithurgus littoralis* son las

especies núcleo, Esto sugieren que esta abejas pueden las especies mas eficientes, ya que una especie núcleo está relacionada con cual centrales son las especies con las que interactúan (Jordano *et al.*, 2006). Mientras que los valores de la métrica fuerza de las especies también registró a las mismas especies de abejas que consideramos núcleo, como aquellas especies de abejas que tienen mayor interacción con la especies de cactácea que visitan en el sistema (Poisot *et al.*, 2012). lo cual pude sugerir que son las especies de abejas que más contribuyen a la polinización de cactáceas en el semidesierto queretano.

## 5. Conclusiones

- Se registraron 12 géneros y 15 especies de abejas, las cuales visitaron seis especies de cactáceas.
- Las 15 especies de abejas transportaron polen a otra flor.
- Las especies de abejas de la Familia Apidae y Megachilidae fueron las únicas abejas en consumir el néctar de la flores de las cactáceas.
- Se obtuvo un esfuerzo de del 89 %.
- La abundancia en el estudio fue alta ( $N= 3202$ ), mientras que la riqueza y la diversidad es media  $S= 15$  y  $H' = 2.16$  si lo comparamos con otros estudios.
- *O. tomentosa* ( $1.62 \mu\text{l}$ ) y *O. cantabrigiensis* ( $1.09 \mu\text{l}$ ) produjeron más néctar a lo largo del día y la especie con menor producción fue *Ferocactus histrix*.
- De manera observacional se distinguen dos especies oligolécticas *Lithurgus planifrons*.
- No se encontró un patrón anidado, y se observó 4 módulos de interacción y la red de interacción Cactáceas – Abejas es generalista.
- EL sistema de polinización cactáceas–abejas es generalista
- Los valores de las métricas a nivel especies nos muestran 2 especies con alta especialización *Lithurgus planifrons* y *Melissodes* sp. Mientras que las especies más eficientes por su fuerza en la red y mayor interacción son las especies *Lasioglossum (Dialictus)*, *Augochlora* sp. y *Macrotera* sp.

# Bibliografía

- Almeida-Neto, M., Guimaraes, P., Guimarães, P. R., Loyola, R. D., y Ulrich, W. (2008). A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. *Oikos*, 117(8):1227–1239.
- Arroyo, J. M. (1988). Atributos florales y fenología de la floración en matorrales del sur de España. *Lagascalia*, 15(1):43–78.
- Ascher, J. y Pickering, J. (2016). Discover life bee species guide and world checklist (hymenoptera: Apoidea: Anthophila). [http://www.discoverlife.org/mp/20q?guie=Bee\\_genera](http://www.discoverlife.org/mp/20q?guie=Bee_genera) [consultado el 13 de junio 2015].
- Ayala, R. (1988). Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) de Chamela, Jalisco, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 77:395–493.
- Ayala, R., Griswold, T., y Bullock, S. (1998). Las abejas nativas de México. *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artropodos de México: hacia una Síntesis de su Conocimiento*, pp. 179–225.
- Ayala, R., Griswold, T. L., y Yanega, D. (1996). Apoidea (hymenoptera). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos mexicanos: hacia una síntesis de su conocimiento, IBUNAM/UNAM/CONABIO, México*, pp. 423–464.
- Baker, H. G., Baker, I., y Hodges, S. A. (1998). Sugar composition of nectars and fruits consumed by birds and bats in the tropics and subtropics. *Biotropica*, 30(4):559–586.
- Bascompte, J. y Jordano, P. (2006). The structure of plant-animal mutualistic networks. *Ecological networks: linking structure to dynamics in food webs*, pp. 143–159.

- Bascompte, J. y Jordano, P. (2008). Redes mutualistas de especies. *Investigación y Ciencia*, 384:50–59.
- Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C. J., y Olesen, J. M. (2003). The nested assembly of plant–animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(16):9383–9387.
- Bascompte, J., Jordano, P., y Olesen, J. M. (2006). Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance. *Science*, 312(5772):431–433.
- Begon, M., Harper, J. L., y Townsend, C. (1988). *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Omega Barcelona.
- Blüthgen, N., Menzel, F., y Blüthgen, N. (2006). Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecology*, 6(1):9.
- Campos-Navarrete, M. J., Parra-Tabla, V., Ramos-Zapata, J., Díaz-Castelazo, C., y Reyes-Novelo, E. (2013). Structure of plant–hymenoptera networks in two coastal shrub sites in Mexico. *Arthropod-Plant Interactions*, 7(6):607–617.
- Castellanos, M. (2007). Cambios de polinizador en tiempo evolutivo en plantas de *penstemon schmidel* (scrophulariaceae). *Cuadernos de biodiversidad: publicación cuatrimestral del Centro Iberoamericano de la Biodiversidad*, (24):3–9.
- CEA-CONCYTEQ, W. E. (2016). Forecast for cadereyta, Queretaro. <https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IQUERETA15#history> [consultado 13 de mayo 2016].
- Chao, A., Hwang, W.-H., Chen, Y., y Kuo, C. (2000). Estimating the number of shared species in two communities. *Statistica Sinica*, 10(2000):227–246.

- Colwell, R. K., Chao, A., Gotelli, N. J., Lin, S.-Y., Mao, C. X., Chazdon, R. L., y Longino, J. T. (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation, and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*, 5(1):3–21.
- Colwell, R. K. y Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 345(1311):101–118.
- Crucen, C. G. V., Participantes, U., Parra, M. G. O., Cordero, U. D. V. S., Gaytán, P. B. A., Hernández, H. M., y Mena, M. (2011). Estado del conocimiento de las especies del nopal (opuntia spp.) productoras de xoconostles silvestres y cultivadas” responsable dra. leia scheinvar. *Instituto de Biología, UNAM*, p. 34.
- Dafni, A. (1992). *Pollination ecology: a practical approach*. Oxford University Press, Oxford.
- Dáttilo, W., Guimarães, P. R., e Izzo, T. J. (2013). Spatial structure of ant–plant mutualistic networks. *Oikos*, 122(11):1643–1648.
- del Pino, F. G. y Ramoneda, J. (1990). Importancia de los insectos en la polinización del algarrobo. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 16(1):143–150.
- Domínguez-Álvarez, A., Cano-Santana, Z., y Ayala-Barajas, R. (2009). Estructura y fenología de la comunidad de abejas nativas (Hymenoptera: Apoidea). *División de hábitats y Ecología de comunidades*, pp. 421–432.
- Dormann, C. F., Fründ, J., Blüthgen, N., y Gruber, B. (2009). Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. *The Open Ecology Journal*, 2:7–24.

- Dormann, C. F. y Strauss, R. (2014). A method for detecting modules in quantitative bipartite networks. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(1):90–98.
- Droege, S., Tepedino, V. J., Lebuhn, G., Link, W., Minckley, R. L., Chen, Q., y Conrad, C. (2010). Spatial patterns of bee captures in north american bowl trapping surveys. *Insect Conservation and Diversity*, 3(1):15–23.
- Eguiarte, L., del Rio, C. M., y Arita, H. (1987). El néctar y el polen como recursos: el papel ecologico de los visitantes a las flores de pseudobombax ellipticum (HBK) dugand. *Biotropica*, 19(1):74–82.
- Espino, J. E., Bravo, Y. E. B., y García, E. C. (2012). Biología reproductiva y visitantes florales de dos especies de *Salvia* con síndrome de polinización por aves y abejas. *Ciencia Nicolaita*, 55:52–60.
- Faegri, K. y Van Der Pijl, L. (1979). *Principles of pollination ecology*. Pergamon Press, Oxford.
- Fenster, C. B., Armbruster, W. S., Wilson, P., Dudash, M. R., y Thomson, J. D. (2004). Pollination syndromes and floral specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35:375–403.
- Fischer, J. y Lindenmayer, D. B. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16(3):265–280.
- Gollan, J. R., de Bruyn, L. L., Reid, N., Smith, D., y Wilkie, L. (2011). Can ants be used as ecological indicators of restoration progress in dynamic environments? a case study in a revegetated riparian zone. *Ecological Indicators*, 11(6):1517–1525.

- Golubov, J., Mandujano, M. C., Martínez, A. J., y López-Portillo, J. (2010). Bee diversity on nectarful and nectarless honey mesquites. *Journal of Insect Conservation*, 14(3):217–226.
- Gómez, J. M. (2002). Generalización en las interacciones entre plantas y polinizadores. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(1):105–115.
- Gómez, J. M. y Zamora, R. (1999). Generalization vs. specialization in the pollination system of *Hormathophylla spinosa* (Cruciferae). *Ecology*, 80(3):pp. 796–805.
- Gordón, M. Á. R., Atlántico, J. B., y Ornos, C. (2002). *Polinizadores y biodiversidad*. Asociación española de Entomología, Jardín Botánico Atlántico y Centro Iberoamericano de la Biodiversidad.
- Gotelli, N. J. y Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4).
- Grimaldi, D. (1999). The co-radiations of pollinating insects and angiosperms in the cretaceous. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 86:373–406.
- Grundel, R., Frohnapple, K. J., Jean, R. P., y Pavlovic, N. B. (2011). Effectiveness of bowl trapping and netting for inventory of a bee community. *Environmental Entomology*, 40(2):374–380.
- Guimarães, P. R. y Guimarães, P. (2006). Improving the analyses of nestedness for large sets of matrices. *Environmental Modelling & Software*, 21(10):1512–1513.
- Hailen, U. d. I. C., Maruri, A. B., Carrillo, A. I. G., y E., S. M. (2004). Estrategias para la restauración con un enfoque agroforestal de áreas degradadas circunscritas por zonas urbanas en la región semiárida de Querétaro. *Nthe*, 8:3–9.
- Heithaus, E. R. (1982). Coevolution between bats and plants. *Ecology of Bats*, pp. 327–367.

- Herrera, C. M. (1996). *Floral traits and plant adaptation to insect pollinators: a devil's advocate approach*. Chapman and Hall, New York.
- Herrera, M. I. S. D. C. (2009). Evolución de las relaciones entre plantas y polinizadores: Logros y diferencias de la agenda Darwiniana. *Real Academia Sevillana de Ciencias*, 9(2005-2006):149–174.
- Hinojosa-Díaz, I. A. (2003). Abejas silvestres (hymenoptera: Apoidea) del declive sur de la sierra del chichinautzin, morelos, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 1(42):1–20.
- Hurd, P. D. J. (1979). *Catalog of Hymenoptera in America North of México.*, capítulo Super Apoidea., pp. 1741–2209pp. Smithsonian Inst. Press. Washington.
- INEGI (2000). *Cuaderno Estadístico Municipal Cadereyta de Montes, Queretaro de Arteaga*.
- Johnson, R. A. y Wichern, D. W. (2007). *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ.
- Jordano, P. (1987). Patterns of mutualistic interactions in pollination and seed dispersal: connectance, dependence asymmetries, and coevolution. *American Naturalist*, 129(5):657–677.
- Jordano, P., Bascompte, J., y Olesen, J. M. (2006). The ecological consequences of complex topology and nested structure in pollination webs. *Plant-pollinator interactions: from specialization to generalization*, pp. 173–199.
- Jordano, P., Vázquez, D., y Bascompte, J. (2009). *Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal*, capítulo 1, pp. 17–41. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.

- Julliard, R., Clavel, J., Devictor, V., Jiguet, F., y Couvet, D. (2006). Spatial segregation of specialists and generalists in bird communities. *Ecology Letters*, 9(11):1237–1244.
- Krannitz, P. G. y Maun, M. A. (1991). An experimental study of floral display size and reproductive success in *Viburnum opulus*: importance of grouping. *Canadian Journal of Botany*, 69(2):394–399.
- Krebs, C. J. (1986). *Ecología: Análisis experimental de la distribución y abundancia*. Pirámide, Madrid.
- Lara-Rodríguez, N. Z., Díaz-Valenzuela, R., Martínez-García, V., Mauricio-López, E., Anaid-Díaz, S., Valle, O. I., Fisher-de León, A. D., Lara, C., y Ortiz-Pulido, R. (2012). Redes de interacción colibrí-planta del Centro-Este de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(2):569 – 577.
- Linsley, E. G. (1958). *The ecology of solitary bees*. University of California.
- Lorea, L. (2004). *Guía para la captura y conservación de insectos*. Universidad Nacional de Santiago de Chile, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Control Biológico, Chile.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey. USA.
- Mandujano, M., Golubov, J., y Reyes, J. (2002). Lo que usted siempre quiso saber sobre las cactáceas y nunca se atrevió a preguntar. *Biodiversitas*, 6:4–7.
- Mandujano, M. d. C., Carrillo-Angeles, I., Martínez-Peralta, C., y Golubov, J. (2010). Reproductive biology of cactaceae. En Ramawat, K., editor, *Desert Plants: Biology and Biotechnology*, pp. 197–230. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

- Mandujano, M. d. C., Golubov, J., y Huenneke, L. (2013). Reproductive ecology of *Opuntia macrocentra* (Cactaceae) in the Northern Chihuahuan Desert. *The American Midland Naturalist*, 169(2):274–285.
- Mandujano, M. d. C., Montana, C., y Eguiarte, L. E. (1996). Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan Desert: why are sexually derived recruitments so rare? *American Journal of Botany*, 83::63–70.
- Martínez-Peralta, C. y Mandujano, M. d. C. (2011). Reproductive ecology of the endangered living rock cactus, *Ariocarpus fissuratus* (Cactaceae). *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 138(2):145–155.
- Martínez-Peralta, C. y Mandujano, M. d. C. (2012). Biología de la polinización y fenología reproductiva del género *Ariocarpus Scheidweiler* (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 57(4)::114–127.
- Memmott, J. (1999). The structure of a plant-pollinator food web. *Ecology Letters*, 2(5):276–280.
- Michener, C. (2000). *The bees of the world*. Johns Hopkins University Press.
- Michener, C. D. (1965). A classification of the bees of the Australian and South Pacific regions. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, 130:1–132.
- Michener, C. D. (1974). *The Social behavior of the bees*. Belknap Press, Cambridge.
- Michener, C. D. (1979). Biogeography of the bees. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 66(3):pp. 277–347.
- Michener, C. D. (2007). *The Bees of the World*. The Johns Hopkins University Press. USA., second edition edición.

- Michener, C. D., McGinley, R. J., Danforth, B. N., y et al (1994). *The bee genera of North and Central America (Hymenoptera: Apoidea)*. Smithsonian Institution Press. Washington y London.
- Minckley, R. L., Cane, J. H., Kervin, L., y Roulston, T. (1999). Spatial predictability and resource specialization of bees (Hymenoptera: Apoidea) at a superabundant, widespread resource. *Biological Journal of the Linnean Society*, 67(1):119– 147.
- Moldenke, A. R. (1976). California pollination ecology and vegetation types. *Phytologia*, 34:305–361.
- Mondragón-Jacobo, C. y Pérez-González, S. (2003). *Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169: El nopal (Opuntia spp.) como Forraje*. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación.
- Montenegro, G., Gómez, M., y Avila, G. (1992). Importancia relativa de especies cuyo polen es utilizado por “*Apis mellifera*” en el área de la reserva nacional los ruiles, VII región de Chile. *Acta Botanica Malacitana*, 17:167–174.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. GORFI, S. A, Zaragoza, España, primera edición edición.
- Motten, A. F., Campbell, D. R., Alexander, D. E., y Miller, H. L. (1981). Pollination effectiveness of specialist and generalist visitors to a north carolina population of *Claytonia virginica*. *Ecology*, 62(5):1278–1287.
- Müller, A. y Kuhlmann, M. (2008). Pollen hosts of western palaeartic bees of the genus *Colletes* (Hymenoptera: Colletidae): the *Asteraceae paradox*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 95(4):719–733.

- Nassar, J. y Ramírez, N. (2004). Reproductive biology of the melon cactus, *Melocactus curvispinus* (Cactaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 248(1-3):31–44.
- Navaro, L., Rosas, C., y Ayensa (2000). Recompensas florales y éxito reproductivo. *Portugaliae Acta Biologica*, 19(1):121–126.
- Núñez-Avellaneda, L. A. y Rojas-Robles, R. (2008). Biología reproductiva y ecología de la polinización de la palma milpesos *Oenocarpus bataua* en los andes colombianos. *Caldasia*, 30(1):101–125.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O’Hara, R., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Wagner, H., y et al (2013). Package ‘vegan’. *Community ecology package*, 2(9).
- Olesen, J. M. (2000). Exactly how generalised are pollination interactions. *Det Norske Videnskaps-Akademi. I. Matematisk Naturvidenskabelige Klasse, Skrifter, Ny Serie*, 39:161–178.
- Olesen, J. M., Bascompte, J., Dupont, Y. L., y Jordano, P. (2007). The modularity of pollination networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50):19891–19896.
- Olesen, J. M. y Jordano, P. (2002). Geographic patterns in plant–pollinator mutualistic networks. *Ecology*, 83(9):2416–2424.
- Ollerton, J. (1996). Reconciling ecological processes with phylogenetic patterns: The apparent paradox of plant–pollinator systems. *Journal of Ecology*, 84(5):pp. 767–769.
- Ollerton, J. (1999). La evolución de las relaciones polinizador-planta en los artrópodos. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (España)*, 26:741–758.

- Poisot, T., Canard, E., Mouquet, N., y Hochberg, M. E. (2012). A comparative study of ecological specialization estimators. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(3):537–544.
- Poole, R. (1974). *An Introduction to Quantitative Ecology*. McGraw-Hill Book Co. New York.
- Potts, S. G., Vulliamy, B., Dafni, A., Ne'eman, G., y Willmer, P. (2003). Linking bees and flowers: how do floral communities structure pollinator communities? *Ecology*, 84(10):2628–2642.
- Quesada, M., F., Rosas, M., López, M., Araiza, R., Aguilar, L., Ashworth, G. V., Rosas, M. G., y Martén., S. R. S. (2012). *Ecología y Conservación Biológica de Sistemas de Polinización de Plantas Tropicales*. Fondo de cultura económica edición.
- Quiroz-García, D. L., Arreguín-Sánchez, M., y Fernández-Nava, R. (2011). Patrones estacionales de utilización de recursos florales por scaptotrigona hellwegeri en la estación de biología chamela, jalisco, México. *Polibotánica*, 33:89–119.
- R Core Team, D. (2013). R: A language and environment for statistical computing. *Foundation for Statistical Computing*, p. 13.
- Ramírez, N. (1993). Estratificación de los sistemas de polinización en un arbustal de la guayana venezolana. *Revista de Biología Tropical*, 41(3):471–481.
- Ramírez-Freire, L., Alanís Flores, G., Ayala Barajas, R., Velazco Macías, C., y Favela Lara, S. (2014). El uso de platos trampa y red entomológica en la captura de abejas nativas en el estado de nuevo león, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 30(3):508–538.
- Ramírez-Freire, L. (2012). Abejas nativas (hymenoptera: Apoidea: Anthophila) asociadas a la vegetación del estado de nuevo león, México.

- Razo, L., A. (2015). Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) y sus interacciones con la flora en la Sierra de Quila, Tecolotlán, Jalisco.
- Rencher, A. C. (2003). *Methods of multivariate analysis*, volumen 492. John Wiley & Sons.
- Reyes-Novelo, E., Ramírez, V. M., González, H. D., y Ayala, R. (2009). Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) como bioindicadores en el neotrópico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1):1–13.
- Robertson, C. (1925). Heterotropic bees. *Ecology*, 6(4):12–436.
- Rouibik, D. W. (1989). *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge Univ. Press.
- Roulston, T. H., Smith, S. A., y Brewster, A. L. (2007). A comparison of pan trap and intensive net sampling techniques for documenting a bee (Hymenoptera: Apiformes) fauna. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 80(2):179–181.
- Santos, G. M. d. M., Aguiar, C. M., Genini, J., Martins, C. F., Zanella, F. C., y Mello, M. A. (2012). Invasive africanized honeybees change the structure of native pollination networks in brazil. *Biological Invasions*, 14(11):2369–2378.
- Schauff, M. E. (2001). *Collecting and preserving insects and mites.. Techniques and Tools*, volumen 52. Systematic Entomology Laboratory, USDA.
- Schiestl, F. P. y Johnson, S. D. (2003). Pollinator-mediated evolution of floral signals. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(2):307–315.
- Shapiro, L. H., Tepedino, V., y Minckley, R. L. (2014). Bowling for bees: optimal sample number for “bee bowl” sampling transects. *Journal of Insect Conservation*, 18(6):1105–1113.

- Spiesman, B. J. e Inouye, B. D. (2013). Habitat loss alters the architecture of plant–pollinator interaction networks. *Ecology*, 94(12):2688–2696.
- Stebbins, G. L. (1970). Adaptive radiation of reproductive characteristics in angiosperms, i: pollination mechanisms. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1:307–326.
- Toler, T., Evans, E., y Tepedino, V. J. (2005). Pan-trapping for bees (hymenoptera: Apifor- mes) in utah’s west desert: the importance of color diversity. *The Pan-Pacific Entomolo- gist*, 81(3/4):103–113.
- Trejo Soto, C. A. (2009). Dinámica de población en redes heterogéneas.
- Trujano, S. J. (2003). Ecología, fisiología, y manejo postcosecha y comercialización de tres cactáceas de la mixteca.
- Valido, A., Rodríguez-Rodríguez, M. C., y Jordano, P. (2011). Interacciones entre plantas y polinizadores en el parqur nacional del Teide: consecuencias ecológicas de la introducción masiva de la abeja doméstica, *Apis mellifera* (Apidae). *Organismo Autónomo Parques Nacionales (España)*, pp. 205–231.
- Valiente-Banuet, A. (2002). Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de cactáceas columnares de México. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(1):99–104.
- Valiente-Banuet, A., Arizmendi, M. d. C., Rojas-Martinez, A., y Domínguez-Canseco, L. (1996). Ecological relationships between columnar cacti and nectar-feeding bats in mexi- co. *Journal of Tropical Ecology*, 12(1):103–119.
- Vergara, C. H. y Ayala, R. (2002). Diversity, phenology and biogeography of the bees (Hy- menoptera: Apoidea) of Zapotitlan de las Salinas, Puebla, Mexico. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 75(1):16–30.

- Viana, M. L., Ortega Baes, P., Saravia, M., Badano, E. I., y Schlumpberger, B. (2001). Biología floral y polinizadores de *Trichocereus pasacana* (Cactaceae) en el Parque Nacional Los Cardones, Argentina. *Revista de Biología Tropical*, 49:279–285.
- Waser, N. M. (1983). The adaptive nature of floral traits: ideas and evidence. En Real, L. A., editor, *Pollination Biology*, pp. 241–285. Academic Press, New York.
- Waser, N. M., Chittka, L., Price, M. V., Williams, N. M., y Ollerton, J. (1996). Generalization in pollination systems, and why it matters. *Ecology*, 77(4):1043–1060.
- Wilson, J. S., Jahner, J. P., Starley, L., Calvin, C. L., Ikerd, H., y Griswold, T. (2016). Sampling bee communities using pan traps: alternative methods increase sample size. *Journal of Insect Conservation*, 20(5):919–922.
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D. P., LeBuhn, G., y Aizen, M. A. (2009). A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90(8):2068–2076.
- Zamudio, S., Rzedowski, J., Carranza, E., y Calderón, G. (1992). *La vegetación en el estado de Querétaro*. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro.