



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

DINÁMICA DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS VISITADORES FLORALES  
ASOCIADOS A DOS POBLACIONES DE *Echinocactus platyacanthus* LINK Y  
OTTO (Cactaceae)

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

BIÓL. OSCAR RODOLFO HERNÁNDEZ MONTOYA

DIRECTORA:

DRA. SOMBRA PATRICIA RIVAS ARANCIBIA

CODIRECTOR:

DRA. AGUSTINA ROSA ANDRÉS HERNÁNDEZ

ASESORES:

DRA. HORTENSIA CARRILLO RUIZ

DRA. MARIA ESTHER QUINTERO RIVERO



JUNIO 2022



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

H. Puebla de Z. a 21 de Junio de 2022

Asunto: Voto Aprobatorio

Comité Académico del Posgrado

PRESENTE

Por medio de la presente se hace constar que se revisó y aprobó la tesis titulada:

**“DINÁMICA DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS VISITADORES FLORALES ASOCIADOS A DOS POBLACIONES DE *Echinocactus platyacanthus* LINK Y OTTO (Cactaceae)”**

Que presenta el estudiante **Oscar Rodolfo Hernández Montoya** con número de matrícula **219470570**, aspirante al grado de **Maestro en Ciencias Biológicas**, de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: **“Ecología y Aprovechamiento de Recursos Bióticos”**, notificamos que la tesis reúne los requisitos y se aprueba para su réplica oral en el examen de grado.

Por lo tanto, emitimos los **VOTOS APROBATORIOS** como miembros del **Comité de Jurado de Examen de Grado** como a continuación se indica:

Tutor Interno: Dra. Hortensia Carrillo Ruiz 

Tutor Externo: Dra. María Esther Quintero Rivero 

Revisor: Dr. Jonas Morales Linares 

**RECIBIDO. FCB**

H. Puebla de Zaragoza

23 de junio de 2022

posgrado

Agradecemos de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

Yo, **OSCAR RODOLFO HERNÁNDEZ MONTOYA**, alumno de la Maestría en Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), autor de la tesis titulada: DINÁMICA DE LA COMUNIDAD DE INSECTOS VISITADORES FLORALES ASOCIADOS A DOS POBLACIONES DE *Echinocactus platyacanthus* LINK Y OTTO (Cactaceae).

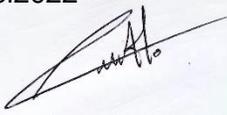
### DECLARO QUE:

El tema de tesis presentada para la obtención del grado de Maestría en Ciencias Biológicas es autentico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas , formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen y autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor.

Así mismo, afirmo que el trabajo de investigación presentado no ha sido presentado anteriormente para obtener algún grado académico o título, ni se ha publicado en algún sitio.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de os documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Puebla de Zaragoza a 27 de Junio del2022



Oscar Rodolfo Hernández Montoya  
Nombre y firma

## **Agradecimientos institucionales**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto de investigación. Número de becario: 1003912.

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

A la Maestría en Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

Al Laboratorio de Ecología de Comunidades de la Facultad de Ciencias Biológicas de la BUAP.

## **Dedicatoria**

De manera especial para todos mis seres queridos, amigos y familiares, por el apoyo brindado tanto emocional como económico en unas ocasiones para la realización de este sueño. Así como a mis asesoras y compañeros de generación por la retroalimentación en conocimiento y la visión desde distintos puntos de vista.

## Índice

Resumen .....	9
I. Introducción .....	10
II. Justificación .....	23
III. Pregunta de Investigación .....	24
IV. Hipótesis .....	24
V. Objetivos.....	25
5.1 Objetivo general.....	25
5.2 Objetivos específicos.....	25
VI. Material y métodos .....	26
6.1 Descripción de la especie de estudio <i>Echinocactus platyacanthus</i> .....	26
6.2 Área de estudio .....	28
6.4 Índice de perturbación .....	32
VII. Resultados .....	36
7.1 Dinámica y estructura de las poblaciones de <i>Echinocactus platyacanthus</i> .....	36
7.2 Índice de perturbación .....	37
7.3 Análisis de los visitantes florales. ....	40
.....	44
7.4 Determinación de polinizadores efectivos.....	44
VIII. Discusión .....	57
8.1 Estructura de la población de <i>Echinocactus platyacanthus</i> e índice de perturbación. ....	57
IX. Conclusiones.....	64
X. Bibliografía.....	66

## Índice de Figuras

Figura 1	Distribución de <i>Echinocactus platyacanthus</i>	26
Figura 2	Ubicación del municipio Mazapil, en la república mexicana	28
Figura 3	Poblaciones de <i>E. platyacanthus</i> en el municipio de Mazapil, Zacatecas, México.	30
Figura 4	Gráfico de abundancias relativas en % del sitio SJC	42
Figura 5	Gráfico de abundancias relativas en % del sitio TP	43
Figura 6	Prueba de T-Hutchenson	44
Figura 7	Géneros de los posibles polinizadores de SJC	45
Figura 8	Géneros de los posibles polinizadores de TP	46
Figura 9	ACC de los visitantes florales de SJC	48
Figura 10	ACC de los visitantes florales de TP	49
Figura 11	ACC de los visitantes florales de SJC Y TP	51
Figura 12	ACC para insectos identificados como posibles polinizadores efectivos SJC	54
Figura 13	ACC para insectos identificados como posibles polinizadores efectivos TP	55
Figura 14	ACC para insectos identificados como posibles polinizadores efectivos SJC y TP	56

## Índice de Tablas

Tabla 1	Categoría de Edad de las poblaciones de <i>E. platyacanthus</i> .	36
Tabla 2	Índice de perturbación	37 y 38
Tabla 3	Métricas de perturbación	39
Tabla 4	Análisis de visitantes florales	40 y 41

## Resumen

Se estudió la dinámica de la comunidad de insectos visitantes florales asociados a dos poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae), con diferentes condiciones ambientales y de perturbación en San José de Carbonerillas (SJC) y Terminal de Providencia (TP), en el municipio de Mazapil, Zacatecas, México. Se esperaba que la diversidad y abundancia de los insectos visitantes florales asociados a *E. platyacanthus* fuera mayor que la reportada para otras cactáceas y similar a lo reportado para esta misma especie en otros sitios. Además, que los factores ambientales y los factores antropogénicos afectarían la frecuencia de visitas y diversidad, tanto dentro como entre poblaciones. Se obtuvo una mayor riqueza y diversidad de especies de visitantes florales, a la reportada en otras especies de plantas pertenecientes a la familia Cactaceae, con un total de 17 especies para SJC y 21 para TP. Se encontró también, que hubo diferencias significativas en la diversidad entre ambos sitio, siendo el sitio TP el más diverso. Asimismo, de acuerdo con registros de la literatura se lograron identificar seis géneros que pueden ser potenciales polinizadores para SJC y 11 géneros para TP. Debido al gran número de interacciones detectadas entre visitantes florales y las flores, se concluye que esta especie, en esta zona, tiene un alto valor ecológico a pesar de que el periodo de muestreo de insectos visitantes florales fue corto. Esta información será muy útil, ya que los estudios que reportan a la comunidad de insectos visitantes florales para *E. platyacanthus* están restringidos a poblaciones de zonas del sur de México. Es importante considerar que son necesarios mayores estudios que permitan identificar a los posibles polinizadores de cada sitio, ya que las especies polinizadoras potenciales fueron distintas en ambas poblaciones estudiadas.

Palabras clave.

*Diadasia*, *Echinocactus platyacanthus*, Polinizadores, Visitadores florales, Índice de perturbación, variables ambientales, México, Zacatecas.

## I. Introducción

Los roles que tienen las interacciones biológicas en los ecosistemas son fundamentales en la evolución de la biodiversidad, el ensamblaje y la dinámica de las comunidades bióticas, así como para el funcionamiento de los ecosistemas, proporcionando estabilidad a los biomas terrestres (Thompson, 1999; Tylianakis, *et al.*, 2008; Schemske *et al.*, 2009, Mittelbach, 2012; Vellend, 2016). Las interacciones bióticas pueden ser inter y/o intraespecíficas (Callaway y Walker, 1997; Del Val y Boege, 2012), estableciéndose diferentes relaciones entre los organismos que interactúan, por ejemplo: competencia, depredación, mutualismo, parasitismo, herbivoría, facilitación, neutralismo, comensalismo, amensalismo (Ohashi y Urdampilleta, 2003; Begon *et al.*, 2006; Gardarin *et al.*, 2018; Dáttilo y Rico, 2018). Particularmente, las interacciones entre plantas-insectos son muy importantes, éstas suelen ser interacciones multitróficas, ya que las plantas llevan a cabo varias funciones, como son la provisión de recursos (néctar, polen, etc.), sitios de refugio o reproducción, y proveen de materiales útiles para los insectos (propóleo, resinas, tejidos; Begon *et al.*, 2006; Gardarin *et al.*, 2018); mientras que los insectos pueden ser polinizadores, dispersores de semillas, depredadores, entre otros (Elzinga *et al.*, 2007; Del Val y Boege, 2012 ).

A los insectos que usan los diversos recursos de las flores de las plantas se les denomina visitantes florales, este término incluye a cualquier insecto que busca recursos en las flores de las plantas (Alves-dos-Santos *et al.*, 2016). Por lo que, las plantas con mayores ofertas en recursos suelen tener una amplia variedad de insectos visitantes, formando a corto y largo plazo interacciones bióticas particulares (Alves-dos-Santos *et al.*, 2016). No todos los insectos visitantes florales utilizan el polen y/o néctar de las flores, ni tampoco todos los que utilizan polen o néctar son polinizadores de la planta; algunos pueden usar las flores de manera no nutritiva, tal como sitios para congregarse o refugiarse de depredadores, para el apareamiento o como zonas de cría, además como fuente de calor o refugio de la

radiación solar (Maier y Waldbauer 1979; Evenhuis, 1983; Waldbauer y Ghent, 1984; Larson y Foote, 1997; Johnson y Dafni, 1998; Woodcock *et al.*, 2014).

Las interacciones planta-insecto, como los visitantes florales, pueden verse afectadas por los factores ambientales (temperatura, humedad, radiación solar, nubosidad, viento, etc.), por lo que variaciones diarias o estacionales del ambiente, pueden afectar la distribución, frecuencia de visitas, la actividad de forrajeo, habilidad de vuelo y la diversidad de los insectos visitantes (Kevan y Baker, 1983; Pérez-Contreras, 1999; Lemus-Jiménez y Ramírez, 2003). Otros factores que pueden modificar la dinámica de los visitantes florales son las actividades antropogénicas (fragmentación, degradación del hábitat, pastoreo excesivo, regímenes de incendios y extracción de madera, entre otros); y estas actividades pueden modificar los factores ambientales y favorecer el aumento de las interacciones de depredación y parasitismo, así como afectar de forma negativa las interacciones mutualistas, pudiendo provocar posibles extinciones locales de especies nativas, debido al arribo de especies invasoras que se adaptan mejor a las nuevas condiciones (Gilbert, 1980; Howe, 1984; Roubik *et al.*, 1986; Terborgh, 1986; Aizen y Feinsinger 1994; Benítez-Malvido *et al.*, 1999; Arnold y Asquith, 2002; Martinson y Fagan, 2014). Los factores bióticos, como la producción de flores, despliegue floral, densidad floral en el parche, comportamiento floral, cantidad y calidad de recompensas, cantidad de semillas producidas, absorción de flores y frutos, así como las características de la estructura vegetal, tal como el tamaño y forma de la planta, pueden ser modificados por la composición de visitantes florales (Lemus-Jiménez y Ramírez, 2003; Torres-Díaz *et al.*, 2007; Piña y Flores-Martínez, 2012; Rivas-Arancibia *et al.*, 2015).

Por otro lado, las interacciones planta-insecto cobran mayor importancia en sitios ricos en endemismos (Waser *et al.*, 1996; Martínez-Adriano *et al.*, 2015), o en grupos de plantas cuyas poblaciones se encuentran en peligro de extinción, o en alguna categoría de amenaza según la NOM-059-SEMARNAT-2019, como lo es el caso de la familia Cactaceae (Martínez-Adriano *et al.*, 2015). México es el país del mundo

con más taxa pertenecientes a esta familia, con un total de 913 especies descritas, de las cuales, aproximadamente el 80% son endémicas (Jiménez-Sierra, 2011; Castañeda-Romero *et al.*, 2016). La familia Cactaceae presenta flores hermafroditas que se distinguen por estar altamente dependientes de la polinización por animales, con algunas interacciones de polinizadores especializados en algunas especies (Gibson y Nobel, 1986; Valiente-Banuet, 1996; Dar *et al.*, 2006). En general, estas plantas se distribuyen en las zonas áridas o semi áridas más grandes del país (Desierto Chihuahuense, Desierto Sonorense y El Valle de Tehuacán-Cuiclatán), las cuales se caracterizan por tener poca humedad, baja precipitación y altas tasas de evaporación, con suelos poco profundos y baja productividad primaria, sumado a que estos sitios se encuentran afectados por diferentes factores, como la degradación y erosión del suelo, el sobre pastoreo, la deforestación excesiva, e incendios forestales, entre otros. Todos estos elementos hacen a estos ecosistemas particularmente vulnerables, ya que son altamente susceptibles a las variaciones climáticas y actividades antropogénicas. Estos aspectos no solo afectan las redes de interacciones de especies locales, sino que también contribuyen a la pérdida de biodiversidad, particularmente de especies de la familia Cactaceae, y a su invasión por especies exóticas (Tarango-Arámbula, 2005).

Dentro de las cactáceas, la especie *E. platyacanthus* (Link y Otto), cumple con un rol ecológico importante, ya que provee de alimento y refugio a muchos organismos, como lo son pequeños roedores, murciélagos, aves, reptiles y un gran número de insectos. Al ser una planta considerablemente grande, provee hábitats lo suficientemente vastos donde otras plantas pueden instalarse, y algunas de ellas constituyen elementos importantes dentro de la dinámica de las zonas áridas (Moncayo-Riascos y Gálvez-Cerón, 2018). La disminución de estas plantas llevaría a pérdidas de recursos naturales para los humanos y un empobrecimiento biológico de las comunidades desérticas y semidesérticas de México, y la consecuente afectación a otras especies (Jiménez-Sierra, 2011; Jiménez-Sierra y Reyes, 2003). Cabe mencionar que, *E. platyacanthus* era utilizada como alimento de consumo humano para la elaboración de dulce acitrón en la industria confitera, como planta

ornamental y como fuente de alimento y agua para cabras y burros; estos consumen las flores y frutos, así como también los tallos sin espinas (Del Castillo y Trujillo, 1991). A pesar de que esta especie de cactus tiene una amplia distribución, la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), la clasifica como una especie en peligro de extinción, debido a que sus poblaciones en el territorio nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros (SEMARNAT,2010).

Debido al lento crecimiento y largos ciclos de vida de las cactáceas, éstas tienen una limitada habilidad para recuperar el tamaño de sus poblaciones después de algún evento de perturbación (Hernández y Godínez, 1994; Martínez-Avalos *et al.*, 2004; Carrillo-Angeles, 2005; Matías-Palafox y Jiménez-Sierra, 2006; Valverde y Zavala-Hurtado, 2006; Jiménez-Sierra *et al.*, 2007). Dado que se ha afirmado que el éxito de la conservación de la biodiversidad depende en gran medida del conocimiento de las especies o sistemas que se requieren conservar, tal como menciona Hernández-Godínez, (1994), la importancia del análisis de la dinámica de la comunidad de insectos visitantes florales de *E. platyacanthus*, y sus posibles polinizadores, resulta fundamental para su conservación sobre todo en las zonas áridas del norte de México, las cuales se encuentran sometidas a un acelerado deterioro por actividad antropogénica, y cambios en las condiciones ambientales (Tarango-Arámbula, 2005). La información generada podría permitir diseñar futuros proyectos de recuperación de esta especie en peligro de extinción y endémica de México. Además, esto permitiría a la sociedad realizar un mejor aprovechamiento sustentable de este recurso, aumentando su éxito reproductivo, recordando que las cactáceas son uno de los organismos más amenazados del reino vegetal (Hernández-Godínez, 1994).

## Antecedentes

Las investigaciones enfocados en la identificación de las comunidades de visitantes florales asociados a la familia Cactaceae son ciertamente pocas (Blair y Williamson, 2008; Ramírez-Freire *et al.*, 2010; Martínez-Peralta y Mandujano, 2011; Martínez-Adriano *et al.*, 2015; Valverde *et al.*, 2015; Jiménez-Sierra *et al.*, 2019). Sin embargo, éstas tienen una gran relevancia, ya que permiten conocer a los visitantes florales de las plantas de esta familia, que en su mayoría están en un estatus de riesgo, por lo que, identificando a sus visitantes florales, ayudará a identificar a sus posibles polinizadores de sus sitios, obteniendo información que es necesaria para proyectos de restauración o conservación.

En estudios como el de Schlindwein y Wittmann (1995), se identificaron los visitantes florales y polinizadores efectivos de cuatro especies de plantas de la familia Cactaceae en una zona sur de Brasil, de las cuales tres forman parte del género *Notocactus* y una del género *Gymnocalycium*. Los autores reportaron un total de 22 especies de visitantes florales: seis especies que pertenecen a la familia Andrenidae, diez a Apidae, cuatro a Halictidae, y una más a Colletidae y Megachilidae. Siendo el visitador floral más frecuente para las cuatro especies de cactáceas un taxón perteneciente a la familia Andrenidae. Además, determinaron a los tres polinizadores más eficaces pertenecientes a tres familias (Andrenidae, Apidae y Colletidae). Asimismo, Schlumpberger y Badano (2005), observaron los visitantes florales asociados a la cactácea *Echinopsis atacamensis*, subsp. *pasacana*, en Salta, Argentina, en dos hábitats con humedades diferentes e impactos antropogénicos distintos. Reportaron para el sitio uno, siete especies; *Apis mellifera*, *Arhysosage ochracea*, *Augochloropsis* sp, *Polybia ruficeps*, *Pulothrix tricolor*, *Xylacopa ordinaria* y *Xylacopa splendidula*, siendo las especies más frecuentes *Apis mellifera* y *Xylacopa ordinaria*. Para el sitio número dos, encontraron solo dos especies, *Pulothrix tricolor* y *Xylacopa ordinaria*, siendo esta última la más frecuente.

Blair y Williamson (2008) realizaron la identificación de los visitantes florales y sus posibles polinizadores efectivos para *Astrophytum asterias* en el estado de Texas, Estados Unidos. Estos autores reportaron cinco especies pertenecientes al orden Hymenoptera, dos al orden Coleoptera y uno al orden de Diptera, siendo más frecuente un himenóptero de la familia Andrenidae (*Macrotera lobata*), pero el polinizador más efectivo resultó ser otro de menor abundancia y perteneciente a la familia Apidae (*Diadasia rinconis*). Posteriormente, Tepedino *et al.* (2010), describieron los visitantes florales para dos cactus en Utah, Estados Unidos, para *Sclerocactus wetlandicus*, se reportaron 20 especies de visitantes florales, cuatro especies pertenecientes a la familia Apidae, 11 especies a la familia Halictidae, una a Andrenidae y cuatro más a Megachilidae; mientras que para *Sclerocactus brevispinus*, se reportaron nueve especies de visitantes florales, pertenecientes a la familia Halictidae, en la cual se reconocieron tres géneros; *Agapostemon*, *Halictus*, y *Lasioglossum*.

En Latinoamérica, Cardeño y Rodríguez, (2020), en Boyacá Colombia, determinaron a los visitantes florales y a sus posibles polinizadores de tres especies de cactáceas (*Mammillaria columbiana*, *Opuntia pitteri* y *Opuntia ficus*), donde reportaron para *Mammillaria columbiana* dos órdenes de visitantes (Coleoptera e Hymenoptera) y reconocieron a una especie de Hymenoptera como el potencial polinizador. Para la especie *Opuntia pitteri* se reportaron seis familias, dos pertenecientes al orden Coleoptera (Curculionidae y Nitulidae), una incluida en Hemiptera (Reduviidae), dos pertenecientes a Hymenoptera (Formicidae y Halictidae) y una más dentro de Diptera. Estos autores, consideraron a la familia Halictidae y a la especie *Carpophilus* sp., como los posibles polinizadores de esta especie debido a su comportamiento. Para *Opuntia ficus* se identificaron seis órdenes pertenecientes a ocho familias, pero solo cinco órdenes conformados por siete familias pertenecen a la clase insecta: cuatro familias pertenecientes al orden Hymenoptera (Apidae, Formicidae, Halictidae y Vespidae), una familia perteneciente al orden Coleoptera (Nitidulidae), una familia perteneciente al orden Diptera (Syrphidae), una familia perteneciente al orden Hemiptera (Reduviidae), una

familia perteneciente al orden Lepidoptera (no identificaron a un nivel taxonómico más específico) y una especie perteneciente al orden Thysanoptera (no identificaron a un nivel taxonómico más específico), donde identificaron como posibles polinizadores potenciales a las especies *Carpophilus* sp., *Apis mellifera*, y a una especie perteneciente a la familia Syrphidae (*Eristalis tenax*). Además, de identificar a los posibles polinizadores poco efectivos, donde encontraron a las especies *Pepsis* sp. y algunas especies pertenecientes a la tribu Augochlorini.

En México también se han realizado varios estudios al respecto, por ejemplo, Ortíz *et al.* (2010) reportaron los visitantes florales asociados a *Myrtillocactus schenckii*, en Puebla, México, donde se observaron cuatro especies de insectos asociados, *Xylocopa mexicanorum*, *Apis mellifera*, *Plebeia mexicana* y *Tabanus* sp., siendo el visitador más común *X. mexicanorum*. Por otra parte, Morales-Trejo *et al.* (2014) realizaron un estudio sobre la abundancia y diversidad de visitantes florales de *Opuntia pilifera*, donde reportaron seis órdenes de insectos visitantes florales: Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera, Diptera, Lepidoptera y Neuroptera, siendo Hymenoptera con un total de 24 especies el orden más abundante, seguido de Hemiptera con 15 especies, Coleoptera con 11 especies, y por último con una sola especie los órdenes Lepidoptera y Neuroptera. En otro trabajo, Márquez-Díaz y Callejas-Chavero (2018) observaron la relación de las flores y los visitantes florales de *Myrtillocactus geometrizans* en Hidalgo, México, donde reportaron un total de siete órdenes, el orden de mayor riqueza fue Hymenoptera con 47 especies, seguido por Diptera con 19 especies y con siete especies Coleoptera y Hemiptera respectivamente; la especie más frecuente fue *Apis mellifera*. También en un proyecto, Islas-Barrios *et al.* (2021) estudiaron la morfología y los artrópodos visitantes de la especie *Myrtillocactus geometrizans* en un gradiente geográfico en la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Reportaron un total de cinco órdenes, aunque solo cuatro órdenes pertenecen a la clase Insecta; Hymenoptera, Diptera, Coleoptera y Thysanoptera. No se reportó a los posibles polinizadores en este trabajo, aunque el orden con más abundancia fue Hymenoptera con 259 ejemplares.

Destacan también algunos trabajos de visitantes florales de especies que pertenecen a la misma tribu Cacteeae a la que pertenece *E. platyacanthus*. Al respecto, Ramírez-Freire *et al.* (2010) realizaron un listado de los insectos visitantes florales en la especie *Stenocactus multicostatus* en un municipio de Nuevo León, México. Encontraron que el orden más diverso de insectos fue Hymenoptera con diez familias, representando un 56% del total de los visitantes florales colectados, seguido por el orden Coleoptera con cinco familias, representando el 28% del total de insectos visitantes florales, posteriormente el orden Diptera con dos familias representando el 8%, y por último los órdenes Orthoptera y Hemiptera con 4%. No obstante, la familia con mayor diversidad de especies fue la perteneciente a Melyridae, para la que se observaron tres especies distintas. Asimismo, en un primer trabajo de Martínez-Peralta y Mandujano (2011) sobre la ecología reproductiva de *Ariocarpus fissuratus* en San Luis Potosí, México, encontraron tres órdenes asociados de insectos visitantes florales; Hymenoptera, Coleoptera y Lepidoptera, siendo el orden Hymenoptera el de mayor frecuencia de visitas y el orden dentro del cual se encuentra el posible polinizador efectivo (*Apis mellifera*).

En un segundo trabajo, Martínez-Peralta y Mandujano (2012), enfocado en todo el género *Ariocarpus*, observaron los visitantes florales de las siete especies de plantas que lo conforman al género. Para *Ariocarpus agavoides*, se realizó la colecta en Tamaulipas, México, donde encontraron cuatro especies pertenecientes al orden Hymenoptera; *A. mellifera*, *Agapostemon* sp., *Lasioglossum* sp., y una especie perteneciente a la familia Formicidae, y otra especie perteneciente al orden Diptera. En la especie *A. bravoanus* la colecta se realizó en San Luis Potosí, México, donde encontraron tres especies pertenecientes al Orden Hymenoptera; *A. mellifera*., *Agapostemon* sp., y la última perteneciente a la familia Vespidae, una especie del orden Lepidoptera, y otra especie perteneciente al orden Diptera. En la especie *A. fissuratus* la colecta se realizó en Coahuila, México, donde se encontraron siete especies de Hymenoptera (*A. mellifera*., *Agapostemon* sp., *Lasioglossum* sp., *Diadasia* sp.) y las otras tres pertenecientes a la familia Vespidae, Formicidae y Megachilidae, las cuales no fueron identificadas a nivel de especie, dos familias del

orden Coleoptera (Tenebrionidae y Nitidulidae), una especie más de Orthoptera y otra de Diptera, igualmente sin identificar a un nivel taxonómico más específico. Para *A. kotschoubeyanus* el muestreo se realizó en Tamaulipas, México, y de igual manera se encontraron siete especies de Hymenoptera (*A. mellifera.*, *Agapostemon* sp., *Lasioglossum* sp., *Diadasia* sp.), las tres especies faltantes pertenecientes a la familia Megachilidae, Vespidae y Formicidae, así como una especie perteneciente al orden Lepidoptera, y otra al orden Diptera. En *A. retusus* la observación se hizo en Coahuila, México, en donde obtuvieron cinco especies de Hymenoptera (*Perdita* sp., *Augochlorella* sp), las otras tres especies pertenecientes a la familia Formicidae, Vespidae y Megachilidae, dos familias del orden Coleoptera; Nitidulidae y Meloidae (*Epicauta* sp.), una especie del orden Lepidoptera, otra especie del orden Diptera y una especie más perteneciente al Orthoptera. Para *A. trigonus* los organismos se colectaron en Tamaulipas, México, donde encontraron tres especies de Hymenoptera (*Lasioglossum* sp y *Diadasia* sp) y una más de la familia Formicidae, una familia del orden Coleoptera (Nitidulidae), y una especie del orden Orthoptera. Por último, para *A. scaphirostris*, se colectó en Nuevo León, México, y en esta se registraron dos especies de abejas (*Augochlorella* sp., y *Agapostemon* sp), una especie del orden Coleoptera (*Epicauta* sp), y una especie más del orden Lepidoptera. En la mayoría de los resultados de este trabajo, la identificación taxonómica fue a distintos niveles por lo cual no se mencionan los nombres de las especies en todos los órdenes de insectos.

En otro trabajo Martínez-Adriano *et al.* (2015), identificaron a los visitantes florales de *Astrophytum myriostigma* en la Sierra el Sarnoso en el estado de Durango, México, en dos floraciones sincrónicas de esta especie. Observaron siete especies de visitantes florales, tres de ellas perteneciente al orden Hymenoptera, dos especies pertenecientes al orden Diptera, una especie al orden Orthoptera y una especie más al orden Coleoptera, aunque el visitador más frecuente fue el perteneciente al orden Coleoptera. De igual manera, Valverde *et al.* (2015) realizó un estudio sobre visitantes florales de *Mammillaria pectinifera* en la Reserva del Valle de Tehuacán-Cuiclatán, México, en donde observaron solo dos órdenes de

insectos asociados a la floración, ocho especies pertenecientes al orden Hymenoptera, y dos especies al orden Diptera. Los autores concluyen que la polinización es realizada por los Himenópteros. Asimismo, Córdova-Acosta *et al.* (2017) realizaron un estudio sobre la biología reproductiva de *Ferocactus recurvus*, una cactácea que se encuentra en el estado de Puebla, México, donde parte de los objetivos fue observar a los visitantes florales de la planta. Ellos encontraron tres órdenes asociados (Hymenoptera, Dyptera y Thysanoptera) y cuatro familias de insectos visitantes florales (Apidae, Muscidae, Formicidae y Thripidae). Debido al comportamiento observado de la familia Apidae, fue la única familia considerada como posibles polinizadores efectivos.

Respecto a la especie *E. platyacanthus*, Eguiarte y Scheinvar (2008) hicieron la descripción de la morfología de la flor, donde observan rasgos típicos de una especie melitófila, es decir que la forma, tamaño y color de la flor atrae a las abejas, por lo que, sus principales polinizadores serían himenópteros (abejas coloniales y solitarias). Así, Eguiarte-Frutos y Jiménez-Sierra (2000) reportaron organismos de siete familias de visitantes (Megachilidae, Andrenidae, Halictidae, Scarabaeidae, Cleridae, Acrididae y Formicidae). Los himenópteros, con cuatro especies fueron los más abundantes, mencionando que la mayoría de las especies encontradas actúan como polinizadores potenciales, salvo acrídidos y formícidos, que se alimentan de los pétalos y los estambres, y por lo tanto son depredadores. Posteriormente, Jiménez-Sierra (2008) observaron diez especies de visitantes florales de *E. platyacanthus*. Los himenópteros, con cinco especies constituyeron el grupo más abundante, la abeja *Perdita* sp, con el 66.67% del total de las visitas, seguida por *Ashmeadiella* sp., *Diadasia rinconis* y *Plabeia frontalis* (Friese) con el 9.52% de las visitas y por último *Lasioglossum (Dialectus)* sp. La visita de estos organismos varió con el horario y la temperatura del sitio. Las abejas podrían ser consideradas polinizadores efectivos, también observaron acrídidos, formícidos y coleópteros que se alimentaban de los pétalos, estambres y polen de las flores, por lo que se consideraron como depredadores. Por otro lado, en un proyecto técnico enfocado en esta especie, Trujillo-Argueta y Del Castillo (2013) encontraron dos

géneros de insectos asociados: *Trichochrous* sp. (Melyridae) y *Coleopterus*, sp. (Nitidulidae) y varias abejas. Recientemente, Jiménez-Sierra *et al.* (2019) en la Reserva de la biósfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, determinó a los visitantes florales de *E. platyacanthus*, donde observo tres especies del orden Coleoptera con el 13.33%, tres especies de Hemiptera con el 8.89%, una especie del orden Diptera, así como cuatro especies del Orden Hymenoptera, representando el 75%, concluyendo que estos pueden estar actuando como polinizadores.

Respecto al efecto de los factores ambientales sobre la comunidad de visitantes florales insectos, se han realizado también numerosos trabajos. Entre los que destaca el de Schlumpberger y Badano (2005) quienes compararon dos poblaciones de la especie *Echinopsis atacamensis subsp. pasacana*, en Salta, Argentina. Ellos encontraron que una mayor precipitación puede explicar una mayor frecuencia y diversidad de visitantes florales. Sin embargo, una mayor abundancia y diversidad de visitantes florales no garantizan una ventaja en el éxito de la polinización. Por otro lado, Morales-Trejo *et al.* (2014) observaron en Zapotitlán Salinas, Puebla, México, para *Opuntia pilifera*, que cuando la temperatura ambiental aumento de 24° a 33° C, la presencia de visitantes florales disminuyó.

En estudios, sobre cómo afectan los factores ambientales a los visitantes florales en la tribu Cacteeae, Ramírez-Freire *et al.* (2010) en Nuevo León, México, reportaron que para la especie *Stenocactus multicostatus*, la temperatura y la nubosidad fueron factores ambientales determinantes para la apertura floral, así como para la presencia y abundancia de insectos. En otro trabajo Orendain-Méndez *et al.* (2016) observo cómo variaba la comunidad de insectos visitantes florales de *Lemaireocereus hollianus*, en Puebla, México. Ellos encontraron una marcada variabilidad en la diversidad y abundancia de los artrópodos asociados a *L. hollianus*, entre las dos temporadas, y entre los meses de la misma temporada, estos cambios pueden estar influenciados por factores climáticos y ambientales.

Respecto al efecto de los factores ambientales bióticos, algunos estudios (Lemus-Jiménez y Ramírez, 2003; Torres-Díaz *et al.*, 2007; Piña y Flores-Martínez, 2012;

Rivas-Arancibia *et al.*, 2015; Cardeño-Londoño y Rodríguez-Herrera, 2020) han mostrado que la densidad de flores está asociada a la cantidad de recompensa que ofrece un microhábitat determinado, ya que aumentan la cantidad de polen y néctar para asegurar su reproducción sexual, por lo que tienen un claro efecto sobre la diversidad y abundancia de los visitantes florales presentes. Además de que la antesis en *E. platyacanthus* ocurre de manera sincrónica, por lo que la densidad floral debe ser considerada al comparar comunidades de visitantes florales entre diferentes poblaciones (Eguiarte-Frums y Jiménez-Sierra, 2000).

La perturbación antropogénica puede cambiar las condiciones ambientales y afectar a las comunidades de insectos visitantes. Martínez-Peralta y Mandujano (2016) observaron en *Ariocarpus kotschoubeyanus* cómo afectaba la perturbación antropogénica la limitación de polen y los polinizadores. Encontraron que la perturbación antropogénica afectaba la competencia de polinizadores derivados de la floración sincrónica y que los polinizadores abandonaban la flor cuando el gasto era más que el recurso obtenido, debido a la distribución irregular de la especie. También Cardeño y Rodríguez (2020), en una investigación sobre la biología reproductiva de tres especies de cactus, identificaron para *Mammillaria columbiana*, el impacto humano generado en el sitio había provocado una disminución de los posibles polinizadores, sin embargo, para las otras dos especies *Opuntia pittieri* y *O. ficus-indica* se reportó que no se vieron afectadas, ya que su oferta de polen era mayor al gasto de energía que podían generar los organismos debido a un ambiente fragmentado. Por último, Isla-Barrios *et al.* (2021), en un proyecto enfocado en *Myrtillocactus geometrizans* donde analizaron el índice de disturbio o perturbación a través de un gradiente en la reserva de la biosfera en Tehuacan-Cuicatlan, determinaron que el sitio más perturbado presentó la mayor cantidad de visitantes florales, esto posiblemente a la generación de microambientes debido a la perturbación antrópica que favorecen a la colonización de algunas especies.

Dado que los trabajos que reportan a la comunidad de visitantes florales de *E. platyacanthus*, son escasos, y en su mayoría se han realizado en el sur de México,

es que se propone el presente estudio. El objetivo fue analizar la estructura y dinámica de la comunidad de insectos visitantes florales asociados a *E. platyacanthus*, en dos poblaciones con diferentes condiciones ambientales y de perturbación, en una zona árida del norte de México. Este estudio también aportará información que complementa a otros trabajos, y pueda ser utilizado para la elaboración de futuros proyectos de conservación o reproducción de la misma especie.

## II. Justificación

El conocimiento sobre la estructura y dinámica de la comunidad de insectos visitantes florales asociados a las cactáceas permite conocer las posibles interacciones de los visitantes florales, permitiendo distinguir a los posibles polinizadores. Las interacciones formadas por los visitantes florales son importantes, ya que son fundamentales en los procesos evolutivos, en la conservación de la diversidad, en el funcionamiento de los ensamblajes de especies, en la dinámica de las comunidades bióticas, así como en el funcionamiento y estabilidad de los ecosistemas. El estudio de estas interacciones cobra mayor relevancia cuando las especies involucradas se encuentran en algún estatus de amenaza. En el caso de *E. platyacanthus*, es una cactácea que posee flores dependientes de polinizadores, los cuales le permiten lograr el éxito en la reproducción sexual, siendo este el único medio para que este cactus tenga descendencia (Jiménez-Sierra, 2008; Jiménez-Sierra-Eguiarte, 2010). Según la NOM-059-SEMARNAT *E. platyacanthus* es una especie endémica y en peligro de extinción, debido a que se encuentra distribuida en las zonas áridas del país, las cuales son afectadas por distintos factores antropogénicos y ambientales. Estos factores hacen que las zonas áridas sean sumamente vulnerables, además de que *E. platyacanthus* es una especie con un lento crecimiento y largo ciclo de vida. Si a lo anterior se suma el hecho de que *E. platyacanthus* ha sido sistemáticamente explotada por su uso económico, situación que ha sido difícil de detener, resulta aún más importante recabar la mayor cantidad de información posible que apoye la estructuración de planes de manejo y rescate de sus poblaciones. Por lo que en este proyecto se planteó determinar cómo varía la comunidad de insectos visitantes florales asociados a *E. platyacanthus* en una zona árida del norte del país, relacionando tanto factores antropogénicos como variables ambientales, así como determinar sus posibles polinizadores efectivos. Se espera así, que esta información pueda ser utilizada para la elaboración de futuros proyectos de conservación y/o reproducción de la misma especie.

### III. Pregunta de Investigación

¿Cómo es la variación en la estructura y dinámica de la comunidad de insectos visitantes florales en dos poblaciones de *Echinocactus platyacanthus*, una especie endémica y en peligro de extinción?

### IV. Hipótesis

Dado que se sabe que las flores de *Echinocactus platyacanthus* son visitadas por especies dentro de los órdenes, Coleoptera, Hemiptera, Diptera, Hymenoptera y Orthoptera, y que los factores ambientales y de perturbación antropogénica, modifican la estructura y dinámica de las comunidades de insectos visitantes florales, se plantea que:

- a) La diversidad y abundancia de insectos visitantes florales asociados a *Echinocactus platyacanthus*, en Mazapil, Zacatecas, México, será diferente a lo reportado para otras cactáceas, y similar a lo reportado para esta especie en otras zonas de México.
- b) Los factores ambientales que afectan a *Echinocactus platyacanthus*, modificarán la frecuencia de visitas y la diversidad de algunos órdenes de insectos visitantes florales, tanto dentro como entre poblaciones.
- c) Los factores antropogénicos afectarán, la diversidad y abundancia de ciertos órdenes y especies de visitantes florales, siendo diferentes entre ambas poblaciones debido a diferencias en el índice de perturbación de cada una.

## V. Objetivos

### 5.1 Objetivo general

Analizar la estructura y dinámica de la comunidad de insectos visitantes florales, asociados a *Echinocactus platyacanthus*, en dos poblaciones con diferentes condiciones ambientales y de perturbación, en Mazapil, Zacatecas, México.

### 5.2 Objetivos específicos

1. Categorizar la estructura de las dos poblaciones de estudio, a través de la medición de la altura, el diámetro, número de flores y el total de individuos de *E. platyacanthus*.
2. Identificar y evaluar, la riqueza, abundancia y diversidad de visitantes florales asociados a *Echinocactus platyacanthus* en dos poblaciones del norte de México.
3. Determinar los índices de perturbación por el método de Martorell y Peters (2005; 2008) en las dos poblaciones.
4. Establecer cómo afectan los factores ambientales (temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y densidad floral) y de perturbación antropogénica a la comunidad de insectos visitantes florales, dentro y entre poblaciones.
5. Identificar los potenciales polinizadores efectivos asociados a *Echinocactus platyacanthus* para cada población.

## VI. Material y métodos

### 6.1 Descripción de la especie de estudio *Echinocactus platyacanthus*

La familia Cactaceae alberga alrededor de 2000 especies pertenecientes a un total de 100 géneros, 63 de los cuales se encuentran en México (Aranda *et al.*, 2001; Eguiarte y Scheinvar, 2008). *E. platyacanthus* es una planta que pertenece a la familia Cactaceae, subfamilia Cactoideae, Tribu Cacteeae, Género *Echinocactus*, y tiene una amplia distribución en México, incluyendo a los estados de San Luis, Zacatecas, Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro y Tamaulipas (Fig. 1). Se encuentra presente entre las latitudes 18° N y 25° N y las longitudes 97° W y 102° W 24 (Guzmán *et al.*, 2003; Aranda *et al.*, 2001; Eguiarte y Scheinvar, 2008).

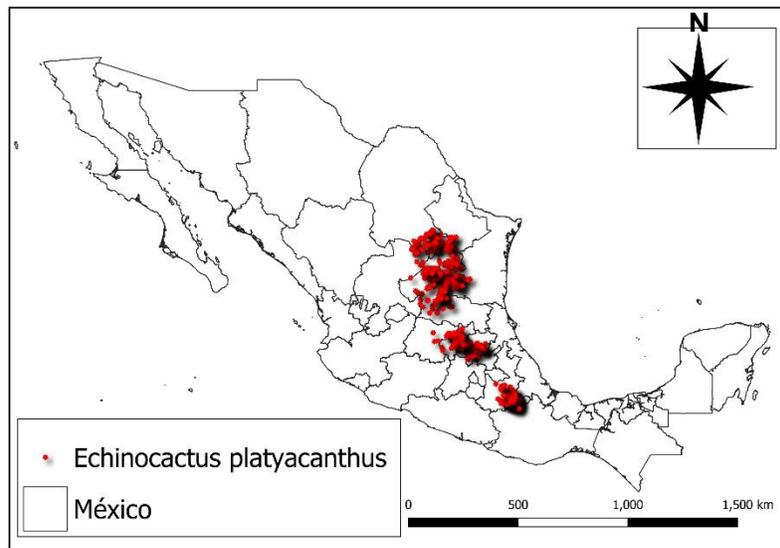


Fig. 1. Distribución (registros de ocurrencia) de *Echinocactus platyacanthus* reportada en la literatura, y en la página (GBIF.org, 2020).

*E. platyacanthus* es un cactus endémico de México y característico del Desierto Chihuahuense. Tiene forma de barril o toneliforme conocido como biznaga de barril, burra o asiento de suegra. Su tallo es de color verde claro u oscuro, con costillas gruesas y duras que aumentan con la edad de la planta, los juveniles pueden presentar bandas rojizas de forma transversal, con grandes espinas y gruesas en su areola. Esta es una especie importante de las zonas áridas, ya que alcanza

alturas máximas de 2 m y diámetros de hasta 1.20 m, con un ápice hundido y de forma circular o elíptica, acompañado de basta lana y a través de las areolas cubiertas por esta lana surgen las flores y frutos (Jiménez-Sierra y Reyes, 2003; Bravo-Hollis, 1978; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991; Jiménez-Sierra y Reyes 2000; Trujillo,1984).

La antesis de sus flores es diurna, con un tamaño máximo de hasta 6 cm de diámetro y de un color amarillo brillante, su fruto es amarillento, seco, largo y de un tamaño aproximado de 7 cm con una cobertura de lana y pelo. Éste cuenta con unas semillas negras de aproximadamente 2.5 mm de largo. La areola cuenta con alrededor de 8 a 10 espinas radiales y 1 a 4 espinas en el centro, éstas son aplanadas y de diversas tonalidades, y varían según la edad del organismo. Esta especie tiene un crecimiento monopodial, pero si sufre daño en su meristemo apical, el tallo se ramifica y cada rama es un clon de la planta original, produciendo así nuevas estructuras reproductivas (Jiménez-Sierra y Reyes, 2003; Bravo-Hollis, 1978; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991; Jiménez-Sierra y Reyes 2000; Trujillo,1984). Presenta tres periodos de floración, el primero ocurre en la última semana de abril, el segundo en los primeros días de junio y el tercero en los primeros días de julio. Estos periodos tienen una separación temporal de un mes por periodo aproximadamente, inician floración cuando incrementa la temperatura cercana a 20°C, y con un aumento en el fotoperiodo, siendo categorizada como una especie de día largo (Trujillo-Argueta y del Castillo 2013). La floración empieza en los primeros meses de lluvia de abril a julio. Las flores son bastas y emergen del indumento de la región apical, se pueden observar hasta un máximo de 11 flores abiertas en un solo individuo; la flor tiene una coloración intensa amarilla, con una simetría radial con forma de tazón y tiene un comportamiento diurno, mide entre cinco y siete centímetros de diámetro en total apertura. Su estilo es amarillo, grueso, 3 a 4.5 centímetros de longitud, los lóbulos del estigma nacen cerca de la región media, que se aprecian por encima de los estambres. Presenta una cámara nectarífera en la base del estilo de 0.7 cm aproximadamente de profundidad y un diámetro de 10 mm. Cuenta con numerosos estambres de color amarillo, insertados

en la base del tubo receptacular, su flor es protándrica (Trujillo-Argueta y del Castillo 2013). Presenta frutos todo el año, aunque la estación del año con mayor fructificación es en verano, el mes con más frutos fue julio y el de menor abril. El fruto es un poco carnoso al inicio, pero al pasar el tiempo se convierte en un fruto seco sin pulpa. Los tépalos marchitos se conservan en el fruto. La semilla es inicialmente de color pardo muy pálido, después rojo y por último rojo oscuro, que es cuando el fruto está maduro, ya que a partir de este las semillas pudieron germinar en el laboratorio (Trujillo, 1982). Los frutos de la primera floración maduraran a finales de junio, los de la segunda floración a principios de agosto y los del tercera a principios de septiembre. Los tres periodos de floración son posibles de encontrar en un solo individuo, y cada fruto tiene ente 101 a 1050 semillas (Trujillo-Argueta y del Castillo, 2013).

## 6.2 Área de estudio

EL municipio de Mazapil se localiza en la región noreste del estado de Zacatecas, Mexico. Con coordenadas geográficas: 23° 41' y 25° 04' N y 101° 11' y 102° 41' W, con una altitud de 1,300 m a 3200 m s.n.m. (Fig. 2).

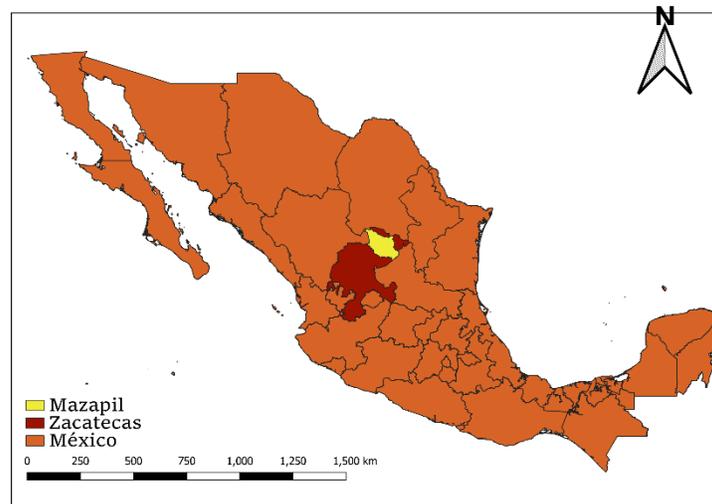
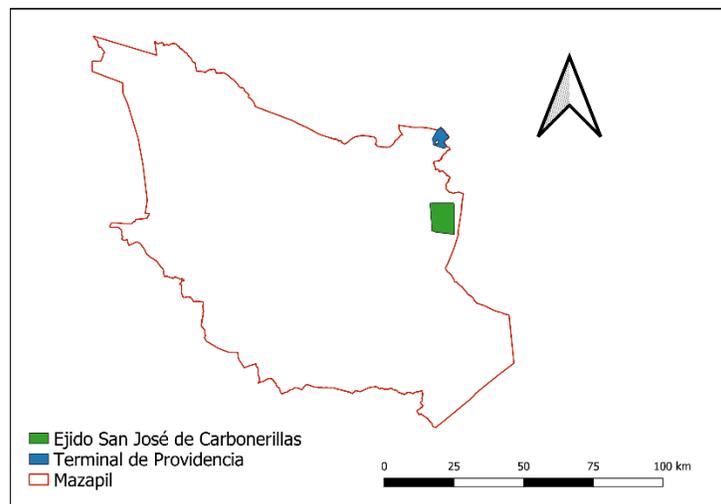


Fig. 2. Ubicación del municipio Mazapil, en la república mexicana

Mazapil se encuentra rodeado por elevaciones de terreno, en la parte norte por la sierra de la Caja y el cerro del Carnero, al oriente por el cerro el Temeroso, al sur con el Cerro Alto (con una altura de 3040 m snm), al oriente con el pico de Teira (una montaña con una altura de 2800 m), así como la sierra de San Julián. El suelo dominante va desde Calcisol, Leptosol, Phaeozem, Regosol, Kastañozem, Solonchack hasta Chernozem. Su tipo de vegetación es mayormente matorral abarcando el 95% del territorio, seguido por bosque 1.68%, pastizal 0.90% y otros. La temperatura media anual varía entre 19° C a 25°C. Su clima se clasifica como desértico o muy árido con lluvias en verano, con un promedio de 400 mm anuales (García y Falcón, 1987). Entre las especies de plantas más conspicuas se encuentran *Echinocactus horzonthalonius* (Cacto solitario), *Echinomastus unguispinus* (Biznaga), *Lophophora williamsii* (Peyote), *Opuntia cantabrigiensis* (Nopal), *Stenocactus dichroacanthus* (Biznaga undulada), *Echinocereus enneacanthus* (Pitahaya), *Mammillaria heyderi* (Biznaga China), así como mamíferos de las especies; *Sylvilagus audubonii* (Conejo), *Lepus californicus* (Liebre), *Peromyscus difficilis* (Ratón), *Canis latrans* (Coyote) e insectos característicos de la zona como; *Cycloneda sanguínea* (Mariquita), *Agroecotettix modestus* (Saltamontes), *Stamnodes fervifactaria* (Falsa monarca), *Ascalapha odorata* (Ratón viejo), *Scolopendra polymorpha* (Cien pies), y *Palpita quadristigmalis* (Polilla), (CONABIO, 2019).

Las dos poblaciones de estudio de *E. platyacanthus* se ubican en dos sitios diferentes, la primera población se encuentra en el Ejido San José de Carbonerillas (SJC) un sitio semiárido, templado, con un uso de suelo y vegetación compuesto principalmente de matorral desértico rosetófilo. El tipo de suelo en su mayoría es haplico, muy rico en calcio, con una precipitación anual promedio de 400 a 600 mm, una temperatura media anual entre 12°C y 18°C, lluvias de verano mayores a 18% anual (García, 1973). Mientras que, para la segunda población, ubicada en Terminal de Providencia (TP), una zona árida, templada, con uso de suelo y vegetación, compuesto principalmente de matorral desértico micrófilo. El tipo de suelo es haplico, rico en calcio, con una precipitación anual promedio de 400 a 600 mm y

temperatura media anual entre 12° y 18°, con lluvias entre verano e invierno mayor al 18 % anual (García, 1973). Ambos sitios se ubican en el Norte del estado de Zacatecas, México (Fig. 3) y se encuentran separados por 24.12 km lineales aproximadamente entre sí, encontrando entre ellos 3 sierras principales: Sierra El Mascarón con una altura máxima de 2800 m, Sierra Las Bocas con una altura máxima 2900 m y Sierra Santa Rita con una altura máxima 2400 m, que fungen como barreras geográficas naturales que limitan la distribución de *E. platyacanthus*.



**Fig. 3.** Poblaciones de *E. platyacanthus* en el municipio de Mazapil, Zacatecas, México. El polígono naranja representa al municipio de Mazapil, Zacatecas. El polígono verde indica el sitio de Ejido San José de Carbonerillas y el azul el segundo sitio Terminal de Providencia.

### 6.3 Categorización de las poblaciones, colecta de organismos, registro de variables ambientales y de perturbación.

La categorización de las poblaciones de *E. platyacanthus* en los sitios de estudio es muy importante no solo porque la densidad floral y de individuos afecta la estructura y dinámica de la comunidad de insectos visitantes, sino que al comparar con otras poblaciones reportadas en la literatura se debe considerar en qué categoría se encuentran. Para lo anterior, se trazaron nueve transectos de 50 m de largo x 10 m de ancho en cada sitio para estimar las densidades de individuos y flores. En cada

población se midió la altura, el diámetro, número de flores y el total de individuos de *E. platyacanthus* dentro de los tres transectos de cada sitio (Jiménez-Sierra y Torres-Orozco, 2003). Para la colecta de visitantes florales, se trazaron tres cuadrantes en cada uno de los sitios de estudio, de 10 x 10 m, comprendiendo una superficie de 100 m<sup>2</sup>. En cada cuadrante se seleccionaron tres individuos de *E. platyacanthus* con una altura mínima de medio metro y tres flores por cada individuo, haciendo un total de nueve individuos y nueve flores por sitio. La colecta de insectos se llevó a cabo durante cinco días y de manera simultánea en los transectos y sitios. Los insectos se colectaron en un horario de 11:00 am a 18:00 pm, completando 630 minutos de observación diaria y sumando un total de 3150 minutos por sitio; dando un total de 6300 minutos en los dos sitios. Por cada hora, se recolectaron los insectos durante dos periodos de 15 minutos, contemplando dos periodos de 15 minutos de descanso.

Se recolectaron los insectos visitantes florales que tocaron cualquier parte de la flor, esta fue de manera manual, con redes entomológicas, pinzas y envases entomológicos. De los ejemplares colectados, se separaron aquellos que por la abundancia de polen podrían actuar como posibles polinizadores efectivos, para su posterior análisis. Los insectos se sacrificaron en campo en una cámara letal con acetato de etilo, posteriormente se transportaron al laboratorio etiquetados en hojas de papel encerado; con excepción de los que fueron considerados para análisis como posibles polinizador efectivo, estos se transportaron de manera individual en viales con alcohol. Tanto los visitantes florales como los posibles polinizadores efectivos fueron separados para su montaje e identificación taxonómica (Lemus-Jiménez, y Ramírez, 2003; Torres-Díaz *et al.*, 2007; Rivas-Arancibia *et al.*, 2015; Martínez-Adriano *et al.*, 2015).

Simultáneamente a la recolecta de insectos, se registraron las siguientes variables ambientales: temperatura, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento. Se utilizó una estación meteorológica para registrar las variables ambientales, donde la temperatura (TE) se tomó por encima a los 20 cm del suelo, la velocidad

del viento (VI) se tomó a un metro de altura, la radiación solar (RS) se obtuvo de los datos anuales de CONABIO, y la humedad relativa (HR) se tomó a un metro por encima del suelo (Caldentey *et al.*, 1999). Todas las variables se registraron en cada periodo de observación durante los días de recolecta de los visitantes florales y en ambas poblaciones de *E. platyacanthus* (Loayza y Ríos, 1999; Torres-Díaz *et al.*, 2007; Duval y Campo, 2016; y González-Céspedes *et al.*, 2019).

#### 6.4 Índice de perturbación

El índice de perturbación se obtuvo por el método de Martorell y Peters (2005; 2008). Se seleccionaron 30 puntos de manera aleatoria en el municipio de Mazapil, usando el software RStudio versión 4.0.2 considerando que dos de los puntos coincidieran con las dos poblaciones de *E. platyacanthus* (Fig. 7). En cada punto se trazó un transecto de 100 m<sup>2</sup> de largo por un metro de ancho, donde se ponderaron 15 factores de perturbación: frecuencia de excremento de cabra (CABRA), frecuencia de excremento de vaca (VACA), número de plantas con ramoneo (RAMONEO), número de caminos para el ganado (GANADO), compactación del suelo (SUELO), número de sitios de extracción de leña (LEÑA), números de caminos (CAMINOS), superficie de senderos (SUPERFICIE), proximidad de asentamientos humanos (PAH), cercanía a núcleos de actividad humana (NÚCLEOS), porcentaje de uso de la tierra (TIERRA), evidencia de incendios forestales (INCENDIOS), porcentaje de erosión (EROSIÓN), presencia de islas de erosión (ISLAS), y superficie totalmente modificada (STM).

Por último, se realizó una búsqueda bibliográfica (Jiménez-Sierra *et al.*, 2019; Tepedino *et al.*, 2010; Martínez-Peralta y Mandujano, 2012; Maqueda-Díaz y Callejas-Chavero, 2018; Nates Parra, 2016; Blair y Williamson, 2008; Martínez-Adriano *et al.*, 2015; Cardeño-Londoño y Rodríguez-Herrera, 2020) para determinar a los posibles polinizadores potenciales, según la información ya existente, dándoles un margen de 1 al 4 unidades a los que fueron reconocidos como polinizadores, ya sea poco efectivo o especialistas, según la literatura consultada.

## Análisis de datos

Con los datos para categorizar las poblaciones, se obtuvo la densidad poblacional, así como la densidad de flores, con el software de Minitab versión 15, con la fórmula obtenida del libro de Brower y Zar (1979), métodos de campo para ecología, procedimiento ya utilizado para el análisis de densidad de población y flores de *E. platyacanthus* en otros sitios de estudio (Eguiarte-Fruns y Jiménez-Sierra, 2000; Castañeda-Romero *et al.*, 2016). Se aplicó una prueba de Mann-Whitney, con el mismo software de Minitab versión 15, para comparar la altura y el diámetro de los individuos de *E. platyacanthus* entre poblaciones. También se realizó la categorización de la estructura de estadios de la población en ambos sitios, utilizando el criterio de Hegland y Van Leeuwen (2001) y la metodología de Jiménez-Sierra y Torres-Orozco (2003), que ya ha sido empleada en otras poblaciones de esta misma especie.

Para la identificación desde orden hasta especie, se utilizaron distintas guías de identificación según su orden, familia o género (Mackay y Mackay, 1989; Wilson y Carril, 2015; Borrer y White, 1998). Se calculó la diversidad verdadera usando la fórmula  $\exp(H)$ , donde 'H' es el valor de índice de Shannon (Moreno *et al.*, 2011). La abundancia relativa se obtuvo con la fórmula  $AR=ni/N$ , donde  $n_i$  es el número de individuos de la especie y N es el número total de individuos (Moreno, 2001), la diversidad alfa se calculó con el índice de Shannon con la fórmula  $\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$  (Moreno *et al.*, 2011) y la diversidad beta verdadera con la ecuación  $D\beta = \frac{D\gamma}{D\alpha}$  donde  $D\gamma$  es la diversidad gamma verdadera y  $D\alpha$  es la diversidad alfa promedio verdadera (Moreno, 2001). Se aplicó también una prueba de T-Hutchenson para comparar la diversidad alfa de visitantes florales entre ambos sitios, utilizando el Software Past versión 4. Además, se realizó una prueba de ANOSIM para ver si había diferencias estadísticas en la composición faunística de insectos visitantes entre ambas poblaciones. Esto se hizo en el software Past versión 4 (Hammer *et al.*, 2001).

Para la obtención de los valores del índice de perturbación, se empleó el método de Martorell y Peters (2005; 2008) para los 30 puntos en el municipio de Mazapil, Zacatecas, donde se incluyeron como puntos SJC (punto 15) y TP (punto 34). Se aplicó un análisis de Componentes Principales (ACP) usando el software Minitab versión 15, (Minitab, 2021). De acuerdo con los valores del primer componente principal, se categorizaron los sitios en zonas de perturbación alta, media y baja, aplicando la Regla de Sturges (Hyndman, 1995) para generar intervalos numéricos. Para determinar diferencias significativas entre las variables ambientales, se aplicó un T-Student usando el paquete estadístico Past versión 4 (Hammer et al., 2001).

Para determinar el efecto de las variables ambientales (radiación solar, humedad, altitud, temperatura, velocidad del viento) y la perturbación antropogénica sobre la abundancia de visitantes florales, se aplicaron Análisis Canónicos de Correspondencia (ACC), utilizando el software MVSP versión 3.22. Se realizaron cinco ACC, una para cada sitio (SJC y TP), uno general (ambos sitios juntos) y para los posibles polinizadores efectivos (PPE), una en cada sitio (SJC Y TP). Para evaluar si había dependencia de la abundancia y riqueza de especies de insectos respecto a la cantidad de flores en antesis por sitio, se realizó un análisis de regresión lineal entre flores/especies y entre flores/abundancia. Esto se ha aplicado en trabajos similares donde se utilizaron modelos lineales para evaluar la influencia de las variables físicas, ambientales, y biológicas, donde se observó que algunas variables tienen mayor relación que otras, de ahí la importancia del análisis (Vásquez-Espinoza, 2019). Las regresiones lineales se realizaron con el paquete estadístico Past versión 4. (Hammer et al., 2001)

La identificación de posibles polinizadores efectivos se realizó con base a la literatura reportada en otros trabajos relacionados con visitantes florales de la familia de las cactáceas (Mackay y Mackay, 1989; Wilson y Carril, 2015; Borror y White, 1998). Una vez obteniendo esta información se categorizó del uno al cuatro los géneros de insectos visitantes, siendo cuatro el valor más importante y uno el valor menos importante, pero que aun así se ha reportado que puede llegar a

polinizar. Con valores del número cuatro podemos observar géneros de insectos identificados como especialistas de esta familia; valores de tres son géneros muy generalistas pero sumamente exitosos en su habilidad de polinizar; en el número dos se encuentran organismos que pueden polinizar pero no son tan buenos ni especialistas; y por último, en el número uno, son organismos que llegan a cumplir otras funciones en la flor, como zona de apareamiento o de descanso, pero debido a esas interacciones pueden mostrar un bajo éxito en la polinización, siendo considerarlos polinizadores poco efectivos (Alves-dos-Santos *et al.*, 2016).

## VII. Resultados

### 7.1 Dinámica y estructura de las poblaciones de *Echinocactus platyacanthus*.

La densidad de población para el sitio TP fue de 0.50 individuos por m<sup>2</sup> (l/m<sup>2</sup>) lo que indica que aproximadamente cada 20 m<sup>2</sup> podemos encontrar un individuo de *E. platyacanthus*. En este mismo sitio para flores (f) obtuvimos un valor de 0.012 f/m<sup>2</sup>, aproximadamente una flor cada 83.33 m<sup>2</sup>. Mientras que para el sitio SJC se obtuvo una densidad de 0.016 l/m<sup>2</sup>, en este sitio podemos encontrar un individuo aproximadamente cada 62.50 m<sup>2</sup> para flores (f) obtuvimos un valor de 0.019 f/m<sup>2</sup>, aproximadamente una flor cada 52.63 m<sup>2</sup>.

La prueba de Mann-Whitney mostró que tanto la altura como el diámetro de las poblaciones fueron significativamente diferentes, por lo que se realizó la Categorización de la estructura poblacional de ambos sitios (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías de edad de ambas poblaciones de *E. platyacanthus*. La letra P significa plántula, La J es juvenil: 1 y 2, la A es adulto: 1,2,3,4 y 5. Esto fue determinado por el diámetro de las plantas.

Sitio	P (< 3)	J1 (3-11)	J2 (11.1-25)	A1 (25.1-36)	A2 (36.1-56)	A3 (56.1-80)	A4 (80.1-113)	A5 (>113.1)
TP	0	0	11	71	254	41	2	0
SJC	0	0	6	21	51	37	4	0
TOTAL	0	0	17	92	305	78	6	0

En ambas poblaciones A2 es la categoría en la cual se encuentran más individuos. Hegland y Van Leeuwen (2001) ambas poblaciones son regresivas (Hegland y Van Leeuwen, 2001).

El análisis de regresión de especies/flores mostró que no hubo una dependencia del número de flores en función de las especies de visitantes ( $p=0.120$ ,  $r^2=0.49$ ) Mientras que el análisis de regresión para la relación abundancia/flores mostró una dependencia de la abundancia de los insectos visitantes respecto al número de flores en antesis ( $p=0.003$ ,  $r^2=0.92$ ).

## 7.2 Índice de perturbación

Tabla 1. Índice de perturbación numérico y en categorías según la fórmula de Sturges, considerando el primer componente (eje de ordenación) del Análisis de Componentes Principales (ACP). El punto 15 corresponde a la población de SJC y el 24 a la población de TP.

Número	Variable	PC1	PC2	Categoría de Perturbación
1	Punto 13	-0.358	-0.155	Baja
2	Punto 12	-0.313	0.235	Baja
3	Punto 29	-0.3	-0.228	Baja
4	Punto 21	-0.249	-0.142	Baja
5	Punto 10	-0.24	-0.127	Baja
6	Punto 30	-0.13	0.115	Baja
7	Punto 22	-0.061	0.029	Media
8	Punto 4	-0.053	0.245	Media
9	Punto 16	-0.051	-0.333	Media
10	Punto 3	-0.05	0.13	Media
11	Punto 27	-0.03	0.042	Media
12	Punto 8	-0.026	0.063	Media
13	Punto 28	-0.019	0.269	Media
14	Punto 18	-0.007	0.129	Media
15	Punto 26	0.004	0.109	Media
16	<b>Punto 24 (TP)</b>	<b>0,013</b>	<b>0,008</b>	<b>Media</b>

<b>17</b>	Punto 23	0.023	-0.027	Media
<b>18</b>	Punto 7	0.039	0.33	Media
<b>19</b>	<b>Punto 15</b>	<b>0.056</b>	<b>-0.279</b>	<b>Media</b>
	<b>(SJC)</b>			
<b>20</b>	Punto 25	0.066	0.242	Media
<b>21</b>	Punto 19	0.116	-0.272	Alta
<b>22</b>	Punto 17	0.122	-0.149	Alta
<b>23</b>	Punto 11	0.159	-0.167	Alta
<b>24</b>	Punto 6	0.174	-0.118	Alta
<b>25</b>	Punto 1	0.175	-0.028	Alta
<b>26</b>	Punto 14	0.212	-0.28	Alta
<b>27</b>	Punto 2	0.27	0.219	Alta
<b>28</b>	Punto 5	0.276	0.083	Alta
<b>29</b>	Punto 20	0.325	0.007	Alta
<b>30</b>	Punto 9	0.333	-0.073	Alta

Los datos de la tabla 2, están ordenados, de manera categórica, de los sitios con menor perturbación a los de mayor perturbación, según el primer componente PC1. El punto 24 representa a la población TP con un valor medio de perturbación, y el punto 15 representa a SJC, igualmente con un valor medio de perturbación. Al agrupar los parámetros de perturbación según los agentes (Tabla 3), se encontró que, para el agente de cría de ganado, el valor más alto corresponde a número de plantas con ramoneo, para el segundo agente, actividades humanas, la métrica que más aportó fue número de caminos. Por último, el tercer agente llamado degradación de la tierra, la métrica de mayor aporte fue presencia de islas de erosión, ya mencionados anteriormente en el manuscrito.

Tabla 3. Métricas utilizadas para el índice de perturbación según la metodología de Martorell y Peters, 2005. En negritas se encuentra el nombre de los agentes que conforman las métricas utilizadas, además del valor del componente PC1 Y PC2. Los valores positivos indican una mayor presión sobre el ambiente que los valores negativos .

<b>Agente</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>
<b>Cría de ganado</b>		
CABRA	0.393	0.604
VACA	0.071	0.619
RAMONEO	<b>0.690</b>	-0.079
GANADO	0.598	-0.418
SUELO	-0.086	-0.265
<b>Actividades humanas</b>		
LEÑA	0.231	-0.339
CAMINOS	0.644	-0.227
SUPERFICIE	<b>0.614</b>	-0.165
PAH	-0.290	-0.624
TIERRA	-0.257	-0.614
INCENDIOS	0.064	-0.198
<b>Degradación de la tierra</b>		
EROSIÓN	0.561	-0.616
ISLAS	<b>0.686</b>	-0.029
STM	-0.464	-0.787

Al comparar las variables ambientales, medidas durante el periodo de muestreo entre ambos sitios, se encontró que la temperatura ( $p = 0.032$ ), la velocidad del viento ( $p = 0.051$ ) y la humedad ( $p = 0.003$ ) fueron significativamente diferentes entre ambos sitios. El análisis de radiación solar se omitió ya que ambos lugares

cuentan con un valor 22 unidades de radiación según el método Tarpley, indicando radiación similar en ambos sitios.

### 7.3 Análisis de los visitantes florales.

En el sitio SJC se encontraron un total de tres órdenes y ocho familias de visitantes florales, las cuales están compuestas por 13 géneros. Mientras que en TP encontramos tres órdenes, nueve familias y 16 géneros (Tabla 4).

Tabla 2. Órdenes, familias y géneros de visitantes florales encontrados en las dos poblaciones de *Echinocactus platyacanthus*, estudiadas

Sitios	Órdenes	Familias	Géneros	Especies
SJC	Hymenoptera	Andrenidae	1	<i>Macrotera</i> sp1
				<i>Macrotera</i> sp2
	Formicidae	4	<i>Camponotus andrei</i>	
			<i>Myrmecocystus melliger</i>	
			<i>Solenopsis</i> sp1	
			<i>Tetramorium</i> sp1	
		Halictidae	3	<i>Lasioglossum</i> sp2
				<i>Agapostemon</i> sp1
	Coleoptera	Buprestidae	1	<i>Acmaeodera quadrivittatoides</i>
				<i>Acmaeodera</i> sp2
		Nitidulidae	1	<i>Acmaeodera</i> sp3
				<i>Carpophilus</i> sp1
		Salpingidae	1	<i>Carpophilus</i> sp2
	<i>Elacatis</i> sp1			

		Scarabaeidae	1	<i>Chlorixanthe propinqua</i>
	Diptera	Asilidae	1	<i>Megaphorus acrus</i>
Total	3	8	13	17
TP	Hymenoptera	Andrenidae	1	<i>Macrotera</i> sp1 <i>Macrotera</i> sp2
		Apidae	6	<i>Apis mellifera</i> <i>Bombus</i> sp1 <i>Centris</i> sp1 <i>Diadasia</i> sp1 <i>Diadasia</i> sp2 <i>Eucera</i> sp1 <i>Melitoma</i> sp1
		Halictidae	2	<i>Lasioglossum</i> sp1 <i>Lasioglossum</i> sp2 <i>Augochlora</i> sp1
		Megachilidae	1	<i>Lithurgopsis littoralis</i> <i>Lithurgopsis</i> sp2
		Formicidae	1	<i>Camponotus andrei</i>
	Coleoptera	Curculionidae	1	<i>Rhinostomus frontalis</i>
		Nitidulidae	1	<i>Carpophilus</i> sp1 <i>Carpophilus</i> sp2
		Salpingidae	1	<i>Elacatis</i> sp1
	Orthoptera	Acrididae	2	<i>Ageneotettix</i> sp1 <i>Cibolacris</i> sp1
Total	3	9	16	21

La riqueza verdadera para SJC fue de 17 especies efectivas y 21 especies efectivas para TP. Los resultados de abundancia relativa (Fig. 4 y Fig. 5) mostraron que para SJC la especie más abundante fue *Acmaeodera quadrivittatoides* con un porcentaje de 24.4%, seguida por *Myrmecocystus melliger* con 19.2%. Para el sitio TP, la

especie con mayor abundancia relativa fue *Carpophilus* sp1 con 13%, seguido de *Macrotera* sp2 con el 11%.

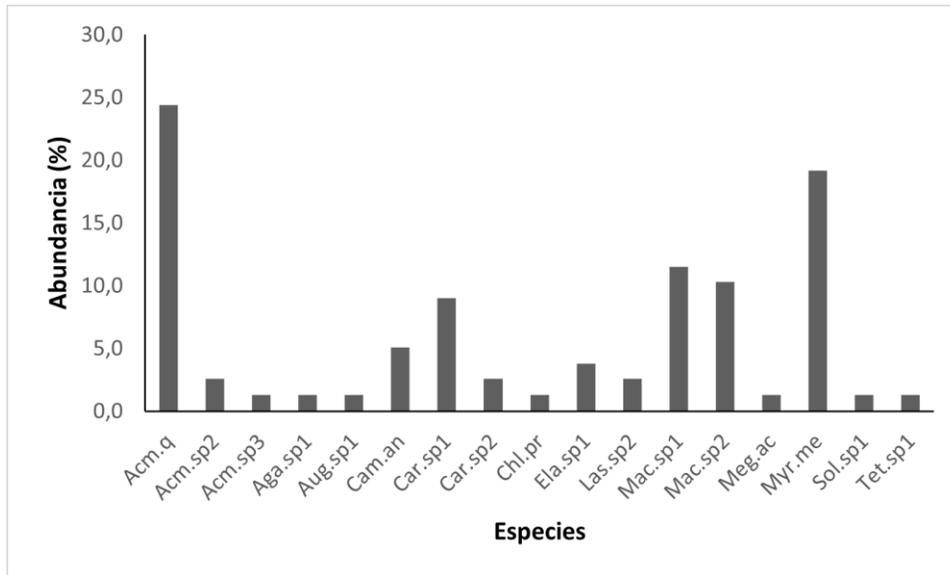


Fig. 4 . Gráfico de abundancias relativas en porcentaje del sitio San José de Carbonerillas: *Acmaeodera quadrivittatoides* (Acm.1), *Acmaeodera* sp2 (Acm.sp2), *Acmaeodera* sp3 (Acm.sp3), *Agapostemon* sp1 (Aga.sp1), *Augochlora* sp1(Aug.sp1), *Campanotus andrei* (Cam.an), *Carpophilus* sp1 (Car.sp1), *Carpophilus* sp2 (Car.sp2), *Chlorixanthe propinqua* (Chl.pr), *Elacatis* sp1 (Ela.sp1), *Lasioglossum* sp2 (Las.sp2), *Macrotera* sp1 (1Mac.sp1), *Macrotera* sp2 (Mac.sp2), *Megaphorus acrus* (Meg.ac), *Myrmecocystus melliger* (Myr.me), *Solenopsis* sp1 (Sol.sp1) y *Tetramorium* sp1 (Tet.sp1).

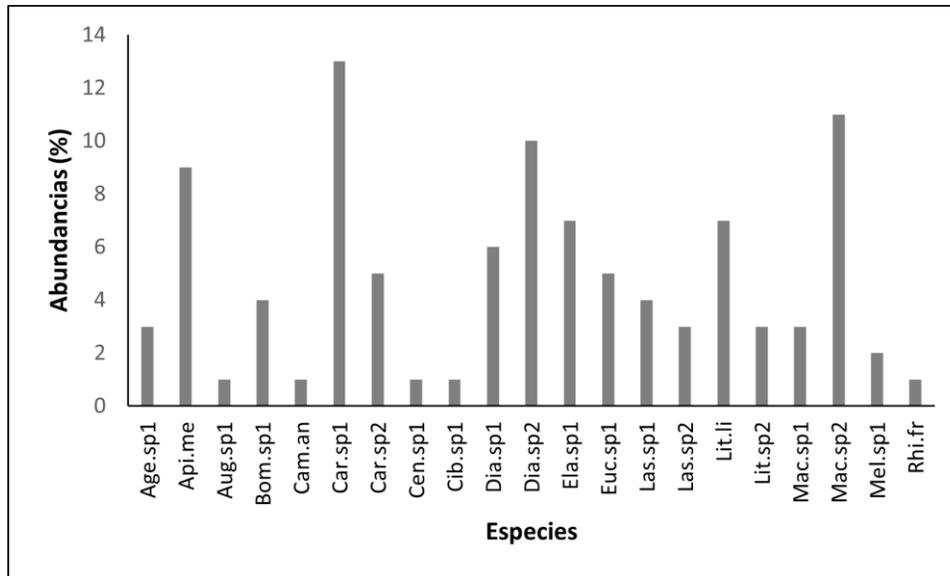


Fig. 5. Gráfico de abundancias relativas en porcentaje del sitio Terminal de providencia. *Ageneotettix* sp1 (Age.sp1), *Apis mellifera* (Api.me), *Augochlora* sp1 (Aug.sp1), *Bombus* sp1 (Bom.sp1), *Camponotus andrei* (Cam.an), *Carpophilus* sp1 (Car.sp1), *Carpophilus* sp2 (Car.sp2), *Centris* sp1 (Cen.sp1), *Cibolacris* sp1 (Cib.sp1), *Diadasia* sp1 (Dia.sp1), *Diadasia* sp2 (Dia.sp2), *Elacatis* sp1 (Ela.sp1), *Eucera* sp1 (Euc.sp1), *Lasioglossum* sp1 (Las.sp1), *Lasioglossum* sp2 (Las.sp2), *Lithurgopsis littoralis* (Lit.li), *Lithurgopsis* sp2 (Lit.sp2), *Macrotera* sp1 (Mac.sp1), *Macrotera* sp2 (19), *Melitoma* sp1 (Mel.sp1), *Rhinostomus frontalis* (Rhi.fr).

Para SJC se encontró un valor de diversidad alfa verdadera de 10.08 especies efectivas, mientras para TP se encontró un valor de 16.6 especies efectivas, la diversidad alfa verdadera de TP fue 1.65 veces más diverso que SJC, o lo que es lo mismo un 60% más diverso que SJC, además con un valor de diversidad beta verdadera de 1.50 indicando que hay 1.50 comunidades distintas en este conjuntos de poblaciones, lo cual significa que los visitantes florales de estas comunidades son significativamente diferentes (Calderón-Patrón, Moreno y Zuria-Iriana 2012).

De manera complementaria, el análisis de similitud (ANOSIM) mostró diferencias significativas en la composición faunística de visitantes florales entre ambas poblaciones ( $p = 0.0014$ ,  $R=0.5301$  con 9999 permutaciones). El análisis T-Hutchenson (Fig. 6), también mostró diferencias significativas en la diversidad de visitantes entre ambas poblaciones ( $p = 0.0005$ ; Fig. 6).

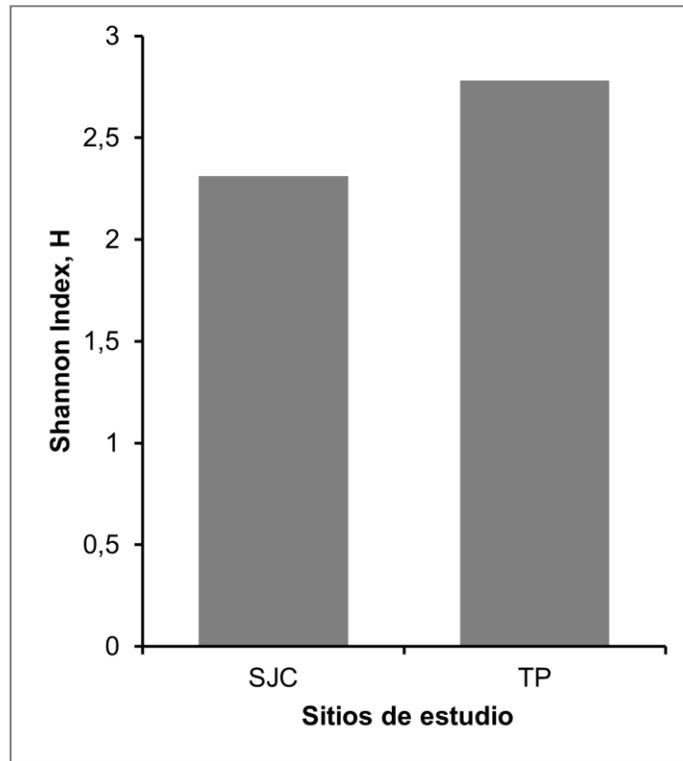
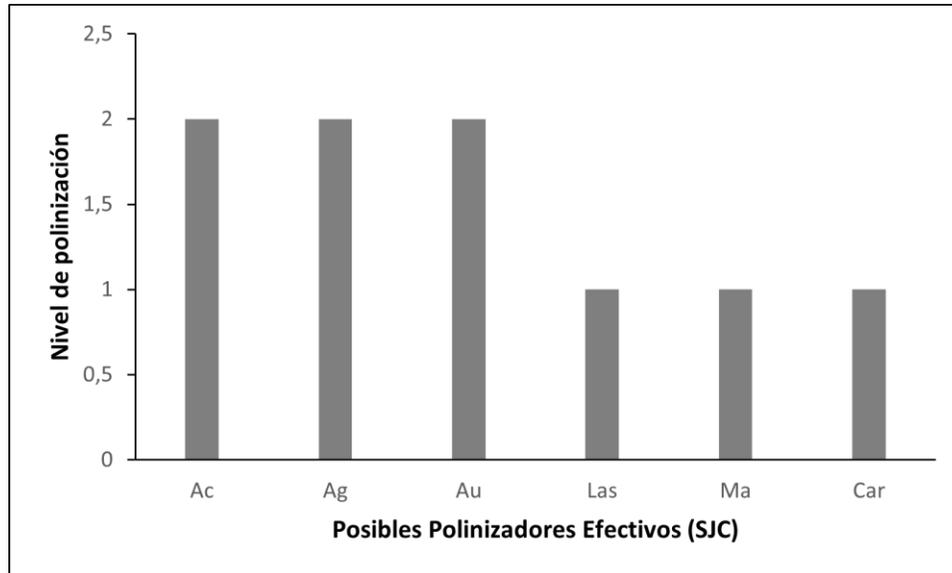


Figura 6. Gráfico de diversidad alfa entre sitios. aplicando la prueba de T-Hutchenson.

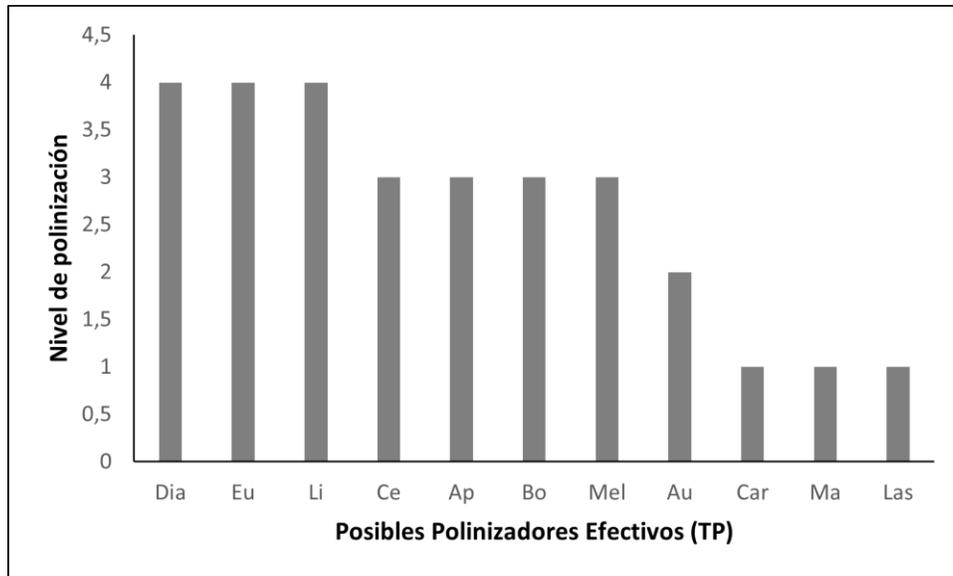
#### 7.4 Determinación de polinizadores efectivos.

En SJC se encontraron seis géneros de visitantes florales que según la literatura pondrían estar cumpliendo como posibles polinizadores efectivos, donde se consideró a *Acmaeodera* (Ac), *Agapostemon* (Ag), *Augochlora* (Au) con un nivel de dos en efectividad y a *Lasioglossum* (Las), *Macrotera* (Ma) y *Carpophilus* (Car) con un nivel de uno, siendo el número dos el de mayor efectividad para polinizar (Fig. 7).



La figura 7. Géneros de los posibles polinizadores de *E. platyacanthus* en el sitio SJC con el porcentaje que aportan cada uno de ellos, en este caso se identificaron solo 6 géneros que en este sitio: Ac(48%), Ag (2%), Au(2%), Las(4%), Ma(31%) y Car(13%).

Para el sitio TP se encontraron 11 géneros que podrían ser posibles polinizadores efectivos (Fig. 8). Como especialista (nivel 4) se encontraron a los géneros *Diadasia* (Dia), *Eucera* (Eu), *Lithurgopsis* (Li), en nivel 3 a *Centris* (Ce), *Apis* (Api), *Bombus* (Bo), *Melitoma* (Mel), considerados generalistas, en nivel 2 solo a *Augochlora* (Au) y en nivel 1 a *Carpophilus* (Car), *Macrotera* (Ma) y *Lasioglossum* (Las).



La Fig. 8. Géneros de los posibles polinizadores de *E. platyacanthus* en el sitio TP, en este caso se identificaron 11 géneros: Dia(18%), Eu(6%), Li(11%), Ce(1%), Api(11%), Bo(5%), Mel(2%), Au(1%), Car(21%), Ma(16%) y Las(8%).

### 7.5 Efecto de las variables ambientales y de la perturbación en la comunidad de visitantes florales

El ACC para cada sitio (Fig. 9 y Fig.10) explicó en un 31.52% para SJC y 36.51% para TP (primer eje de ordenación) la variación de abundancias de los géneros. En el sitio SJC, se observó que los géneros *Agapostemon*, *Augochlora*, y *Megaphorus* incrementan su abundancia con el aumento de temperatura, por otro lado, el género *Tetramorium* disminuye su abundancia con el aumento de ésta; mientras que los géneros *Lasioglossum* y *Myrmecocystus* aumentan su abundancia con el aumento de la perturbación y la altitud, disminuyendo su abundancia con el aumento de humedad. Se encontró lo contrario con respecto al género *Solenopsis*, donde el incremento de humedad aumentó su abundancia, pero el aumento de perturbación y altitud disminuyen la misma. En el sitio TP los géneros *Elacatis*, *Bombus*, *Melitoma*, *Ageneotettix*, y *Diadasia* incrementaron sus abundancias al incrementar la velocidad del viento y la temperatura, mientras que el género *Eucera* disminuyó su abundancia con el aumento de velocidad del viento y temperatura, pero aumentó su abundancia con el aumento en la perturbación. Los géneros *Lasioglossum*,

*Rhinostomus*, *Centris* y *Lithurgopsis* aumentaron sus abundancias con el aumento de la altitud y humedad, pero reducen su abundancia con el aumento de la radiación. Por último, los géneros *Apis*, *Carpophilus* y *Macrotera*, aumentaron sus abundancias con el incremento de la radiación y perturbación, pero disminuyen con el aumento de la temperatura.

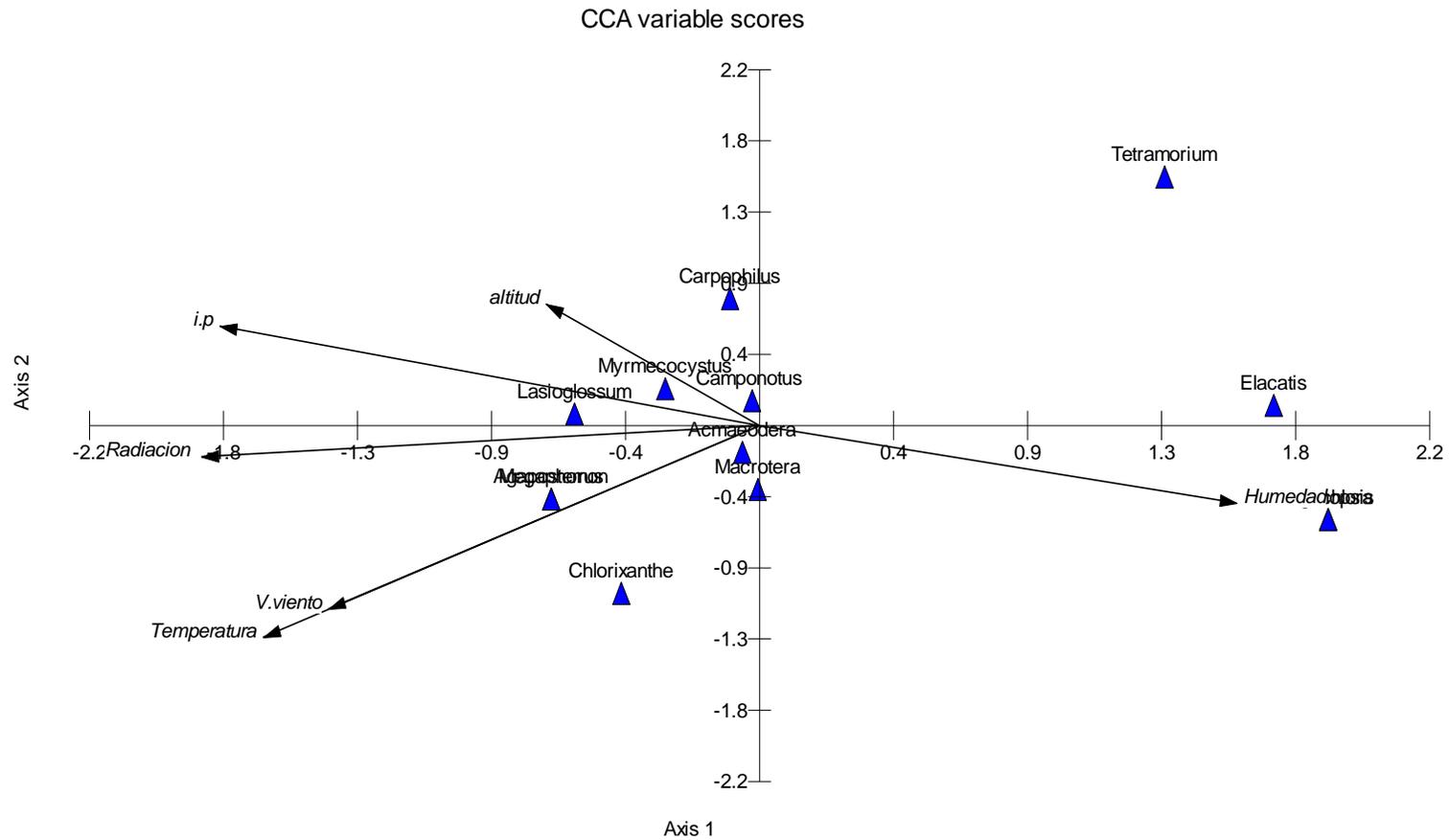
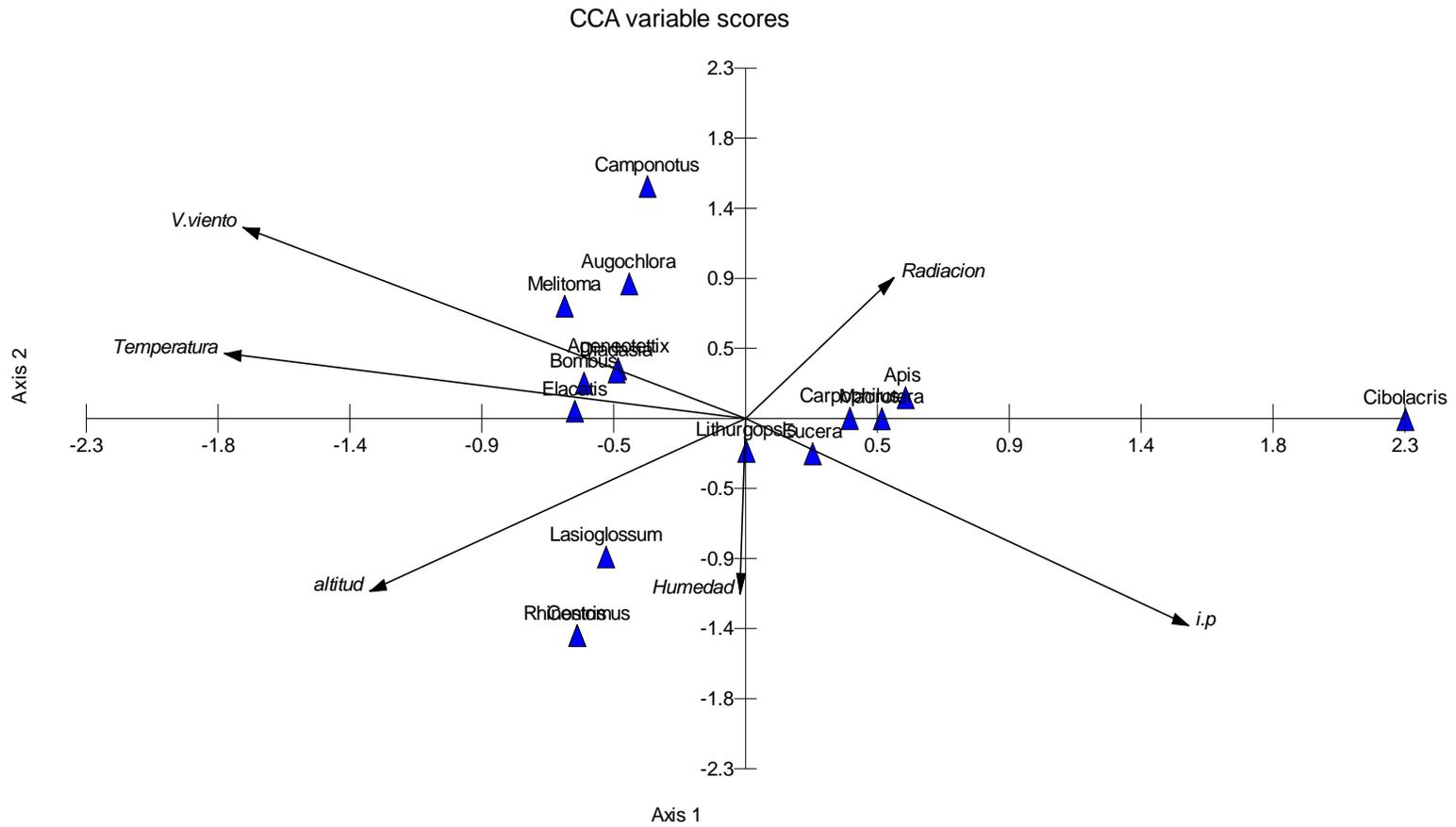


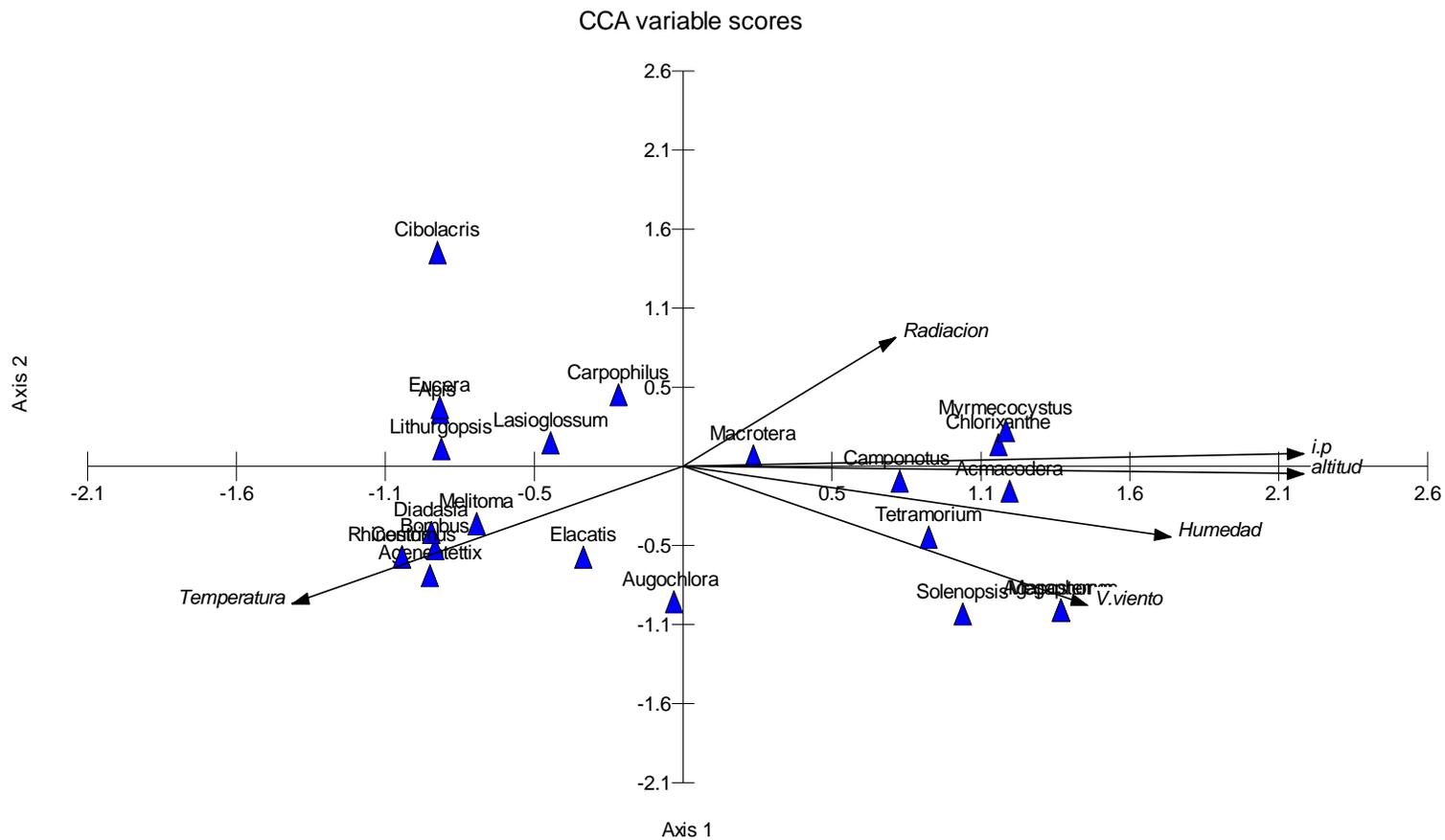
Fig. 9. Análisis Canónico de correspondencia de los géneros de visitantes florales del sitio SJC (triángulos) respecto a las variables ambientales medidas (vectores) y al índice de perturbación (i.p) .



Vector scalina: 2.53

Fig. 10. Análisis Canónico de correspondencia de los géneros de visitantes florales del sitio TP (triángulos) respecto a las variables ambientales medidas (vectores) y al índice de perturbación (i.p)

El ACC para la totalidad de visitantes florales considerando ambos sitios (Fig. 11), se encontró un eigenvalor de 35.28% (para el primer eje de ordenación). En general *Ageneotettix*, *Rhinostomus*, *Bombus*, *Diadasia*, y *Melitoma* incrementaron sus abundancias, cuando incrementó la temperatura, y disminuyeron su abundancia con el aumento en la radiación. Mientras que los géneros *Myrmecocystus* *Chlorixanthe*, *Acmaeodera*, *Campanotus* y *Macrotera* aumentaron su abundancia con el aumento de la perturbación y altitud. Por otro lado, los géneros *Tetramorium*, *Solenopsis*, *Megaphorus* y *Agapostemon*, incrementaron su abundancia con el aumento en la velocidad del viento y humedad, al contrario de los géneros *Eucera*, *Apis*, *Lasioglossum*, *Carpophilus* y *Cibolacris* que el aumento de la velocidad del viento disminuyó su abundancia.

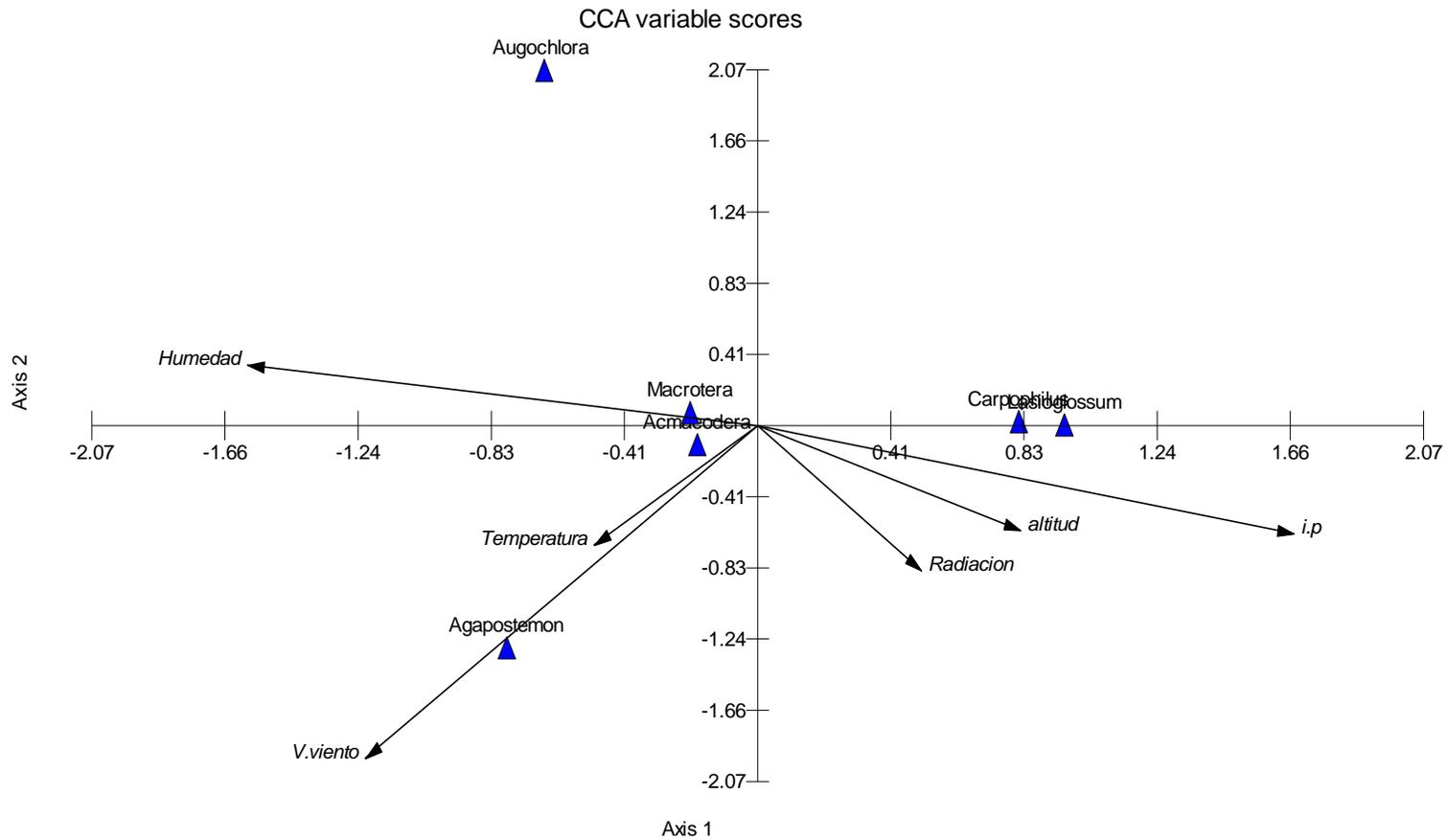


Vector scalina: 2.24

Fig. 11. Análisis Canónico de correspondencia de los géneros de visitantes florales de ambos sitios de estudio (TP y SJC; triángulos) respecto a las variables ambientales medidas (vectores) y al índice de perturbación (i.p)

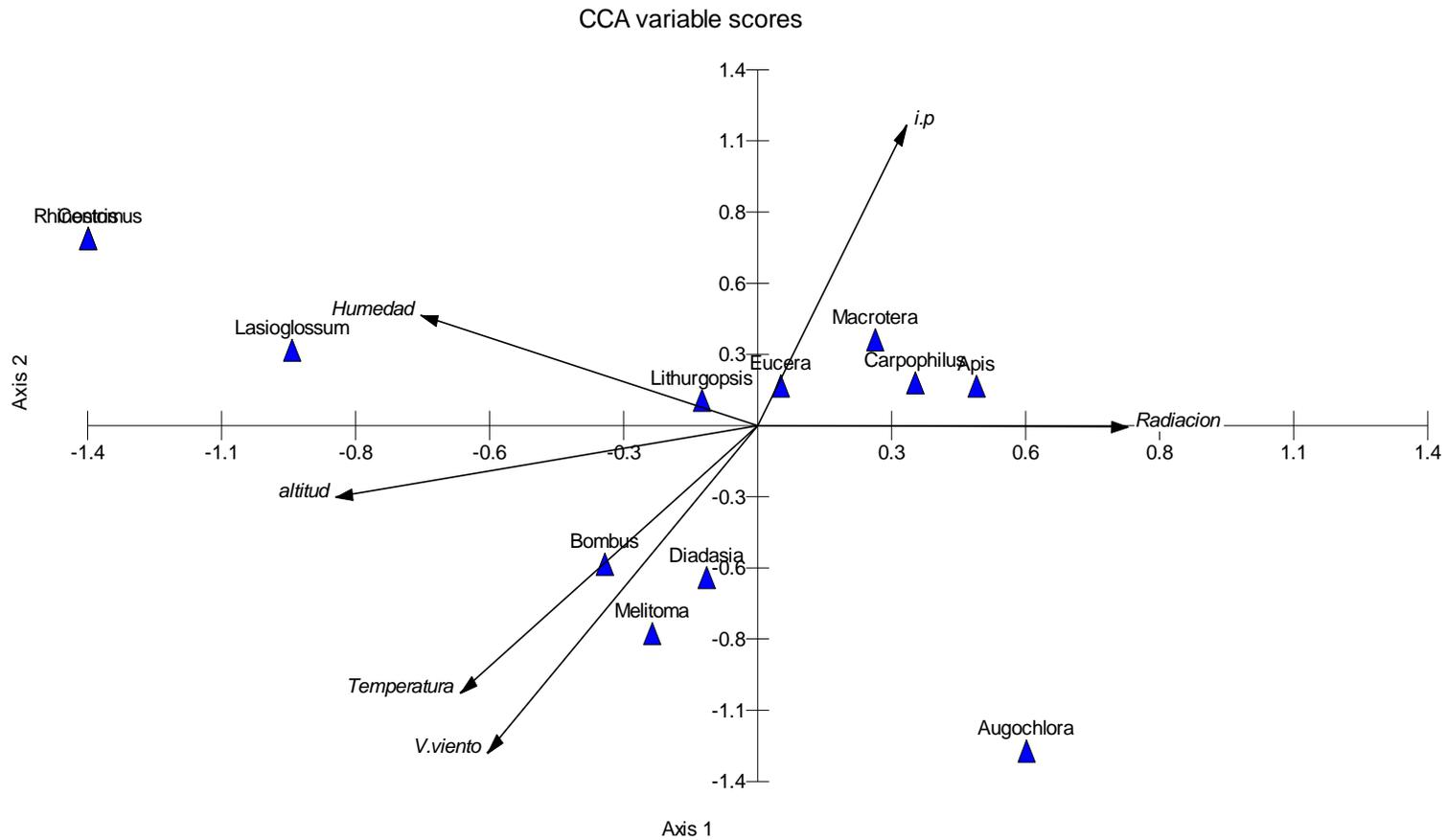
El ACC para insectos identificados como posibles polinizadores efectivos (PPE) mostró que en el sitio SJC, se obtuvo un valor de 40.79 % y 24.93% (primer y segundo eje de ordenación, respectivamente), lo cual indica un porcentaje alto de explicación de la variación de abundancias debidas a las variables ambientales consideradas en este estudio y al índice de perturbación calculado. *Agapostemon* incrementó su abundancia respecto al aumento de velocidad del viento y la temperatura (Fig. 12). Los géneros *Macrotera* y *Acmaeodera* incrementaron su abundancia con el aumento en la humedad, aunque su abundancia disminuye con el incremento de la perturbación. Por otro lado, *Carpophilus* y *Lasioglossum* incrementaron su abundancia con el aumento de la perturbación. Mientras *Augochlora* no muestra una relación clara con las variables medidas. El ACC para el sitio TP se encontraron valores de 34.66% y 29.95% (primer y segundo eje de ordenación, respectivamente). En este análisis el aumento en la velocidad del viento y temperatura incrementó la abundancia de los géneros *Bombus*, *Diadasia* y *Melitoma*, agentes con alta especialidad en polinización, aunque sus abundancias se ven disminuidas respecto al incremento de perturbación. Esto al contrario de *Macrotera* y *Eucera* que aumentan su abundancia con relación al aumento de perturbación y disminuyen con el aumento de temperatura y velocidad del viento (Fig. 13). Por otro lado, los géneros *Lasioglossum*, *Rhinostomus* y *Centris* incrementan su abundancia al aumento de la humedad contrario a *Carpophilus* y *Apis* que disminuyen su abundancia al incremento de la humedad, pero incrementa su abundancia con relación al incremento de la radiación. Al igual que en el sitio SJC, *Augochlora* no mostró una variación clara en abundancia respecto a la variación de las condiciones ambientales. Al aplicar el ACC para PPE en ambos sitios se encontró 44.66% y 10.90% (primer y segundo eje de ordenación). Los resultados mostraron que *Rhinostomus*, *Diadasia*, *Bombus*, *Centris* y *Melitoma* incrementaron su abundancia cuando la temperatura incrementa y disminuye con un aumento en la radiación solar. Mientras que *Macrotera*, *Augochlora*, y *Acmaeodera* incrementan sus abundancias con el aumento de la altitud y perturbación antropogénica (Fig. 14). *Agapostemon*, aumenta su abundancia con el aumento de la velocidad del viento, mientras que la disminución de la velocidad del

viento aumenta la abundancia de los géneros *Eucera*, *Lithurgopsis*, *Lasioglossum* y *Apis*.



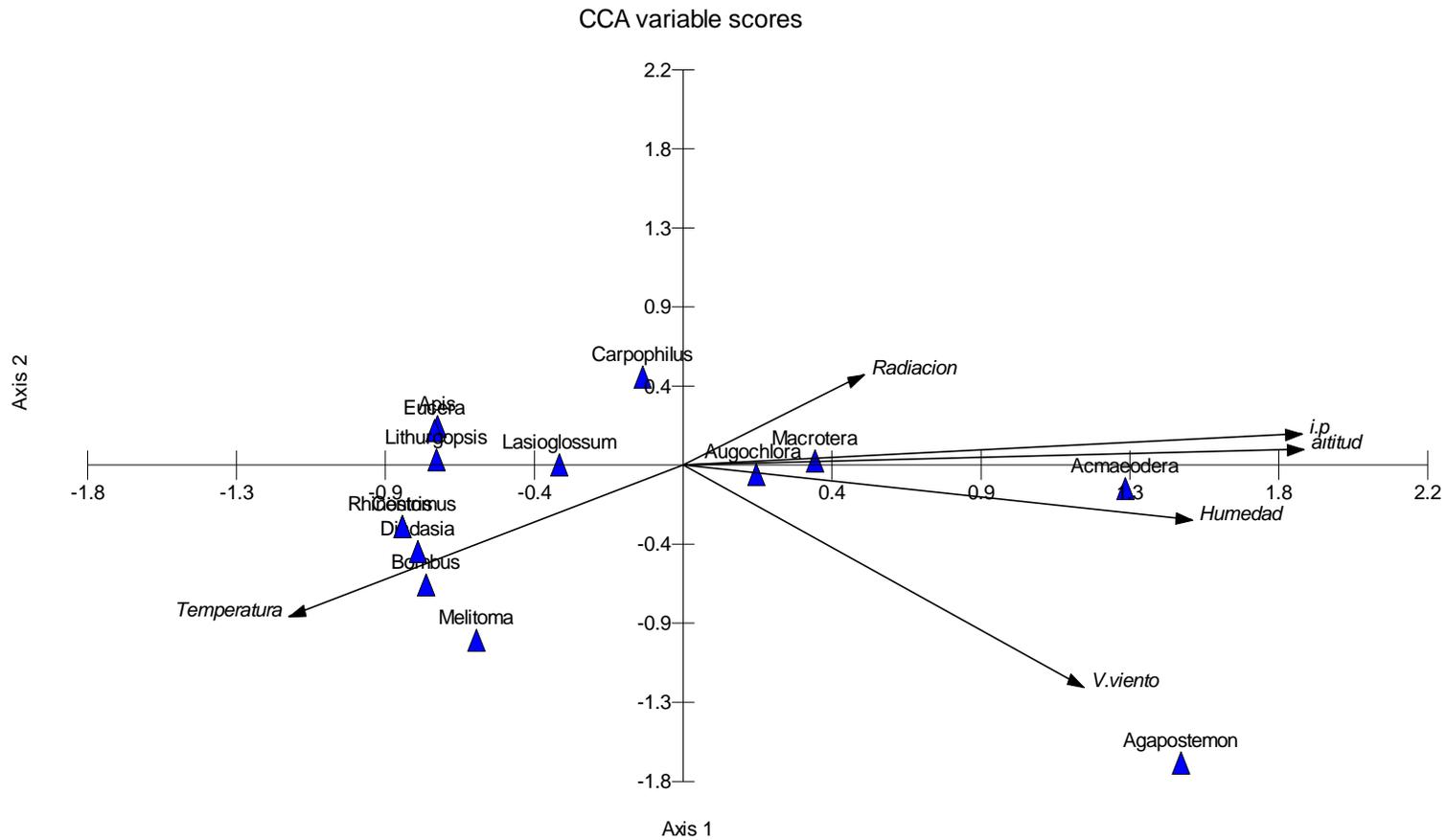
Vector scalina: 2.51

Fig. 12. Análisis Canónico de Correspondencia de los géneros de los posibles polinizadores efectivos (PPE) del sitio SJC (triángulos) respecto a las variables ambientales medidas (vectores) y al índice de perturbación (i.p)



Vector scalina: 1.74

Fig. 13. Análisis Canónico de Correspondencia de los géneros de los posibles polinizadores efectivos (PPE) del sitio TP (triángulos) respecto a las variables ambientales medidas (vectores) y al índice de perturbación (i.p)



Vector scalina: 1.91

La Fig. 14, es el ACC de los posibles polinizadores de SJC y TP y las condiciones físicas a las que estaban sometidas, los triángulos azules son los géneros identificados y las flechas negras son las variables ambientales.

## VIII. Discusión

### 8.1 Estructura de la población de *Echinocactus platyacanthus* e índice de perturbación.

La densidad poblacional de *E. platyacanthus* en TP fue de 0.50 l/m<sup>2</sup>, mientras en SJC fue de 0.016 l/m<sup>2</sup>. Los valores obtenidos en TP son muy similares a lo reportado por Eguiarte-Frums y Jiménez Sierra (2000) quienes reportan valores de 0.044 l/m<sup>2</sup> en un sitio de estudio ubicado a más de 700 km de distancia del nuestro. Sin embargo, en conjunto, nuestras dos poblaciones mostraron densidades bajas a pesar de que *E. platyacanthus* es una especie nativa y característica de la zona de estudio, cobrando mayor importancia en la temporada invernal debido a su tamaño, y a la pérdida de follaje de otros árboles en esa temporada (Eguiarte-Frums y Jiménez-Sierra, 2000). Respecto a la densidad de flores, Eguiarte-Frums y Jiménez-Sierra (2000) reportaron la cantidad promedio de 0.0075 flo/m<sup>2</sup>, un valor más bajo al encontrado en nuestros dos sitios, 0.012 flo/m<sup>2</sup> en SJC y 0.019 flo/m<sup>2</sup> en TP. Esto podría ser debido a la diferencia en el esfuerzo de muestreo, los autores anteriores muestrearon 200 m<sup>2</sup> y nosotros 4500 m<sup>2</sup>. Esto es muy importante ya que la estrategia de estos organismos es la antesis sincrónica para un mayor aprovechamiento de recursos e intercambio genético, ambos trabajos se realizaron en la misma fecha, finales de abril y principios de mayo.

La estructura de las poblaciones evaluadas mostró la mayor cantidad de individuos pertenecientes a la categoría de adultos dos (A2), siendo identificadas ambas poblaciones como regresivas, indicando que hay poco reclutamiento de juveniles en la zona, lo cual podría provocar un decremento poblacional importante a largo plazo. También se sabe que los individuos de *E. platyacanthus*, en categorías de adultos dos o menos, suelen tener una menor floración debido a que distribuyen sus recursos en diferentes periodos de tiempo, para asegurar mejor su éxito reproductivo a diferencia de los adultos categorizados de 3 o más que debido a su edad, tienen una mayor floración en todos los periodos, relacionado a una reserva

mayor de nutrientes, por lo que saber la categoría de edad de la población es importante, para determinar si el número de flores en antesis podría ser otro factor que interfiera en la diversidad y abundancia de los visitantes florales, Eguiarte-Fruns y Jiménez Sierra (2000).

Los resultados obtenidos en la categorización de estas poblaciones fueron diferentes a las dos poblaciones que reportaron Eguiarte-Fruns y Jiménez Sierra (2000) donde observaron que estas poblaciones se mantendrían estables, debido a un mayor número de reclutamiento juvenil, igual o mayor a 1, además de que las poblaciones están en áreas protegidas, a diferencia de las nuestras. De manera contraria, Castañeda-Romero *et al.*, (2016) estudiaron poblaciones en Hidalgo, y encontraron que sus dos poblaciones presentaron un estado regresivo como las nuestras, siendo las categorías A2 y A3 las de mayor presencia en ambos sitios. Ellos adjudican el decremento de sus poblaciones a la cercanía de poblados, indicando que no basta tener las poblaciones en sitios protegidos para tener poblaciones estables. Dado que la abundancia de flores puede afectar las abundancias y diversidad de los insectos visitantes (Haddad *et al.*, 2003; Kremen *et al.*, 2007), esto podría explicar por qué en nuestro estudio tenemos una abundancia mayor. Sin embargo, debido a que el único estudio similar al nuestro fue realizado por Jiménez-Sierra *et al.*, 2019, y no reportó la abundancia de visitantes florales, no es posible compararlos, solo podemos concluir que en ambos estudios el orden con mayor abundancia fue Hymenoptera.

## 8.2 Comunidad de visitantes florales

Para el sitio SJC se encontraron tres órdenes (Hymenoptera, Coleoptera y Diptera), ocho familias (Andrenidae, Formicidae, Halictidae, Buprestidae, Nitidulidae, Salpingidae, Scarabaeidae y Asilidae), compuestos por 13 géneros y 17 especies. En el sitio TP se encontraron tres órdenes (Hymenoptera, Coleoptera y Orthoptera), nueve familias (Andrenidae, Apidae, Halictidae, Megachilidae, Formicidae, Curculionidae, Nitidulidae, Salpingidae y Acrididae), 16 géneros y 21 especies.

Eguiarte-Fruns y Jiménez Sierra, (2000), reportaron ocho especies pertenecientes a siete familias (Megachillidae, Andrenidae, Halictidae, Scarabeidae, Cleridae, Acrididae y Formicidae); un número de familias muy similar al encontrado en nuestros sitios. Sin embargo, estos autores no reportaron abundancias. Asimismo, Trujillo-Argueta y Del Castillo (2013), reportaron dos familias pertenecientes a dos géneros (Melyridae y Nitidulidae), además de mencionar que se observó la presencia de algunas abejas de buen tamaño, pero son muy escasos los datos que recabaron y no es posible comparar con lo obtenido en este estudio. En un estudio más reciente Jiménez-Sierra *et al.*, (2019), reportaron a nivel de orden la presencia de Hymenoptera, Hemiptera, Coleoptera y Diptera, pero igual que los anteriores no se reporta la abundancia ni se hace una identificación a nivel de géneros. De este modo cabe señalar que nuestro proyecto ha sido el más completo hasta el momento, ya que llegamos a género en todos los organismos, algo que hasta el momento no se había hecho en los estudios previos que identificaron algunos organismos a nivel de especie, pero no el total de ellos. Por lo que la información obtenida es de suma importancia, principalmente en estos sitios de estudio. Nuestro sitio de estudio presentó la misma cantidad de órdenes de visitantes florales que Jiménez-Sierra *et al.*, (2019) indicando una posible similitud entre sitios pudiendo ser igual de ricos en especies, aunque es necesario que los demás estudios estén al mismo nivel de identificación para hacer una mejor comparación. Por último, en los cuatro estudios incluyendo el de nosotros, el orden Hymenoptera mostró la mayor abundancia, dando soporte a lo ya mencionado por Eguiarte y Scheinvar (2008), que la morfología de la flor tiene rasgos típicos de una especie melitófila, lo que podría explicar por qué en nuestro estudio también la abundancia de Hymenoptera fue alta.

En nuestro estudio, para SJC obtuvimos una riqueza verdadera de 17.00 especies, una diversidad alfa verdadera de 10.08 especies efectivas, siendo un coleóptero (*Acmaeodera quadrivittatoides*) el más abundante de este sitio, seguido por un himenóptero (*Myrmecocystus melliger*). Mientras para TP se obtuvo una riqueza específica de 21.00 especies, una diversidad alfa verdadera 16.6 especies efectivas siendo un coleóptero (*Carpophilus* sp1) la más abundante seguido por un

himenóptero (*Macrotera* sp2). Esto concuerda con lo reportado por Eguiarte y Scheinvar (2008), donde el orden más abundante sumando ambos sitios, fue Hymenoptera este podría ser también por el tipo de la morfología floral conocido como melitófila, es decir que la forma, tamaño y color de la flor atrae a himenópteros y estos son sus principales polinizadores (Eguiarte y Scheinvar, 2008).

Considerando las 38 especies que se colectaron en estos dos sitios podemos decir que la importancia ecológica de *E. platyacanthus* es muy alta, ya que las flores de esta planta fueron visitadas por un número alto de especies, por lo que estaría aportando muchos recursos a la comunidad de insectos en la zona de estudio. Al comparar estos datos con otras especies pertenecientes a la familia Cactaceae pudimos constatar que se ha reportado un menor número de insectos visitantes que lo encontrado en nuestro estudio. Por ejemplo, Valverde *et al.* (2015) reportaron para tres poblaciones de *Mammillaria pectinifera*, dos órdenes, siete familias y diez especies. Ramírez Freires *et al.* (2010), reportaron para una población de *Stenocactus multicosatus*, un total de 25 especies de visitantes, los cuales pertenecen a cuatro órdenes, 19 familias y 23 géneros; esto durante un periodo de muestreo mayor al nuestro: casi tres meses y medio. Así también, Martínez-Peralta y Mandujano (2012), identificaron los visitantes florales del género *Ariocarpus*, reportando 16 especies, distribuidas en cinco órdenes en conjunto de las siete especies de *Ariocarpus*. Si consideramos a futuro extender nuestro periodo de muestreo es muy probable que el número de visitantes se incremente, por lo que una revisión más exhaustiva al respecto mostraría claramente la importancia ecológica de *E. platyacanthus*.

### 8.3 Efecto de las variables ambientales y la perturbación sobre la comunidad de visitantes

Las variables ambientales mostraron ser significativamente diferentes entre ambos sitios de estudio, esto concuerda con el ACC, donde dichas variables afectaron de manera diferente a las especies de visitantes. Esto ya ha sido reportado en la

literatura en numerosos estudios, por ejemplo, Herrera (1995), Rozzi, Arroyo y Armesto (1997) y Rivas-Arancibia *et al.* (2015) han reportado que el cambio en las condiciones ambientales afecta los visitantes florales. Nuestros análisis de ACC mostraron que el incremento de la abundancia de *Acmaeodera* está relacionado al aumento de humedad, altitud y perturbación, tal como lo menciona Cavazón (2011), donde la humedad y perturbación pueden afectar la presencia de estos organismos, lo cual podría explicar por qué en nuestro estudio *Acmaeodera* fue registrado en solo uno de nuestros sitios. Por otro lado, Ramírez-Freire (2012) reportó que el aumento de *Agapostemon* estuvo presente en sitio perturbados, pero no considero más factores; en nuestro estudio a pesar de que ambos sitios tienen valores de perturbación similar, solo estuvo presente en uno de ellos.

El ACC mostró también que los polinizadores efectivos *Apis* y *Eucera* redujeron su abundancia con el incremento de la temperatura, y por el contrario *Centris*, *Diadasia* y *Melitoma* mostraron incremento de abundancias. Asimismo, *Apis* y *Eucera* fueron afectadas por el índice de perturbación, lo que coincide con lo reportado por Sánchez-Echeverría (2016) y Bosch, Vicens y Blas (1993) quienes además reportaron que *Diadasia* fue abundante en sitios perturbados. Este género también fue encontrado en nuestro estudio, lo cual no es de extrañar ya que nuestros sitios tienen niveles medios de perturbación.

Para el género *Bombus*, la temperatura y velocidad del viento fueron los factores que incrementaron su abundancia, lo cual coincide con lo reportado por Torres-Díaz *et al.* (2007), donde la temperatura y humedad también fueron factores para la presencia de este género, así como la perturbación, lo cual podría explicar que haya sido colectada en nuestros sitios. Por último, aunque en nuestro estudio la abundancia del género *Lithurgopsis* se asoció con un incremento de la humedad y la disminución de la velocidad del viento y radiación, Sánchez-Echeverría (2016) han reportado que también es un género que aumenta su abundancia con niveles intermedios de perturbación.

Por último, es importante resaltar que los PPE aumentaron su abundancia respecto al incremento de la temperatura, como se ha mencionado en otros trabajos (Renner,

1983; Vicens y Bosch, 2000; Stone y Jenkins, 2008), donde se ha reportado que las temperaturas entre los 24° y 33° son las idóneas para los polinizadores, además de que la mayoría ha sido reportada como tolerante a perturbaciones medias, como es el caso de nuestros sitios.

#### 8.4 Polinizadores potenciales efectivos (PPE)

En SJC se encontraron solo seis géneros que pueden cumplir o se ha reportado que son polinizadores, el género con mayor abundancia fue *Acmaeodera* (48%) que es considerado un polinizador regular según lo menciona Thomas *et al.*, (2002), que debido a su comportamiento dentro de la flor y al movimiento de una flor a otra flor llegan a ser buenos polinizadores. Aunque su principal actividad es su reproducción dentro de la flor. *Agapostemon* y *Augochlora* han sido considerados polinizadores eficientes para algunos grupos de cultivo como el jitomate, y llegan a tener buenos resultados en cactáceas (Tepedino *et al.*, 2010; Martínez-Peralta y Mandujano, 2012; Maqueda-Díaz y Callejas-Chavero, 2018; Nates Parra, 2016). Pero debido a su pequeño tamaño y su actividad poliléctica (no especializadas) se consideraron como polinizadores con un valor de dos, ya que a veces su comportamiento no llega a tener un éxito de polinización al nivel de un generalista como *Apis mellifera* o un especialista como *Diadasia* sp., ambos también encontrados en nuestros sitios de estudio.

En TP se reportaron 12 géneros que pueden estar cumpliendo como polinizadores según la literatura, dentro de los más importantes encontramos a tres géneros (*Diadasia*, *Eucera* y *Lithurgopsis*) con un nivel de cuatro y reportados en la literatura como especialistas de la familia cactácea (Blair y Williamson, 2008; y Tepedino *et al.*, 2010; Martínez-Peralta y Mandujano, 2012; Martínez-Adriano *et al.*, 2015; Wilson y Carril; 2015; Cardeño Londoño y Rodríguez Herrera, 2020) y otros cuatro géneros (*Centris*, *Apis*, *Bombus* y *Melitoma*) en nivel tres, ya que al ser generalistas y de gran tamaño logran ser unos polinizadores muy efectivos. No obstante, la cruz de polen entre diferentes especies baja su eficacia, y además presentan gran

desplazamiento (Rivas-Arancibia *et al.*, 2015; Anna-Aguayo *et al.*, 2017; Agüero *et al.*, 2018).

Blair y Williamson (2008) trabajaron con *Astrophytum asterias*, e identificaron que el polinizador más efectivo fue *Diadasia* considerándolo como el más importante de los visitantes. Así también, Martínez-Adriano *et al.* (2015), trabajando con *Astrophytum myriostigma*, Cardeño Londoño y Rodríguez Herrera (2020) con el género *Opuntia*, Martínez-Peralta y Mandujano (2012) con *Ariocarpus* han identificado al género *Diadasia* como de los principales polinizadores de varias especies por lo que este género de Hymenoptera ha sido considerado como muy importante en la polinización de muchas especies de cactáceas. Razón por la cual se consideró como nivel cuatro a *Diadasia* en este trabajo. Igualmente, *Eucera* forma parte de este nivel por ser considerado por algunos autores como especialista, además de ser nativa y estar presente en algunas otras cactáceas como se menciona por Wilson y Carril (2015) y Tepedino *et al.* (2010). Por el contrario, *Centris*, *Apis*, *Bombus* y *Melitoma*, son géneros que, a pesar de ser polinizadores de cactáceas, se ha reportado que presentan un número de visitas muy bajo (Martínez-Adriano *et al.*, 2015; Blair y Williamson, 2008; Cardeño Londoño y Rodríguez Herrera, 2020 y Wilson y Carril, 2016), con excepción de *Apis mellifera* que es una especie invasora y suele desplazar a las nativas (Agüero *et al.*, 2018), además de ser más tolerante a la perturbación (Rivas-Arancibia *et al.*, 2015). Por último, Anna-Aguayo *et al.* (2017) reportaron al género *Lithurgopsis*, considerado nivel cuatro en este estudio, como otro especialista de la familia Cactaceae, además de que al hacer una comparación en la cantidad de flores que llegan a visitar con relación a las que visitan *Apis mellifera*, resultó que las visitas de la especies nativas y especialistas del género *Lithurgopsis* fue mayor que el de *Apis mellifera*.

## IX. Conclusiones

- De las dos poblaciones de *E. platyacanthus* que se evaluaron, ambas se encuentran en regresión; esto indica un nulo reclutamiento de juveniles, provocando en un futuro la posible extinción local de esta especie. Por lo que conocer a los posibles polinizadores efectivos de las poblaciones resulta de suma importancia, ya que esto podría ayudar a la recuperación de las poblaciones si en un momento se planean proyectos de restauración.
- El índice de perturbación se clasificó como un nivel medio para ambos sitios, por lo que las diferencias, entre ambos sitios, de abundancia o presencia ausencia de las especies no pueden explicarse por diferencias en la perturbación antropogénica. Aunque el monitoreo a futuro del cambio en la perturbación en ambos sitios podría ser importante para la conservación de estas poblaciones de *E. platyacanthus*. Sin embargo, las variables ambientales mostraron ser significativamente diferentes entre los sitios, por lo que las poblaciones se encuentran sujetas a distintas condiciones, por lo cual la presencia de visitantes florales, riqueza, diversidad y abundancia podrían verse afectada de distintas formas en cada sitio, tal como lo muestran los análisis de ACC. Así también, la presencia del género *Acmaeodera* en solo un sitio, aun cuando los dos tienen perturbación media, indica que son otras las variables que están afectando a las especies de este género y que la variación ambiental entre ambos sitios puede ser fundamental en la presencia o ausencia de polinizadores efectivos.
- Los valores de diversidad obtenidos en ambos sitios indican una diversidad mayor comparada con otras especies pertenecientes a la misma familia, pero similar a la variedad de ordenes ya reportados en otros trabajos de esta misma planta, indicando la importancia ecológica que tiene esta especie en estos tipos de climas.

- Se concluyó que, a pesar de que los sitios se encontraban relativamente cercanos, la composición faunística de los visitantes florales fue significativamente diferente entre ambos; lo que resulta importante pues amplía aún más la posibilidad que tiene *E. platyacanthus* de establecer interacciones diferentes con numerosas especies de insectos, muchos de ellos potenciales polinizadores, aumentando también su posibilidad de sobrevivencia en diferentes condiciones ambientales.
- Por último, se concluye que los PPE que están presentes en SJC son pocos, lo que pondría en riesgo el éxito reproductivo de *E. platyacanthus* en este sitio y por tanto su permanencia a futuro. A diferencia del sitio TP, donde los polinizadores especialistas son más numerosos. No obstante, se recomienda hacer un análisis exhaustivo de los tres meses de floración que se tiene reportado en ambos sitios para conocer si hay más visitantes que tal vez no pudieron ser colectados en este estudio, ya que el número de PPE podría cambiar.

## X. Bibliografía

- Agüero, J. I., Rollin, O., Torretta, J. P., Aizen, M. A., Requier, F., y Garibaldi, L. A. (2018). Impactos de la abeja melífera sobre plantas y abejas silvestres en hábitats naturales. *Ecosistemas*: 27(2); 60-69.
- Aizen, M. A., y Feinsinger, P. (1994). Fragmentación del hábitat, polinizadores de insectos nativos y abejas silvestres en el "Chaco Serrano" argentino. *Aplicaciones ecológicas*: 4(2); 378–392.
- Alves-dos-Santos, I., da Silva. C. I., Pinheiro, M., y Peixoto, A. M. (2016). Quando um visitante floral é um polinizador? *Rodriguésia*: 67(2); 295-307.
- Anna-Aguayo, A. I. S., Schaffner, C. M., Golubov, J., López-Portillo, J., García-Franco, J., Herrera-Meza, G., y Martínez, A. J. (2017). Repertorios de comportamiento e interacciones entre *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) y la abeja nativa *Lithurgus littoralis* (Hymenoptera: Megachilidae) en flores de *Opuntia huajuapensis* (Cactaceae) en el desierto de Tehuacán. *Entomólogo de Florida*: 100(2); 396–402.
- Aranda, D. P., Arias-Montes, S., Guzmán-Cruz, U., Olalde-Parra, G., y Arreola-Nava, J. H. (2001). Lista taxonómica de Cactaceae en México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. Q045. México D. F.
- Arnold, A. E., y Asquith, N. M. (2002). Herbivory in a fragmented tropical forest: patterns from islands at Lago Gatun, Panama. *Biodiversity y Conservation*: 11(9); 1663-1680.
- Begon, M., Klassovskiy, N., Ageyev, V., Suleimenov, B., Atshabar, B., y Bennett, M. (2006). Epizootiologic parameters for plague in Kazakhstan. *Emerging infectious diseases*: 12(2); 268.
- Benitez-Malvido, J., García-Guzmán, G., y Kossmann-Ferraz, I. D. (1999). Leaf-fungal incidence and herbivory on tree seedlings in tropical rainforest fragments: an experimental study. *Biological conservation*: 91(2-3); 143-150.
- Blair, A. W., y Williamson, P. S. (2008). Effectiveness and importance of pollinators to the star cactus (*Astrophytum asterias*). *The Southwestern Naturalist*: 53 (4); 423-430.
- Borror, D. J., y White, R. E. (1998). A Field Guide to Insects (Peterson Field Guides).

- Bosch, J., Vicens, N., y Blas, M. (1993). Análisis de los nidos de algunos Megachilidae nidificantes en cavidades preestablecidas (Hymenoptera, Apoidea). *Orsis: organismes i sistemes*: 53-63.
- Bravo-Hollis, H. (1978). *Las Cactáceas de México*. México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- Bravo-Hollis, H., y Sánchez-Mejorada, H. (1991). *Las cactáceas de México*. Tomo II. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Brower J. E. y Zar J. H. 1979. *Field and laboratory methods for general ecology*. Wm. C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa.
- Caldentey, J., Promis, A., Schmidt, H. e Ibarra, M. (1999). Variación microclimática causada por una corta de protección en un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*). *Ciencias Forestales*: 14 (1-2); 51-59.
- Calderón-Patrón, J. M., Moreno, C. E., y Zuria, I. (2012). La diversidad beta: medio siglo de avances. *Revista mexicana de biodiversidad*: 83(3); 879-891.
- Callaway, R. M., y Walker, L. R. (1997). Competencia y facilitación: un enfoque sintético de las interacciones en las comunidades vegetales. *Ecology*: 78(7); 1958-1965.
- Cardeño Londoño, E., y Rodríguez Herrera, M. P. (2020). Biología reproductiva de tres especies vulnerables *Mammillaria columbiana*, *Opuntia pittieri* y *Opuntia ficus-indica* Cactaceae en Boyacá, Colombia.
- Carrillo-Angeles, I. G. (2005). Distribución y estatus de conservación de *Ferocactus robustus* (Pfeiff.) Britton y Rose. *Cact Suc Mex*: 50; 36-55.
- Castañeda-Romero, M., Luna-Contreras, M., Vela-Godínez, D., Montoya-Santiago, G., González-Bermúdez, A., Peña, R., y Esperón-Rodríguez, M. (2016). Note on the population structure of *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) in the biosphere reserve “Barranca de Metztitlán”, Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana*: 115 (1); 65–73.
- CONABIO. (2019). Biodiversidad mexicana: enciclovida. Cd.Mx. México. Recuperado de [enciclovida.mx/explora-por-region](http://enciclovida.mx/explora-por-region).
- Córdova-Acosta, E., Zavala-Hurtado, J. A., Golubov, J., y Casas, A. (2017). Reproductive biology of *Ferocactus recurvus* (Mill.) Borg subsp. *recurvus* (Cactaceae) in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Plant Biology*: 19(5); 798-805.

- Dar, S., Arizmendi, M. C., y Valiente-Banuet, A. (2006). Diurnal and Nocturnal Pollination of *Marginatocereus marginatus* (Pachycereae: Cactaceae) in Central Mexico. *Annals of Botany*: 97; 423–427.
- Dáttilo, W., y Rico-Gray, V. (2018). *Ecological Networks in the Tropics: An integrative Overview of Species Interactions from Some of the Most Species-Rich Habitats on Earth*: Veracruz. México. Springer International Publishing.
- Del Castillo, R. F., y Trujillo, S. (1991). Ethnobotany of *Ferocactus histrix* and *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) in the Semiarid Central México: Past, Present and Future. *Economic Botany*: 45(4); 495-502.
- Del Val, E., y Boege, K. (2012). Ecología y evolución de las interacciones bióticas. *Revista de Biología Tropical*: 63 (1); 313-317.
- Duval, V. S., y Campo, A. M. (2016). Variaciones microclimáticas en el interior y exterior del bosque de caldén (*Prosopis caldenia*), Argentina. *Revista Colombiana de Geografía*: 26(1); 37-49.
- Eguiarte, L., y Scheinvar, E. (2008). *Agaves y Cactáceas de Metztlán: Ecología, Evolución y Conservación*. Semarnat-Conacyt C01-0246. México D. F.
- Eguiarte-Frutos, L. E., y Jiménez-Sierra, C. (2000). Análisis de la distribución y estructura de las poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* Link et Otto, en el Valle de Zapotitlán, Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. L009. México D. F.
- Elzinga, J.A., Atlan, A., Biere, A., Gigord, L., Weis, A.E., y Bernasconi, G. (2007). Una y otra vez: fenología de floración e interacciones bióticas. *Tendencias en ecología y evolución*: 22 (8); 432–439.
- Evenhuis, N. L. (1983). Observations on territoriality of *Oligodranes mitis* Cresson (Diptera: Bombyliidae) on flowers of *Erigeron neomexicanus* (Asteraceae). *Entomological News*: 94;25-28.
- García de Miranda, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) (No. QC 981. G37 1973).

- García M., E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta edición. Enriqueta García de Miranda. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- Gardarin, A., Plantegenest, M., Bischoff, A., y Valantin-Morison, M. (2018). Understanding plant–arthropod interactions in multitrophic communities to improve conservation biological control: useful traits and metrics. *Journal of Pest Science*: 91(3); 943–955.
- Gibson, A.C., y Nobel, P.S. (1986). *The cactus primer*. Cambridge, Massachusetts, Harvard University press.
- Gilbert, L. E. (1980). *Food web organization and conservation of neotropical diversity. Conservation biology: an evolutionary-ecological perspective*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA.
- González-Céspedes, C., Flores-Prado, L., y Chiappa, E. (2019). Actividad de visita de abejas nativas (Hymenoptera: Apoidea) hacia *Loasa tricolor* Ker-Gawl. (Loasaceae) en relación con temperatura ambiental y recursos florales. *Revista Chilena de Entomología*: 45(3); 451-462.
- Guzmán, U., Arias, S., y Dávila, P. (2003). *Catálogo de Cactáceas Mexicanas*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D. F.
- Haddad, NM, Bowne, DR, Cunningham, A., Danielson, BJ, Levey, DJ, Sargent, S. y Spira, T. (2003). Uso del corredor por diversos taxones. *Ecología*: 84 (3); 609-615.
- Hammer, O., Harper, D. A. T., y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*: 4(1); 9.
- Hegland, S. J., Van Leeuwen, M., y Oostermeijer\*, J. G. B. (2001). Population structure of *Salvia pratensis* in relation to vegetation and management of Dutch dry floodplain grasslands. *Journal of applied Ecology*: 38(6); 1277-1289.
- Hernández, H., y Godínez, H. (1994). Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botanica Mexicana*: 26; 33-52.
- Herrera, C.M. (1995). Microclimate and individual variation in pollinators: flowering plants are more than their flowers. *Ecology* 76, 1516-1524.
- Howe, H. F. (1984). Constraints on the evolution of mutualisms. *The American Naturalist*. 123(6); 764-777.

- Hyndman, R. J. (1995). The problem with Sturges' rule for constructing histograms. Monash University: 1-2.
- Islas-Barrios, Y., Serrato-Díaz, A., Zavala-Hurtado, J. A., Octavio-Aguilar, P., Callejas-Chavero, A., y Cornejo-Romero, A. (2021). Las flores de *Myrtillocactus geometrizans* (Cactaceae): morfología y artrópodos visitantes en un gradiente geográfico. *Botanical Sciences*: 99(1); 28-42.
- Jiménez-Sierra, C. L. (2008). Estudios sobre la biología y demografía de *Echinomastus platyacanthus* Link et Otto, en Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Jiménez-Sierra, C. L. (2011). Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria*: 12(1); 3-23.
- Jiménez-Sierra, C. L., González-Adán, M. A., Vázquez-Sánchez, K., Salinas-Moreno, E., Lara-Ceballos, A. M., y Sánchez-Lozano, L. E. (2019). Flores de *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto y sus visitantes. In: Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., y Martínez-Ávalos, J.G. (Eds.). *Avances Internacionales de Cactáceas y Suculentas. Manejo y Conservación ante el Cambio Global*. Cinvestav, México: 22-26.
- Jiménez-Sierra, C. L., y Eguiarte, L. E. (2010). Candy Barrel Cactus (*Echinocactus platyacanthus* Link y Otto): A Traditional Plant Resource in México Subject to Uncontrolled Extraction and Browsing. *Economic Botany*: 64(2); 99-108.
- Jiménez-Sierra, C. L., y Torres-Orozco, R. (2003). Estado actual de las poblaciones de la biznaga dulce *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) en el SE de Puebla. *ContactoS*: 47; 28-34.
- Jiménez-Sierra, C., Mandujano, M. C., y Eguiarte, L. E. (2007). ¿Están en riesgo las poblaciones del cactus barril de caramelo (*Echinocactus platyacanthus*) en el desierto de Tehuacán, México? Análisis de respuesta de matriz de proyección de población y tabla de vida. *Conservación biológica*: 135 (2); 278-292.
- Jiménez-Sierra, C., y Reyes, J. (2000). *Las Cactáceas de Metztitlán*, in: M.A. Armella, L. Yáñez, and M.E. Sandoval (Eds.), *Metztitlán: Lugar de la luna y las maravillas*. SEMARNAP-UAM, México, 46-82.

- Jiménez-Sierra, C., y Reyes, J. S. (2003). *Las Cactáceas de la Barranca de Metztitlán. Metztitlán: Lugar de la Luna y de las Maravillas*. Universidad Autónoma Metropolitana. Cd. De México; 53-77.
- Johnson, S. D., y Dafni, A. (1998). Response of bee-flies to the shape and pattern of model flowers: implications for floral evolution in a Mediterranean herb. *Functional Ecology*: 12(2); 289-297.
- Kevan, P. G., y Baker, H. G. (1983). Insectos como visitantes de flores y polinizadores. *Revisión anual de entomología*: 28 (1); 407–453.
- Kremen, C., Williams, NM, Aizen, MA, Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., ... y Ricketts, TH (2007). Polinización y otros servicios ecosistémicos producidos por organismos móviles: un marco conceptual para los efectos del cambio de uso de la tierra. *Cartas de ecología*: 10 (4); 299-314.
- Larson, L., y Foote, B. A. (1997). Biology of four species of *Notiphila Fallén* (Diptera: Ephydriidae) associated with the yellow water lily, *Nuphar luteum* (Nymphaeaceae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*: 99; 541-559.
- Latif, A., Iqbal, N., Ejaz, M., Malik, S. A., Saeed, S., Gulshan, A. B., y Alvi, A. M. (2016). Pollination biology of *Callistemon viminalis* (Sol. Ex Gaertn.) G. Don (Myrtaceae), Punjab, Pakistan. *J. Asia-Pac. Entomol*: 19; 467–471.
- Lemus-Jiménez, L. J., y Ramírez, N. (2003). Polinización y polinizadores en la vegetación de la planicie costera de Paraguana, Estado Falcon, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*: 54; 97-114.
- Loayza, A., y Ríos, R. A. (1999). Características del néctar y visitas de insectos a flores de *Nicotiana glauca* L. (Solanaceae): ¿Asociadas a cambios de la temperatura y humedad del ambiente? *Ecología en Bolivia*: 33; 51-61.
- Mackay, W. P., y Mackay, E. (1989). Clave de los géneros de hormigas en México (Hymenoptera: Formicidae). In Memorias del II simposio nacional de insectos sociales (pp. 1-82). Oaxtepec: *Sociedad Mexicana de Entomología*.
- Maier, C. T., y Waldbauer, G. P. (1979). Dual mate-seeking strategies in male syrphid flies (Diptera: Syrphidae). *Annals of the Entomological Society of America*: 72; 54-61.

- Márquez-Díaz, E., y Callejas-Chavero, A. (2018). Riqueza y Composición de Artrópodos Asociados a las flores de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) Console, 1897 en Huichapan, Hidalgo. *Entomología mexicana*: 5; 267-273.
- Martínez-Adriano, C. A., Romero-Méndez, U., Flores, J., Jurado, E., y Estrada-Castillo, E. (2015). Floral Visitors of *Astrophytum myriostigma* in La Sierra El Sarnoso, Durango, Mexico. *The Southwestern Naturalist*: 60(2-3); 158-165.
- Martínez-Avalos, J. G., Mandujano, M. C., Golubov, J., Soto, M., y Verhulst, J. (2004). Análisis del método de evaluación de riesgo (MER) del "falso peyote" (*Astrophytum asterias* (Zucc) Lem.) en México. *Cactaceas y Suculentas Mexicanas*: 49; 118-127.
- Martínez-Peralta, C., y Mandujano, M. C. (2011). Reproductive ecology of the endangered living rock cactus, *Ariocarpus fissuratus* (Cactaceae) 1. *The Journal of the Torrey Botanical Society*: 138(2); 145-155.
- Martínez-Peralta, C., y Mandujano, M. C. (2012). Biología de la polinización y fenología reproductiva del género *Ariocarpus* Scheidweiler (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*: 57(4); 114-127.
- Martínez-Peralta, C., y Mandujano, M. C. (2016). Pollen limitation in a rare cactus with synchronous mass flowering. *Haseltonia*: 2016(22); 2-8.
- Martinson, H. M., y Fagan, W. F. (2014). Trophic disruption: A meta-analysis of how habitat fragmentation affects resource consumption in terrestrial arthropod systems. *Ecology letters*: 17(9); 1178-1189.
- Martorell, C., y Peters, E. M. (2005). The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation*: 124; 199-207.
- Martorell, C., y Peters, E.M. (2008). Disturbance-Response Analysis: A Method for Rapid Assessment of the Threat to Species in Disturbed Areas. *Conservation Biology*: 23(2): 377-387.
- Matías-Palafox, M. L., y Jiménez-Sierra, C. (2006). Análisis del riesgo de extinción (Mer) de las poblaciones de una cactácea endémica de la barranca de Metztlán. In IX Congreso Latinoamericano de Botánica, en Santo Domingo, República Dominicana: Vol. 18.
- Minitab, LLC. (2021). Minitab. Retrieved from <https://www.minitab.com>.

- Mittelbach, G. G. (2012). *Community ecology*. Sunderland: Sinauer Associates is an imprint of Oxford University.
- Moncayo-Riascos, M. C. y Gálvez-Cerón, A. (2018). Islas de fertilidad: una revisión sistemática de su estructura y operación. *Idesia (Arica)*: 36(1); 115-122.
- Morales-Trejo, J. J., Sandoval-Ruiz, C. A., Fascinetto-Zago, P., Cruzado-Lima, A. L., y Vázquez-Hernández, C. (2014). Abundancia y diversidad de visitantes florales de *Opuntia pilífera* en Zapotitlán Salinas, Puebla. *Entomología Mexicana*: 1; 1144-1148.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84(922495), 2.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., y Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista mexicana de biodiversidad*: 82(4): 1249-1261.
- Nates Parra, G. (2016). Iniciativa Colombiana de Polinizadores Capítulo Abejas.
- Ohashi, D. V., y Urdampilleta, J. D. (2003). Interacción entre insectos perjudiciales y benéficos en el cultivo de tabaco de Misiones, Argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*:32(2); 113-124.
- Ollerton, J. (2017). Pollinator diversity: distribution, ecological, function, and conservation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*: 48; 353-376.
- Orendain-Méndez, J., Navarrete-Jiménez, A., Herrera-Fuentes, M. C., Zavala-Hurtado, J. A., y Monserrat-Jiménez, M. J. (2016). Artrópodos asociados a calehuales de *Lemaireocereus hollianus* (FAC Weber ex JM Coult.) Britton and Rose (Cactaceae) del Valle de Zapotitlán. *Entomología Mexicana*: 3; 570-575.
- Ortíz, F., Stoner, K. E., Perez-Negron, E., y Casas, A. (2010). Pollination biology of *Myrtillocactus schenckii* (Cactaceae) in wild and managed populations of the Tehuacán Valley, México. *Journal of Arid Environments*: 74(8); 897-904.
- Parra-Tabla, V. (2015). Ecología y evolución de las interacciones bióticas del Val E. y Boege K. 2012. *Revista de Biología Tropical*. 63(1); 313-317.
- Pérez-Contreras, T. (1999). La especialización en los insectos fitófagos: Una regla más que una excepción. *Bol. S.E.A*: 26; 759-7766.

- Piña, H., y Flores-Martínez, A. (2012). Demografía floral de *Ferocactus robustus*. *Cact. Suc. Mex.* 57(2); 36-46.
- Ramírez-Freire, L., Alanís, G. J., Alvarado, M. A., Quiroz, H., y Velazco, C.G. (2010). Polinización de *Stenocactus multicosatus* (Hildmann ex K. Schumann) A. Berger en el municipio de García, N. L.: 13(2); 184-190.
- Ramírez-Freire, L., Alanís-Flores, G. J., Ayala-Barajas, R., Quiroz-Martínez, H., y Velazco-Macías, C. G. (2012). Bees of the genus *Agapostemon* (Hymenoptera: Halictidae) of the state of Nuevo León, Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(1), 63-70.
- Renner, S. (1983). La ocurrencia generalizada de destrucción de anteras por abejas *Trigona* en *Melastomataceae*. *Biotrópica*: 251-256.
- Rivas-Arancibia, S. P., Bello-Cervantes, E., Carillo-Ruiz, H., Andrés-Hernández, A. R., Figueroa-Castro, D. M., y Guzmán-Jiménez, S. (2015). Community of floral Visitors variations of *Bursera copallifera* (Burseraceae) through an anthropogenic disturbance gradient. *Revista Mexicana de Biodiversidad*: 86(1); 178-187.
- Rocha Domínguez, L. (1995). Estudio poblacional del falso peyote *Astrophytum asterias* (Zucc.) Lem.(Cactaceae) en una fracción del matorral espinoso tamaulipeco en Villagrán, Tamaulipas (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Roubik, D. W., Moreno, J. E., Vergara, C., y Wittman, D. (1986). Sporadic food competition with the African honey bee: projected impact on neotropical social bees. *Journal of Tropical Ecology*: 2; 97-111.
- Rozzi, R., Arroyo, M.T. y Armesto, J.J. (1997). Ecological factors affecting gene flow between populations of *Anarthrophyllum cumingii* (Papilionaceae) growing on equatorial-and polarfacing slopes in the Andes of central Chile. *Plant Ecology*: 132;171-179.
- Ruiz, A., Santos, M., Soriano, P. J., Cavelier, J., y Cadena, A. (1997). Relaciones mutualistas entre el murciélago *Glossophaga longirostris* y las cactaceas columnares en la zona arida de la Tatacoa, Colombia. *BIOTROPICA*: 29 (4); 469-479.
- Sánchez-Echeverría, K., Castellanos, I., y Mendoza-Cuenca, L. (2016). Abejas visitantes florales de *Opuntia heliabravoana* en un gradiente de urbanización. *Biológicas*: 18; 27-34.

- Schemske, D. W., Mittelbach, G. G., Cornell, H. V., Sobel, J. M., y Roy, K. (2009). Is there a latitudinal gradient in the importance of biotic interactions? *Annual Review Ecology, Evolution, and Systematics*: 40(1); 245–269
- Schlindwein, C. y Wittmann, D. (1995). Abejas solitarias especializadas como polinizadores efectivos de especies del sur de Brasil de *Notocactus* y *Gymnocalycium* (Cactaceae). *Bradleya*, 1995: (13); 25-34.
- Schlumpberger, B. O., y Badano, E. I. (2005). Diversity of floral visitors to *Echinopsis atacamensis* subsp. pasacana (Cactaceae). *Haseltonia*, 2005: (11); 18-26.
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental– Especies nativas de México de flora y fauna silvestres– Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio– Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 30 diciembre, 2010.
- Stone, J. L., y Jenkins, E. G. (2008). Pollinator abundance and pollen limitation of a solanaceous shrub at premontane and lower montane sites. *Biotropica*: 40(1); 55-61.
- Sutyemez, M., (2011). Pollen quality, quantity and fruit set of some self-compatible and self-incompatible cherry cultivars with artificial pollination. *African Journal Biotechnolgy*: 10; 3380–3386.
- Tado, J. A., Octavio-Aguilar, P., Callejas-Chavero, A., y Cornejo-Romero, A. (2021). Las flores de *Myrtillocactus geometrizans* (Cactaceae): morfología y artrópodos visitantes en un gradiente geográfico. *Botanical Sciences*: 99(1); 28-42.
- Tarango-Arámbula, L. A. (2005). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiaridas de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*: 4(2); 17-21.
- Tepedino, V. J., Griswold, T. L. y Bowlin, W. R., (2010). Biología reproductiva, hibridación y visitantes de flores de taxones raros de *Sclerocactus* en la cuenca Uintah de Utah. *Naturalista norteamericano occidental*: 70 (3); 377-386.
- Terborgh, J. (1986). Keystone plant resources in the tropical forest. *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Thomas, M. C., Skelley, P. E., y Frank, J. H. (Eds.). (2002). American Beetles, Volume II: Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea (Vol. 2). CRC Press.

- Thompson, J. N. (1999). The evolution of species interactions. *Science*: 284; 2116–2118
- Torres-Díaz, C., Cavieres, I. A., Muñoz-Ramírez, C., y Arroyo, M. T. K. (2007). Consecuencias de las variaciones microclimáticas sobre la visita de insectos polinizadores en dos especies de *Chaetanthera* (Asteraceae) en los andes de Chile central. *Revista chilena de historia natural*: 80(4); 455-468.
- Trujillo, A. S. (1982). Estudio sobre algunos aspectos ecológicos de *Echinocactus platyacanthus* Lk. y *O.* en el estado de San Luis Potosí. (Tesis licenciatura). FES Iztacala UNAM.
- Trujillo, A. S. (1984). Distribución geográfica y ecológica de *Echinocactus platyacanthus*, un ejemplo de distribución disyunta. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*: 39(4); 75-80.
- Trujillo-Argueta, S., y del Castillo, R. F. (2013). Fenología reproductiva de *Echinocactus platyacanthus* una biznaga común de las zonas semiáridas de México: 74-86.
- Tylianakis, J. M., Didham, R. K., Bascompte, J., y Wardle, D. A. (2008). Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*: 11; 1351–1363.
- Valiente-Banuet, A., Arizmendi, MDC, Rojas-Martínez, A., y Domínguez-Canseco, L. (1996). Relaciones ecológicas entre cactus columnares y murciélagos que se alimentan de néctar en México. *Revista de Ecología Tropical*: 12 (01); 103-119.
- Valverde, P. L., Jiménez-Sierra, C., López-Ortega, G., Zavala-Hurtado, J. A., Rivas-Arancibia, S., Rendón-Aguilar, B., Pérez-Hernández, M. A., Cornejo-Romero, A., y Carrillo-Ruiz, H. (2015). Floral morphometry, anthesis, and pollination success of *Mammillaria pectinifera* (Cactaceae), a rare and threatened endemic species of Central Mexico. *Journal of Arid Environments*: 116; 29-32.
- Valverde, P. L., y Zavala-Hurtado, J. A. (2006). Evaluación del estado ecológico de *Mammillaria pectinifera* Weber (Cactaceae), una especie rara y amenazada endémica de la región de Tehuacán-Cuicatlán en el centro de México. *Revista de entornos áridos*: 64 (2); 193-208.
- Vásquez-Espinoza, C. B. (2019). Diversidad de recursos florales como predictores de la diversidad de insectos polinizadores en un ecosistema Altoandino en el sur del Ecuador (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Vellend, M. (2016). *The theory of ecological communities*. Oxford: Princeton University Press.

- Vicens, N. y Bosch, J. (2000). Actividad polinizadora dependiente del clima en un huerto de manzanos, con especial referencia a *Osmia cornuta* y *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae y Apidae). *Entomología ambiental*: 29 (3); 413-420.
- Waldbauer, G.P., y Ghent, A. W. (1984). Flower associations and mating behavior or its absence at blossoms by *Spilomyia* spp. (Diptera: Syrphidae). *Great Lakes Entomologist*. 17; 13-16.
- 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).
- Wilson, J. S., y Carril, O. M. (2015). The bees in your backyard. In *The Bees in Your Backyard*. Princeton University Press.
- Woodcock, T.S., Larson, B. M. H., Kevan, P. G., Inouye, D. W., y Lunau, K. (2014). Flies and flowers II: floral attractants and rewards. *Journal of Pollination Ecology*: 12(8); 63-94.