



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**DIVERSIDAD FUNCIONAL DE
INSECTOS FITÓFAGOS Y BENÉFICOS EN UN
GRADIENTE DE PERTURBACIÓN**

TESIS VERSIÓN REPOSITORIO

Que presenta:

Víctor Manuel Caballero Chan

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical

Directora de tesis:

Dra. Alejandra González Moreno

Conkal, Yucatán, México

Diciembre, 2024



TecNM



Conkal, Yucatán, México a 12 de diciembre de 2024.

El comité de tesis del candidato a grado: Víctor Manuel Caballero Chan, constituido por los CC. Dra. Alejandra del Socorro González Moreno, Dr. Carlos Juan Alvarado López, y Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **DIVERSIDAD FUNCIONAL DE INSECTOS FITÓFAGOS Y BENÉFICOS EN UN GRADIENTE DE PERTURBACIÓN**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dra. Alejandra del Socorro González Moreno
Directora de Tesis

Dr. Carlos Juan Alvarado López
Asesor de Tesis

Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez
Asesor de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 12 de diciembre de 2024.

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Víctor Manuel Caballero Chan

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el valioso apoyo proporcionado con la beca de manutención y el servicio médico; así como al Tecnológico Nacional de México, a través del Instituto Tecnológico de Conkal, por su significativa contribución a mi formación académica y el respaldo brindado para cumplir con las retribuciones sociales correspondientes, evidenciando un firme compromiso con la comunicación, la colaboración y el impacto positivo en la sociedad mexicana. Expreso también mi gratitud al financiamiento del proyecto “Huertos familiares y conservación de la diversidad de entomofauna benéfica” (Clave: 20070.24-P), cuyo sustento en las etapas finales resultó fundamental para la divulgación de esta investigación.

Agradezco a la Dra. Alejandra del Socorro González Moreno por aceptar ser mi directora de tesis y por acompañarme a lo largo de este proceso de transformación y aprendizaje, ya que su apoyo incondicional me permitió crecer tanto en el ámbito profesional como en el personal, demostrando una paciencia y confianza excepcionales, además de una amistad genuina que hemos forjado, convirtiéndose para mí en un modelo a seguir y una fuente constante de inspiración para descubrir nuevos horizontes, pues su motivación y orientación hicieron de estos años una experiencia invaluable que valoro plenamente, con la expectativa de seguir colaborando y fortaleciendo nuestra amistad en el porvenir. Asimismo, agradezco al Dr. Carlos Juan Alvarado López y al Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez, integrantes de mi comité asesor, por sus valiosos comentarios y aportaciones, esenciales para la culminación de este trabajo.

Agradezco al Dr. Esaú Ruiz Sánchez, jefe del Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI), por integrarme al Comité Ejecutivo de la Sociedad de Alumnos de Posgrado y brindarme la oportunidad de desempeñarme como responsable de apoyo logístico junto a su equipo, Monserrat y Cristian, cuya amistad y enriquecedoras experiencias demostraron un genuino interés por compartir conocimientos que fueron inspiradores. Extiendo también mi agradecimiento a la directora general, MC. Rocío Elizabeth Pulido Ojeda, y a la MC. Concepción Lara Gómez (“Conchita”), así como a Rubén Cruz, Lina y Jenny, por el apoyo brindado durante mi labor como fotógrafo de la comunidad estudiantil del campus, y de manera especial a usted, Rocío, por su valioso regalo que me ayudó a reflexionar y a enriquecer mi visión de la vida.

Agradezco a mis compañeros del Laboratorio de Plagas por su invaluable apoyo durante el trabajo de campo y por su compañía. A Enrique (“Kike”), mi compañero absoluto en la identificación de insectos, por compartir la emoción de cada pequeño descubrimiento en este proyecto. A Ricardo, Diana y Daniel Sandoval, por las largas horas de charla que transformaron este proceso en una experiencia inolvidable. A Virginia, gracias por tu amistad, tu compañía incondicional, tus consejos y apoyo, por las horas de café, recuerdos y vivencias, y por ser un ejemplo de fortaleza y dedicación, tienes mi admiración. A Julio, por tu apoyo en el campo, cuidando cada detalle de las trampas Malaise en los cultivos de maíz, por tus consejos y por los momentos gratos que compartimos. A Martín García, por ayudarme con una de mis retribuciones sociales, mostrarme el Instituto Tecnológico Superior de Champotón y desarrollar el programa que me permitió impartir una conferencia a tus estudiantes de Ingeniería Ambiental, además de tus valiosas recomendaciones para mejorar mi trabajo y los momentos divertidos en el laboratorio. A mis amigos Walther y Gabriela, quienes no dudaron en ofrecer su ayuda cuando Darwin, por error, desmontó una trampa y fue necesario instalar una nueva, y que además me mostraron otra dimensión de la ciencia, logrando el admirable equilibrio entre su vida profesional y su rol como padres. A Jacobo, Mauricio Moguel y Aldo, por los momentos de esparcimiento. A los estudiantes de licenciatura con quienes intercambié memorias y aprendizajes de vida, gracias por invitarme a formar parte de su nicho y por compartir no solo sus conocimientos, sino también las aplicaciones divertidas de su trabajo.

Jade, Roberto, Ángel, Adriana, Rodrigo, Jesús Froylán, Eduardo (“Lalo”), Arnoldo, Martha, Luis Canul, Luis Pool, José, Mauricio Castillo, Lorenza, María Magaña, Alecsis, Luisa, Sandra, Jesús Mezo, Magda, Cinthia, Sandy, Citlally, Marisol, Osmar, Jorge, Manuela, Fabiola, Ignacio (“Nachito”), Abril, Robin, Kevin, Andrés, Alfredo, Ramón, María Rosel, Maryjose, Adriana, Daniel Suárez, Sealtiel, Brandon y Alix, estoy sumamente agradecido por conocerlos, pues cada experiencia compartida con ustedes me permitió descubrir nuevos matices en nuestra capacidad como estudiantes de posgrado. También extendo mi gratitud a los catedráticos y a los cuerpos académicos de la Maestría en Ciencias en Horticultura Tropical por sus valiosas enseñanzas, disponibilidad y amistad, pero sobre todo por su influencia en mi formación académica, en especial a los Dres. René Garruña, Rubén Andueza, Jairo Alejo, Arturo Reyes y Eduardo Villanueva, quienes con su guía dejaron una marca imborrable en este proceso.

Agradezco a mi familia por ser mi refugio, por motivarme a dar lo mejor de mí incluso en los momentos más complicados, por recordarme que puedo superar cualquier obstáculo y por brindarme su apoyo incondicional y su amor inquebrantable en cada desafío. A mis primos, Martín Flores, Antonio ("Tono") y Alejandra Brito, por los consejos y el apoyo incondicional que siempre me brindaron, facilitándome el camino en momentos clave. A mis compadres, Sebastián y Viridiana, y a su hija Regina, mi adorada ahijada, por acogerme con tanto cariño y por regalarme momentos llenos de afecto y calidez. A mis tías, Sara ("Sarita"), Rosalba ("Rosi") y Marcela, por su apoyo casi indestructible, por comprenderme y estar a mi lado a lo largo de tantos años, por creer en mí y ser una fuente de motivación que me impulsa a perseguir mis sueños con determinación y esperanza.

A mis amigas, MC. Claudia Beteta y MC. Jazmín Herrejón, les expreso mi más significativo agradecimiento por su apoyo constante y sus valiosos consejos, así como por ser una fuente inagotable de inspiración que ha fortalecido mi pasión por los insectos y la investigación. A mis amigos, Martín Herrera ("Chiquis") e Israel ("Isra"), les agradezco por su generosidad al prestarme la camioneta de su trabajo, por hacer de la instalación de las trampas Malaise en la ciudad una experiencia inolvidable, y por los momentos compartidos descubriendo nuevos lugares, disfrutando platillos vegetarianos y celebrando tantas fiestas con mucha cerveza.

Agradezco las nuevas amistades formadas, por su amabilidad y por su tiempo durante el evento demostrativo de transferencia de tecnología en el marco del proyecto "Abejas nativas con potencial productivo en sistemas agroforestales". Mi más sincera gratitud se extiende de corazón a todas las personas de cada sitio de muestreo, por abrirme las puertas de sus terrenos, por compartir su conocimiento y sus experiencias sobre las aves nativas de Yucatán, y por permitirme capturar mariposas para construir una pequeña colección de insectos polinizadores.

Agradezco especialmente a la mamá, el esposo y la hija de la directora de esta tesis, quienes con disposición nos permitieron acceder a su hogar para realizar las recolectas de insectos, y cuya compañía en la visita a la selva baja caducifolia para instalar las trampas Malaise fue valiosa, no solo facilitando las actividades de campo, sino también aportando una experiencia familiar significativa, además, contribuyendo de manera crucial al éxito de este trabajo de investigación.

DEDICATORIAS

A mi padre, Víctor Vicente Caballero Salazar, quien me enseñó que la humildad es la virtud que acompaña a la verdadera sabiduría y que nos permite reconocer el amor en su forma más pura: el sacrificio. Agradezco profundamente cada sacrificio que realizaste, tanto en los momentos más difíciles como en los más felices de mi vida académica, para que este sueño pudiera hacerse realidad. Gracias por ser mi guía, mi fuerza y mi apoyo, por tu amor incondicional y por ser la inspiración que me llevó a alcanzar esta meta...

¡Ser Maestro en Ciencias!

A Delfina Chan Noh, gracias desde lo más profundo de mi corazón por tus consejos y tus oraciones, que han sido mi guía y fortaleza en este camino. Sin lugar a dudas, decidiste dejar a un lado tus propios sueños para abrazar la profesión más desafiante y hermosa: ser mi madre. Gracias, mamá, por tu amor incondicional, tu sacrificio y tu fe en mí. Este logro es nuestro, porque lo conseguimos juntos.

A mi hermano menor, Vicente Jesús Caballero Chan, por llenar mi vida de alegría y enriquecerla con tu serenidad, tu compañía y tu luz. Tu presencia ha sido un regalo invaluable en este camino.

A Dios, por la salud que me ha concedido, por permitirme vivir esta etapa académica y por poner en mi camino a personas bondadosas que, con su apoyo y guía, hicieron posible culminar satisfactoriamente mis estudios.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Hoja de firmas	<i>i</i>
Declaración de propiedad	<i>ii</i>
Agradecimientos.....	<i>iii</i>
Dedicatorias	<i>vi</i>
Resumen	<i>viii</i>
Abstract	<i>ix</i>
I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	12
1.1 Introducción.....	12
1.2 Antecedentes	14
1.2.1 Diversidad funcional	14
1.2.2 Urbanización.....	15
1.2.3 Impacto de la urbanización y agricultura intensiva	16
1.2.4 Importancia de los gradientes de perturbación	18
1.2.5 Grupos funcionales de insectos como potenciales biodicadores	19
1.2.6 Rasgos funcionales de insectos asociados a cambios ambientales	20
1.3 Hipótesis	22
1.4 Objetivos	22
1.4.1 Objetivo general.....	22
1.4.2 Objetivos específicos	22
1.5 Procedimiento experimental.....	23
1.6 Literatura citada.....	24
II. CAPÍTULO 2. DIVERSIDAD Y COMPOSICIÓN DE COMUNIDADES DE INSECTOS EN UN GRADIENTE DE PERTURBACIÓN	34
2.1 Resumen	34
2.2 Abstract	34

RESUMEN

Los insectos juegan un papel crucial en los ecosistemas, particularmente en la polinización y el control biológico de plagas. Sin embargo, los cambios en el uso del suelo, la expansión urbana y la intensificación agrícola, pueden afectar negativamente las comunidades de insectos. Este estudio tuvo como objetivo general analizar la diversidad y los rasgos funcionales de los insectos fitófagos y benéficos en un gradiente de perturbación en el estado de Yucatán, México. Para ello, durante la temporada de lluvias de 2023, se instalaron dos trampas Malaise en tres zonas representativas con diferente nivel de perturbación (ciudad, cultivos de maíz y selva baja caducifolia). Se emplearon análisis de diversidad para describir la composición de las comunidades de insectos y análisis multivariados para comparar el tamaño corporal frente a los cambios ambientales. Los resultados obtenidos muestran que, en general, las tres zonas presentan una diversidad similar de insectos, aunque se identificaron patrones específicos de comportamiento en la distribución de la riqueza de familias y las familias comunes y dominantes, tales como las familias de Braconidae y Coccinellidae, las cuales varían significativamente en su dominancia según el nivel de perturbación característico de cada zona. Se observó que el tamaño corporal de los insectos estaba influenciado negativamente por factores ambientales como la temperatura y la humedad, siendo los insectos de mayor tamaño en las zonas agrícola y natural, donde las condiciones son menos extremas en comparación con la zona urbana. Las conclusiones sugieren que, aunque las mayores alteraciones por actividades antropogénicas no afectan significativamente la diversidad de ciertos grupos funcionales de insectos, sí tiene un impacto negativo sobre el tamaño corporal de estos.

ABSTRACT

Insects play a crucial role in ecosystems, particularly in pollination and biological pest control. However, changes in land use, such as urban expansion and agricultural intensification, can negatively affect insect communities. The general objective of this study was to analyze the diversity and functional traits of phytophagous and beneficial insects along a disturbance gradient in the state of Yucatán, Mexico. To achieve this, two Malaise traps were installed in three representative areas with different levels of disturbance (city, maize crops, and dry tropical forest) during the rainy season of 2023. Diversity analyses were used to describe the insect community composition, and multivariate analyses were employed to compare body size in relation to environmental changes. The results showed that, in general, the three areas exhibited similar insect diversity, although specific behavioral patterns were identified in the distribution of family richness and dominant families, such as Braconidae and Coccinellidae, which varied significantly in their dominance according to the disturbance level of each area. It was observed that insect body size was negatively influenced by environmental factors such as temperature and humidity, with larger insects found in agricultural and natural zones, where conditions are less extreme compared to the urban zone. The conclusions suggest that, although greater anthropogenic disturbances do not significantly affect the diversity of certain functional insect groups, they do have a negative impact on their body size.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las actividades antropogénicas han modificado la diversidad biológica en diferentes niveles de organización (Lin *et al.*, 2020). Se calcula que para el año 2030, cerca del 70% de la población humana en todo el mundo habrá transformado ecosistemas en ciudades. Considerando el valor ambiental, económico y social de organismos clave que viven en hábitats naturales, como los insectos, es fundamental reconocer que estos serán afectados en el proceso de los cambios ambientales, lo cual representa una de las principales amenazas para la biodiversidad (Naciones Unidas, 2014). Las perturbaciones de los hábitats conllevan a la extinción de algunas especies de insectos, sin embargo, otras pueden verse menos perjudicadas incluso beneficiadas o no afectadas. (Shochat *et al.*, 2006; Urbina-Cardona *et al.*, 2008; Pacheco-Figueroa *et al.*, 2015).

En la Península de Yucatán, ha habido una creciente urbanización; pero, ciertas zonas agrícolas con cultivos maíz y zonas naturales de selva baja caducifolia, se consideran menos perturbadas al presentar superficies cubiertas con menos concreto y una mayor cobertura vegetal. Dichas zonas, aún pueden albergar un mayor número y diversidad de insectos, porque al existir una mayor complejidad estructural de la vegetación; afectará positivamente la diversidad de insectos (Fraser *et al.*, 2007). Para entender la relación entre diversidad y los servicios ecosistémicos que proveen los insectos, es necesario caracterizar su identidad taxonómica y funcional (Cadotte *et al.*, 2011).

Recientemente, ha crecido el interés en evaluar la relación entre el funcionamiento ecosistémico y la diversidad funcional, que incluye la riqueza de rasgos funcionales de las especies presentes en una comunidad, considerando los atributos morfológicos que afectan una determinada función (Violle *et al.*, 2007). La diversidad funcional ofrece una perspectiva novedosa y útil en la ecología de comunidades de insectos y en los estudios de biodiversidad, porque permite analizar los roles de las especies con base en sus características físicas (Chalmandrier *et al.*, 2015). Se ha demostrado que las comunidades de insectos presentes en sitios perturbados pueden responder a diferentes variables ambientales (Chapin *et al.*, 2000; Díaz y Cabido, 2001; Benito *et al.*, 2019). Por ejemplo, entre algunos insectos polinizadores, el tamaño corporal determina la eficiencia en la polinización (Greenleaf *et al.*, 2007).

La diversidad taxonómica y funcional podrían tener una relación directa, es decir, a un mayor número o diversidad de especies mayor será la diversidad funcional (Cadotte *et al.*, 2011). Sin embargo, varias investigaciones sugieren que la diversidad funcional explica de mejor manera el funcionamiento ecosistémico que la diversidad taxonómica, lo que implica que no habría una relación directa entre ambas variables (Gagic *et al.*, 2015). En cualquier caso, el análisis de la diversidad funcional se basa en rasgos funcionales que son características biológicas que influyen en los procesos ecosistémicos, y que permiten detectar cambios en los ecosistemas debido a afectaciones ambientales (Tilman *et al.*, 2001; Poff y Zimmerman, 2009; Merritt *et al.*, 2010; Córdova-Tapia y Zambrano, 2015). Por lo que este trabajo de investigación se centra en el estudio de la diversidad funcional de insectos fitófagos y benéficos en un gradiente de perturbación.

ANTECEDENTES

Diversidad funcional

La diversidad funcional de insectos se refiere a la variación en los roles ecológicos que desempeñan en los ecosistemas, más allá de su diversidad taxonómica (número de especies). Este concepto engloba las distintas funciones que cumplen los insectos, como la polinización, descomposición, fitofagia, control biológico, dispersión de semillas y reciclaje de nutrientes, entre otras (Maldonado-Cepeda *et al.*, 2024). Es crucial porque determina cómo los ecosistemas responden a cambios ambientales, como la pérdida de hábitat, el cambio climático, la introducción de especies invasoras o la urbanización. Un ecosistema con alta diversidad funcional generalmente tiene mayor resiliencia y es capaz de mantener sus funciones esenciales frente a disturbios (Malacarne *et al.*, 2024). Sabiendo que los insectos fitófagos son aquellos que se alimentan de plantas, mientras que los insectos benéficos incluyen polinizadores, parasitoides y depredadores que contribuyen a la polinización y el control biológico. En ecosistemas naturales, la diversidad funcional de insectos fitófagos y benéficos tiene un impacto significativo, ayudándolos a regenerarse ante el paso de desastres naturales como huracanes o incendios (Tschardtke *et al.*, 2008).

En agroecosistemas, la relación entre los insectos fitófagos y benéficos es fundamental para encontrar el equilibrio ecológico. Un agroecosistema equilibrado, con alta diversidad funcional de depredadores y parasitoides, ayuda a regular las poblaciones de fitófagos, evitando que causen daños severos a los cultivos (Hevia *et al.*, 2021). En ausencia de estos insectos benéficos, las plagas fitófagas pueden proliferar, lo que requiere intervenciones humanas como pesticidas, que a su vez pueden afectar negativamente a los insectos benéficos. Procurar la presencia de la diversidad funcional entre insectos asegura que los agroecosistemas mantengan una alta producción de alimentos de buena calidad (Hatt *et al.*, 2020). Un agroecosistema con alta diversidad de insectos benéficos tiene mayor resiliencia ante el ataque de plagas y puede reducir la dependencia de insumos químicos. La presencia de múltiples especies con roles similares (redundancia funcional) también proporciona estabilidad frente a perturbaciones, como cambios en el clima o en el uso del suelo. Tanto los insectos fitófagos como los benéficos tienen papeles funcionales importantes, conocer sus interacciones es esencial para mantener la salud y sostenibilidad de los ecosistemas naturales y agroecosistemas (Lazarina *et al.*, 2023).

Urbanización

La urbanización es una tendencia demográfica dominante que transforma ecosistemas en todo el mundo y cambia radicalmente los patrones y procesos ecológicos (Grimm *et al.* 2000; Alberti *et al.* 2003). Interactúa globalmente con la extracción de recursos naturales para la construcción de viviendas y juega un papel central en la alteración de los ciclos biogeoquímicos de varias partes del mundo, reduciendo la biodiversidad debido a la fragmentación de los hábitats naturales nativos y la introducción de especies exóticas, también en los cambios por el uso de la cobertura vegetal que se extienden mucho más allá de los límites de las ciudades (Collins *et al.*, 2000). Es así, como varias zonas aparentemente “vírgenes” ya han sido, y serán cada vez más, parte de la “huella” ecológica de las zonas urbanas. En México la urbanización también plantea desafíos significativos en términos de sostenibilidad, calidad de vida y gestión de recursos, que incluyen modificaciones en el uso del suelo y perturbaciones ambientales, que aumentan la presión sobre la biodiversidad de especies locales e induce el montaje de nuevas comunidades ecológicas (Gaston, 2010; Swan *et al.*, 2011).

A pesar de los numerosos desafíos ecológicos asociados con la urbanización, también tiene efectos positivos en el medio ambiente y en la sociedad cuando se maneja de manera sostenible y planificada. Estos efectos pueden contribuir a la protección de áreas naturales, la mejora de la calidad de vida y la eficiencia en el uso de recursos (Seto *et al.*, 2017). Puede tener efectos positivos sobre ciertos grupos de insectos, especialmente cuando se integran principios de sostenibilidad y diseño urbano ecológico. Al integrar áreas verdes, parques, jardines, huertos familiares y techos verdes proporcionan lugares donde los insectos pueden alimentarse, reproducirse y refugiarse. La diversidad de plantas ornamentales en áreas urbanas puede aumentar la variedad de recursos alimentarios para polinizadores y otros insectos (Morpurgo *et al.*, 2024). Además, en las ciudades con centros de desarrollo económico, social y tecnológico, están experimentando un crecimiento sostenido, especialmente en los países en desarrollo que integran la biodiversidad y la sostenibilidad en el desarrollo urbano, promoviendo el control biológico natural y la educación sobre la importancia de los insectos en entornos urbanos ecológicos, donde los insectos juegan un papel primordial (Korányi *et al.*, 2022).

Impacto de la urbanización y agricultura intensiva

La urbanización y agricultura intensiva son dos procesos humanos que tienen profundos impactos sobre los ecosistemas, la biodiversidad y los recursos naturales. Aunque son distintos en sus características, ambos están estrechamente relacionados y generan efectos combinados en el medio ambiente, particularmente cuando coexisten en áreas periurbanas; que son espacios que se encuentran en los alrededores de las ciudades y que se caracterizan por ser una mezcla entre lo urbano y lo rural (Salamanca-Fonseca *et al.*, 2024). Considerablemente, la urbanización tiene un mayor impacto tanto sobre los insectos fitófagos como sobre los insectos benéficos. A medida que las ciudades se expanden, los cambios en el hábitat, el uso del suelo y el clima urbano afectan la biodiversidad y las interacciones entre las especies (Schmitt *et al.*, 2021; Vähätalo *et al.*, 2024). La expansión de zona urbanas ha sido identificada como la causa principal de la disminución de las comunidades de insectos benéficos en selvas tropicales (Lewthwaite *et al.*, 2024). Por otro lado, la agricultura intensiva quizás tiene menor impacto, pero el abuso de los insecticidas, pesticidas fungicidas y herbicidas afectan directamente la salud de los insectos, lo que conduce a la disminución de la densidad de las poblaciones, en particular de las especies silvestres (González-Varo *et al.*, 2013; Ecoflor, 2016).

Los efectos de la urbanización y agricultura intensiva en la ecología y evolución de las interacciones bióticas evidencian que la riqueza de especies nativas tiende a disminuir en zonas urbanas; sin embargo, los cambios en la abundancia parecen ser en especies específicas (Miles *et al.*, 2019). Estos cambios en la ecología sugieren que la urbanización y agricultura intensiva podría afectar tanto la evolución adaptativa como la no adaptativa de los insectos (Hernández-Martínez y Marcos-García, 2019). Varios estudios mencionan que, ciertas especies de insectos fitófagos cambian con la urbanización y agricultura intensiva, por lo que podría suceder lo mismo con la abundancia y diversidad de insectos benéficos como los parasitoides y depredadores (Getanjaly *et al.*, 2015; Henri *et al.*, 2015; López *et al.*, 2018; León-Burgos *et al.*, 2019; Betancourt *et al.*, 2021). La urbanización y agricultura intensiva se ha determinado de manera general o cualitativa, por lo que resulta difícil identificar qué factores afectan a las diferentes especies de estos grupos de insectos, y, más aún, si el recurso pertenece a hospederos o presas que se alimentan de plantas con importancia económica y cultural (Gardiner *et al.*, 2017).

No menos importante, la urbanización y agricultura intensiva tiene profundos efectos sobre los insectos polinizadores, especialmente en términos de pérdida de hábitat, cambios en la disponibilidad de alimentos y la alteración de sus patrones de comportamiento (Fisogni *et al.*, 2020; Biella *et al.*, 2022; Tavares-Brancher *et al.*, 2024). Se sabe que los recursos florales son determinantes en la estructuración de las comunidades de polinizadores, de manera que, los cambios ambientales alteran la distribución espacial y temporal de los recursos florales, también afecta la conducta de forrajeo individual, la dinámica poblacional y la composición de la comunidad de polinizadores (Haddad *et al.*, 2003; Kremen *et al.*, 2007). Estos impactos varían dependiendo de la especie de polinizador; en mariposas, se ha reportado que la cobertura de suelos urbanos y periurbanos tiene una influencia negativa en la riqueza, abundancia y comunidades de ciertas especies, en ciudades de América Central (Ramírez-Ordoñez *et al.*, 2023). La comunidad de mariposas es significativamente baja en sitios altamente urbanizados y en los sitios periurbanos la diversidad es significativamente mayor, aunque los recursos vegetales se encuentran disponibles en zonas urbanas, esto indica el papel potencial de la fragmentación del hábitat y el aislamiento de parches (Winchester, 2008).

Los cambios en la estructura, diversidad y abundancia de la comunidad de polinizadores debido a la perturbación antropogénica han sido documentados en numerosos estudios (Morales y Aizen, 2006; Galetto *et al.*, 2007; Aizen y Morales, 2008; Quintero *et al.*, 2010). Estos estudios mencionan, que hay una mayor riqueza y abundancia de polinizadores en temporada de lluvias, pues hay un cambio significativo en la composición de especies entre temporalidades y una relación estadística significativa lineal entre la diversidad temporal y la distancia del parche a la selva natural. Sin embargo, las variables ambientales locales y la composición del paisaje también impactan la abundancia, riqueza y uniformidad de estos individuos, pues son más susceptibles al cambio. Se ha reportado, que los niveles de uso regional del suelo impactan negativamente la abundancia y diversidad solo de abejas (Ballare *et al.*, 2019). Pero, polinizadores generalistas, como las abejas melíferas, pueden volverse dominantes, desplazando a polinizadores nativos especialistas (Perillo *et al.*, 2020). Dentro de los sitios de agricultura, la riqueza de las abejas es mayor al aumentar el hábitat seminatural, mientras que; en los sitios de pastizales, la riqueza de las abejas es similar, independientemente de la cobertura del hábitat seminatural (Varela y Hernández, 2023).

Importancia de los gradientes de perturbación

Un gradiente de perturbación dentro de uno o varios ecosistemas, son los niveles de disturbio ambiental, tanto naturales como humanos, que alteran la estructura física y la composición de los elementos bióticos y abióticos en dichos sistemas naturales, cambiando la biodiversidad total dentro de ellos (Collinge *et al.*, 2005). Puede tener efectos negativos variados en la dinámica ecológica dependiendo de cada región, esto es grave, porque ocasiona fragmentación de hábitats, disminuyendo la biodiversidad, dado que la composición de especies en un parche dependerá de su tamaño y aislamiento (Crooks, 2002). Algunos de los efectos negativos de los disturbios que se han reportado son los siguientes: pérdida de fertilidad del suelo y erosión, menor diversidad vegetativa y faunística nativa, favoreciendo la invasión de maleza u otras especies (Van Auken, 2000; Wezel y Rath, 2002; Nikiema, 2005; McDougall y Turkington, 2005; Blaum *et al.*, 2007). La comprensión de gradientes de perturbación es esencial para la conservación y gestión de los ecosistemas. Al saber cómo diferentes niveles de disturbio afectan a las especies de insectos y sus hábitats, se pueden diseñar estrategias que mitiguen los impactos negativos y fomenten la recuperación de los ecosistemas (Altamirano *et al.*, 2020).

Se ha documentado, que los diferentes niveles de perturbación pueden determinar la diversidad y abundancia de ciertos grupos de insectos debido a que son complejos y heterogéneos en espacio y tiempo (Correa-Barbosa *et al.* 2020). En Perú, un gradiente de perturbación de bosque secundario de la Reserva de la Biósfera del Manu; determinó la asociación entre la abundancia relativa de avispa (Hymenoptera: Vespidae) con los atributos de la vegetación y su relación a las alteraciones por el uso de sistemas naturales para actividades de agricultura, demostrando los efectos negativos en la composición y abundancia de las comunidades de avispa en sitios con bosque completamente clareado, parcialmente clareado y sin clarear (Castelo y Marquina-Montesinos, 2023). En México, en un gradiente de perturbación de Chetumal, Yucatán; se evaluó la diversidad y composición de los escarabajos (Insecta: Coleoptera) que habitan en el follaje, en los arbustos con respecto a la influencia de los atributos de los parches y la complejidad del hábitat dentro del parche, demostrando que los parches urbanos relativamente más grandes contenían una mayor variación en la composición de especies, pero los parches de vegetación de edad intermedia tenían la mayor riqueza de escarabajos (Cortés-Arzola y León-Cortés, 2021).

Grupos funcionales de insectos como potenciales biodicadores

Un grupo funcional de insectos es un conjunto de individuos que pueden pertenecer o no a la misma especie, los cuales cumplen el mismo rol de trabajo dentro de un ecosistema utilizando un recurso de manera similar y al ser particularmente sensibles a cambios en el ambiente, los convierte en bioindicadores de perturbaciones ecológicas; cuya presencia, ausencia o comportamiento proporciona información valiosa sobre la salud y las condiciones de un ecosistema (Mendoza Moreno, 2021). El estudio de la diversidad de estos grupos funcionales está relacionado con la sanidad de los agroecosistemas, incluyendo el componente natural y seminatural representados por fragmentos en una matriz de suelo destinado a la agricultura (Poggio *et al.*, 2013). Permitir remanentes de vegetación proporcionan heterogeneidad al ambiente, con condiciones más estables y mayor diversidad y complejidad en la estructura de la comunidad vegetal, actúan como refugio para distintos grupos funcionales tanto a escala local como de paisaje (Medan *et al.*, 2011). La comunidad vegetal es la base de las tramas tróficas en la diversidad de grupos funcionales, ya que mantienen poblaciones permanentes de estos individuos que sustentan niveles tróficos superiores y cumplen una función clave en la provisión de servicios ecosistémicos (Lindgren *et al.*, 2018).

En México, el análisis de redes de interacción permite comparar comunidades a través de parámetros que indican: tipo, frecuencia y heterogeneidad con las que ocurren las interacciones, que son aspectos escasamente explorados en la mayor parte de sistemas naturales y sistemas perturbados (Montero, 2008). Por ejemplo, la riqueza de termitas se ve beneficiada en parches de bosque natural, mientras que, en sitios de cultivo bajo la técnica de labranza convencional, uso de pesticidas químicos para controlar otros insectos y malezas, así como para eliminar vegetación no cultivada, son perjudiciales para el desarrollo de comunidades de termitas, debido a que estos individuos son altamente sensibles a cambios en su hábitat (Lorenzón *et al.*, 2020). La diversidad y la abundancia de insectos depredadores y parasitoides sobre las taipas con vegetación natural son diferentes entre cultivos orgánicos y convencionales debido al rol clave de la vegetación no cultivada presente en los bordes; esta última característica, algunos autores consideran que los sistemas de cultivo son ambientes estables a largo plazo, lo que favorece la viabilidad de las comunidades de insectos en una gran variedad de grupos funcionales (Silva *et al.* 2020).

Rasgos funcionales de insectos asociados a cambios ambientales

Los rasgos funcionales de los insectos son características que determinan las interacciones con su entorno, contribuyendo al funcionamiento del ecosistema por estar relacionados con su alimentación, morfología, comportamiento, ciclo de vida y otros factores clave que afectan su rol para lograr aprovechar los recursos disponibles del hábitat en el que interactúan para su supervivencia (Concepción *et al.* 2015). Su variación, surge de factores combinados como mutación, dispersión, deriva, selección natural y selección histórica de vida en la Tierra (Han *et al.* 2021). Son el producto de años de evolución asociados con el medio ambiente, expresándose en su anatomía (Dujardin, 2011). Estas características observables proporcionan la base para estudios taxonómicos, biogeográficos y de comportamiento, que son medidos a través de la morfometría (Tiroesele *et al.*, 2018). En primera instancia, el desarrollo de las alas fue el proceso fundamental en la evolución del diseño anatómico de los insectos (Medved *et al.*, 2015; Linz y Tomoyasu, 2018). Posteriormente, un cambio puramente isométrico en el tamaño de las demás partes de su cuerpo, como cabeza y tórax (reducción de estas) pudo ser el desencadenante evolutivo que les permitió volar. Los rasgos funcionales con relación al tamaño corporal son clave para entender su capacidad de movilidad y dispersión en paisajes heterogéneos y fragmentados (Moretti *et al.* 2017).

Considerando que todos los rasgos funcionales son rasgos biológicos, pero no todos los rasgos biológicos son funcionales (Wright *et al.*, 2006; Mlambo, 2014). Se han propuesto algunas clasificaciones: 1) los rasgos funcionales "duros" miden directamente la función de interés y se asocian con la fisiología de los individuos; 2) los rasgos funcionales "suaves" evalúan indirectamente la función y, en consecuencia, resultan relativamente más fáciles de obtener y medir, por ejemplo, el tamaño de características morfológicas; 3) los rasgos funcionales "de respuesta" que reflejan algún cambio funcional de las especies a lo largo de un gradiente de cambio ambiental, por ejemplo, cambios en la alimentación, la tasa reproductiva o la tolerancia a la temperatura; y 4) los rasgos funcionales "de efecto" determinan los efectos que las especies ejercen en los procesos y servicios del ecosistema, por ejemplo, en estrategias de alimentación y reproducción, que les permita ejercer efectos similares dentro del ecosistema (Petchey y Gaston, 2006).

En las chinches de las plantas (familia Miridae), presentan mayor tamaño en la longitud del ala anterior y el ancho del mesonoto, proporcionandoles alta capacidad de dispersión en bosques tropicales fragmentados, siendo capaces de repoblar otros sitios con vegetación natural (Pagola-Carte, 2019). En mariposas (familia Nymphalidae), el largo de la envergadura alar tiene un efecto positivo sobre su capacidad de dispersión, un tórax y alas de mayor tamaño indican resistencia a largos períodos de vuelo, lo cual permite el ágil desplazamiento de estas en un paisaje altamente fragmentado (Fric *et al.*, 2006; Sekar, 2012). En abejas (familia Apidae), un mayor tamaño en el ancho de la cabeza, está ligado al rango de distribución del forrajeo, tiempo transcurrido del forrajeo y al número de visitas florales en ecosistemas no perturbados, pero el éxito de su dispersión disminuye considerablemente por actividades antropogénicas (Levy, 2011; Normandin *et al.*, 2017). En parasitoides adultos (familia Braconidae), las variaciones de menor tamaño en el ancho de la cabeza, mayor tamaño en el largo del ala anterior y menor tamaño en el largo del pronoto funcionan como estructuras aerodinámicas para desplazarse rápidamente a largas distancias en busca de hospederos, asegurando su éxito reproductivo bajo efectos de perturbación antropogénica (Ameri *et al.*, 2013). En escarabajos adultos (familia Coccinellidae), que presentan mayor tamaño en el ancho de la cabeza, ancho del tórax, largo de los élitros y largo de las alas, tendrán mayor éxito de consumir presas en mayor cantidad en comparación con los que son de menor tamaño, indicando que escarabajos adultos de menor tamaño, serán menos aventajados por cambios ambientales en sitios altamente perturbados (Loreau *et al.*, 2001; Worm y Duffy, 2003).

HIPÓTESIS

La diversidad y tamaño de rasgos funcionales de insectos fitófagos y benéficos será menor en zona urbana que zona agrícola y zona natural, debido a las actividades antropogénicas.

OBJETIVOS

General

Analizar la diversidad y rasgos funcionales de insectos fitófagos y benéficos en un gradiente de perturbación del estado de Yucatán.

Específicos

1. Determinar la riqueza de familias, la diversidad de familias comunes y dominantes en zona urbana, zona agrícola y zona natural.
2. Describir la composición de comunidades en las tres zonas.
3. Comparar el tamaño corporal ante cambios ambientales del gradiente de perturbación.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

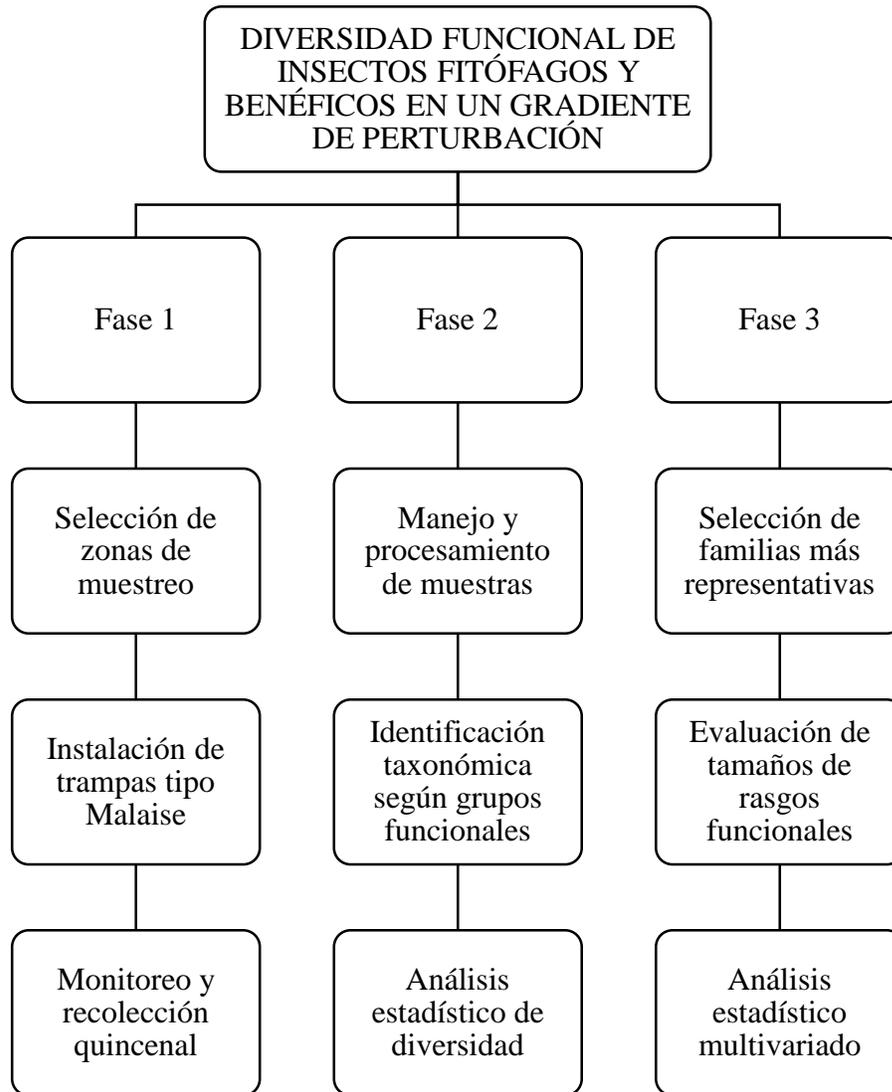


Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento experimental para evaluar la diversidad funcional de insectos fitófagos y benéficos en un gradiente de perturbación.

LITERATURA CITADA

- Aizen, M. A., Morales, C. L. y Morales, J. M. 2008. Invasive mutualists erode native pollination webs. *PLOS Biology*, 6, 396–403.
- Alberti M, Marzluff JM, Shulenberger E, Bradley G, Ryan C & Zimbrunnen C. 2003. Integrating humans into ecology: Opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *BioScience* 53: 1169–1179.
- Altamirano, A., Gonzalez-Suhr, C., Marien, C., Catalán, G., Miranda, A., Prado, M., & Meli, P. 2020. Landscape disturbance gradients: the importance of the type of scene when evaluating landscape preferences and perceptions. *Land*, 9(9), 306.
- Ameri, M., Rasekh, A., Michaud, J. P., & Allahyari, H. 2013. Morphometric indicators for quality assessment in the aphid parasitoid, *Lysiphlebus fabarum* (Braconidae: Aphidiinae). *European Journal of Entomology*, 110(3).
- Ballare KM, Neff JL, Ruppel R & Jha S. 2019. Multi-scalar drivers of biodiversity: Local management mediates wild bee community response to regional urbanization. *Ecological Applications* 29(3): e01869.
- Benito, J. F., Escobar, M. A., & Villaseñor, N. R. 2019. Conservación en la ciudad: ¿Cómo influye la estructura del hábitat sobre la abundancia de especies de aves en una metrópoli latinoamericana? *Gayana (concepción)*, 83(2), 114-125.
- Betancourt, E. O. M., Batis, B. V., Quiala, A. P., García, Y. M. R., Magdariaga, M. C., & González, R. M. 2021. Diversidad de insectos benéficos asociada a la flora existente en fincas suburbanas en Santiago de Cuba, Cuba. *Revista chilena de entomología*, 47(1), 121-145.
- Biella, P., Tommasi, N., Guzzetti, L., Pioltelli, E., Labra, M., & Galimberti, A. 2022. City climate and landscape structure shape pollinators, nectar and transported pollen along a gradient of urbanization. *Journal of Applied Ecology*, 59(6), 1586-1595.
- Blaum, N., E. Rossmannith, A. Popp and F. Jeltsch. 2007. Shrub encroachment affects mammalian carnivore abundance and species richness in semiarid rangelands. *Acta Oecologica* 31(7): 86-92. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2006.10.004>.

- Cadotte, M. W. 2011. The new diversity: management gains through insights into the functional diversity of communities. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1067-1069.
- Cadotte, M. W., Carscadden, K., & Mirotchnick, N. 2011. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of applied ecology*, 48(5), 1079-1087.
- Castelo, J. A., & Marquina-Montesinos, E. 2023. Diversidad de avispas en un gradiente de perturbación de los ecosistemas de la Reserva de la Biósfera del Manu (Perú): Su valor bioindicador. *Ecología Austral*, 596-606.
- Chalmandrier, L., Münkemüller, T., Lavergne, S., & Thuiller, W. 2015. Effects of species' similarity and dominance on the functional and phylogenetic structure of a plant meta-community. *Ecology*, 96(1), 143-153.
- Chapin, F.S., Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L. et al. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405: 234-242.
- Collinge, S. K., Johnson, W. C., Ray, C., Matchett, R., Grensten, J., Cully Jr, J. F., & Martin, A. P. 2005. Landscape structure and plague occurrence in black-tailed prairie dogs on grasslands of the western USA. *Landscape ecology*, 20, 941-955.
- Collins JP, Kinzig A, Grimm NB, Fagan W, Hope D, Wu J & Borer ET. 2000. A new urban ecology. *American Scientist* 88: 416–425.
- Concepción E D, Moretti M, Altermatt F, Nobis MP, Obrist MK. 2015. Impacts of urbanization on biodiversity: the role of species mobility, degree of specialization and spatial scale. *Oikos* 124:1571-1582.
- Córdova-Tapia, F., & Zambrano, L. 2015. La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Ecosistemas*, 24(3), 78-87.
- Correa-Barbosa, B., T. Tagliatti-Maciél, and F. Prezoto. 2020. Chapter 5. Nesting Habitats of Neotropical Social Wasps. Pp. 85-98 en F. Prezoto, F. Santos, B. Correa and A. Somavilla (eds.). *Neotropical Social Wasps: Basic and applied aspects*. Springer, Berlin, Alemania. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53510-0>.
- Cortés-Arzola, S. V., & León-Cortés, J. L. 2021. Response of Beetle Assemblages (Insecta: Coleoptera) to Patch Characteristics and Habitat Complexity in an Ever-Expanding

- Urban Landscape in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Annals of the Entomological Society of America*, 114(4), 511-521.
- Crooks, K. R. 2002. Relative sensitivities of mammalian carnivores to habitat fragmentation. *Conservation biology*, 16(2), 488-502.
- Díaz, S., & Cabido, M. 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 646-655.
- Dujardin JP. 2011. Modern morphometrics of medically important insects. In: Tibayrenc M, editor. *Genetics and evolution of infectious diseases*. Vol. 16. Elsevier Insights; London, United Kingdom: pp. 474–501.
- Fisogni, A., Hautekèete, N., Piquot, Y., Brun, M., Vanappelghem, C., Michez, D., & Massol, F. 2020. Urbanization drives an early spring for plants but not for pollinators. *Oikos*, 129(11), 1681-1691.
- Fraser, S.E.M.; Dytham, C. & Mayhew, P.J. 2007. Determinants of parasitoid abundance and diversity in woodland habitats. *Journal of Applied Ecology*. 44: 352–361.
- Fric, Z., Klimova, M., & Konvicka, M. 2006. Mechanical design indicates differences in mobility among butterfly generations. *Evolutionary Ecology Research*, 8(8), 1511-1522.
- Gagic, V., Bartomeus, I., Jonsson, T., Taylor, A., Winqvist, C., Fischer, C., & Bommarco, R. 2015. Functional identity and diversity of animals predict ecosystem functioning better than species-based indices. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1801), 20142620.
- Galetto, L., Aguilar, R., Musicante, M., Astegiano, J., Ferreras, A., Jausoro, M. et al. 2007. Fragmentación de hábitat, riqueza de polinizadores, polinización y reproducción de plantas nativas en el Bosque Chaqueño de Córdoba, Argentina. *Ecología Austral*, 17, 67–80.
- Gardiner, M. M., & Harwood, J. D. 2017. Influence of heavy metal contamination on urban natural enemies and biological control. *Current opinion in insect science*, 20, 45-53.
- Gaston KJ. 2010. Valuing common species. *Science* 327 (5962): 154-155.

- Getanjaly, V. L. R., Sharma, P., & Kushwaha, R. 2015. Beneficial insects and their value to agriculture. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences* ISSN, 2320, 6063.
- González-Varo, J. P., Biesmeijer, J. C., Bommarco, R., Potts, S. G., Schweiger, O., Smith, H. G., & Vilà, M. 2013. Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends in ecology & evolution*, 28(9), 524-530.
- Greenleaf, S. S., Williams, N. M., Winfree, R., & Kremen, C. 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia*, 153, 589-596.
- Grimm N, Faeth S, Golubiewski N, Redman C, Wu J, Bai X 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* 319: 756–760.
- Grupo de trabajo ecoflor. 2016. El declive de las abejas: cinco conceptos mal entendidos. *Quercus*, 361: 88-90.
- Haddad, N. M., Bowne, D. R., Cunningham, A., Danielson, B.J., Levey, D. J. y Sargent, S. 2003. Corridor use by diverse taxa. *Ecology*, 84, 609–615.
- Han, D. *et al.* 2021. Differences in Response of Butterfly Diversity and Species Composition in Urban Parks to Land Cover and Local Habitat Variables. *Forests*, 12: 140.
- Hatt, S., Francis, F., Xu, Q., Wang, S., & Osawa, N. 2020. Perennial flowering strips for conservation biological control of insect pests: From picking and mixing flowers to tailored functional diversity. *Integrative Biological Control: Ecostacking for Enhanced Ecosystem Services*, 57-71.
- Henri, D. C., Jones, O., Tsiattalos, A., Thébault, E., Seymour, C. L., & van Veen, F. F. 2015. Natural vegetation benefits synergistic control of the three main insect and pathogen pests of a fruit crop in southern Africa. *Journal of Applied Ecology*, 52(4), 1092-1101.
- Hernández-Martínez, K., y Marcos-García, M. 2019. Entomofauna asociada a las plantas del campus de la Universidad de Alicante (España).
- Hevia, V., Carmona, C. P., Azcárate, F. M., Heredia, R., & González, J. A. 2021. Role of floral strips and semi-natural habitats as enhancers of wild bee functional diversity in

- intensive agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 319, 107544.
- Korányi, D., Egerer, M., Rusch, A., Szabó, B., & Batáry, P. 2022. Urbanization hampers biological control of insect pests: A global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 834, 155396.
- Kremen, C., William, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R. et al. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10, 299–314.
- Lazarina, M., Michailidou, D. E., Tsianou, M., & Kallimanis, A. S. 2023. How Biodiversity, Climate and Landscape Drive Functional Redundancy of British Butterflies. *Insects*, 14(9), 722.
- León-Burgos, A. F., Murillo-Pacheco, J. I., Bautista-Zamora, D., & Quinto, J. 2019. Insectos benéficos asociados a plantas arvenses atrayentes en agroecosistemas del Piedemonte de la Orinoquia Colombiana.
- Levy, S. 2011. The pollinator crisis: What's best for bees. *Nature News*, 479(7372), 164–165.
- Lewthwaite, J. M., Baiotto, T. M., Brown, B. V., Cheung, Y. Y., Baker, A. J., Lehnen, C., & Guzman, L. M. 2024. Drivers of arthropod biodiversity in an urban ecosystem. *Scientific Reports*, 14(1), 390.
- Lin, L., Gao, T., Luo, M., Ge, E., Yang, Y., Liu, Z., & Ning, G. 2020. Contribution of urbanization to the changes in extreme climate events in urban agglomerations across China. *Science of the total environment*, 744, 140264.
- Lindgren, J., R. Lindborg, and S. A. Cousins. 2018. Local conditions in small habitats and surrounding landscape are important for pollination services, biological pest control and seed predation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 251:107-113. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.025>.

- Linz DM, Tomoyasu Y. Dual evolutionary origin of insect wings supported by an investigation of the abdominal wing serial homologs in *Tribolium* . . *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2018 Jan 9;115(4): E658–E667. doi: 10.1073/pnas.1711128115.
- López De La Cruz, E., Ruíz Montoya, L., Gómez y Gómez, B., Castro Ramírez, A. E., & Sánchez Cortés, M. S. 2018. Conocimiento y percepción tsotsil sobre los insectos perjudiciales para la milpa en la reserva de la selva El Ocote (Chiapas, México). *Estudios de cultura maya*, 52, 255-290.
- Lorenzón, R., E. J. León, M. Juani, A. H. Beltter, P. M. Peltter, R. C. Lajmanovich, and A. M. Attademo. 2020. Can agroecological management increase functional diversity of birds in rice fields? *Revista de Biología Tropical* 68:873- 883. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i3.39261>.
- Malacarne, T. J., Machado, N. R., & Moretto, Y. 2024. Influence of land use on the structure and functional diversity of aquatic insects in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 851(2), 265-280.
- Maldonado-Cepeda, J. D., Gómez, J. H., Benavides, P., Jaramillo, J., & Gil, Z. N. 2024. Taxonomic and Functional Diversity of Flower-Visiting Insects in Coffee Crops. *Insects*, 15(3), 143.
- McDougall, A. S. and R. Turkington. 2005. Are invasive species the drivers or passengers of change in degraded ecosystems? *Ecology* 86(1): 42-55. DOI: <http://dx.doi.org/10.1890/04-0669>.
- Medan, D., J. P. Torretta, K. Hodara, E. B. de la Fuente, and N. H. Montaldo. 2011. Effects of agriculture expansion and intensification on the vertebrate and invertebrate diversity in the Pampas of Argentina. *Biodiversity and Conservation* 20:3077-3100. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0118-9>.
- Medved V, Marden JH, Fescemyer HW, Der JP, Liu J, Mahfooz N, Popadić A. Origin and diversification of wings: Insights from a neopteran insect. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2015 Dec 14;112(52): 15946–15951. doi: 10.1073/pnas.1509517112.
- Mendoza Moreno, L. V. 2021. Grupos funcionales de insectos y su relación con tres hábitats con diferente disturbio, en la Reserva Agroecológica Santa Librada y zonas de influencia, Líbano, Tolima.

- Merritt, D. M., Scott, M. L., LeRoy Poff, N., Auble, G. T., & Lytle, D. A. 2010. Theory, methods and tools for determining environmental flows for riparian vegetation: riparian vegetation-flow response guilds. *Freshwater Biology*, 55(1), 206-225.
- Miles LS, Breitbart ST, Wagner HH & Johnson MT. 2019. Urbanization shapes the ecology and evolution of plant-arthropod herbivore interactions. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7: 310.
- Mlambo, M., 2014. Not all traits are ‘functional’: insights from taxonomy and biodiversity ecosystem functioning research. *Biodiversity and Conservation*, 23: 781–790.
- Montero, G. A. 2008. Comunidades de artrópodos en vegetación de áreas no cultivadas del sudeste de Santa Fe. MSc Tesis. Maestría en Manejo y Conservación de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. Zavalla, Santa Fe, Argentina.
- Morales, C. L. y Aizen, M. A. 2006. Invasive mutualisms and the structure of plant pollinator interactions in the temperate forests of North-West Patagonia, Argentina. *Journal of Ecology*, 94, 171–180.
- Moretti, M., Dias, A. T., De Bello, F., Altermatt, F., Chown, S. L., Azcárate, F. M., & Berg, M. P. 2017. Handbook of protocols for standardized measurement of terrestrial invertebrate functional traits. *Functional Ecology*, 31(3), 558-567.
- Morpurgo, J., Huurdeman, M., Oostermeijer, J. G. B., & Remme, R. P. 2024. Vegetation density is the main driver of insect species richness and diversity in small private urban front gardens. *bioRxiv*, 2024-06.
- Naciones Unidas. 2014. World urbanization prospects. Highlights. New York, 27p.
- Nikiema, A. 2005. Agroforestry parkland species diversity: uses and management in semi-arid West Africa (Burkina Faso). PhD. Dissertation. Wageningen University. Wageningen, The Netherlands. 112 pp.
- Normandin, É., Vereecken, N. J., Buddle, C. M., & Fournier, V. 2017. Taxonomic and functional trait diversity of wild bees in different urban settings. *PeerJ*, 2017(3), 1–35. <https://doi.org/10.7717/peerj.3051>.

- Pacheco-Figueroa, C. J. 2015. La comunidad de las aves en tres hábitats de la planicie de tabasco, México. *Agro Productividad*, 8(5).
- Pagola-Carte, S. 2019. Description of two new species of *Phytocoris* from Turkey (Hemiptera: Heteroptera: Miridae). *Heteropterus Revista de Entomología*, 19 (2), 269-284.
- Perillo LN, Barbosa NP, Solar RRC & Neves F (2020) Patterns of diversity in a metacommunity of bees and wasps of relictual mountainous forest fragments. *Journal of Insect Conservation* 24(1): 17–34. <https://doi.org/10.1007/s10841-019-00194-2>.
- Petchey, O. L. & Gaston, K. J., 2006. Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9: 741–758.
- Poff, N. L., y Zimmerman, J. K. 2009. “Ecological impacts of altered flow regimes: A meta-analysis to inform environmental flow management.” *Freshwater Biol.*, in press.
- Poggio, S. L., E. J. Chaneton, and C. M. Ghersa. 2013. The arable plant diversity of intensively managed farmland: Effects of field position and crop type at local and landscape scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 166: 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.013>.
- Quintero, C., Morales, C. y Aizen, M. A. 2010. Effects of anthropogenic habitat disturbance on local pollinator diversity and species turnover across a precipitation gradient. *Biodiversity and Conservation*, 19, 257–274.
- Ramírez-Ordoñez, J. C., Lozano-Pérez, M., Aguilar-Cazares, G., Gutiérrez-Montaña, A., Yanes-Gómez, G., Jiménez-Moreno, F. J., & Sánchez, S. 2023. Mariposas de la región central del estado de Puebla, México: un acercamiento a su conocimiento e importancia.
- Salamanca-Fonseca, M., Aldana, A. M., Vargas-Martinez, V., Acero-Gomez, S., Fonseca-Tellez, J., Gutierrez, S., & Sanchez, A. 2024. Effects of urban, peri-urban and rural land covers on plant functional traits around Bogotá, Colombia. *Urban Ecosystems*, 27(1), 251-260.
- Schmitt, L., & Burghardt, K. T. 2021. Urbanization as a disrupter and facilitator of insect herbivore behaviors and life cycles. *Current Opinion in Insect Science*, 45, 97-105.

- Sekar, S. 2012. A meta-analysis of the traits affecting dispersal ability in butterflies: can wingspan be used as a proxy?. *Journal of Animal Ecology*, 81(1), 174-184.
- Seto, K. C., Golden, J. S., Alberti, M., & Turner, B. L. 2017. Sustainability in an urbanizing planet. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8935-8938.
- Shochat E., Warren P., Faeth S., et al. 2006. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 186-191.
- Silva, G. S., S. M. Jahnke, and N. F. Johnson. 2020. Riparian forest fragments in rice fields under different management: differences on hymenopteran parasitoids diversity. *Brazilian Journal of Biology* 80:122-132. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.194760>.
- Swan CM, Pickett STA, Szlavecz K, Warren P & Willey T. 2011. "Chapter 3.5: Urban ecology: patterns, processes, and applications," in *Biodiversity and Community Composition in Urban Ecosystems: Coupled Human, Spatial, and Metacommunity Processes*, ed J. Niemela (Oxford: Oxford University Press), 179–186. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199563562.003.0021.
- Tavares-Brancher, K. P., Graf, L. V., Ferreira-Júnior, W. G., Faria, L. D. B., & Zenni, R. D. 2024. Plant-pollinator interactions in the neotropics are affected by urbanization and the invasive bee *Apis mellifera*. *Journal of Insect Conservation*, 28(2), 251-261.
- Tilman, D., Reich, P. B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T., & Lehman, C. 2001. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, 294(5543), 843-845.
- Tiroesele, B., Skoda, S. R., Hunt, T. E., Lee, D. J., Ullah, M. I., Molina-Ochoa, J., & Foster, J. E. 2018. Morphological and genetic analysis of four color morphs of bean leaf beetle. *Journal of Insect Science*, 18(2), 39.
- Tscharntke, T., Sekercioglu, C. H., Dietsch, T. V., Sodhi, N. S., Hoehn, P., & Tylianakis, J. M. 2008. Landscape constraints on functional diversity of birds and insects in tropical agroecosystems. *Ecology*, 89(4), 944-951.
- Urbina-Cardona JN, Londoño-Murcia MC, García-Ávila DG. 2008. Dinámica espacio-temporal en la diversidad de serpientes en cuatro hábitats con diferente grado de perturbación antropogénica en el Parque Nacional Natural Isla Gorgona, Pacífico colombiano. *Caldasia* 30:407–421.

- Vähätalo, A. V., Pulli, A., Kulmala, T., Marin, R., & Haimi, J. 2024. Urbanization related changes in lepidopteran community. *Urban Ecosystems*, 27(2), 377-386.
- Van Auken, O. W. 2000. Shrub invasions of North American semiarid grasslands. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31: 197-215.
- Varela Sánchez, R. E., & Hernández Duarte, S. D. J. 2023. *Caracterización de abejas nativas en diferentes agroecosistemas en dos épocas del año, Campus Agropecuario UNAN-León 2022* (Doctoral dissertation).
- Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892.
- Wezel, A. and T. Rath. 2002. Resource conservation strategies in agro-ecosystems of semi-arid West Africa. *The Journal of Arid Environments* 51(3): 383-400. DOI: <http://dx.doi.org/10.1006/jare.2001.0968>.
- Winchester, L. 2008. Armonía y discordancia entre los asentamientos humanos y el medio ambiente en América Central y el Caribe.
- Worm B, Duffy JE. 2003. Biodiversity, productivity, and stability in real food webs. *Trends Ecol Evol* 18:628–632.
- Wright, J. P., Naeem, S., Hector, A., Lehman, C., Reich, P. B., Schmid, B. & Tilman, D., 2006. Conventional functional classification schemes underestimate the relationship with ecosystem functioning. *Ecology Letters*, 9: 111–120.

CAPÍTULO 2

DIVERSIDAD Y COMPOSICIÓN DE COMUNIDADES DE INSECTOS EN UN GRADIENTE DE PERTURBACIÓN

vmcaballerochan@live.com.mx; alejandra.gm@conkal.tecnm.mx

Resumen

La disminución en la cobertura vegetal y la perturbación antropogénica pueden afectar negativamente la diversidad de insectos. El objetivo de este trabajo fue describir la composición de comunidades de insectos fitófagos y benéficos en tres zonas con diferente nivel de perturbación (ciudad, cultivos de maíz y selva baja caducifolia) del Estado de Yucatán, México. Se registraron un total de 38,233 individuos clasificados en 158 familias, 18 órdenes y 8 grupos funcionales. La estimación en la riqueza de familias fue diferente en el grupo de los hematófagos y detritívoros. La diversidad de familias comunes fue diferente en todos los grupos. La diversidad de familias dominantes fue diferente en los grupos de los de los parasitoides y depredadores. Estos resultados sugieren que la perturbación puede favorecer la existencia de ciertas familias y limitar el éxito de otras. Las familias que dominaron Pyralidae, Tabanidae, Geometridae, Formicidae, Tachinidae, Coccinellidae y Muscidae.

Abstract

The decrease in vegetation cover and anthropogenic disturbance can negatively affect insect diversity. The objective of this study was to describe the community composition of phytophagous and beneficial insects in three areas with different levels of disturbance (city, maize crops, and low deciduous forest) in the state of Yucatán, Mexico. A total of 38,233 individuals were recorded, classified into 158 families, 18 orders, and 8 functional groups. The family richness estimation differed in the hematophagous and detritivorous groups. The diversity of common families varied across all groups. The diversity of dominant families was different in the parasitoid and predator groups. These results suggest that disturbance may favor the presence of certain families while limiting the success of others. The dominant families were Pyralidae, Tabanidae, Geometridae, Formicidae, Tachinidae, Coccinellidae, and Muscidae.