



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

“Diversidad de Rhopalocera (Insecta: Lepidoptera) y su
relación con la vegetación en el Ecoparque Metropolitano
de la Ciudad de Puebla México”

Tesis de Maestría

PRESENTA:

BIÓL. MARÍA TERESA REYNA CERVANTES

DIRECTORA:

DRA. HORTENSIA CARILLO RUIZ

CODIRECTORA:

DRA. MARÍA ESTHER QUINTERO RIVERO

ASESORES:

DRA. AGUSTINA ROSA ANDRÉS HERNÁNDEZ

DR. HUGO ALEJANDRO ÁLVAREZ GARCÍA CANO

DR. CRISTIAN ADRIAN MARTÍNEZ ADRIANO

Febrero 2023



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

Asunto: Voto Aprobatorio

**Comité Académico del Posgrado
PRESENTE**

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

“Diversidad de Rhopalocera (Insecta: Lepidoptera) y su relación con la vegetación en el Ecoparque Metropolitano de la Ciudad de Puebla México”

Que presenta la estudiante **María Teresa Reyna Cervantes** con número de matrícula **220470530**, aspirante al grado de **Maestra en Ciencias Biológicas**, de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: **“sistemática”**, 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. Agustina Rosa Andrés Hernández

Tutor Externo: Dr. Hugo Alejandro Álvarez García Cano

Revisor: Dr. Cristian Adrian Martínez Adriano



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

H. Puebla de Z. a 26 de enero de 2023

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

María Teresa Reyna Cervantes Matrícula: 220470530

Maestría en Ciencias Biológicas Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

“Diversidad de Rhopalocera (Insecta: Lepidoptera) y su relación con la vegetación en el Ecoparque Metropolitano de la Ciudad de Puebla México”

Directora de Tesis: Dra. Hortensia Carillo Ruiz

H. Puebla de Zaragoza a

Por medio de la presente DECLARO QUE: El documento de tesis presente es una obra original que ha sido desarrollada íntegramente por la autora, no se han utilizado ideas, formulaciones, citas, ilustraciones, gráficos o imágenes diversas u otra información de fuentes en medios escritos o electrónicos, sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor (es). Se declara que, el documento no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros.

Del mismo modo, asumo frente a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y ante la Maestría en Ciencias Biológicas, cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la falta de originalidad del contenido de la tesis presentada.



Biol. María Teresa Reyna Cervantes

Dedicatoria

En memoria de:

María Teresa Cervantes Cordero, la mujer más maravillosa que la vida me regaló como madre, juntas iniciamos este sueño, y juntas lo vamos a terminar, no importa la distancia, ni el tiempo, es un logro tan tuyo como mío. Gracias por siempre creer en mí, aun cuando yo no podía

Te amo con todo mi corazón, un beso hasta el cielo.

A los dos hombres de mi vida, Diego Medina Cantero y Arturo Reyna Clave, por ser los pilares que me mantiene en pie, gracias por todo su amor y su apoyo, Sigamos caminando juntos.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento y apoyo con la beca con número de apoyo 772742 que recibí durante el periodo de maestría y me permitió concluirla satisfactoriamente.

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo para la realización y conclusión satisfactoria de este trabajo.

A la Maestría en Ciencias Biológicas de la BUAP por el apoyo brindado a lo largo de todo el posgrado. A la **M en C. Concepción López Téllez**, coordinadora de la Maestría por todo el apoyo y ayuda que me brindó.

De manera especial a mi directora de tesis, la **Dra. Hortensia Carrillo Ruiz** por todo su apoyo y cariño, y por permitirme volver a trabajar a su lado en esta nueva etapa. Gracias por todas las enseñanzas y por el aprendizaje. Le estaré agradecida toda la vida.

A mi Co-directora, la **Dra. María Esther Quintero Rivero**, por todos sus consejos y aportaciones que permitieron sacar adelante el proyecto. A los miembros del comité: la **Dra. Agustina Rosa Andrés Hernández** y el **Dr. Hugo Alejandro Álvarez García Cano** por guiar y enriquecer en todo momento este proyecto. De manera muy especial agradezco al **Dr. Cristian Adrian Martínez Adriano** por todo su apoyo y consejos para la realización de este trabajo, gracias Criss porque puedo decir sin exagerar, que este proyecto se pudo finalizar gracias a ti. Te agradezco todos tus consejos y la buena vibra que siempre me brindaste.

A toda la planta académica de la Maestría en Ciencias Biológicas de la BUAP por compartir su conocimiento y experiencia y contribuir en mi formación académica.

A mi familia por tanto amor y apoyo: a mis abuelitas **Tere, Mone y Elo**; a mis tíos **Jorge, Pepe, Juan, Chelo, Paty, Felipe y Rene**; por estar presentes siempre. A mis primos **Paco, Fer, Abril, Martha, Ana y Hugo** les agradezco de todo corazón acompañarme en cada momento.

A mis amigos, que más que amigos puedo decir que son como una segunda familia, un poco disfuncional pero una familia al fin. Hemos compartido tantos momentos y les agradezco de todo corazón siempre estar ahí cuando más nos hemos necesitado. **Jessica Ramírez, Abraham Mendoza e Issachar López** es un gusto poderlos llamar colegas, pero es todo un privilegio llamarlos mis amigos.

A mis amigas Maestras en acción, las MAESTRAS EN CIENCIAS **Xiumy Michelle Sánchez y Areele Muñoz**. Gracias por todo amigas, nos costó sangre sudor y lágrimas, pero se logró. Siempre juntas, el tiempo que la vida nos quiera regalar. De todo corazón mil gracias

De manera extra especial a **Diego Ulises Medina Cantero** por ser mi compañero de vida y mi mayor apoyo, gracias amor por siempre estar dispuesto a ayudarme, aun cuando implique ir a campo y perseguir bichos. No me va a alcanzar la vida para agradecerte todo tu amor y comprensión, te veo en las siguientes vidas, si es que las hay, para seguir caminando juntos. Eres mi mayor orgullo y mi mayor regalo. Te amo infinito.

A mi papá **Arturo Reyna Clave** por ser un hombre excepcional, gracias por enseñarme tu dedicación y fortaleza. Por siempre apoyar mis sueños y proyectos, te agradezco por regalarme de tu tiempo y jugar a ser biólogo por un día, este logro lo compartimos los tres. Siempre juntos. Nunca me cansaré de repetirlo, de todo corazón mil gracias.

Finalmente quiero terminar agradeciendo a la persona que más me animó a iniciar este proyecto, mamita linda siempre me alentaste a perseguir mis sueños, te perdí en el camino, pero todo esto es gracias a ti, espero que ahí donde estás, te sientas muy orgullosa de mí, así como yo me siento tan orgullosa de ti, eres mi mayor inspiración. Te amo con todo mi corazón. Si importar nada, sin importar donde, siempre juntas.

Ah y, por último, pero no menos importante, quiero agradecerle a México por ser un país Megadiverso.

Índice.

Índice.....	7
Resumen.....	8
Introducción.....	10
Antecedentes.....	12
Justificación.....	19
Capítulo 1 Diversidad de mariposas diurnas en el Ecoparque Metropolitano de la ciudad de Puebla.....	20
Introducción.....	20
Pregunta de investigación.....	21
Hipótesis.....	22
Predicciones.....	22
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos.....	22
Materiales y Métodos.....	23
Resultados.....	27
Discusión.....	32
Conclusiones:.....	38
Capítulo 2 Redes de interacción mariposa-planta en el Ecoparque Metropolitano Puebla, México.....	39
Introducción.....	39
Pregunta de investigación.....	40
Hipótesis.....	40
Predicciones.....	41
Objetivo general.....	41
Objetivos específicos.....	41
Materiales y Métodos.....	41
Resultados.....	45
Discusión.....	52
Conclusiones.....	57
Referencias.....	58
Anexos.....	68

Resumen

Las actividades humanas, son una de las principales causas de pérdida de diversidad en el mundo. Sin embargo, a pesar del impacto negativo causado, las ciudades pueden albergar una gran diversidad de especies que juegan un papel ecológico importante en los ecosistemas urbanos. Por tal motivo, en este estudio se evaluó la relación que existe entre la composición vegetal y la diversidad de mariposas diurnas presente en el Ecoparque Metropolitano de la Ciudad de Puebla. De marzo a diciembre del 2021 se llevaron a cabo cuatro muestreos mensuales en dos zonas dentro del Ecoparque con manejo y vegetación contrastante. La recolecta de datos fue mediante redes entomológicas y observación directa. Adicionalmente se registraron las interacciones entre las mariposas y las plantas presentes en las zonas de muestreo, para posteriormente elaborar redes de interacciones y analizar su topología en cada zona muestreada y en dos temporadas del año, seca y lluviosa. Como resultado se obtuvieron 787 ejemplares de mariposas pertenecientes a 74 especies. En cuanto a las redes, se obtuvo que, la red de la zona con manejo y vegetación ornamental (A) consistió en 2697 interacciones, establecidas entre 42 especies de mariposas y 17 especies de plantas. En contraste la red de la zona sin manejo (B) fue más pequeña, con 1606 interacciones establecidas entre 38 especies de mariposas y 15 especies de plantas. Al contrastar las redes de interacción durante las temporadas de muestreo, en la temporada lluviosa, se registraron 3328 interacciones establecidas entre 44 especies de mariposas y 27 especies de plantas; en contraste en la temporada seca, la red fue considerablemente más pequeña, donde se establecieron 975 interacciones entre 34 especies de mariposas y 18 especies de plantas.

Se encontraron patrones anidados en las cuatro redes analizadas, de acuerdo al índice de especialización, las redes fueron generalistas, lo que indica que hay una gran cantidad de especies generalistas dominando las zonas estudiadas. De acuerdo al índice de asimetría de fuerza de la interacción, hay una mayor dependencia por parte de las mariposas hacia las plantas. En las zonas muestreadas, la especie de mariposa con mayor fuerza o importancia dentro de la red en ambas zonas fue: *Leptophobia aripa elodia*. En la zona B *Ancyloxypha arene* también presentó valores altos. Para el nivel de las plantas fueron: *Lantana camara* y

Bidens sp. en la zona A; y en la zona B fue: *Bidens* sp. En cuanto a las temporadas de muestreo *L. aripa elodia* y *A arene*. fueron las especies de mariposas con mayor fuerza o importancia en ambas redes, seguida por *Papilio multicaudata multicaudata* en la temporada lluviosa. En cuanto al nivel de las plantas, *L. camara* y *Bidens* sp. fueron las especies con mayor importancia en las redes de ambas temporadas

Palabras clave: red, interacción, urbano, generalista, anidamiento.

Introducción

Las especies de Lepidoptera junto con los de Diptera, Hymenoptera y Coleoptera constituyen los cuatro órdenes hiperdiversos de la clase Insecta, constituyendo el 81% de esta clase (Zhang 2011). Los lepidópteros se caracterizan por presentar cuatro alas de coloraciones muy vistosas cubiertas por pequeñas escamas que brindan los patrones y la coloración distintiva de cada especie (García-Barros *et al.* 2015). Dentro de este orden se reconocen cuatro subórdenes: Zeugloptera, Aglossata, Hetrobathmiina y Glossata. El orden Glossata engloba a la mayoría de las mariposas consideradas de hábitos diurnos (Van Nieuwerkerken *et al.* 2017). Dentro del infraorden Heteroneura se encuentra la superfamilia Papilionoidea, que actualmente comprende siete familias de mariposas: Papilionidae, Hedyliidae, Hesperidae, Pieridae, Riodinidae, Lycaenidae y Nymphalidae (Kim *et al.* 2014). Actualmente el estudio de las relaciones entre familias de Papilionoideos recupera la siguiente relación: (Papilionidae, ((Hedyliidae, Hesperidae), (Pieridae, ((Lycaenidae, Riodinidae), Nymphalidae)))) (Mitter *et al.* 2017).

Dentro de la superfamilia Papilionoidea, la gran mayoría de especies son de hábitos diurnos y son visitantes comunes de flores en todo el mundo; ya que juegan un papel importante como polinizadores secundarios en ausencia de los polinizadores primarios (Rosa- Guerrero *et al.* 2014). Además, estos insectos guardan una estrecha relación con las plantas de las cuales se alimentan (Martínez-Adriano *et al.* 2018), tanto en su estado adulto como inmaduro, estableciendo con ellas una interacción necesaria para su nutrición, ya que las mariposas diurnas, son fitófagas obligadas en su estadio larval presentando una estrecha relación con su planta hospedera (Orta *et al.* 2022). Las larvas pueden ser polífagas, oligófagas o monófagas, dependiendo de la cantidad de especies de plantas que utilizan para su alimentación y desarrollo (Padrón 2006, Mulanovich 2007, Hernández 2010, Segarra 2019, Orta *et al.* 2022), en el caso de las mariposas adultas, la gran mayoría son especies nectarívoras, de hecho se sabe que las especies pertenecientes a las familias Hesperidae, Lycaenidae, Papilionidae, Pieridae, Riodinidae y cerca de la mitad de las especies de Nymphalidae son nectarívoras (Freitas *et al.* 2014, Orta *et al.* 2022). Estos organismos también dependen de la vegetación para obtener hábitats adecuados para sobrevivir, debido a que los diferentes estratos vegetales, están directamente relacionados con la diversidad de mariposas ya que en estos estratos se forman microclimas que permiten el asentamiento de diversas especies en su

entorno (Brereton *et al.* 2011, Casas-Pinilla *et al.* 2017). Lo que provoca que las mariposas sean sensibles a los cambios producidos en su hábitat (Brereton *et al.* 2011, Casas-Pinilla *et al.* 2017).

Por lo tanto, la disminución en la vegetación afecta directamente en las comunidades de mariposas (Casas-Pinilla *et al.* 2017). En los últimos años, el crecimiento de las urbes ha provocado la eliminación de grandes extensiones de vegetación natural, alterando la estructura y función de los ecosistemas; estos cambios han propiciado el desarrollo de la ecología urbana, disciplina que utiliza a los ambientes urbanos como principal objeto de estudio (Di Pace *et al.* 2012). Los ambientes urbanos se caracterizan por la presencia de componentes naturales y construidos cuya interacción se ve influenciada por procesos naturales como el clima, y por procesos geomorfológicos, pero principalmente por la cultura, la organización social, económica y política (Amaya 2005). Así como los ecosistemas naturales, estos nuevos ambientes urbanos pueden ser caracterizados por sus componentes bióticos y abióticos, así como por la circulación de materia y energía (Reyes-Paecke *et al.* 2018).

Dentro de estos ambientes urbanos, el conocimiento de las interacciones entre sus componentes es de gran importancia, debido al gran impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas naturales, alterando las interacciones biológicas con la extinción de especies y la integración de especies invasoras (Jhonson y Steiner 2000). Especialmente las interacciones planta-insecto, ya que se consideran como la base de los ecosistemas, y parte fundamental de la biodiversidad, siendo importantes en el proceso de evolución y mantenimiento de los ecosistemas (Thompson 2006). Estas relaciones se ven afectadas por las alteraciones ambientales, por ejemplo, la introducción de especies exóticas que pueden establecer interacciones con el resto de especies, desplazando a las especies nativas (Suarez 2018).

El estudio de estas interacciones ha ido evolucionado drásticamente en las últimas décadas y el enfoque de las investigaciones se ha ampliado de las relaciones por pares de especies, hacia el estudio de comunidades enteras, ya que este tipo de interacciones planta-polinizador no suceden de manera aislada, sino que constituyen redes complejas de interacción (Olsen *et al.* 2008, Beltran y Traveset 2018).

Antecedentes

Lepidópteros en ambientes urbanos

La perturbación antropogénica es una de las principales causas de pérdida de ecosistemas naturales y tiene como consecuencia la extinción local de especies nativas de flora y fauna debido a que, el hábitat natural es sustituido por uno nuevo y modificado (Ramírez *et al.* 2007). A diferencia de otras formas de perturbación donde los ecosistemas se pueden ir recuperando con el paso del tiempo mediante la sucesión ecológica, la urbanización usualmente reemplaza irreversiblemente los ambientes naturales, obteniendo como resultado un impacto negativo de larga duración en los ecosistemas locales (Arroyo 2018).

Dentro de los ambientes urbanos, las áreas verdes como los parques y las reservas naturales son de gran importancia, proveen de zonas de refugio y recursos alimenticios para la conservación y mantenimiento de especies nativas de fauna local (Ramírez- Segura y Wallace- Jones 2017). Por otro lado, cada especie reacciona de forma distinta a la perturbación; algunos grupos biológicos pueden adaptarse a la perturbación, mientras que otros tienen que desplazarse fuera de la mancha urbana o incluso desaparecen; por lo que resulta importante realizar estudios que proporcionen información sobre la presencia de las especies en estos ambientes, lo que permitirá registrar los cambios de la fauna dentro de los hábitats urbanos (Pérez-Jarillo 2017).

En el caso específico de los lepidópteros, la información de las especies en ambientes urbanos es escasa. Hasta el año 2016 Ramírez-Restrepo y MacGregor-Fors documentaron un total de 173 estudios de 37 países y más de 110 áreas urbanas sobre los lepidópteros en los ambientes urbanos. El 69% de estos trabajos aborda temas ecológicos, el 14% se centró en la conservación biológica y el 17% restante se trata de listados faunísticos. De manera general, la gran mayoría de estos trabajos señalan que la urbanización tiene un impacto negativo en la riqueza y abundancia de mariposas. Sin embargo, se sabe que algunas especies se han podido adaptar, tal es el caso de la mariposa *Poanes menale vitellina* (Herrich-Schäffer 1869), que se ha adaptado a la vegetación introducida, específicamente a la hierba australiana *Rytidosperma racemosum* (R.Br.) Connor & Edgar, en las zonas urbanas de California (Shapiro 2007). De igual manera, se ha reportado que las especies de mariposas pertenecientes a la familia Pieridae son capaces de colonizar ambientes agrarios, debido a

que se ven favorecidas por la perturbación, ya que sus larvas están asociadas a la vegetación secundaria (Luna-Reyes *et al.* 2008). Las especies de Pieridae presentan una amplia distribución y son capaces de aprovechar numerosos recursos del ambiente, características que propician que la familia se pueda distribuir en ambientes perturbados (Luna-Reyes *et al.* 2008).

Como ejemplo de los trabajos sobre mariposas en ambientes urbanizados Tam y Bonebrake (2015) compararon cuatro hábitats ubicados en 13 parques urbanos en Hong Kong. Estos autores recolectaron un total de 1054 individuos pertenecientes a 58 especies de mariposas, lo que representa una cuarta parte del total de especies registradas para esta región. De igual manera, los autores encontraron que los hábitats cubiertos de árboles y los pastizales tuvieron mayor diversidad de mariposas que las áreas abiertas. En el estudio también se registraron un total de 40 especies de plantas. Aunque los autores de este estudio concluyen que los parques urbanos tienen un valor de conservación para Hong Kong, también encontraron que las alteraciones en estos parques como el uso de pesticidas y la extracción de vegetación limita la reproducción significativamente de las mariposas y el crecimiento de la población.

Por otro lado, en Singapur, Kho y Sodhi (2004) evaluaron la efectividad para sostener a las poblaciones de mariposas en distintos entornos, incluyendo reservas forestales formadas por bosques secundarios y primarios protegidos, fragmentos con vegetación ruderal dispersa y parques urbanos con hábitats de vegetación introducida para conservar la diversidad de mariposas en un paisaje tropical altamente urbanizado. Estos autores compararon 39 sitios que clasificaron en: reservas forestales, fragmentos de bosque, parques urbanos cercanos a bosques, y parques urbanos aislados. El estudio encontró que las reservas forestales presentaron mayor abundancia, cantidad de especies únicas y mayor equitatividad de comunidades de mariposas entre hábitats. De igual manera, en las reservas forestales y los parques urbanos adyacentes a los bosques, estos autores registraron en conjunto el 91% de todas las especies de mariposas en el estudio, lo que sugiere que su preservación lograría la máxima complementariedad para la conservación efectiva de las mariposas.

Por otro lado, Giuliano *et al.* (2004) compararon la riqueza y la abundancia de lepidópteros respecto al tamaño de los parques urbanos, así como con la riqueza y cobertura de plantas herbáceas en los parques de Nueva York. Estos autores encontraron que el tamaño del parque

se relacionó positivamente con la abundancia relativa y la riqueza de especies. Además, tanto la abundancia relativa como la riqueza de especies de lepidópteros se asociaron con la riqueza de especies de plantas herbáceas. Los autores del estudio sugieren que, dentro de los parques, el manejo de las mariposas debe centrarse en expandir el tamaño de los parques urbanos y la riqueza de especies de plantas herbáceas, ya que éstas son de particular importancia para la abundancia y la riqueza de especies de mariposas. Según los resultados del estudio las áreas más grandes y ricas en plantas pueden albergar un mayor número de especies e individuos de lepidópteros al aumentar la disponibilidad de alimento y cobertura, así como el número de nichos disponibles.

Interacciones planta-mariposa en zonas urbanas

Las interacciones entre especies son la columna vertebral de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema (Bascompte y Jordano 2007) e influyen en la estructura, estabilidad y funcionamiento de las comunidades ecológicas (Kremen *et al.* 2007). Estas interacciones, principalmente las interacciones mutualistas, han tomado gran relevancia, ya que el destino de estas interacciones de múltiples especies en un mundo altamente cambiante y las consecuencias que pueden representar su alteración se han convertido en temas importantes para la investigación durante las últimas décadas (Kremen *et al.* 2007).

Las interacciones mutualistas se pueden representar por medio de redes ecológicas, dado que son colecciones de nodos que están conectados entre sí por enlaces, donde los nodos son las especies de plantas y mariposas y los enlaces son líneas que representan su interacción. Estas redes proporcionan información valiosa debido a que, por medio de sus métricas como la diversidad de Shannon, anidamiento, generalidad, conectancia y robustez, se analizan la diversidad y abundancia de interacciones en la red siendo una herramienta útil para describir los patrones y cambios que presentan las interacciones entre especies, por ejemplo cómo se tiene que reajustar la red cuando un recurso se encuentra ausente o qué especies afectarían más al rompimiento de la red en caso de desaparecer (Martínez-Falcón *et al.* 2016, Jaramillo 2019).

Las redes, de acuerdo a su estructura general, se pueden representar gráficamente de dos maneras: las redes unipartitas o unimodales, y las redes bipartitas o bimodales. En las redes

unipartitas, los enlaces se pueden establecer entre cualquiera de las especies (nodos) de la red y pueden interactuar tanto dentro como fuera del mismo nivel trófico mientras que en las redes bipartitas o bimodales interactúan dos grupos bien definidos (planta-planta) o dos niveles tróficos (planta-polinizador) sin embargo, los organismos de un nivel trófico no interactúan con las especies del mismo nivel trófico (Jordano y Bascompte 2009, Martínez-Falcón *et al.* 2019,). Una de las funciones del análisis de redes es evaluar los parámetros de la diversidad de interacciones tanto a nivel de especie como a nivel de toda la red trófica (Martínez-Falcón *et al.* 2019).

En un estudio realizado en Colombia, Jaramillo-Castillo (2019) comparó las redes ecológicas de mariposas diurnas y plantas con flor, la red de interacciones de la zona conservada registró la mayor cantidad de nodos y una mayor diversidad de interacciones en comparación con la red de la zona intervenida, sin embargo, la zona intervenida (áreas de cultivo y ganadería) presentó una mayor cantidad de especies de mariposas especialistas en contraste a la zona conservada donde dominaron las especies generalistas lo que le brindo a la red una mayor robustez y resistencia. Al comparar las zonas en época de lluvias y secas, la red de la zona conservada en época lluviosa registró una menor cantidad de nodos, pero una mayor diversidad de interacciones y se registró un promedio menor de interacciones que en la red de la zona perturbada. Las redes en ambas zonas en época de lluvia presentaron valores de robustez altos, es decir, las dos zonas presentan redes estables; sin embargo, la zona conservada presenta una estabilidad un tanto mayor. Para la zona perturbada en época seca se obtuvo una menor cantidad de nodos y una mayor proporción de especies generalistas en comparación con la zona conservada; la red de la zona intervenida en la época seca también presentó una alta robustez y estabilidad.

Mukherjee y colaboradores en el 2018 trabajando en un área metropolitana en Calcuta, India, reportaron un total de 48 especies de lepidópteros y 30 especies de plantas. La red de interacción planta-mariposa arrojó como resultado 417 interacciones mutualistas. La especie de planta *Lantana camara* fue la especie con más interacciones (37); mientras que la especie de mariposa *Catopsiia pyranthe* fue la más generalista relacionándose con 21 especies de plantas. Los autores mencionan que tanto los arbustos como las plantas herbáceas son muy importantes para mantener la población de mariposas. El análisis de las interacciones planta-

mariposa presentada en este estudio es útil para la elección de especies vegetales necesarias en la conservación de mariposas en un ambiente urbano.

Algunos autores como Ramírez-Segura y Wallace-Jones (2017) consideran importante determinar la estructura de las comunidades de mariposas que se adaptan a los ecosistemas urbanos, para determinar especies vegetales potenciales que podrían ser utilizadas como atractivos en estas zonas verdes. Además, es importante conocer las especies vegetales que sirven como hospederas o proporcionan alimento a las mariposas en su estadio larval, y que generalmente son muy específicas; es decir, en muchos casos, la supervivencia de una mariposa está relacionada a la presencia de una especie de planta. Incluso, la aparición de cualquier especie de mariposa es un indicador seguro de la presencia simultánea de otras especies vegetales asociadas al ambiente (Salazar y Vélez 1991).

En el 2016, Ramírez-Segura y Wallace- Jones realizaron un trabajo recopilatorio sobre polinizadores en ambientes urbanos. Estos autores se centraron en abejas y mariposas debido a que son los grupos más frecuentes en las ciudades. Además, estos dos grupos se consideran importantes, ya que son indicadores de la calidad ambiental. Hasta 2016, había 19 trabajos sobre polinizadores urbanos, de los cuales 10 correspondían a mariposas. En estos trabajos hay 11 familias reportadas siendo Nymphalidae, Pieridae, Papilionidae y HesperIIDae las más comunes. Estos autores estiman que, en México hasta el 2016, sólo el 10.9% de los trabajos sobre abejas y mariposas, se centraban en ambientes urbanos.

Ramírez-Segura y Wallace- Jones en el 2017, muestrearon 12 sitios con diferente grado de perturbación en la ciudad de Querétaro; nueve fueron áreas verdes urbanas y tres sitios semiconservados. Recolectaron un total de 1042 individuos pertenecientes a 91 especies de lepidópteros diurnos; las áreas verdes urbanas muestreadas tuvieron un mayor número de especies que los sitios semiconservados debido a que en ellas se registraron 72 especies mientras que para los segundos se registraron 53, lo cual posiblemente se deba a la presencia de recursos florales, especialmente de plantas ornamentales disponibles en las áreas verdes urbanas. También compararon la cantidad de especies vegetales que utilizaban las mariposas para alimentarse, reportando que, en las áreas verdes pequeñas y medianas, las mariposas utilizaron menos de 10 especies de plantas, mientras que en las áreas verdes grandes usaron

de 12 a 25 especies. En los sitios semiconservados, las plantas utilizadas fueron de 11 a 15 especies durante el periodo de muestreo.

Sánchez-Jasso y colaboradores, en el 2019 realizaron un estudio en el estado de México donde compararon tres zonas: zona urbana, parques urbanos y zona lacustre. La zona urbana tuvo el mayor número de especies (36); seguida por parques urbanos (17 especies) y la zona lacustre (16 especies). Estos autores encontraron mayor similitud de especies entre las zonas urbanas y los parques urbanos. Además, los autores mencionan que los parques urbanos albergan el 41% de las especies reportadas para el Estado de México, en donde lograron asociar la riqueza de especies de mariposas con la composición, abundancia y distribución florística natural e inducida de esta zona.

Pérez-Jarillio en 2017, comparó 15 sitios con diferente grado de perturbación en la ciudad de Pachuca registrando un total de 1625 ejemplares pertenecientes a 59 especies de las cuales ocho especies son endémicas de México y una es de especial importancia, *Erynnis mercurius mercurius* pues se considera rara por el escaso número de ejemplares depositados en colecciones biológicas. Los análisis realizados, muestran que la riqueza de mariposas disminuyó conforme aumentó la cobertura de superficie impermeable (nivel de urbanización) y de vegetación introducida, mientras que la riqueza fue mayor conforme se incrementó la cobertura de vegetación nativa. En cuanto a la abundancia, se encontró una relación negativa y significativa con la cobertura de vegetación introducida.

Beteta en 2018 evaluó el impacto de la urbanización en la red de interacción mariposa-planta en la ciudad de Pachuca. Registró un total de 48 especies de mariposas interactuando con 59 especies de plantas; de las cuales 27 especies fueron registradas en áreas de alta urbanización, 27 especies en zonas de urbanización media y 26 en zonas de baja urbanización. En cuanto a las plantas, se registraron 26, 30 y 26 especies en zonas de alta, media y baja urbanización respectivamente. Aunque la riqueza de especies no mostró diferencias significativas entre los sitios de muestreo, se presentó un importante recambio en la composición de las comunidades de mariposas en los tres niveles estudiados, evidenciando así un mayor número de especies generalistas mientras aumentaba el nivel de urbanización. Se presentó un patrón de anidamiento en las redes en los sitios de urbanización media y alta pero no en la baja, este patrón muestra que hay un alto porcentaje de especies generalistas en las zonas con mayor

urbanización, lo que brinda más robustez a la red, mientras que en la zona menos urbanizada la proporción de especies especialistas es mayor.

De acuerdo con Ramírez- Restrepo y MacGregor-Fors (2016), a pesar de que la urbanización es una de las principales causas de pérdida en la biodiversidad, este tema aún está muy poco estudiado. Por lo tanto, resulta de interés determinar la fauna de lepidópteros que habita los ambientes urbanos y su relación con la vegetación que en ellos se cultiva.

Justificación

La alteración de los factores ambientales debido a la urbanización, junto con la introducción de especies invasora y exóticas, conllevan a un cambio en la vegetación que afecta directamente las interacciones entre las plantas y los visitantes florales, modificando por ejemplo la dinámica de forrajeo de dichos visitantes (Winfrey *et al.* 2014, Beteta 2018).

Los estudios de mariposas en zonas urbanas, particularmente en México, no son muy abundantes; sin embargo, algunos trabajos sugieren que las dimensiones de áreas verdes dentro de las urbes pueden influir en la diversidad de mariposas que ahí se encuentran (Giuliano *et al.* 2004, Sing *et al.* 2016); siendo estas áreas verdes, zonas de refugio y de recursos alimenticios para las especies nativas de fauna local (Ramírez- Segura y Wallace Jonse 2017). Por lo que resulta relevante realizar estudios que proporcionen información sobre la presencia de especies en estos ambientes, lo que permitirá a su vez, registrar cambios en la fauna y las interacciones que se establecen dentro de los hábitats urbanos (Pérez Jarillo 2017, Beteta 2018) ya que aun con los impactos negativos que provoca la urbanización, el manejo que se le da a estas áreas puede generar áreas verdes urbanas que alberguen una mayor diversidad de especies (Beteta 2018).

Finalmente, contribuir al conocimiento de las mariposas diurnas y las interacciones que establezcan con la vegetación, permite diseñar un manejo adecuado de estas áreas verdes, que conlleve por un lado a sostener las comunidades de mariposas y por otro, obtener beneficios y servicios de la diversidad a la urbe (Ramírez *et al.* 2007, Haedo *et al.* 2017). Por lo tanto, este proyecto aporta conocimiento que servirá como herramienta en la toma de decisiones futuras para mejorar el estado de los parques urbanos de la ciudad, al determinar la estructura (riqueza, abundancia y diversidad) de las comunidades de mariposas y su relación con las plantas que se cultivan en uno de los parques urbanos de mayor superficie dentro de la capital del estado de Puebla.

Capítulo 1 Diversidad de mariposas diurnas en el Ecoparque Metropolitano de la ciudad de Puebla

Introducción

En la actualidad, las actividades humanas, son una de las principales causas de pérdida de diversidad en el mundo; entre las que se destacan: la sobreexplotación de recursos, las actividades agrícolas, ganaderas y pecuarias junto con el desarrollo urbano (Maxwell *et al.* 2016). Debido a la frecuencia y magnitud de las alteraciones antropogénicas sobre los ambientes naturales, las especies que habitan estos ecosistemas urbanos se ven alteradas de manera directa e indirectamente, debido a la sobreexplotación de recursos, cambio en el uso del suelo, introducción de especies invasoras que modifican y alteran las interacciones ecológicas, alteraciones en los ciclos biogeoquímicos y el cambio en las condiciones climáticas (MacGregor-Fors y Zuria 2019).

La acelerada expansión de las urbes, representa un factor irreversible dentro de la evolución de los procesos geográficos (Amaya 2005). Tan solo en el Estado de Puebla en el año de 1980, el 56% de la población estaba establecida en zonas urbanas; para el año de 2020 se incrementó al 73.48% de la población total (INEGI 2021). El crecimiento de la población humana que habita las urbes, provoca un incremento en la modificación de los ecosistemas con el fin de construir suficientes espacios que den vivienda y servicios a los habitantes (Pérez-Jarillo 2017), impidiendo con ello, los procesos de regeneración mediante sucesión ecológica, causando un impacto negativo de larga duración (McKinney 2006).

A pesar del impacto negativo causado, las ciudades pueden albergar una importante diversidad de especies (Baldock *et al.* 2015), incluyendo una gran cantidad de especies polinizadoras que favorecen la agricultura urbana ya que, contribuyen en la reproducción de diversas especies ornamentales y frutales que se suelen cultivar en las áreas verdes de las ciudades. Dentro de los principales grupos de polinizadores, se encuentran los insectos siendo himenóptera y lepidóptera los grupos con mayor presencia en los ambientes urbanos (Ramírez -Segura y Wallace Jones 2016).

Las mariposas diurnas se han catalogado como polinizadores secundarios en ausencia de los polinizadores primarios, además de ser un grupo biológico ampliamente utilizado como

indicador de la salud de los ecosistemas (Rosas-Guerrero 2014), ya que son organismos con especial sensibilidad a los cambios en las condiciones ambientales y en la composición de la vegetación de sus hábitats (Carrillo- Ruiz 2018). De igual forma, las mariposas han sido un taxón útil para comprender el potencial que tienen las áreas verdes (como parques y jardines) y su efecto en la conservación de las especies que se han adaptado a las ciudades (Öckinger *et al.* 2009, Tam y Bonebrake 2016).

En algunos trabajos se ha evidenciado el valor de la vegetación como uno de los factores más importantes para sostener las comunidades de mariposas en áreas verdes y jardines urbanos (Öckinger *et al.* 2006, Öckinger y Smith 2006, Di Mauro *et al.* 2007, Bonebrake y Cooper 2014), ya que la presencia y abundancia de plantas hospederas permite la reproducción y el mantenimiento de los estadios larvales, mientras que el néctar es utilizado por los estadios adultos (Öckinger *et al.* 2009, Tam y Bonebrake 2016). Sin embargo, aunque el estudio de las especies de mariposas en las zonas urbanas, ha captado mayor interés en los últimos años, la forma en que las mariposas usan los recursos que les provee las áreas verdes urbanas, aun es poco estudiada (Öckinger *et al.* 2009).

Estas áreas verdes muchas veces funcionan como corredores biológicos, y su importancia radica en que pueden sostener poblaciones viables en estos hábitats urbanos; ya que los diferentes estratos vegetales representan microhábitats que pueden ser aprovechados (MacGregor-Fors y Zuria 2019). Por lo que conocer las especies de mariposas que se distribuyen dentro de uno de los parques urbanos más grandes dentro de la ciudad de Puebla y las especies vegetales cultivadas con las que se relacionan, puede aportar información para el manejo y mantenimiento del parque, y así mitigar los impactos negativos de la urbanización en las comunidades de mariposas.

Pregunta de investigación

¿Cuál es la riqueza, abundancia y diversidad de mariposas diurnas que alberga el Ecoparque Metropolitano, Puebla?

Hipótesis

1. Nymphalidae y Pieridae son las familias de mariposas diurnas con mayor presencia dentro de zonas con algún grado de perturbación, pudiendo estar mayormente representadas dentro del Ecoparque Metropolitano, el cual es un ambiente modificado y con algunos parches de vegetación cultivada por el hombre (Orta *et al.* 2022).

2. Se sabe que las mariposas diurnas guardan una estrecha relación con la composición vegetal de su hábitat, tanto así que las especies hospederas de las cuales se alimentan las larvas, generalmente son muy específicas. Se plantea que, dentro del Ecoparque Metropolitano, la estructura de las comunidades de mariposas diurnas se relacione con la composición vegetal (riqueza) de cada zona estudiada, esto como consecuencia del manejo interno dentro del Ecoparque.

Predicciones

Se espera que:

- Las familias Nymphalidae y Pieridae sean las más ricas y abundantes dentro del parque.
- Las zonas de muestreo en el parque urbano que presenten una mayor cantidad de especies vegetales presentarán mayor diversidad de mariposas.

Objetivo general

Determinar la riqueza, abundancia y diversidad de mariposas diurnas presente en el Ecoparque Metropolitano.

Objetivos específicos

- Identificar las especies de mariposas diurnas y determinar su diversidad de en el Parque Metropolitano, Puebla, México.
- Identificar las especies de plantas que se distribuyen en cada una de las zonas de estudiadas dentro del Ecoparque Metropolitano Puebla, México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Esta investigación se realizó en el Ecoparque Metropolitano ubicado entre la ciudad de Puebla y el municipio de San Andrés, Cholula, Puebla, México. El parque tiene una extensión de 21 hectáreas y formó parte de un proyecto de rescate de un área contaminada adyacente al río Atoyac, cuenta con 4500 árboles sembrados y más de 100 000 plantas de 500 especies. El clima es Templado C(w1) con temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, el mes más frío entre -3 °C y 18 °C y la temperatura del mes más caliente es por debajo de los 22 °C, la precipitación anual es de 200 a 1,800 mm y la precipitación en el mes más seco es de 0 a 40 mm (SEMARNAT, 2016) (Fig. 1.1).

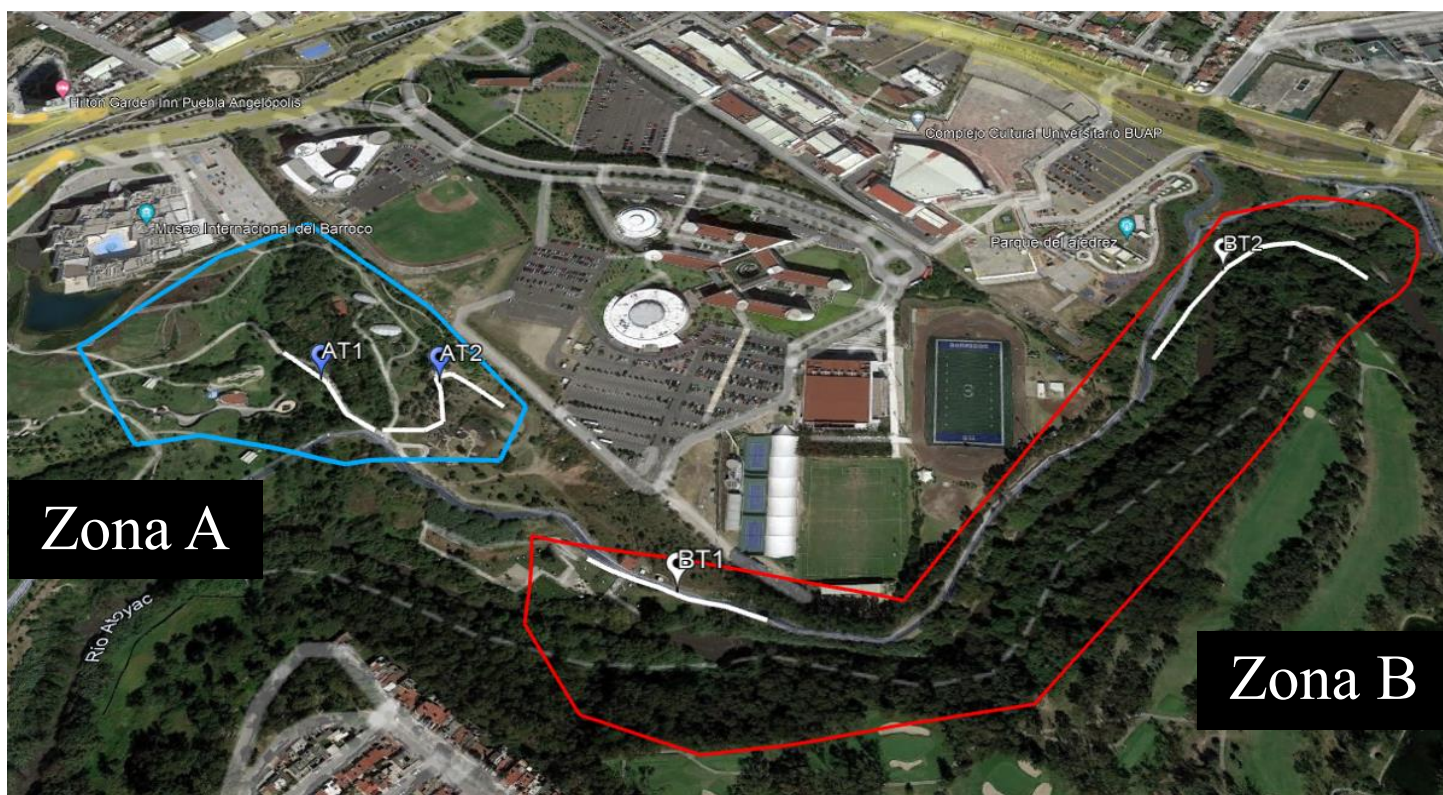


Figura 1.1. Mapa del Ecoparque Metropolitano donde se muestra las dos zonas de estudio. En color azul se muestra la zona A, en color rojo se muestra el área correspondiente a la zona B. Las líneas blancas señalan los transectos donde se realizaron las recolectas.

Según lo reportado por INEGI (2010), el área correspondiente al parque urbano funcionaba como zona de agricultura temporal hasta el año 2012. Actualmente se considera a esta zona como un bosque cultivado, definido como “aquel que se establece mediante la plantación de diferentes especies arboladas realizadas por el hombre, sobre todo en aquellas áreas que presentan una perturbación debido a las actividades humanas” (INEGI, 2010). Estas poblaciones se pueden considerar como bosques artificiales, ya que son consecuencia de una reforestación con árboles de distintos géneros, por lo general, con especies exóticas. Los fines de estas plantaciones, de acuerdo con INEGI (2010), son el recreativo, el ornamental y el forestal”. Según la adaptabilidad, éstos son algunos de los géneros que más se cultivan: pinos (*Pinus* spp.), eucaliptos (*Eucalyptus* spp.), cedros (*Cupressus* spp.), casuarinas (*Casuarina* sp.), pirules (*Schinus molle*), álamos o chopos (*Populus* spp.), fresnos (*Fraxinus* sp.), aïle (*Alnus* sp.), entre otros”. (INEGI 2009).

El parque urbano se dividió en dos zonas con manejo y vegetación contrastante (Tabla 1.1): La zona A se conformó de dos transectos que se encuentran dentro del área del humedal y el área de tecorrales, esta área es muy transitada por los visitantes, está bajo el cuidado y manejo del personal del Ecoparque Metropolitano, y permanece en constante mantenimiento. La zona B consta de dos transectos que corren paralelos a la orilla del río Atoyac, esta zona no recibe mantenimiento por parte del parque, y es de difícil acceso para el público, por lo que no es una zona muy transitada. En la temporada lluviosa, se ve impactada por la cercanía con el río ya que, las inundaciones son comunes y sepultan la vegetación constantemente.

Tabla 1.1. Caracterización de las zonas de muestreo en el Ecoparque Metropolitano, en donde se muestran las especies vegetales con mayor presencia en cada zona de estudio.

Especie de planta	Estatus	Zona	
		A	B
<i>Acacia baileyana</i> F. Muell.	introducida	x	
<i>Acacia dealbata</i> Link	introducida		x
<i>Acacia retinodes</i> Schlttdl.	introducida		x
<i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex J.C.Wendl.	introducida	x	x
<i>Buddleja cordata</i> Kunth	nativa	x	
<i>Cupressus lusitánica</i> Mill.	nativa	x	
<i>Duranta erecta</i> L.	nativa	x	
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	nativa	x	x
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don	introducida	x	
<i>Jasminum mesnyi</i> Hance	introducida	x	
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit, Taxon	nativa		x
<i>Nephrolepis cordifolia</i> (L.) C.	introducida	x	
<i>Opuntia</i> sp	nativa		x
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	nativa	x	
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	nativa		x
<i>Punica granatum</i>	introducida	x	
<i>Pyracantha</i> sp L.	introducida	x	
<i>Rhaphiolepis loquata</i> B.B.Liu & J.Wen	introducida	x	
<i>Ricinus communis</i> L.	introducida		x
<i>Salix gooddingii</i> C.R.Ball	nativa		x

Trabajo de campo

De marzo a diciembre del 2021 se realizaron dos salidas mensuales en el primer y el tercer fin de semana de cada mes (sábado y domingo) para un total de 48 días de muestreo. En cada zona se seleccionaron dos transectos fijos de 100m de longitud (Fig. 1.1); para la recolecta, se utilizó el método de “Pollard Walk” que consiste en caminatas por transectos establecidos para la captura de ejemplares (Pollard 1977, Pollard y Yates 1993), considerando ciertos parámetros como la presencia de nubosidad, lluvia, velocidad del viento, etc.

Recolecta de ejemplares

En cada transecto se realizaron recorridos de 45 minutos en cada transecto en un periodo de 10:00 a 16:00 hrs periodo reportado como el de mayor actividad para las mariposas (United Kingdom Butterfly Monitoring Scheme, 1998, Moyes-Arevalos y Cano-Santana 2009, Jaramillo 2019). El muestreo se dividió en dos periodos: época lluviosa (mayo a octubre) y época seca (meses de marzo, abril, noviembre y diciembre). La recolecta fue directa mediante redes entomológicas; los especímenes recolectados se depositaron en sobres de papel encerado para ser transportadas al Laboratorio de Entomología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla para su posterior montaje (de acuerdo con Andrade-C *et al.* 2013) e identificación (utilizando las guías ilustradas de (Glassberg 2017 y la base de datos electrónico Butterflies of America, 2016). Los ejemplares se encuentran depositados en la colección científica del Laboratorio de Entomología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Análisis estadísticos

Se realizaron curvas de acumulación de especies para evaluar la eficiencia del muestreo, utilizando los estimadores no paramétricos de Chao 1 y ACE basados en la abundancia mediante el software EstimateS versión 6.2 (Colwell 2009)

Se obtuvo el valor de riqueza específica y la abundancia de las dos temporadas de muestreo, y de las zonas de estudio en el Ecoparque Metropolitano; cabe mencionar que el valor de abundancia se consideró a partir de los ejemplares de mariposas que fueron colectados en el

Ecoparque durante todo el muestreo. Se calculó el valor de diversidad como el número de especies efectivas utilizando el exponencial del índice de entropía de Shannon-Wiener. Jost (2006) define el número de especies efectivas como: “la cantidad de especies igualmente abundantes, que equivalen al mismo valor de la medida de diversidad empleada, es decir al índice original utilizado”. Una ventaja de utilizar esta medida de diversidad, es que permite comprar directamente la magnitud de la diferencia de la diversidad entre dos o más comunidades, lo cual se dificulta empleando índices tradicionales de diversidad (Jost 2016). Para obtener el número de especies efectivas se utilizó el programa SPADE (Chao y Shen 2009) con un intervalo de confianza del 95%. Utilizando los intervalos de confianza se determinó si había diferencias entre la diversidad de las zonas de estudio y las temporadas de muestreo (Moreno *et al.* 2011).

Resultados

Eficiencia de muestreo

De acuerdo a los estimadores no paramétricos, para la zona A, se obtuvo un esfuerzo de muestreo de 87.53% con el estimador Chao 1 y 84.54% con el estimador ACE, faltando 11 y 13 especies por recolectar. En la zona B se obtuvo una eficiencia de muestreo de 77.20% con el estimador Chao 1 y 75.62% con el estimador ACE, faltando 13 y 15 especies por recolectar (Fig. 1.2).

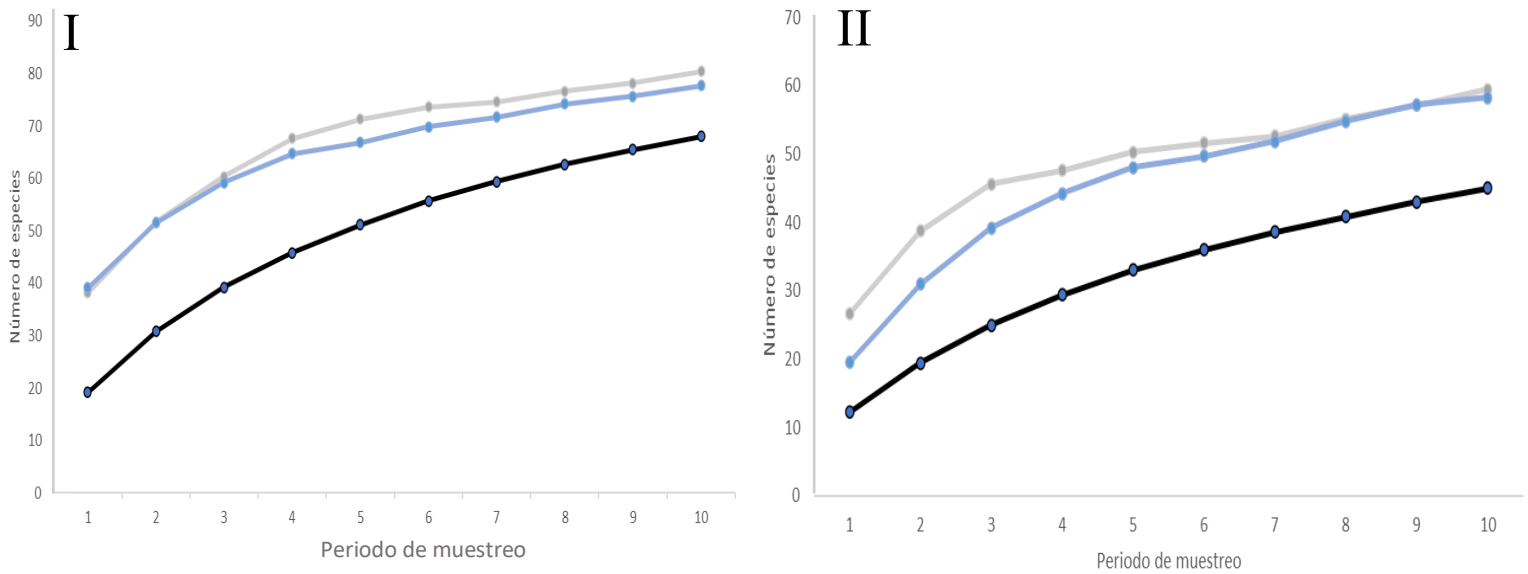


Figura 1.2 Curva de acumulación de especies de acuerdo a los estimadores no paramétricos de Chao1 (línea azul) y ACE (línea gris), la línea negra muestra las especies observadas.

I) Curva de acumulación para la zona A

II) Curva de acumulación para la zona B

Riqueza y abundancia de familias de Rhopalocera en el Ecoparque Metropolitano

Se registraron 787 ejemplares adultos, que representan 74 especies incluidas en 51 géneros y seis familias de mariposas diurnas. La mayor riqueza la presentó la familia Hesperiiidae con 20 especies, seguida de Pieridae con 18 especies. La familia Riodinidae estuvo representada por una sola especie. Las familias con mayor abundancia fueron Pieridae (256) y Nymphalidae (220), siendo Riodinidae la familia con menor abundancia (2).

Abundancia, riqueza y diversidad verdadera de especies de Rhopalocera por época del año

En la época de lluvias se registraron 607 individuos y 70 especies de mariposas; siendo el mes de agosto el de mayor riqueza con 44 especies y una abundancia de 135 ejemplares. En la época seca se registro una menor riqueza (37 especies) y abundancia (181 individuos). El mes de diciembre fue el de mayor riqueza (16 especies) y una abundancia de 47 individuos. De igual manera, en ambas zonas de muestreo la temporada lluviosa presentó una mayor riqueza (zona A 65 especies y zona B 41 especies) en comparación con la temporada seca (zona A 34 especies y zona B 19 especies) (Anexo 1)

Al analizar la diversidad verdadera, la mayor diversidad se registró durante la época lluviosa con 27.49 especies efectivas, mientras que en la época seca se registró el 18.13 de especies efectivas, es decir, la época lluviosa resultó ser 1.51 veces más diversa que la temporada seca. Los intervalos de confianza al 95% no se sobrelapan, lo que indica una diferencia entre la diversidad entre ambas zonas de muestreo (Fig. 1.3).

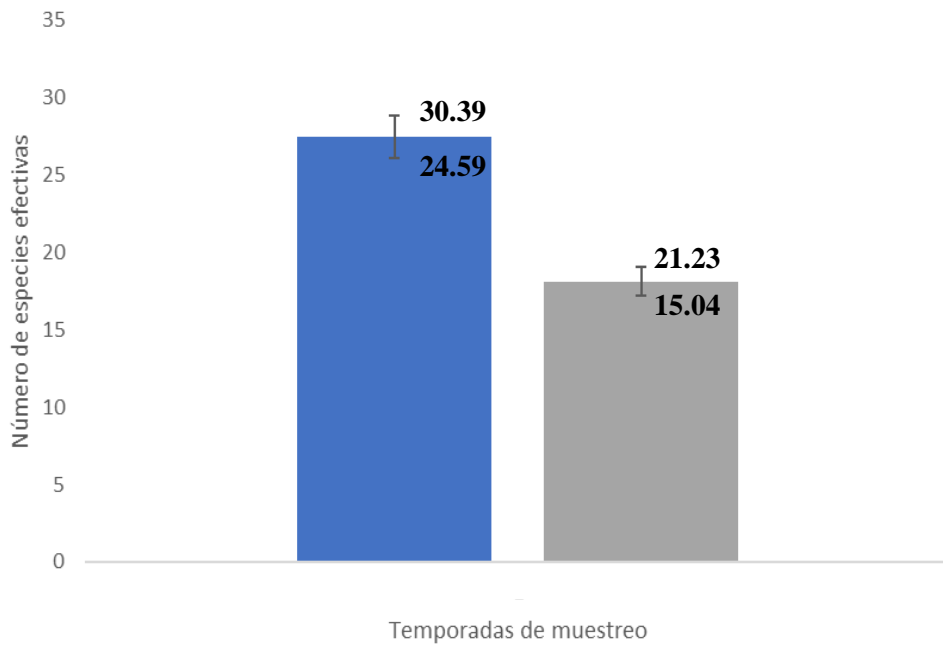


Figura 1.3. Diversidad verdadera (1D) de mariposas diurnas en el Ecoparque Metropolitano, en la época lluviosa y secas. La barra azul corresponde a la temporada lluviosa, la barra gris corresponde a la temporada seca. Las barras de error son los intervalos de confianza del número de especies efectivas al 95%. Se muestran los valores del intervalo de confianza en cada barra.

Abundancia, riqueza y diversidad verdadera de *Rhopalocera* por zona muestreada

En la zona A, las familias con mayor riqueza fueron HesperIIDae con 18 especies, seguida de Pieridae con 16 especies; la familia Lycanidae mostró la menor riqueza en la zona, con ocho especies registradas. La zona A, resultó ser la zona con mayor riqueza, al registrar 67 especies, que representan el 90.5% del total de mariposas registradas dentro del ecoparque, presentando 29 especies exclusivas. Con respecto a la abundancia, esta zona también albergó la mayor abundancia, con 495 ejemplares, lo que representa el 62.9% del total de individuos recolectados dentro del Ecoparque.

En la zona A, las especies más abundantes fueron *L. aripa elodia* (112) y *D. juno juno* con (55). Las especies que se distribuyen en la zona A, se observaron interactuando con 17 especies vegetales (Anexo 1).

En la zona B las familias de mariposas con mayor riqueza fueron Pieridae con 14 especies, seguida por HesperIIDae con 12 especies; la familia Riodinidae mostró la menor riqueza en la zona, con una especie registrada. La zona B, resultó ser la de menor riqueza dentro del Ecoparque registrando 45 especies que representan el 60.8% del total de mariposas registradas dentro del ecoparque, presentando 7 especies exclusivas. Con respecto a la abundancia, esta zona también presentó la menor abundancia con 293 ejemplares, lo que representa el 37.2% del total de individuos recolectados dentro del Ecoparque. En la zona B, las especies más abundantes fueron *A. arene* (69) y *L. aripa elodia* (48). Las especies que se distribuyen en la zona B, se observaron interactuando con 15 especies vegetales (Anexo 1).

En cuanto a la diversidad verdadera, se obtuvieron 26.9 especies efectivas para la zona A, mientras que en la zona B tuvo 17.03 especies efectivas, es decir, en promedio la zona A fue 1.58 veces más diversa en comparación con la zona B. Cabe mencionar que los intervalos de confianza al 95% no se sobrelapan, lo que indica una diferencia entre la diversidad entre ambas zonas de muestreo (Fig 1.4).

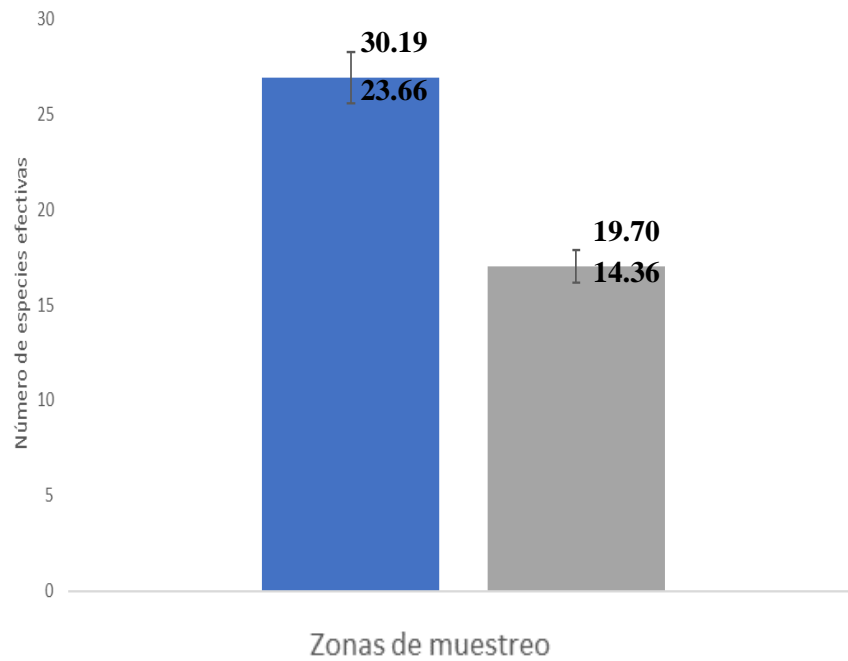


Figura 1.4. Diversidad verdadera (1D) de mariposas diurnas en el Ecoparque Metropolitano, en las zonas de muestreo. La barra azul corresponde a la zona A, la barra gris corresponde a la zona B. Las barras de error son los intervalos de confianza del número de especies efectivas al 95%. Se muestran los valores del intervalo de confianza en cada barra.

Discusión

Complejidad de la muestra

En la Zona A se obtuvo un buen esfuerzo de muestreo, ya que de acuerdo a los estimadores no paramétricos Chao 1 y ACE se alcanzó un porcentaje superior al 80%. Pineda y Verdú (2013) mencionan que: "Un inventario se considera razonablemente completo cuando el porcentaje de las especies observadas es mayor al 80% de la riqueza total estimada". Esto podría deberse al manejo constante que recibía esta zona, ya que las especies vegetales se mantenían con riego y poda constante durante todo el año. También había mayor presencia de vegetación a lo largo de los transectos que las mariposas utilizaban como recursos indispensables para su supervivencia como alimento, refugio e incluso especies hospederas que utilizaban para la puesta de huevos y su reproducción. Sin embargo, es importante mencionar que la presencia de muchas especies con registros únicos, nos puede sugerir que es necesario continuar con el trabajo de recolecta para poder capturar las especies de mariposas que presentan un rango más estricto de condiciones de temperatura y humedad.

En contraste en la zona B, se obtuvo un menor esfuerzo de muestreo (por debajo del 80%), lo que podría deberse al constante impacto que sufrían la vegetación, ya que, en la temporada de lluvias, constantemente ocurrían inundaciones en la orilla del Río Atoyac, lo que sepultaba la vegetación impidiendo que las mariposas pudieran interactuar con las plantas. Otro factor importante a resaltar, es que en la zona B no había un manejo por parte del parque, por lo que la vegetación era menos abundante y se veía afectada por las condiciones abióticas.

Riqueza y abundancia de las familias de Rhopalocera

El conocimiento que se tiene sobre las mariposas diurnas en el estado de Puebla es escaso, y en áreas verdes urbanas es aún menor. Sin embargo, en los últimos años se ha incrementado el interés por el grupo (Ramírez- Segura y Wallace- Jones 2016). En este estudio se registró a la familia Hesperidae como la más rica con 20 especies y de acuerdo con Warren (2000), es la familia con mayor número de especies conocidas en el país (aproximadamente 800 especies) ya que constituyen el 39% del total de la riqueza dentro de México y poseen una amplia distribución. Se considera que esta familia representa aproximadamente el 40% de las especies presentes en cualquier localidad del país independientemente del hábitat o la

temporada (Warren 2000, Hernández 2009). En cuanto a las subfamilias: Eudaminae (9) fue la que reportó una mayor cantidad de especies, seguida de Hesperinae y Pyrginae (6) sin embargo, estos resultados no coinciden con lo reportado para México, donde Hesperinae es la familia con mayor representación, seguida por Pyrginae y Eudaminae (Hernández, 2009). Si bien, falta mucha información sobre esta familia en ambientes antropizados, se podrían contrastar los resultados Villegas (2019) quien reporta el mismo patrón de riqueza de las subfamilias de Hespéridos en un cafetal en el municipio de Cuahueyatla Puebla, lo que podría sugerir que, en zonas con algún grado de perturbación, Eudaminae es la familia mejor representada.

Pieridae fue la segunda familia con mayor presencia (18 especies), lo que coincide con los trabajos de zonas urbanas en México (Barranco 2016, Pérez-Jarillo 2017, Sánchez-Jasso *et al.* 2019) ya que se ha registrado dentro de las familias con mayor riqueza en el país. Se sabe que estas especies, están presentes en la mayoría de los ecosistemas terrestres con una amplia distribución (Llorente-Bousquets *et al.* 2006), de manera general se caracterizan por estar asociadas a los ambientes con algún grado de perturbación y son capaces de aprovechar numerosos recursos del ambiente, lo que hace que sean especies que pueden asentarse en ambientes perturbados (Luna-Reyes *et al.* 2008). De acuerdo con Llorente-Bousquets y colaboradores (2014) en Puebla se han descrito 49 especies de pieridos, es decir, que dentro del Ecoparque podemos encontrar 38.8% del total de la riqueza descrita para el estado. También Pieridae presentó la mayor abundancia en el Ecoparque (256), lo que coincide con lo reportado por Pérez-Jarillo (2017) donde el 59% del total de los ejemplares recolectados en un gradiente de urbanización en Pachuca, Hidalgo pertenecen a esta familia. Se tiene registro de que las especies de piéridos, son bastante comunes en ambientes antropizados, y a pesar de ser una familia poco diversificada, tienen poblaciones abundantes lo que hace que sean organismos fáciles de observar y capturar en ambientes urbanos (Luna-Reyes *et al.* 2008).

Nymphalidae ha sido reportada como la familia con mayor presencia dentro de los trabajos en zonas urbanas del país (Barranco 2016, Pérez-Jarillo 2017, Sánchez-Jasso *et al.* 2019). De acuerdo con Fernández- Hernández (2007) esta familia puede adaptarse mejor en ambientes más conservados, pero son capaces de aprovechar numerosos recursos, ya que los ninfálidos,

principalmente pertenecen al gremio alimenticio de las eurífagas, es decir, que pueden aprovechar uno o más sustratos para su supervivencia y si encuentran las condiciones ambientales adecuadas, así como recurso alimenticio y refugio, pueden habitar zonas perturbadas. Esta familia dentro del Ecoparque, también resultó ser la segunda más abundante (220), lo que coincide con lo reportado por Sánchez-Jasso y colaboradores (2019) quienes registraron a esta familia como una de las más representativas de un paisaje urbano en la ciudad de Metepec, Estado de México, y mencionan que las especies pueden habitar zonas urbanas si hay conectividad en la vegetación y bajos niveles de contaminación, especialmente las subfamilias Nymphalinae y Heliconiinae; siendo estas las subfamilias con mayor presencia dentro de nuestra zona de estudio.

La familia con menor riqueza fue Riodinidae, ya que se recolectó un solo género, cabe mencionar que los ejemplares no pudieron ser determinados hasta el nivel de especie, debido a que una vez sacrificados, perdían su coloración. De esta familia se tiene muy poca información para el estado, aunque se sabe que presentan vuelos restringidos en cuanto a estacionalidad y distribución lo que hace que sean especies difíciles de observar en campo (Villegas 2019).

Abundancia, riqueza y diversidad de especies de Rhopalocera por época del año

En el Ecoparque Metropolitano se pudieron observar cambios en la riqueza y abundancia a lo largo del periodo de muestro, en la época lluviosa, el mes de agosto reportó una mayor riqueza (44 especies) y una mayor abundancia (135 individuos), probablemente debido a las condiciones abióticas que se presentaron durante el periodo de muestreo, ya que, en promedio agosto fue de los meses con una mayor cantidad de días de lluvia. De igual manera de acuerdo con el portal meteorológico Weather Atlas, este mes presentó un incremento en las horas de luz diurna, lo que puede propiciar un incremento en el periodo de actividad de las mariposas, y por ende favorecer que haya una mayor cantidad de ejemplares al vuelo.

Lourenço y colaboradores (2020) mencionan que la temperatura y la presencia de lluvias tienen un efecto en la riqueza y abundancia de las especies de mariposas, debido a que muchas especies presentan sincronía de sus ciclos de vida con la estacionalidad del ambiente, siendo estos factores abióticos los que actúan como posibles indicadores de la disponibilidad

de recursos para los adultos. Estos autores reportan que en la temporada lluviosa hay una mayor diversidad de mariposas en comparación con la temporada seca, lo que coincide con lo observado en el presente estudio dentro del Ecoparque Metropolitano.

Otro factor que podría estar influyendo en una mayor diversidad de mariposas en la temporada lluviosa es la disponibilidad de recursos florales. En el Ecoparque, durante la temporada lluviosa se observó la presencia de un mayor número de especies vegetales en floración en comparación con la temporada seca. Autores como Moyers- Arévalo y Cano-Santana (2009) en La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel reportaron que, la mayoría de las plantas estaban en floración en la temporada lluviosa y recalcan que, la riqueza de mariposas en La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel se vio afectada positivamente por la presencia de especies vegetales en floración. Posiblemente en nuestra zona de estudio el aumento de los adultos observados durante la temporada lluviosa esté relacionado con una mayor abundancia de especies vegetales en floración, recurso clave para la alimentación y reproducción de las mariposas.

En contraste, durante la temporada seca del año, que comprende los meses de marzo-abril, noviembre- diciembre, se registró una menor riqueza, abundancia y diversidad. Al parecer, estas condiciones ambientales no son favorables para algunas especies de mariposas, de hecho, se ha reportado con anterioridad que, en los meses más secos los lepidópteros pueden perder agua y deshidratarse, lo que impide que los imagos realicen sus actividades con normalidad (Moyes-Arévalo y Cano- Santana 2009); también en los meses de noviembre y diciembre, las bajas temperaturas usualmente reducen las actividades de las mariposas debido a una menor exposición solar (Ribeiro y Freitas 2010) provocando una drástica disminución en la temperatura corporal, limitando su capacidad de vuelo (Moyes-Arévalo y Cano-Santana 2009).

Abundancia, riqueza y diversidad verdadera de *Rhopalocera* por zona muestreada

Al comparar las áreas de muestreo, la zona A presentó una mayor riqueza, las especies registradas (67) representan el 90.5 % del total de especies recolectadas además de que se encontró un mayor número de especies exclusivas (29), es decir, que sólo se registraron en esta zona. Se sabe que, especies de mariposas que habitan áreas verdes urbanas tienen la

capacidad de localizar la vegetación y recursos florales (Matteson y Langellotto 2012), siendo al parecer la cobertura vegetal clave para la riqueza y abundancia de mariposas observadas dentro de la zona A. En esta zona también se registraron especies hospederas de algunas mariposas (ver párrafos siguientes), y cabe mencionar que de acuerdo con Tam y Bonebrake (2015) en los paisajes urbanos la presencia de plantas nativas y especies hospederas pueden representar una posible solución para mantener a las comunidades de lepidópteros urbanos, resultados que coincide con lo observado en esta zona. De igual manera la presencia de vegetación aun carente de flores puede beneficiar a las mariposas ya que representan sitios de descanso y protección mientras se mueven entre parches florales dentro de las ciudades (Matteson y Langellotto, 2012), por lo que la extensa vegetación en el área puede beneficiar a las diversas especies que transitan esta zona.

Dentro de la zona A, *L. aripa elodia* resultó ser la especie más abundante (112), se sabe que es una especie multivoltina, es decir, que están presentes varias generaciones en un mismo año (Santiago-Lastra *et al.* 2006); es de amplia distribución en el país y se ha visto que es tolerante a la perturbación, por lo que ha sido reportada por varios autores como una especie con una alta abundancia dentro de sitios urbanos (Hernández- Mejía *et al.* 2008, Pérez Jarillo 2017, Sánchez- Jasso *et al.* 2019) en Metepec, Estado de México y de la ciudad de Pachuca, lo cual coincide con los resultados obtenidos en esta zona. De igual manera, la especie vegetal *Tropaeolum majus* se encontró ampliamente distribuida en esta zona de estudio, y al parecer su presencia podría favorecer a *L. aripa elodia* ya que se trata de su especie hospedera. Cervantes Valera (2012) menciona que la ovoposición de este piérido está influenciada por la abundancia de su planta hospedera, al haber una mayor disponibilidad, hay una mayor cantidad de huevos; lo cual puede ser un factor que explique la alta abundancia de la especie *L. aripa elodia* dentro de la zona A.

La segunda especie más abundante en la zona A resultó ser *D. juno* (55), es una especie de amplia distribución en México (Hoskins 2019) y se puede encontrar en diversos hábitats y altitudes que oscilan entre 0 y 2000 msnm. Se ha reportado que las mariposas de este género, presentan una amplia flexibilidad de adaptación, crecimiento y reproducción en zonas con presencia de vegetación secundaria (Sánchez-Jasso y Rivas-Manzano 2008). Es una especie frecuente en ecosistemas perturbados, por lo general habita áreas con elevada exposición

solar, bordes de vegetación y es común en zonas urbanas visitando flores de los jardines y zonas verdes. (Santos *et al.* 2020) En la zona A, se encontró una de sus especies hospederas perteneciente al género *Passiflora*, por lo que consideramos que su presencia probablemente esté influenciada por esta especie vegetal, pudiendo observar adultos en vuelo, parejas copulando y a las hembras ovipositando en las hojas.

En contraste en la zona B se obtuvo como resultado, una menor riqueza, abundancia y diversidad, ya que se observó el 60% del total de las especies registradas para el Ecoparque y un 37% de la abundancia total. La especie más abundante fue *A. arene* (69), que se ha reportado como una especie frecuente y multivoltina, debido a esto, se infiere que es una especie polífaga por lo que puede encontrarse en cualquier época del año, ya que sus requerimientos no son tan estrictos como los de una especie monófaga. (Hernández Mejía 2009).

La siguiente especie más abundante fue *L. aripa elodia*, sin embargo, en comparación con la zona A su abundancia fue mucho menor, esto probablemente por la ausencia de su planta hospedera y por la escasa vegetación que se encontraba en los transectos.

En esta zona, no existe un manejo por parte del parque, lo cual podría estar influenciando la diferencia encontrada entre la diversidad de mariposas en las zonas muestreadas, ya que en la zona B no se encontraron plantas hospederas para las larvas y una menor cantidad de recursos para las mariposas adultas. De acuerdo a Pickett *et al.* (2011) según el grado de heterogeneidad de la vegetación, se puede albergar una mayor diversidad; por lo que la poca riqueza de especies de plantas en la zona B, podría ser la causa de la menor diversidad de mariposas en esta zona. Si se compara la abundancia de las especies de mariposas más representativas de ambas zonas, vemos que en la zona A, la abundancia de estas especies es mayor lo que nos permite inferir que la presencia de especies hospederas, si resulta un factor importante para la presencia de mariposas.

Conclusiones

Hesperiidae y Pieridae son las familias de mariposas con mayor presencia dentro de los ambientes urbanos y resultaron ser las más ricas dentro del Ecoparque metropolitano. Mientras que Pieridae y Nymphalidae fueron las familias con mayor abundancia, corroborando la hipótesis de que son familias ampliamente utilizadas como indicadoras de zonas perturbadas.

La riqueza y abundancia de mariposas fue mayor en la zona de muestreo con manejo y mantenimiento por parte del personal del parque, siendo que, una mayor presencia de especies de plantas y la inclusión de especies hospederas para las larvas, fueron clave para el mantenimiento y sobrevivencia de las especies de mariposas.

Con los resultados obtenidos, se puede concluir que, en el Ecoparque Metropolitano, se alberga una gran cantidad de especies de mariposas, a pesar de estar inmerso en la mancha urbana y pareciera que se encuentran las condiciones óptimas para soportar a la comunidad de mariposas presentes en este parque urbano, resaltando la importancia de las áreas verdes dentro de la ciudad de Puebla.

Capítulo 2 Redes de interacción mariposa-planta en el Ecoparque Metropolitano Puebla, México

Introducción

Los organismos vivos que conforman un ecosistema establecen una importante variedad de interacciones ecológicas (Guix 2021), como resultado, los organismos interactuantes pueden verse beneficiados, perjudicados o no afectados, dependiendo del contexto espacio-temporal en el que ocurran las interacciones (Boege y Del Val 2011). Generalmente, estas relaciones se establecen a partir de la necesidad de los organismos de obtener los recursos necesarios para su sobrevivencia (Boege y Del Val 2011).

Las interacciones ecológicas representan importantes fuentes de selección natural y promueven la evolución de múltiples especies, por lo que se considera que son una de las causas más importantes de la extensa diversidad de especies que conforman los ecosistemas (Boege y Del Val 2011). Estas interacciones resultan ser claves para el funcionamiento de los ecosistemas, tanto para la asimilación de energía del sol y los nutrientes, como para el flujo de materia y energía en las cadenas tróficas (Boege y Del Val 2016).

Dentro del campo de la ecología y la evolución, uno de los ejes principales es la comprensión de cómo las interacciones surgen, se mantienen y organizan a través de los diversos ecosistemas y cómo van evolucionando con el paso del tiempo. Particularmente las interacciones que se establecen entre las plantas y los animales. Actualmente algunos autores se han centrado en comprender la estructura de las redes y sus componentes, en interacciones mutualistas e incluso antagónicas (Bascompte y Jordano 2007, Díaz- Castelazo *et al.* 2013, Díaz-Castelazo *et al.* 2020), de manera que, entender cómo se establecen las interacciones entre comunidades, es de suma importancia para comprender los procesos evolutivos y ecológicos que soportan la diversidad y el funcionamiento de los ecosistemas (Díaz-Castelazo *et al.* 2020), también conocer la estructura de estas interacciones puede resultar útil para predecir cómo responderían los ecosistemas a los cambios ambientales, tanto naturales como producidos por el hombre (Bascompte 2010).

Se ha demostrado que estas interacciones, de manera natural tienden a ser asimétricas (Bascompte *et al.* 2006), para el caso de las interacciones mutualistas, se ha observado que presentan una estructura anidada no aleatoria, donde las especies especialistas interactúan con especies generalistas, mientras que las especies generalistas, también interactúan con el conjunto de especies generalistas (Bascompte 2010, Díaz-Castelazo *et al.* 2020), es decir que este patrón de anidamiento o encajamiento de las redes mutualistas, puede implicar que las interacciones ocurren de manera asimétrica en un conjunto de especies generalistas que comprenden la mayoría de las interacciones presentes en el núcleo de la red (Dáttilo *et al.* 2013, Díaz-Castelazo *et al.* 2020), lo que le confiere a la red una mayor robustez y estabilidad ante posibles pérdidas o alteraciones (Díaz-Castelazo *et al.* 2020).

Por lo que conocer la estructura de las redes a nivel de especie, también permite identificar estructuras definidas y especies focales que contribuyen a la estabilidad de la comunidad ante perturbaciones como el cambio climático, la fragmentación de hábitats y la introducción de especies invasoras (Beltran y Traveset 2018, Martínez-Falcón *et al.* 2019), ya que se obtiene información valiosa sobre cuales especies contribuyen más en la estabilidad de la estructura de la red, y cuales presentan un mayor grado de vulnerabilidad ante posibles perturbaciones que pueden llevar a colapsar la red (Bascompte y Jordano 2007).

Pregunta de investigación

¿Cómo es la topología de las redes de interacción planta- mariposa en dos zonas con manejo contrastante presentes en el Ecoparque Metropolitano?

Hipótesis

En ambientes perturbados, se ha observado que hay un efecto de los periodos de estrés en la estructura de las redes (Beteta Hernández 2018) resultando en una mayor presencia de especies generalistas, mayor conectividad y una topología anidada (López- Carretero *et al.* 2014). Debido a que el Ecoparque Metropolitano se encuentra inserto en la mancha urbana de Puebla, es probable que las redes de interacción estén integradas en su mayoría, por especies generalistas en ambos niveles tróficos, siendo robustas y anidadas.

Predicciones
se espera que:

- Las redes presentarán un patrón anidado con una gran cantidad de especies generalistas, que brindan mayor robustez y estabilidad a la red.

Objetivo general

Determinar la topología de las redes de interacción planta-mariposa presentes en el Ecoparque Metropolitano.

Objetivos específicos

- Describir y comparar la red de interacción planta-mariposa que habitan en el Parque Metropolitano, de acuerdo con sus atributos a nivel de red (anidamiento, robustez, especialización de la red y asimetría de la fuerza de interacción).
- Describir y comparar la red de interacción planta-mariposa que habitan en el Parque Metropolitano, de acuerdo con sus atributos a nivel de especie (índice de especialización, fuerza de la especie, índice push-pull, y especies núcleo).
- Comparar los atributos la red de interacción planta-mariposa entre temporadas (secas y lluvias) en cada zona.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Este proyecto se realizó en el Ecoparque Metropolitano localizado entre la ciudad de Puebla, y el municipio de San Andrés, Cholula. El parque tiene una extensión de 21 hectáreas y formó parte de un proyecto de rescate de un área contaminada adyacente al río Atoyac, por lo cual, cuenta con 4500 árboles sembrados y más de 100 000 plantas de 500 especies. El clima es Templado C(w1) con temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, el mes más frío entre -3 °C y 18 °C y la temperatura del mes más caliente es por debajo de los 22 °C, la precipitación

anual es de 200 a 1,800 mm y precipitación en el mes más seco es de 0 a 40 mm (SEMARNAT 2016). (Fig. 1.1 ver capítulo 1).

De acuerdo a los objetivos de este proyecto, el parque urbano se dividió en dos zonas con manejo y vegetación contrastante (Tabla 1.1 ver capítulo 1): La zona A se compone de dos transectos que se encuentran dentro del área del humedal y el área de tecorrales, esta área es muy transitada por los visitantes y cabe mencionar que permanece en constante mantenimiento y cuidado por parte del personal del Ecoparque. La zona B consta de dos transectos que corren paralelos a la orilla del río Atoyac. En contraste, esta zona no recibe mantenimiento y no es tan transitada por los visitantes debido a que no hay muchos accesos que permitan la entrada, también es importante mencionar que, en la época lluviosa del año, las inundaciones son constantes debido a la cercanía del Río Atoyac.

Trabajo de campo

Se identificaron las especies de mariposas y las especies de plantas que se observaron interactuando en ambas zonas de muestreo, la colecta de mariposas fue directa mediante redes entomológicas y su posterior identificación se realizó con guías de campo ilustradas (Glassberg 2017) y la base de datos electrónica Butterflies of América (2016). De igual manera se identificaron las especies de plantas, mediante claves taxonómicas, catálogos de vegetación urbana y con el portal Naturalista (CONABIO) con la finalidad de determinar las especies que establecían interacciones con las especies de mariposas presentes en el Ecoparque Metropolitano, y posteriormente realizar las matrices de interacción.

Redes de interacción

Para la elaboración de las matrices de interacción, se llevaron a cabo periodos de observación de acuerdo a lo propuesto por Mukherjee y colaboradores (2018), donde se hicieron visitas a cada especie vegetal en un transecto fijo de cada zona. Cada periodo consistió en 15 minutos de observación por cada especie vegetal dentro del transecto, se registraron las especies de mariposas que colocaron su probóscide dentro de las respectivas flores de una planta, descartando las interacciones donde la mariposa solo se posaba sobre la flor sin ninguna actividad, esto con la intención de registrar a las mariposas que utilizaron a las plantas como recurso alimenticio (Mukherjee *et al.* 2018). Cabe mencionar que, cada observador se

mantuvo a un metro de distancia como mínimo para evitar interferencias en el comportamiento de las mariposas.

Análisis estadísticos

Se obtuvieron todas las posibles interacciones especie- especie entre las especies de plantas y mariposas, para generar una matriz de interacción combinando una especie de planta y una especie de mariposa (Jordano *et al.* 2009). Se utilizó la frecuencia de interacción de cada par de especies para realizar curvas de acumulación de interacciones para estimar el esfuerzo de muestreo para cada zona, se utilizó el programa EstimateS versión 6.2. (Colwell 2009) y el estimador no paramétrico Chao 1.

Para le análisis de redes, se elaboraron cuatro matrices cuantitativas de interacciones planta-mariposa para las zonas estudiadas y las temporadas de muestreo, donde las filas representaban a las especies de mariposas y las columnas especies de plantas; se utilizó la frecuencia de interacción entre cada par de especies (Jordano *et al.* 2009). A partir de esas matrices se elaboraron redes de interacción para conocer la topología de las redes y los atributos a nivel de especie y a nivel de red. Se empleó el software R Studio Team (2020), y el paquete estadístico "Bipartite" (Dormann y Gruber 2011) para obtener las métricas a nivel de especie ya nivel de red; para el calcular el anidamiento se utilizó el programa ANHIDADO (Guimarães y Guimarães 2006).

A nivel de red se estimaron los siguientes parámetros:

- 1) Anidamiento: En la estructura anidada, su principal característica es que las especies generalistas (que establecen muchas interacciones) interactúan entre ellas, mientras que las especies especialistas (que establecen pocas interacciones), también interactúan con las generalistas. Esto provoca que la red presente mucha asimetría debido a que, hay un gran número de especies con pocas interacciones, y un núcleo hiper conectado constituido por pocas especies con muchos enlaces (Martínez-Falcón *et al.* 2019, Jordano y Bascompte 2009). El anidamiento se calculó mediante el estimador NODF del software ANINHADO (Guimarães y Guimarães 2006). Se

considera que una red es anidada cuando el valor NODF observado es superior al valor predicho por el modelo nulo II (Martínez- Adriano *et al.* 2018).

- 2) Robustez: Mide el grado de resistencia de una red frente a un escenario de pérdida de especies mediante modelos teóricos y se calcula por medio de la simulación de extinción de especies dentro de la red. El valor de la robustez varía entre 0 y 1 donde un valor cercano a cero indica que la red es poco robusta y por ende más frágil, mientras que los valores cercanos a uno indican que la red es más resistente y robusta (Beltran y Traveset 2018, Martínez-Falcón *et al.* 2019).
- 3) Especialización de la red (H_2'): Es una medida de especialización a nivel de red. Sus valores van de 0 a 1 donde valores cercanos a cero indican una red poco especializada (compuesta mayormente por especies generalistas), mientras que los valores cercanos a uno indican una red muy especializada (compuesta mayormente por especies especialistas) (Beltran y Traveset 2018, Martínez-Falcón *et al.* 2019).
- 4) Asimetría de fuerza de la interacción (ISA): Se utiliza para calcular la asimetría de la fuerza de interacción, es decir, explica la asimetría de dependencia o la especialización entre ambos niveles tróficos, donde los valores negativos indican una mayor dependencia del nivel trófico inferior mientras que los valores positivos indican una mayor dependencia del nivel trófico superior (Blüthgen *et al.* 2007).

Los Descriptores a nivel de especie fueron:

- 1) Índice de especialización (d'): Se utiliza para medir el grado de especialización de una especie dentro del sistema basada en su selección aleatoria de recursos. El valor oscila entre 0 y 1 donde los valores cercanos a cero son especies más generalistas y los valores cercanos a uno representan especies especialistas. Este índice toma en cuenta la abundancia de la pareja con la que una especie interactúa; por lo que una especie que establece pocas interacciones no tiene que ser más especialista si esas pocas especies con las que interactúa son muy abundantes. (Beltran y Traveset 2018, Martínez-Falcón *et al.* 2019). Fuerza de la especie (ST) que proporciona una medida cuantitativa de la importancia de la especie para sus socios interactuantes y se define como la suma de dependencias de cada especie (Bascompte Jordano y Olesen 2006, Novella-Fernández *et al.* 2019).

- 2) índice Push-Pull que representa la dirección de asimetría de interacción basada en dependencias. Los valores oscilan entre -1 y 1, los valores positivos indican que esa especie afecta más a sus compañeros interactuantes de lo que se ven afectados por ellos (especie empujadora), mientras que los valores negativos indican que las especies se ven mucho más afectadas por las especies con las que interactúan, pero no ejercen un fuerte efecto recíproco (especie extractora) (Vázquez *et al.* 2007, Martínez- Adriano *et al.* 2018, Novella-Fernández *et al.* 2019).
- 3) Finalmente se estimaron las especies núcleo-periferia de cada nivel trófico con una función utilizada en Martínez-Adriano *et al.* (2018) y Díaz-Castelazo *et al.* (2020), donde las especies con valores menores a uno fueron consideradas periféricas, mientras que las especies con valores mayores a uno fueron consideradas como especies núcleo. Las especies núcleo son aquellas que interactúan con una mayor cantidad de especies dentro de la red mientras que las especies periféricas interactúan con una menor cantidad de especies (Bascompte *et al.* 2003, Novella-Fernández *et al.* 2019).

Resultados

Red de interacciones planta- mariposa entre las zonas de muestreo

La red de la zona A consistió en 2697 interacciones, establecidas entre 42 especies de mariposas y 17 especies de plantas (Fig. 2.2), mientras que la red de la zona B consistió en 1606 interacciones establecidas entre 38 especies de mariposas y 15 especies de plantas (Fig. 2.2).

En cuanto a la eficiencia de muestreo, utilizando el estimador no paramétrico Chao 1, el muestreo de las interacciones tuvo una completitud de 97.01% para la zona A, y del 97.29% para la zona B (Fig. 2.1), faltando 3% de las interacciones por observar.

En términos de anidamiento, se observó una topología anidada tanto para la zona A ($NODF_{total}= 58.88$, $NODF (Ce)= 26.73$, $P<0.01$) como para la zona B ($NODF_{total}= 52.65$, $NODF (Ce)= 33.42$, $P<0.01$). De manera general, las redes de ambas zonas presentaron una robustez alta, el valor obtenido para las mariposas (RHL) fue mayor con respecto al de las plantas (RLL) (Tabla 2.1).

En cuanto al índice de especialización de la red ($H^{2'}$) en ambas zonas de muestreo, se obtuvieron valores bajos de especialización. También se observó para ambas zonas, que hay una mayor dependencia de las mariposas por las plantas que viceversa (Tabla 2.1).

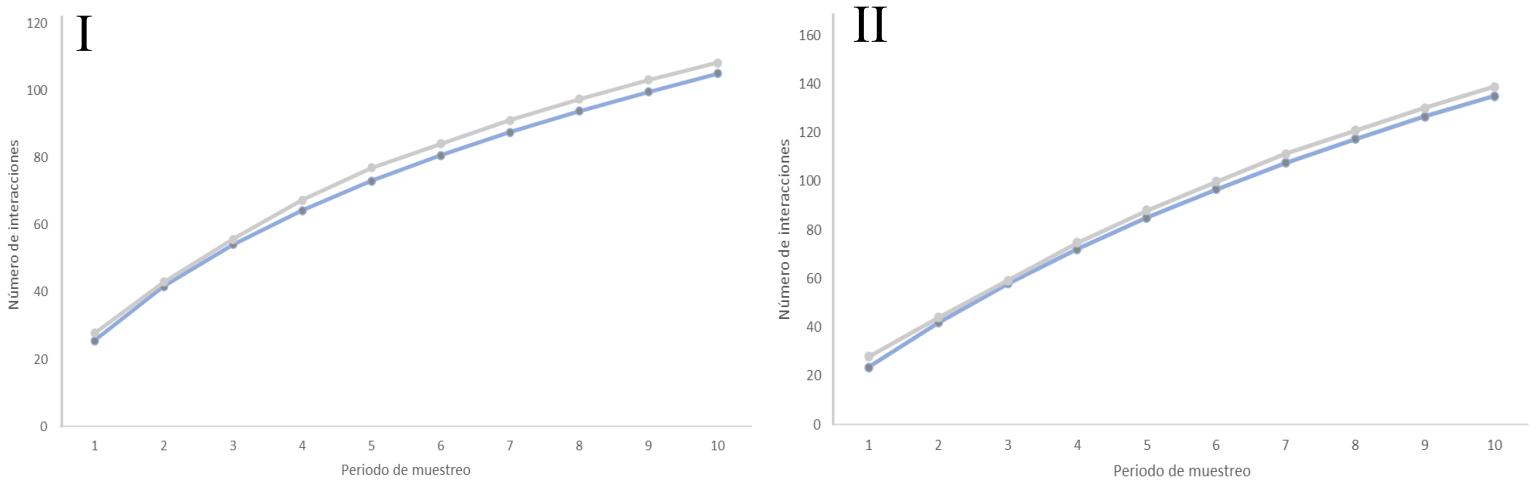


Figura 2.1 Curva de acumulación de interacciones de acuerdo al estimador no paramétrico de Chao1 (línea gris), la línea negra muestra las especies observadas.

I) Curva de acumulación de interacciones zona A

II) Curva de acumulación de interacciones zona B

A nivel de especie, de acuerdo al índice de especialización (d') de las mariposas y las plantas, se obtuvo como resultado que, las redes de ambas zonas, están constituidas en su mayoría por especies generalistas. En la zona A las especies de mariposas más especializadas fueron: *Eurema mexicana mexicana* y *Ancyloxypha arene*, para las plantas fueron: *Oenothera rosea*, *Macropitilium gibbosifolium* y *Acmella repens*. Para la zona B en el caso de las mariposas fueron: *Pyrgus communis communis* y *Papilio multicaudata multicaudata*; y solo una especie de plantas que fue: *Psittacanthus calyculatus* (Anexo 2).

La especie de mariposa con mayor fuerza o importancia dentro de la red en ambas zonas fue: *Leptophobia aripa elodia*; en la zona B *A. arene* también presentó valores altos. Para el nivel trófico inferior fueron: *Lantana camara* y *Bidens sp.* en la zona A; y en la zona B fue: *Bidens sp.* (Anexo 2).

Finalmente, de acuerdo al índice de interacción push-pull, se observó que, las especies de mariposas *L. aripa elodia*, *P. multicaudata multicaudata* (zona A), *A. arene*, y *Dione juno* (Zona B) afectaron más a las plantas con las que interactuaron (valores positivos del índice) (Anexo 2) mientras que el resto de mariposas se veían más afectadas por las plantas (valores negativos). Especies vegetales como *Lantana camara*, *Bidens sp.*, *Bougainvillea sp* (Zona A), *Dichromanthus cinnabarinus*, *Leonotis nepetifolia*, *Phaseolus coccineus*, *Mimosa aculeaticarpa*, *Psittacanthus calyculatus* y *Blepharocalyx salicifolius* (zona B) afectaron mayormente a las mariposas interactuantes. El resto de plantas se vieron más afectadas por las mariposas (Anexo 2)

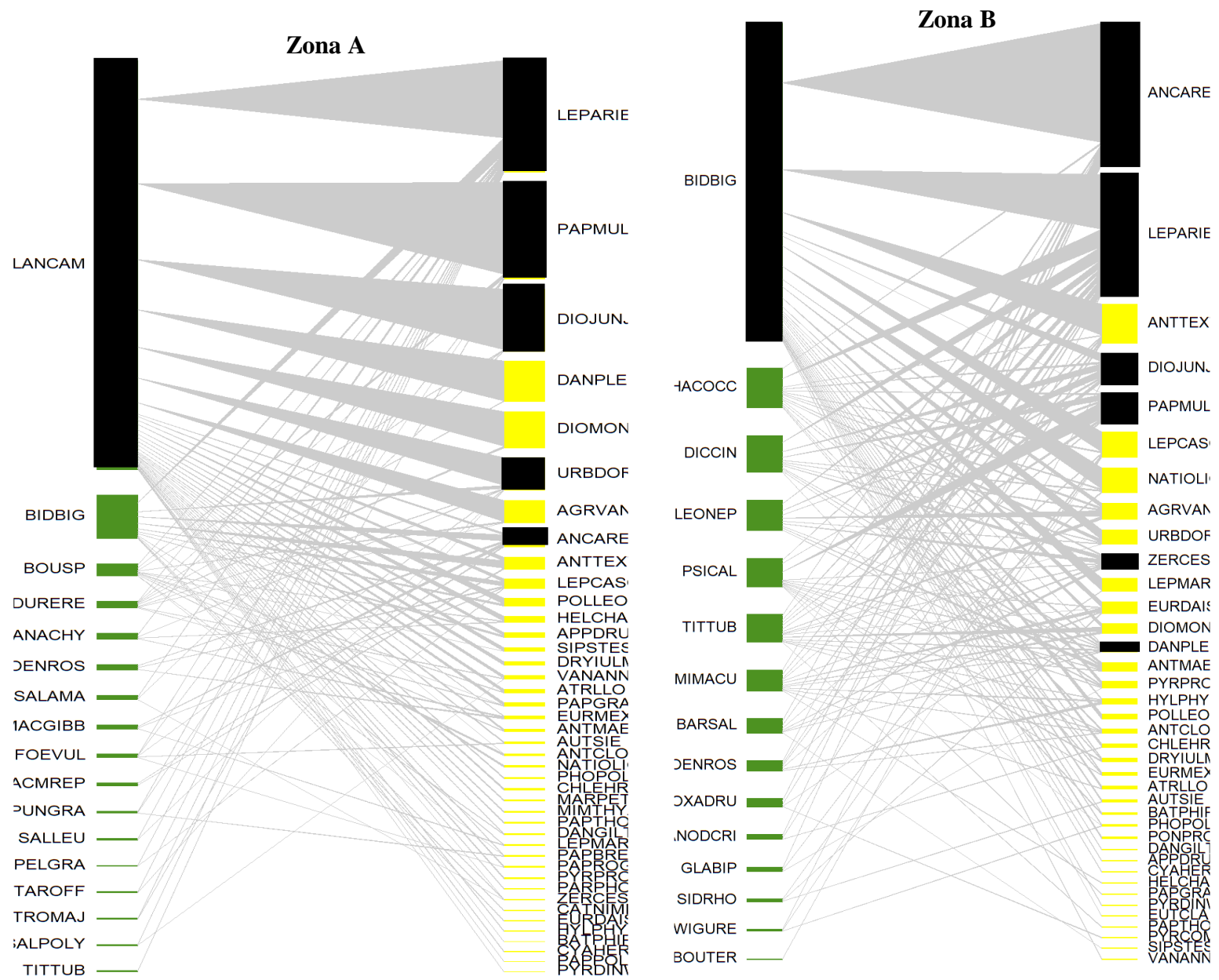


Figura 2.2 Redes de interacción de las zonas de estudio. Los nodos verdes corresponden a las especies de plantas y los nodos amarillos corresponden a las especies de mariposas. El grosor de cada enlace (líneas grises) indica la frecuencia de las interacciones por pares. Las especies núcleo de la red se muestran en color negro. Los nombres científicos de todas las especies se encuentran en el Anexo 1

En relación a las especies núcleo, se observó que, *L. aripa elodia*, fue especie núcleo dentro de ambas zonas. En cuanto a las plantas, *L. camara* fue la especie núcleo en la zona A y *Bidens sp.* en la zona B.

Tabla 2.1. Valores de los descriptores a nivel de red en ambas zonas y temporadas de muestreo. Los sufijos de la robustez HL corresponden al valor para las mariposas y LL para las plantas. ISA corresponde al valor de la asimetría de fuerza de interacción. H² corresponde al valor de la especialización de la red.

	Zonas		Temporadas	
	A	B	Lluvias	Secas
Robustez HL	0.751	0.841	0.797	0.713
Robustez LL	0.653	0.729	0.731	0.67
ISA	0.205	0.127	0.068	0.165
H ²	0.337	0.293	0.313	0.383

Red de interacción planta- mariposa entre temporadas de muestreo

La red que corresponde a la temporada lluviosa consistió en 3328 interacciones establecidas entre 44 especies de mariposas y 27 especies de plantas (Fig.2.3). La red de la temporada seca fue consistió en 975 interacciones entre 34 especies de mariposas y 18 especies de plantas (Fig. 2.3).

Se observó una topología anidada tanto para la temporada lluviosa ($NODF_{total}= 56.01$, $NODF (Ce)= 26.78$, $P<0.01$), como para la temporada seca ($NODF_{total}= 47.65$, $NODF (Ce)= 24.27$, $P<0.01$)

En cuanto a la los atributos a nivel de red, ambas temporadas presentaron valores altos de robustez, siendo la temporada lluviosa la red más robusta y resistente a la extinción para ambos niveles tróficos (Tabla 2.1). De igual manera, ambas temporadas presentaron valores bajos de especialización por lo que se recalca la presencia de especies generalistas en las redes. Con respecto a la asimetría de interacción en la red, se obtuvo como resultado que, de manera general, las especies de mariposas dependen en mayor medida de las especies de plantas. (Tabla 2.1).

A nivel de especie, de acuerdo al índice de especialización de las mariposas y las plantas, mostró que las redes de ambas temporadas de muestreo, están constituidas en su mayoría por especies generalistas. Sin embargo, especies de mariposas como *Pyrgus communis communis* (lluvias), *Zerene cesonia cesonia* y *A. arene* (secas) presentaron valores de especialización más altos. Para las especies de plantas fueron: *Oxalis sp.*, *Sida rhombifolia*, (lluvias) *Salvia amarissima*, y *Leonotis nepetifolia* (secas) (Anexo 3).

L. aripa elodia y *A. arene*. fueron las especies de mariposa con mayor fuerza o importancia en ambas redes, seguida por *P. multicaudata multicaudata* en la temporada lluviosa. En cuanto al nivel de las plantas, *L. camara* y *Bidens sp.* fueron las especies con mayor importancia en las redes de ambas temporadas (Anexo 3).

Finalmente, mediante el índice de interacción push- pull, se observó que la mayoría de especies de mariposas se veían más afectadas por su interacción con las plantas. Sin embargo, especies como: *L. aripa elodia*, *Papilio multicaudata multicaudata*, *D. juno*, *A. erene*, y *Urbanus dorante dorante* afectan en mayor medida a las plantas en la temporada lluviosa. Durante la temporada seca, se observaron las mismas especies que afectaban más a las plantas con excepción de *Anthanassa texana texana*, que remplazó a *U. dorantes dorantes* (Anexo 3). En el caso de las plantas, *L. camara* y *Bidens sp.* se mantuvieron como especies que afectaban más a sus especies de mariposas interactuantes, sin embargo, de manera general, las plantas en ambas temporadas de muestreo se vieron más afectadas por su interacción con las mariposas (Anexo 3).

Las especies núcleo fueron: *L. camara* y *Bidens sp* (plantas) y *L. aripa elodia*, *P. multicaudata multicaudata*, *D. juno* y *A. arene* (mariposas) en ambas temporadas de muestreo se observó que las especies tanto de plantas como de mariposas, fueron las mismas en ambas temporadas de muestreo. En el caso de las plantas fueron: *L. camara* y *Bidens sp* y para las especies de mariposas fueron: *L. aripa elodia*, *P. multicaudata multicaudata*, *D. juno* y *A. arene*.

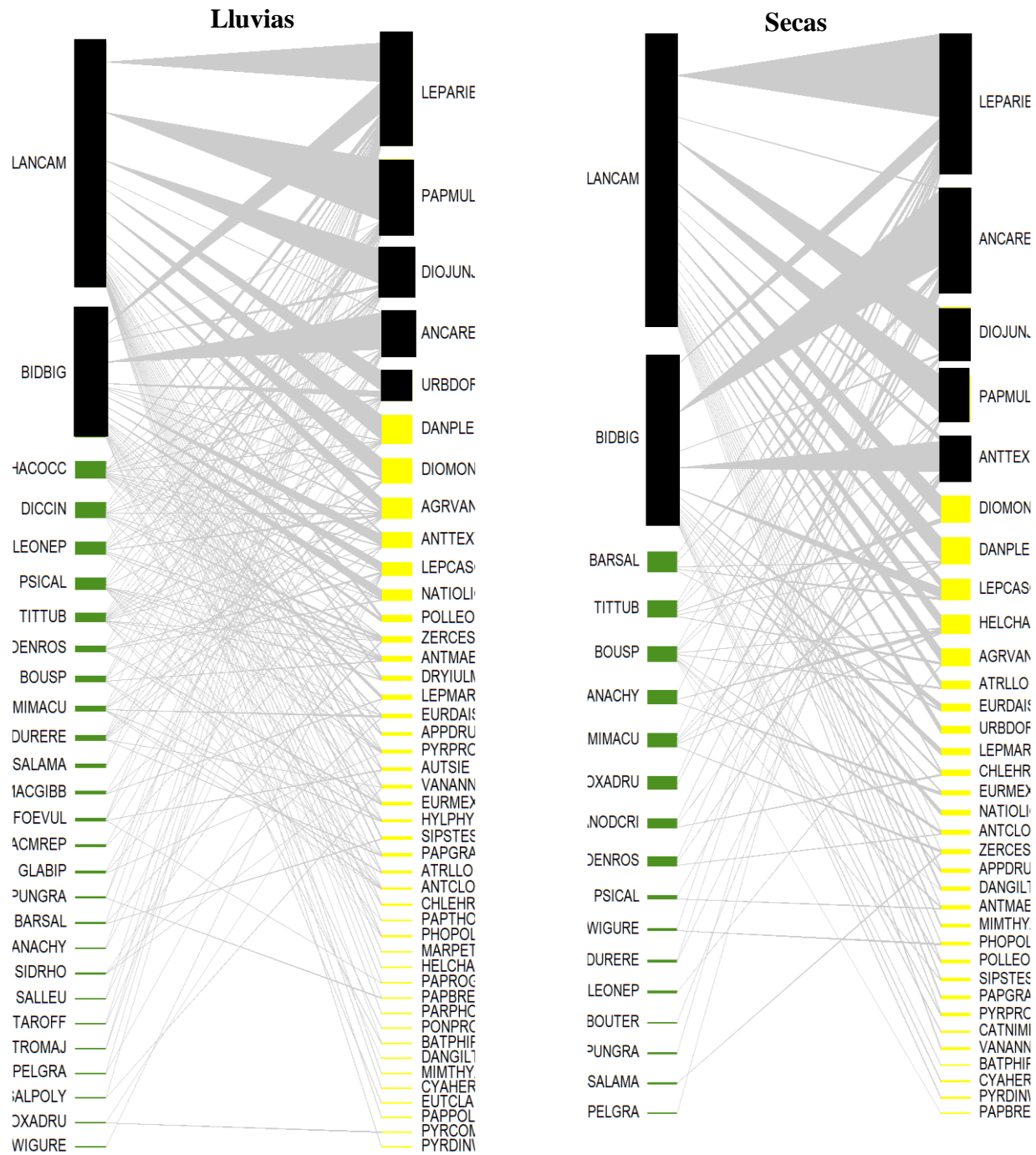


Figura 2.3 Redes de interacción entre las temporadas de muestreo. Los ⁵¹ nodos verdes corresponden a las especies de plantas y los nodos amarillos corresponden a las especies de mariposas. El grosor de cada enlace (líneas grises) indica la frecuencia de las interacciones por pares. Las especies núcleo de la red se muestran en color negro. Los nombres científicos de todas las especies se encuentran en el Anexo 1

Discusión

De acuerdo a las curvas de acumulación en ambas zonas, se obtuvo un muestreo robusto con valores superiores al 90%, faltando un bajo porcentaje por observar. Un muestreo robusto se puede considerar cuando no se añadirían o se añadirían muy pocas interacciones al seguir incrementando las horas de observación (Jordano *et al.* 2009). Cabe mencionar que al ser un ambiente antropizado, la diversidad de especies e interacciones, tiende a ser menor que en ambientes con mayor grado de conservación, por lo tanto, es posible observar la mayoría de interacciones (Genung *et al.* 2010, Jaramillo 2019). Sin embargo, se sabe que los muestreos de redes de interacción tienden a ser razonablemente robustos, aunque no hay suficiente información sobre la robustez ante variaciones en las condiciones ambientales y ecológicas o incluso si existe algún sesgo en los muestreos dirigidos hacia plantas o animales (Jordano *et al.* 2009).

En cuanto a los parámetros a nivel de red, tanto las redes por zonas de muestreo, como por temporada, presentaron un patrón significativamente anidado, lo cual coincide con el patrón estructural que tienen las redes mutualistas, ya que tienden a ser anidadas y en menor medida, presentan una estructura ligeramente modular (Díaz-Castelazo *et al.* 2010, Martínez-Adriano *et al.* 2018). De hecho, el anidamiento es una estructura que se presenta en un amplio rango de interacciones ecológicas, especialmente en interacciones que son altamente diversas entre especies de vida libre, como por ejemplo la polinización y dispersión de semillas (Jordano *et al.* 2009). Algunos estudios sobre redes mutualistas, muestran que estas redes, presentan especialización asimétrica entre ambos niveles tróficos, generando una estructura encajada o anidada (Bascompte *et al.* 2003, Bascompte y Jordano 2007). Los resultados obtenidos en las redes del Ecoparque se pueden contrastar con la investigación de Beteta Hernández (2018), quien menciona que, en un gradiente de urbanización en la ciudad de Pachuca, los diferentes niveles de urbanización tuvieron un efecto en el patrón de anidamiento de las redes; ya que los sitios con urbanización alta y media, presentaban patrones significativamente anidados, no siendo así en las zonas con baja urbanización.

Un enfoque importante en los estudios de redes de interacción es la relación que existe entre la estructura de las redes y la estabilidad de los hábitats (Bascompte y Jordano 2014), por lo

que conocer la robustez de las redes es importante, sobre todo en ambientes tan heterogéneos y cambiantes como lo son los ambientes urbanos. La robustez está estrechamente relacionada con la redundancia o la complementariedad de las especies que conforman estas redes, debido a que la robustez va a aumentar generalmente, con el grado de redundancia de las especies (Bascompte y Jordano 2007). Por lo que en una red que es altamente anidada, las especies son funcionalmente redundantes y las especies generalistas son funcionalmente importantes para toda la red (Schleuning y Fründ 2014), ya que, si una especie más generalista llegara a extinguirse, podrían formarse nuevas reconexiones que mantendría la estabilidad y la robustez de la red (Fortuna y Bascompte 2006, Beteta Hernández 2018). También es importante mencionar que, las mariposas son polinizadoras secundarias de las plantas polinizadas por abejas; y de acuerdo con Ashworth *et al.* (2004) los polinizadores secundarios, se encargan de mantener la conectividad entre los síndromes de polinización, es decir que las mariposas conectan a las especies de plantas polinizadas por colibríes y abejas; por lo que se infiere que, si en el Ecoparque se perdieran especies de polinizadores primarios, las mariposas podrían mantener las conexiones de la red en su ausencia, ya que las interacciones entre visitantes florales y plantas, que se pueden considerar como antagónicas, bien podrían convertirse en interacciones mutualistas si los polinizadores secundarios, se vuelven raros o escasos (Thompson 2003, Santiago- Hernández *et al.* 2019).

En el Ecoparque las redes por temporada y por zona, presentaron altos valores de robustez y bajos valores de especialización, tanto para las especies de mariposas como el de las plantas, y esto se podría explicar por la presencia de especies generalistas que brindan estabilidad y fuerza a la red ya que, se ha registrado con anterioridad que la estructura de las redes responde a los periodos de estrés (comunes en zonas perturbadas), debido a que se percibe un aumento en la presencia de especies generalistas y tolerantes, lo que resulta en estructuras anidadas y robustas dentro de las redes (López-Carretero *et al.* 2014, Luviano *et al.* 2017). De igual manera el anidamiento de las redes de visitantes, se ha interpretado como una topología que confiere cierta resiliencia a las comunidades (Bascompte *et al.* 2003, Bascompte y Jordano 2007), sin embargo, tomando en cuenta la perspectiva de las plantas, las especies especialistas, dependen de las generalistas ya que son consideradas polinizadores menos vulnerables (Ashworth *et al.* 2004, Santiago- Hernández *et al.* 2019).

Cabe mencionar que todas las redes del presente estudio, obtuvieron bajos valores de especialización, tanto a nivel de red, como a nivel de especie, lo cual coincide con lo reportado por Beteta-Hernández (2018), sin embargo, es importante recalcar que siempre puede existir un sesgo en los patrones de especialización o generalización de las redes debido a que, las especies menos abundantes son más difíciles de observar y registrar las interacciones que establecen (Beteta-Hernández 2014, Schleuning y Fründ 2014). De igual manera, en las zonas urbanas, la vegetación generalmente, es menos abundante y se distribuye de manera heterogénea en pequeños parches (Santos *et al.* 2012).

En las relaciones mutualistas, la intensidad o fuerza de las interacciones se puede interpretar como dependencia (Jordano 1987) debido a que, de la interacción, ambos grupos de especies obtienen un beneficio mutuo, del cual depende el resultado de la interacción y que tan dependiente es un nivel trófico del otro, en esa interacción (Jordano *et al.* 2009). En otras palabras, las redes de interacción tienden a ser asimétricas en términos de grado (cantidad de enlaces que se establecen por especie) y en términos de fortaleza o dependencia; por lo que el efecto que causa una especie de visitador floral sobre una especie de planta, puede no coincidir con el efecto recíproco de la especie de planta sobre el visitador floral (Vázquez *et al.* 2007). Aunado a esto, se sabe que los individuos de una comunidad interactúan al azar y las abundancias de las especies pueden determinar no sólo la frecuencia, sino también la fuerza de la interacción (hipótesis de abundancia-asimetría), pudiendo determinar el efecto ecológico sobre las otras especies; donde las especies abundantes (generalistas), son dominantes en término del número de interacciones y el efecto que causan esas interacciones, caso contrario, las especies especialistas y poco abundantes tienen pocas interacciones, y un efecto mínimo sobre las especies abundantes (Vázquez *et al.* 2007).

De acuerdo al resultado obtenido de la asimetría de dependencias en las cuatro redes del Ecomuseo (por zona y por temporada), se observó que, las mariposas dependen en mayor medida de las especies de plantas, lo cual puede deberse a que una gran cantidad de especies se alimentan del néctar de las flores (Martínez-Adriano 2018, Mukherjee *et al.* 2018) ya que su dieta consiste principalmente de carbohidratos, agua y aminoácidos e incluso del polen obtienen algunos nutrientes nitrogenados que son esenciales para su reproducción, mantener la masa corporal y aumentar la longevidad (Karlsoon 1994). Mientras que, para las especies

de plantas, pueden establecer interacciones con otros visitantes florales (Martínez-Adriano 2018). En el Ecoparque los visitantes más frecuentes eran Himenópteros, principalmente *Apis mellifera*, Coleópteros, Dípteros y algunas aves.

En cuanto a los parámetros a nivel de especie, se encontró que las especies núcleo tanto de plantas como de mariposas, se mantenían a lo largo de las zonas muestreadas y en ambas temporadas de recolecta. Las especies de mariposas centrales fueron: *L. aripa elodia*, *A. arene*, *P. multicaudata multicaudata* y *D. juno juno* lo cual coincide con lo reportado por Beteta-Hernández, quien encontró a estas mariposas como especies muy abundantes dentro del gradiente de urbanización en Pachuca. También es importante mencionar que de acuerdo al índice de interacción push-pull, estas especies se pueden catalogar como especies empujadoras, es decir que ejercen afectan mayormente a las plantas con las cuales interactúan, pero no reciben el mismo efecto por parte de las plantas.

L. aripa elodia, presentó los valores más altos de importancia o fuerza dentro de las cuatro redes y se mantuvo como especie núcleo. Se ha reportado con anterioridad, como una especie super abundante y resistente a las zonas urbanas (Hernandez- Mejía *et al.* 2008, Pérez Jarillo 2017, Sánchez- Jasso *et al.* 2019). Esto se puede deber a que tiene un ciclo de vida rápido ya que una larva, puede alcanzar la madurez entre 21 y 25 días si las condiciones son las adecuadas (Santiago-Lastra *et al.* 2006, Cervantes Valera 2012), y es una especie muy abundante que incluso, se considera de importancia económica debido a que es una especie plaga en los cultivos de col.

El resto de especies núcleo también permanecieron en las cuatro redes, lo que puede deberse a la presencia de sus plantas hospederas en el Ecoparque, ya que eso les permite asentarse en esta zona y aprovechar los recursos florales en todo su ciclo de vida. Otra especie importante dentro de las cuatro redes, resultó ser *A. arene*. Aunque no se cuenta con mucha información sobre esta especie, se sabe que es multivoltina, es decir, que presenta varias generaciones a lo largo de todo el año, y se puede encontrar durante la época seca y lluviosa, ya que tiene una gran capacidad de adaptarse a un amplio rango de condiciones ambientales. También se sabe que es una especie polífaga por lo que sus requerimientos no son tan estrictos como las especies monogafas (Hernández-Mejía 2009). En el ecoparque se pudo observar a esta

especie interactuando con especies herbáceas de pequeño tamaño en ambas zonas muestreadas, siendo *Bidens sp.* la especie con la que más interactuó.

En el caso de las plantas, *Bidens sp.* fue la especie núcleo que se mantuvo dentro de las dos zonas de muestreo y las dos temporadas, también presentó altos valores de fuerza o importancia de la especie, lo que coincide con los resultados previos en redes de plantas y mariposas (Beteta-Hernández 2014, Martínez-Adriano 2018). Esta especie tiene una amplia distribución y es muy común en zonas con alto grado de perturbación (Vibrans 1995). Es una especie herbácea que forma colonias que cubren el suelo en áreas abiertas y tiende a ser muy abundante durante todo el año, se sabe que es principalmente entomófila, siendo los himenópteros el grupo más frecuente de polinizador; sin embargo, se ha registrado a las mariposas como un grupo consistente y regular que se alimenta del néctar disponible en esta especie. También se puede considerar como una especie generalista, debido a que sus visitantes florales se componen de abejas (27%), avispas (6%), bombílidos (4%) y mariposas siendo las más abundantes (63%) (Budumajji y Solomon Raju 2018).

De igual manera *L. camara*, fue una especie núcleo, aunque no se encontró presente en la red de la zona B, se sabe que esta especie tiene una amplia distribución mundial, aunque es nativa del centro y sur de América (Holm *et al.* 1977), particularmente este género se considera como una especie invasora según lo reportado por la Comisión de Supervivencia de Especies de la Unión Mundial para la Naturaleza de acuerdo a Lowe y colaboradores (2000), debido a que: especies nativas e introducidas de aves, son dispersoras de largas distancias de sus semillas, sus frutos tienen sustancias que son tóxicas para algunos mamíferos por lo que disminuye el daño por herbivoría, tiene una alta capacidad de resiliencia después de alguna perturbación y es una especie que florece durante todo el año. De acuerdo a Núñez Bustos (2008), es una especie que interactúa frecuentemente con las mariposas en zonas urbanas. De hecho, las características de un síndrome de psicofilia (polinización por mariposas) están bien representados por las flores de esta especie vegetal, ya que sus inflorescencias se encuentran densamente agrupadas, su coloración es amarilla, roja y naranja, y presenta guías de néctar en los espectros UV, lo que evidencian que son polinizadas principalmente por mariposas que transportan granos de polen en la probóscide y en zonas cercanas a esta (Richardson y Pyšek 2013). Aunque las mariposas son su principal

polinizador, también se ha registrado interactuando con himenópteros, dípteros y algunas especies de colibrís por lo que se puede considerar como una especie generalista (Rijo *et al.* 2003, Richardson y Pyšek 2013). Ambas especies vegetales, fueron muy importantes para la estabilidad de la red, ya que fueron las especies núcleo de casi todas las redes presentes en el Ecoparque, incluso de acuerdo al índice push-pull fueron las especies de plantas que se pueden catalogar como “empujadoras” ya que ejercen un mayor efecto en sus interactuantes pero no reciben ese efecto recíproco por parte de las mariposas, lo que se puede deber a su amplia distribución, su presencia durante todo el periodo de muestreo, y su tendencia generalista de visitantes florales.

Conclusiones

Las redes de ambas zonas de estudio y temporadas de muestreo presentaron una topología anidada y robusta, observada en estudios previos sobre redes de visitantes florales. De igual manera las redes estuvieron integradas en su mayoría por especies generalistas, lo que concuerda con el patrón encontrado dentro de las urbes.

Se obtuvo como resultado que, en las redes del Ecoparque, las mariposas dependen en mayor medida de las plantas que viceversa, lo cual puede deberse al carácter generalista de las plantas y a que tienen un amplio abanico de especies polinizadoras, mientras que las mariposas, dependen del recurso floral para su supervivencia.

Las especies de mariposas *L. aripa elodia* y *A. arene* presentaron mayor fuerza e importancia dentro de las cuatro redes constituyendo las especies núcleo para el nivel trófico superior, por lo que estas especies resultarían importantes si se elaborará un futuro plan de manejo para el Ecoparque Metropolitano.

De igual manera, las especies de plantas *L. camara* y *Bidens* sp. presentaron mayor fuerza o importancia dentro de las redes constituyendo las especies núcleo para el nivel trófico inferior por lo que mantener estas especies presentes en el Ecoparque, permitirá mantener a la comunidad de mariposas que se distribuye dentro del Ecoparque Metropolitano.

Referencias

- Amaya, C. 2005. El Ecosistema Urbano: Simbiosis Espacial entre lo Natural y lo Artificial. *Revista Forestal Latinoamericana* 37: 1-16.
- Amela García, M. T., Aquino, D., Bouza A., Grohar, M. C., Herrera Cano, A. N., Lafuente Diaz, M., Miguez, M. V., Scorza, V. y Chamer, M. 2019. Sistema reproductivo y biología floral de *Lantana camara* (Verbenaceae) en una población ribereña del Río de la Plata. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 54: 29-42.
- Andrade-C, Gonzalo. 1998. Utilización de las mariposas como bioindicadoras del tipo de hábitat y su biodiversidad en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Serie A: Matemáticas.* 22. 407-421.
- Andrade-C, M. G., Heano Bañol, E. R., Triviño, P. 2013. Técnicas y procesamiento para la recolección, preservación y montaje de Mariposas en estudios de biodiversidad y conservación. (Lepidoptera: Hesperioidea-Papilionoidea) *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 37 (144): 311-325.
- Arroyo, M., R. 2018. Diversidad de Lepidópteros diurnos (Rhopalocera) en dos parques urbanos de la ciudad de Puebla, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ciencias Biológicas.
- Arroyo, M., R., 2018. Diversidad de Lepidópteros diurnos (Rhopalocera) en dos parques urbanos de la ciudad de Puebla, México. Tesis de biología. Facultad de Ciencias Biológicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Badano, E., García-Guzmán, J., Vergara-Briceño, C., Martínez-Romero, L., Barranco-León, M., Luna-Castellanos, F., Acuña-Cors, A., García-Valenzuela, M., y Ramos-Palacios, C.. 2012. Conservation value of a natural protected area in the state of Puebla, Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(3), 834-846.
- Baldock K., Goddard, A., Hicks, D., Kunin, W., Mitschunas, N., Osgathorpe, L., Potts, S., Robertson, K., Scott, A., Stone, G., Vaughan, I. and Memmott, J. 2015. Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 282(1083): 1–10. DOI: 10.1098/rspb.2014.2849.
- Barranco, M. N. 2016. Factores que influyen en la diversidad y distribución de Lepidópteros en el parque estatal Flor del Bosque Puebla, México. Tesis Doctoral. Doctorado en Ciencias Ambientales. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. 2016. 106pp.
- Bascompte J., Jordano P., Melian C. J, Olesen J. M., Melian C. J. y Olesen J. M. 2003. The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 100:9383–9387.

- Bascompte, J., Jordano, P., y Olesen, J. M. 2006. Asymmetric Coevolutionary Networks Facilitate Biodiversity Maintenance. *Science*, 312(5772), 431–433. doi:10.1126/science.1123412
- Bascompte, J. and Jordano, P. 2007. Plant – animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. – *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 38: 567 – 593.
- Bascompte J. 2010. Structure and dynamics of ecological networks. *Science* 329:765_766
DOI 10.1126/science.1194255.
- Beltran, R. y Traveset, A. 2018. Redes de interacción entre flores e himenópteros en dos comunidades costeras. Efectos de la pérdida de hábitat. *Asociación Española de Ecología Terrestre. Ecosistemas* 27(2): 102-114.
- Blüthgen N, Menzel F, Hovestadt T, Fiala B, Blüthgen N. 2007. Specialization, constraints and conflicting interests in mutualistic networks. *Current Biology* 17:341-346 DOI 10.1016/j.cub.2006.12.039.
- Brereton, T., Roy, D. B., Middlebrook, I., Botham, M. y Warren, M. 2011. The development of butterfly indicators in the United Kingdom and assessments in 2010. *Journal of Insect Conservation*, 15: 139-151.
- Boege, K. y Del Val, E. 2016. *Ecología y evolución de las interacciones bióticas*. México: Fondo de cultura económica. 11-14.
- Boege, K. y Del Val, E. 2011. Bichos vemos, relaciones no sabemos: diversidad e importancia de las interacciones bióticas. *Ciencias* 102, abril-junio, 4-11.
- Bonebrake TC, Cooper DS .2014. A Hollywood drama of butterfly extirpation and persistence over a century of urbanization. *J Insect Conserv* 18:683–692
- Budumajji, U., y Solomon Raju, A. J. 2018. Pollination ecology of *Bidens pilosa* L.(Asteraceae). *Taiwania*, 63(2).
- Cabezas, M.F.A. 2012. *Introducción a la Entomología*. México:Trillas.
- Casas-Pinilla, L. C., Mahecha-J., O., Dumar-R., J. C., & Ríos-Málaver, I. C. 2017. Diversidad de mariposas en un paisaje de bosque seco tropical, en la Mesa de los Santos, Santander, Colombia. (Lepidoptera: Papilionoidea). *SHILAP Revista de lepidopterología*, 45(177), 83-108.
- Chao, A. and Jost, L. 2012. Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93: 2533-2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>.
- Constantino, L, Chacón, P.; Ramírez, L. 2007. Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperoidea) en Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*. Santiago de Cali, Colombia.

- Constantino, L., M. 1997. *Lepidópteros diurnos del Chocó Biogeográfico: Diversidad, alternativas productivas sostenibles y estrategias de conservación*. Memorias XXIV Congreso Sociedad Colombiana de Entomología.
- Dáttilo, W., Guimarães, P. R., y Izzo, T. J. 2013. Spatial structure of ant-plant mutualistic networks. *Oikos*, 122(11), 1643–1648. doi:10.1111/j.1600-0706.2013.00562.x
- Di Mauro D, Dietz T, Rockwood L. 2007. Determining the effect of urbanization on generalist butterfly species diversity in butterfly gardens. *Urban Ecosyst* 10:427–439
- Di Pace, M., Caride Bartrons, H., Alsina, M. G., Barsky, A., Calello, T. D., Crojethovich Martín, A. D., ... & Zuberma, F. 2012. *Ecología urbana*.
- Díaz-Castelazo C, Guimarães Jr PR, Jordano P, Thompson JN, Marquis RJ, Rico-Gray V. 2010. Changes of a mutualistic network over time: reanalysis over a 10-year period. *Ecology* 91:793_801 DOI 10.1890/08-1883.1.
- Díaz-Castelazo, C., Sánchez-Galván, I. R., Guimarães, P. R., Raimundo, R. L. G., & Rico-Gray, V. 2013. Long-term temporal variation in the organization of an ant-plant network. *Annals of Botany*, 111(6), 1285–1293. doi:10.1093/aob/mct071.
- Díaz-Castelazo C, Martínez-Adriano CA, Dáttilo W, Rico-Gray V. 2020. Relative contribution of ecological and biological attributes in the fine-grain structure of ant-plant networks. *PeerJ* 8:e8314 <https://doi.org/10.7717/peerj.8314>.
- Díaz-Rivas, M. A., Rodríguez-Acosta, M. y C. Pérez-Torres. 2012. Determinación de especies de Ropalóceros asociados al Jardín Botánico Universitario. Puebla México. Pp. 1175–1180. *Entomología mexicana*, Vol. 11, Tomo 2. Sociedad Mexicana de Entomología y Colegio de Postgraduados.
- Dormann CF, Gruber B. Package ‘bipartite’: visualising bipartite networks and calculating some ecological indices. 2011 <http://cran.rproject.org/web/packages/bipartite/bipartite.pdf>.
- Fernández- Hernández, D.M. 2007. Butterflies of the agricultural experiment station of tropical roots and tubers and, Santa Ana, Camagüey, Cuba: an annotated list. *Acta Zoológica Mexicana*. 23: 43-75.
- Fortuna, M. A., y Bascompte, J. 2006. Habitat loss and the structure of plant-animal mutualistic networks. *Ecology Letters*, 9(3), 281–286. doi:10.1111/j.1461 0248.2005.00868.x
- Freitas, A. V. L., Agra, I. C., Pereira, S. J., Oliveira, C. J. Y., Bandini, R. D., Alves, M. D. H., Batista, R. A. H., Marini-Filho, O. J., Mattos, A. G., Uehara-Prado, M. 2014. Studies with butterfly bait traps: an overview. *Revista Colombiana de Entomología*, 40 (2), 203–212.
- Gámez J.A. 2010 *Diversidad y composición de las comunidades de mariposas Nymphalidae (Lepidoptera: Rhopalocera) en el área natural protegida la Joya, del Departamento de San Vicente, el Salvador, Centroamérica*. Tesis. Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. 102pp.

- García-Barros E., Romo H., Monteys V., Munguira M., Baixeras J., Vives A. y Yela JL. 2015. Clase Insecta. Orden Lepidoptera. Revista IDEA. Ibero Diversidad Entomológica. 65: 1-21pp.
- Gilbert, L. E. y Smiley, J. T. 1978. Determination of local diversity in phytophagous insects: host specialists in tropical environments. Symposium of the Royal Entomological Society of London, 9: 89-104.
- Giuliano, W., Accamando, A. y Macadams, E. 2004. Lepidoptera- habitat relationship in urban parks. Urban Ecosystem, 7: 361-370.
- Giuliano, W.M., Accamando, A.K. y Mcadams, E.J. 2004. Lepidoptera-habitat relationships in urban parks. Urban Ecosyst 7: 361–370.
- Guimarães PR Jr., Guimarães P 2006. Improving the analyses of nestedness for large sets of matrices. Environmental Modelling & Sof-tware 21: 1512-1513.
- Guix, J.C. 2021. Interacciones mutualistas entre animales y plantas. I.Introducción general. Publicacions del Centre de Recursos de Biodiversitat Animal. Universitat de Barcelona, Volum 7, 45 pp.
- Hernández, M. K. (2010) Selección de mariposas diurnas (Rhopalocera: Papilionoidea) con potencial de crianza en una comunidad indígena de la Huasteca Potosina. Tesis de Maestría. Posgrado en Recursos bióticos, Facultad de Ciencias Naturales. UAQ. México.
- Hernández-Chavarria, F.; Sittenfeld, A.; Murillo- Hiller, R. 2004. Rothschildia lebeau, una bella mariposa nocturna: Observar de cerca lo que usualmente pasamos inadvertido. Vol.18. N°4. 60 p. Universidad de Costa Rica, San Jose, Costa Rica. 60p.
- Hernández- Mejía, B.C., Llorente-Bousquets, J., Vargas- Fernández, I. y Luis- Martínez, A. 2008. Las mariposas (Papilionoidea y Hesperoidea) de Malinaco, Estado de México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 79: 117-130.
- Hernández, M. C. B. 2009. Riqueza, distribución y gremios alimentarios de mariposas diurnas de la familia HesperIIDae (Lepidoptera: Hesperoidea), en el Sur del Estado de México. Tesis de Maestría. Posgrado de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. 108pp.
- Hernandez-Chavarria, F.; Sittenfeld, A.; Murillo- Hiller, R. 2004. Rothschildia lebeau, una bella mariposa nocturna: Observar de cerca lo que usualmente pasamos inadvertido. Vol.18. N°4. 60 p. Universidad de Costa Rica, San Jose, Costa Rica. 60p.
- Hill, M. O. 1973. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. Ecology 54: 427-431.
- Holm, Le Roy G.; D. Plucknett; J. Pancho; J. Herberger: «The World's Worst Weeds. Distribution and Biology», East West Center, University Press of Hawaii, Honolulu, 212-302, 1977.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México).2009. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación: Escala 1: 250 000: Serie III/ Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censos y Censos de Población y Vivienda. Series históricas. Tabulados predefinidos, consultado en <https://www.inegi.org.mx/datos/?ps=Programas>, 30-03-2021.
- Jaramillo, D. 2019. Redes ecológicas de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) y plantas (angiospermas) en zona conservada e intervenida en época de lluvia y sequía, en Bosque Seco Tropical colombiano. Tesis. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Estudios Ambientales y Rurales.
- Jiménez Moreno, F., Duchateau, A., y González Oreja, J. 2019. Primeros registros del Chipe dorado Protonotaria citrea (Aves: Passeriformes) en el estado de Puebla, México. Acta zoológica mexicana.
- Jiménez- Valverde, A. y Hortal, J. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar los inventarios biológicos. Revista Ibérica de Aracnología 8: 151-161.
- Johnson, S.D., Steiner, K.E. 2000. Generalization versus specialization in plant pollination systems. Trends. Ecology and Evolution 15 (4):140-143.
- Jordano, P. 1987. Patterns of mutualistic interactions in po-llination and seed dispersal: connectance, dependence asymmetries, and coevolution. American Naturalist 129: 657-677
- Jordano, P. 1987. Patterns of mutualistic interactions in pollination and seed dispersal: connectance, dependence asymmetries, and coevolution. American Naturalist 129: 657-677.
- Jordano, P., Vázquez, D. y Bascompte, J. 2009. Redes complejas de interacciones mutualistas planta animal. pp. 17-41 En: Medel, R., Aizen, M., Zamora, R. (Eds). Ecología y evolución de interacciones planta-animal: Conceptos y aplicaciones. Editorial Universitaria, S.A. Santiago de Chile.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. Oikos 113: 363-375.
- Karlsoon, B. 1994. Feeding habits and change of body composition with age in three nymphalid butterfly species. Oikos, 69: 224-230.
- Kim, M. J., Wang, A. R., Park, J. S., y Kim, I. 2014. Complete mitochondrial genomes of five skippers (Lepidoptera: Hesperiiidae) and phylogenetic reconstruction of Lepidoptera. Gene, 549(1), 97-112.
- Koh, L. P., y Sodhi, N. S. 2004. Importance of reserves, fragments, and parks for butterfly conservation in a tropical urban landscape. Ecological applications, 14(6), 1695–1708.
- Kremen C, Williams NM, Aizen MA, Gemmill-Herren B, LeBuhn G, Minckley R, Packer L, Potts SG, Roulston T, Steffan-Dewenter I, Vázquez DP, Winfree R, Adams L, Crone EE, Greenleaf SS, Keitt TH, Klein AM, Regetz J, Ricketts TH. Pollination and other ecosystem

services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecol Lett.* 2007 10(4):299-314. doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x.

- Llorente-Bousquets, J., M. Trujano-Ortega, A. Luis-Martínez, J. Castro E I. Vargas Fernández. 2006. Patrones de distribución de la familia Pieridae (Lepidoptera), Pp. 715-770. En: Morrone, J. J. Y J. Llorente Bousquets (Eds.), Componentes bióticos principales de la entomofauna mexicana, Las Prensas De Ciencias, Unam, México, D. F.
- Llorente-Bousquets, J., Vargas-Fernandez, I., Luis-Martinez, A., Trujano-Ortega, M., Hernandez-Mejía, B., Warren, A. 2014. Biodiversidad de Lepidoptera en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 353-371.
- López-Carretero A, Díaz-Castelazo C, Boege K, Rico-Gray V. 2014. Evaluating the Spatio-Temporal Factors that Structure Network Parameters of Plant-Herbivore Interactions. *PLoS ONE* 9(10): e110430. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110430>.
- Lowe S. J., Browne M. y Boudjelas, S. 2000. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. IUCN/SSC Invasive Species Specialist Group (ISSG), Auckland.
- Luis, Martínez, A. M. 2013. Estudio lepidopterofaunístico en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca-Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. BK062 México D. F
- Luna- Reyes, M., Llorente- Bousquets, J. y Luis- Martinez, A. 2008. Papilionoidea de la Sierra de Huautla, Morelos y Publa, México (Insecta: Lepidoptera). *Revista de Biología Tropical.* 56 (4): 1677-1716.
- Luna- Reyes, M., Llorente- Bousquets, J., Luis- Martinez, A y Vargas- Fernández, I. 2010. Composición faunística y fenología de las mariposas (Rhopalocera: Papilionoidea) de Cañón de Lobos, Yautepec, Morelos, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 315- 342.
- Luviano, N., Villa-Galaviz, E., Boege, K., Zaldívar-Rieverón, A. y Del-Val, Ek. 2017. Hurricane impacts on plant-herbivore networks along a successional chronosequence in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management.* 426. 10.1016/j.foreco.2017.09.011.
- MacGregor-Fors I, Zuria I. 2019. Ciudades vivas: Biodiversidad en ambientes urbanos. En: Moreno CE (Ed) *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio.* Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, pp. 113-127
- Martínez-Adriano CA, Díaz-Castelazo C, Aguirre-Jaimes A. 2018. Flower mediated plant-butterfly interactions in an heterogeneous tropical coastal ecosystem. *PeerJ* 6: e5493
- Martínez-Falcón A., Martínez-Adriano C., Dáttilo, W. 2019. Redes complejas como herramientas para estudiar la diversidad de las interacciones ecológicas. En: Moreno CE (Ed) *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio.* Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, pp. 265-283

- Martín-Piera, F. J. J. Morrone y A. Melic. 2000. Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica: PrIBES 2000. M3m-Monografías Tercer Milenio 1. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza. 326p.
- Maxwell S., Fuller R., Brooks T., Watson J. 2016 The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* 536:143–145.
- McKinney, M. 2006. Urbanization as major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127:247-260.
- Medan, D. 2008. Insectos polinizadores: diversidad global e importancia local de la polinización entomófila Pollinating insects: global diversity and local importance of entomophilous pollination. Cátedra de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 53-61 p.
- Medel, R., Aizen, M., Zamora, R. 2009. (Eds). *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: Conceptos y aplicaciones*. Editorial Universitaria, S.A. Santiago de Chile.
- Mitter, C., Davis, D. R., & Cummings, M. P. 2017. Phylogeny and evolution of Lepidoptera. *Annual review of entomology*, 62, 265-283.
- Mukherjee, S., Banerjee, S., Basu, P., Saha, G., K. y Gautam, a. 2018. Butterfly-plant network in urban landscape: Implication for conservation and urban greening. *Acta Oecologica*. 92: 16-25.
- Mulanovich, D. C. A. J. 2007. *Mariposas Guía para el manejo sustentable de las mariposas del Perú*. PROMPEX-IIAP-GTZ, Perú, 101 pp. Disponible en: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/186>.
- Novella-Fernandez R, Rodrigo A, Arnan X, Bosch J. 2019. Interaction strength in plant-pollinator networks: Are we using the right measure? *PLoS ONE* 14(12): e0225930. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225930>.
- Orta, S. C., Reyes-Agüero, J. A., Luis-Martínez, M. A., MuñozRobles, C. A., Méndez, C. H. 2022. Las mariposas bioindicadoras ecológicas de México. Artículo de revisión. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 38, 1–33. 10.21829/azm.2022.3812488 elocation-id: e3812488
- Öckinger E, Dannestam Å, Smith HG. 2009. The importance of fragmentation and habitat quality of urban grasslands for butterfly diversity. *Landsc Urban Plan* 93:31–37
- Öckinger, E., Eriksson, A.K., Smith, H.G., 2006. Effects of grassland management, abandonment and restoration on butterflies and vascular plants. *Biol. Conserv.* 133, 291–300.
- Öckinger, E., Smith, H.G., 2006. Landscape composition and habitat area affect butterfly species richness. *Oecologia* 149, 526–534.
- Olesen, J. M., Bascompte, J., Dupont, Y.L., Jordano, P. 2007. The modularity of pollination networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:19891-19896.

- Padrón S. 2006. Diurnal and nocturnal lepidóptera of Buenaventura (Piñas-Ecuador). *Lyonia A Journal of ecology and applicarion*. 9(1) 53-65pp.
- Pérez-Jarillio, E. 2017. Diversidad de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) en un gradiente de urbanización en la Zona Metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México. Tesis. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.
- Ramírez- Restrepo, L. y MacGregor- Fors, I. 2016. Butterflies in the city: a review of urban diurnal Lepidoptera. *Urban Ecosystems*.
- Ramírez, R. Chacon De Ulloa, P. y Constantino, L. 2007. Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea) en Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*. 33(1): 54-63.
- Ramírez-Segura, O. y Wallace- Jones, R. 2016. Insectos polinizadores en ambientes urbanos: perspectivas de su estudio en México. *Entomología mexicana*, 3: 183–190.
- Ramírez-Segura, O. y Wallace- Jones, R. 2017. Lepidópteros diurnos de áreas verdes urbanas de Querétaro México. *Entomología Mexicana*. 4: 503-508.
- Ramírez-Segura, O. y Wallace-Jones, R. 2017. Lepidópteros diurnos de áreas verdes urbanas de Querétaro. *Entomología mexicana*, 4: 503–508.
- Richardson, D.M.; Pyšek, P. Plant Invasions. *Encycl. Biodivers.* 2013, 6, 90–102
- Rijo, E., Matienzo, Y. y Ramos, B. 2003. revisión bibliográfica sobre *Lantana camara* una amenaza para la ganadería. *Fitosanidad*, 7(4),45-55.
- Rosas-Guerrero, V., R. Aguilar, S. Martín-Rodríguez, L. Ashworth, M. Lopezaraiza-Mikel, J.M. Bastida, and M. Quesada. 2014. A quantitative review of pollination syndromes: do floral traits predict effective pollinators? *Ecol. Lett.* 17: 388 – 400
- RStudio Team. 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Sánchez-Jasso, J., Estrada-Álvares, J., Medina, J. y Estrada Fernández, B. 2019. Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea) en el paisaje urbano del municipio de Metepec, Estado de México, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90: 1-12.
- Santiago-Hernández M. H., Martínez-Rodríguez S., Lopezaraiza-Mikel M., Oyama K., González-Rodríguez A., y Quesada M. 2019. The role of pollination effectiveness on the attributes of interaction networks: from floral visitation to plant fitness. *Ecology* 100(10):e02803. 10.1002/ecy.2803.
- Santos, G., & Aguiar, C., Genini, J., Martins, C., Zanella, F. y Mello, M. 2012. Invasive Africanized honeybees change the structure of native pollination networks in Brazil. *Biological Invasions*. 14. 10.1007/s10530-012-0235-8.

- Schleuning, M., Fründ, J., & García, D. 2014. Predicting ecosystem functions from biodiversity and mutualistic networks: an extension of trait-based concepts to plant-animal interactions. *Ecography*, 38(4), 380–392. doi:10.1111/ecog.00983
- Segarra B. Análisis de la diversidad y abundancia de mariposas diurnas comparando diferentes hábitats en el municipio de Vila Real (Portugal).2019. Tesis. Escuela Técnica Superior de Ingeniería agronómica y del medio natural. Universidad Politécnica de Valencia.
- SEMARNAT, INECC. 2016. Análisis Climatológico de la Región Centro del País. Consultado desde:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/196835/2__REPORTE__FINAL_CLIMATOLOGI_A__1_.pdf
- Shapiro, A., M., 2007. *Poanes melane* (Hesperiidae) ovipositing on an Australian grass naturalized in California. *Journal of Lepidopterist Society*. 60: 175.
- Shreeve, T. G. y Mason, C. F. 1980. The number of butterfly species in woodlands. *Oecologia*, 45: 414-418.
- Sing, K., Jusoh, W., Hashim, N. y Wilson, J. 2016. Urban parks: refuges for tropical butterflies in Southeast Asia? *Urban Ecosystems*, 58: 1-17.
- Sonia Reyes-Paecke, S., Barbosa, O., Celis, J.L., De la Barrera, F. 2018. Biodiversidad de Chile, Patrimonio y desafíos. Tomo II. Capítulo 5. Diversidad de Ecosistemas urbanos. 101-247pp.
- Suarez J. F. 2018 Redes ecológicas de insectos: visitantes florales en parques y jardines de Bogotá Colombia. Tesis. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales.
- Tam, K.C., Bonebrake, T.C. 2016. Butterfly diversity, habitat and vegetation usage in Hong Kong urban parks. *Urban Ecosyst* 19, 721–733.
- Thomas, J.A., 2005. Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological* 360:339-357.
- Thomson, J. 2003. When is it mutualism? *American Naturalist* 162:S1–S9.
- Thompson, J. N. (2006). ECOLOGY: Mutualistic Webs of Species. *Science*, 312(5772), 372–373.
- Tobar-L. D., Rangel- Ch. J., y Andrade-C, G. 2001. Las cargas polínicas en las mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) de la parte alta de la cuenca del río Roble-Quindío-Colombia. *caldasia*. 23(2). 393-409.
- Van Nieuwerkerken, E. J., Kaila, L., Kitching, I. J., Kristensen, N. P., Lees, D. C., Minet, J., ... & Zwick, A. 2011. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758. In: Zhang, Z.-Q.(Ed.) *Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa*, 3148(1), 212-221.
- Vane-Wright, D. 2004. “Butterflies at that awkward age”. *Nature* 428: 478-480.

- Vázquez DP, Melian CJ, Williams NM, Blüthgen N, Krasnov BR, Poulin R. 2007. Species abundance and asymmetric interaction strength in ecological networks. *Oikos* 116:1120_1127 DOI 10.1111/j.0030-1299.2007.15828.x.
- Vibrans, H. 1995. *Bidens pilosa* L. Y *Bidens odorata* Cav. (Asteraceae: Heliantheae) en la vegetación urbana de la Ciudad de México. *Acta Botanica Mexicana*, (32),85 – 89.
- Villegas F. 2019. Diversidad de lepidópteros diurnos (Lepidoptera: Rhopalocera) en un agroecosistema de café en la localidad de Cuahueyatla, Huauchinango, Puebla. Tesis de biología. Facultad de Ciencias Biológicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 67p.
- Warren, A. D. 2000. Hesperioidea (Lepidoptera), pp. 535- 580. En Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Vol. II. Fac. Ciencias, UNAM citado en: Llorente Bousquets, J. E., Morrone Juan J., Yáñez Ordóñez, O., Vargas Fernández, I. (Eds.). 2004. Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos: hacia una síntesis de su conocimiento. Vol. IV. Facultad de Ciencias UNAM, México D. F.
- Wilson, J.D., Morris, A.J., Arroyo, B.E., Clarck, S.C., Bradbury, R.B., 1999. A review of the abundance and diversity of invertebrate and plant foods of granivorous birds in northern Europe in relation to agricultural change. *Agriculture Ecosystems and Environment* 75:13-30.
- Zhang, Z. Q. & W. A. Shear (eds.) 2011. Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa* 3148: 1- 237.

Anexos.

Anexo1. Especies de mariposas y plantas en cada zona y temporada de muestreo. Se anexan los códigos de cada especie utilizados en el análisis de redes.

Especie	Clave	Nivel trófico	Zona A		Zona B	
			Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
<i>Achlyodes pallida</i>	ACHPALL	superior	x			
<i>Agraulis vanillae incarnata</i>	AGRVANINC	superior	x	x	x	x
<i>Ancyloxypha arene</i>	ANCARE	superior	x	x	x	x
<i>Anteos clorinde</i>	ANTCLO	superior	x	x		
<i>Anteos maerula</i>	ANTMAE	superior	x	x	x	
<i>Anthanassa texana texana</i>	ANTTEXTEX	superior	x	x	x	x
<i>Appias drusilla</i>	APPDRU	superior	x	x	x	
<i>Atrytonopsis llorentei</i>	ATRLLO	superior	x	x		
<i>Autochton siernadror</i>	AUTSIE	superior	x		x	
<i>Battus philenor philenor</i>	BATPHIPI	superior	x			
<i>Bolla brennus brennus</i>	BOLLBREBRE	superior			x	
<i>Bolla litus</i>	BOLLIT	superior	x		x	
<i>Calephelis sp.</i>	CALSP	superior			x	
<i>Catasticta nimbice nimbice</i>	CATNIMNIM	superior		x		x
<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	CHLEHR	superior	x	x	x	x
<i>Chlosyne janais janais</i>	CHLJANJAN	superior	x			
<i>Chlosyne lacinia lacinia</i>	CHLIACIAC	superior	x			
<i>Chlosyne rosita riobalsensis</i>	CHLROSRIB	superior	x			
<i>Codattractus melon</i>	CODMEL	superior	x	x		
<i>Cupido comyntas comyntas</i>	CUPCOMCOM	superior		x		
<i>Cyanophrys herodotus</i>	CYAHER	superior	x			

<i>Danaus gilippus thersippus</i>	DANGILTHE	superior	x	x		
<i>Danaus plexippus plexippus</i>	DANPLEPLE	superior			x	
<i>Dione juno juno</i>	DIOJUNJUN	superior	x	x	x	x
<i>Dione moneta poeyii</i>	DIOMONPOE	superior	x	x	x	x
<i>Dryas iulia moderata</i>	DRYIULMOD	superior	x			
<i>Echinargus isola</i>	ECHIISOL	superior	x	x	x	x
<i>Epargyreus clarus</i>	EPACLA	superior	x			
<i>Euphyes vestris metacomet</i>	EUPVESMET	superior	x			
<i>Euptoieta claudia</i>	EUTCLA	superior	x		x	
<i>Eurema boisduvaliana</i>	EURBOI	superior	x		x	
<i>Eurema daira sidonia</i>	EURDAISID	superior	x	x	x	x
<i>Eurema mexicana mexicana</i>	EURMEXMEX	superior	x		x	x
<i>Heliconius charithonia vazquezae</i>	HELCHAVAZ	superior	x	x		x
<i>Hemiargus ceraunus astenidas</i>	HEMCERAST	superior	x			x
<i>Hylephila phyleus phyleus</i>	HYLPHYPHY	superior	x	x	x	
<i>Leptophobia aripa elodia</i>	LEPARIELO	superior	x	x	x	x
<i>Leptotes cassius cassidula</i>	LEPCASCAS	superior	x		x	
<i>Leptotes marina</i>	LEPMAR	superior	x		x	
<i>Marpesia petreus</i>	MARPET	superior	x			
<i>Mimoides thymbraeus aconophos</i>	MIMTHYACO	superior	x	x		
<i>Nathalis iole iole</i>	NATIOLIOL	superior	x	x	x	x
<i>Nymphalis antiopa antiopa</i>	NYMANTANT	superior			x	
<i>Papilio brevicauda brevicauda</i>	PAPBREBRE	superior	x	x		
<i>Papilio garamas garamas</i>	PAPGRAGRA	superior	x	x	x	
<i>Papilio multicaudata grandiosus</i>	PAPMULGRA	superior	x	x	x	x
<i>Papilio multicaudata multicaudata</i>	PAPMULMUL	superior	x	x	x	
<i>Papilio polyxenes polyxenes</i>	PAPPOLPOL	superior	x			
<i>Papilio rogeri pharnaces</i>	PAPROGPHA	superior	x		x	
<i>Papilio thoas autocles</i>	PAPTHOAUT	superior	x			

<i>Parides photinus</i>	PARPHO	superior	x	x			
<i>Phocides polybius lilea</i>	PHOPOLYLIL	superior	x	x		x	
<i>Phoebis agarithe agarithe</i>	PHOAGA	superior	x				
<i>Phoebis neocypris virgo</i>	PHONEOVIR	superior	x				
<i>Phoebis philea philea</i>	PHOPHIPHI	superior					x
<i>Phoebis sennae eubule</i>	PHOSENN EUB	superior	x				
<i>Phoebis sennae marcellina</i>	PHOSENNMAR	superior	x				x
<i>Pholisora mejicanus</i>	PHOMEJ	superior					x
<i>Poanes melane poa</i>	POAMELPOA	superior	x			x	x
<i>Poanes zabulon</i>	POAZAB	superior	x	x		x	x
<i>Polygonus leo arizonensis</i>	POLLEOARI	superior	x	x		x	x
<i>Polygonus savigny savigny</i>	POLSAVSAV	superior	x				
<i>Pontia protodice</i>	PONPRO	superior	x			x	
<i>Pyrgus communis communis</i>	PYRCOMCOM	superior	x	x		x	
<i>Pyrisitia dina westwoodii</i>	PYRDINWES	superior				x	
<i>Pyrisitia proterpia</i>	PYRPRO	superior	x	x		x	
<i>Siproeta stelenes stelenes</i>	SIPSTESTE	superior	x				
<i>Strymon cestri</i>	STRCES	superior	x				
<i>Thorybes confusis</i>	THOCON	superior		x			
<i>Typhedanus ampyx</i>	TYPAMP	superior	x				
<i>Urbanus dorantes dorantes</i>	URBDORDOR	superior	x	x		x	
<i>Vanessa annabella</i>	VANANN	superior	x			x	
<i>Zerene cesonia cesonia</i>	ZERCESCES	superior	x			x	
<i>Zizula cyna</i>	ZIZCYN	superior	x				
<i>Acmella repens</i>	ACMREP	inferior					x
<i>Anoda cristata</i>	ANODCRIS	inferior	x				
<i>Barkleyanthus salicifolius</i>	BARSAL	inferior				x	x
<i>Bidens sp.</i>	BIDBIG	inferior	x	x		x	x
<i>Bougainvillea sp.</i>	BOUSP	inferior	x	x			

<i>Bouvardia ternifolia</i>	BOUTER	inferior					X
<i>Dichromanthus cinnabarinus</i>	DICCIN	inferior				X	
<i>Duranta erecta</i>	DURERE	inferior	X		X		
<i>Foeniculum vulgare</i>	FOEVUL	inferior	X				
<i>Glandularia bipinnatifida</i>	GLABIP	inferior				X	
<i>Lantana achyranthifolia</i>	LANACHY	inferior	X		X		
<i>Lantana camara</i>	LANCAM	inferior	X		X		
<i>Leonotis nepetifolia</i>	LEONEP	inferior				X	X
<i>Macroptilium gibbosifolium</i>	MACGIBB	inferior	X				
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	MIMACU	inferior				X	X
<i>Oenothera rosea</i>	OENROS	inferior	X			X	X
<i>Oxalis sp.</i>	OXADRU	inferior				X	X
<i>Pelargonium graveolens</i>	PELGRA	inferior	X		X		
<i>Phaseolus coccineus</i>	PHACOCC	inferior				X	
<i>Psittacanthus calyculatus</i>	PSICAL	inferior				X	X
<i>Punica granatum</i>	PUNGRA	inferior	X		X		
<i>Salvia amarissima</i>	SALAMA	inferior	X		X		
<i>Salvia leucantha</i>	SALLEU	inferior	X				
<i>Salvia polystachya</i>	SALPOLY	inferior	X				
<i>Salvia rosmarinus</i>	SALROS	inferior	X				
<i>Sida rhombifolia</i>	SIDRHO	inferior				X	
<i>Taraxacum officinale</i>	TAROFF	inferior	X				
<i>Tithonia tubaeformis</i>	TITTUB	inferior			X	X	X
<i>Tropaeolum majus</i>	TROMAJ	inferior	X				
<i>Wigandia urens</i>	WIGURE	inferior				X	X

Anexo2. Parámetros a nivel de especie en ambas zonas de muestreo. Donde: **d'** es el índice de especialización, **ST**: es la fuerza o importancia de la especie y **IPP**: es el índice de interacción push- pull.

Especie	Nivel trófico	Zona	d'	ST	IPP
LEPARIELO	superior	A	0.0698	7.6213	0.4729
PAPMULMUL	superior	A	0.097	1.3599	0.06
DIOJUNJUN	superior	A	0.0777	0.3914	-0.1522
DANPLEPLE	superior	A	0.075	0.1806	-0.4097
DIOMONPOE	superior	A	0.0832	0.3895	-0.3052
URBDORDOR	superior	A	0.0277	0.8724	-0.0182
AGRVANINC	superior	A	0.0512	0.1997	-0.2668
ANCARE	superior	A	0.5028	1.8177	0.1635
ANTTEXTEX	superior	A	0.3039	0.6432	-0.1189
LEPCASCAS	superior	A	0.2737	1.0327	0.0065
POLLEOARI	superior	A	0.028	0.0533	-0.4733
HELCHAVAZ	superior	A	0.0935	0.2307	-0.2564
APPDRU	superior	A	0.0652	0.0507	-0.4746
SIPSTESTE	superior	A	0.0206	0.025	-0.4875
DRYIULMOD	superior	A	0.0254	0.0096	-0.9904
VANANN	superior	A	0.099	0.4634	-0.1789
ATRLLO	superior	A	0.0464	0.054	-0.473
PAPGRAGRA	superior	A	0.0405	0.0783	-0.3072
EURMEXMEX	superior	A	0.583	0.4786	-0.1738
ANTMAE	superior	A	0.1363	0.0811	-0.4595
AUTSIE	superior	A	0.2004	0.2259	-0.3871
ANTCLO	superior	A	0.4395	0.124	-0.438
NATIOLIOL	superior	A	0.426	0.0429	-0.9571
PHOPOLYLIL	superior	A	0.0171	0.0037	-0.9963
CHLEHR	superior	A	0.0156	0.0032	-0.9968
MARPET	superior	A	0.0156	0.0032	-0.9968
MIMTHYACO	superior	A	0.0156	0.0032	-0.9968
PAPTHOAUT	superior	A	0.0156	0.0032	-0.9968
DANGILTHE	superior	A	0.0356	0.0177	-0.4912
LEPMAR	superior	A	0.4178	0.1172	-0.4414
PAPBREBRE	superior	A	0.232	0.1834	-0.2722
PAPROGPHA	superior	A	0.1742	0.1129	-0.4435
PYRPRO	superior	A	0.0131	0.0028	-0.9972
PARPHO	superior	A	0.0087	0.0023	-0.9977
ZERCESES	superior	A	0.2767	0.0924	-0.3025
CATNIMNIM	superior	A	0.3393	0.0129	-0.9871
EURDAISID	superior	A	0.3393	0.0129	-0.9871
HYPHYPHY	superior	A	0	0.0014	-0.9986
BATPHIPHI	superior	A	0	0.0005	-0.9995

CYAHER	superior	A	0	0.0005	-0.9995
PAPPOLPOL	superior	A	0	0.0005	-0.9995
PYRDINWES	superior	A	0	0.0005	-0.9995
LANCAM	inferior	A	0.2488	29.5129	0.7503
BIDBIG	inferior	A	0.4791	6.3227	0.4436
BOUSP	inferior	A	0.2398	1.9182	0.0765
DURERE	inferior	A	0.1235	0.3394	-0.0734
LANACHY	inferior	A	0.3347	0.5313	-0.1172
OENROS	inferior	A	0.6695	0.8692	-0.0436
SALAMA	inferior	A	0.2701	0.4395	-0.1868
MACGIBB	inferior	A	0.6318	0.5933	-0.1356
FOEVUL	inferior	A	0.2883	0.6916	-0.0617
ACMREP	inferior	A	0.5506	0.2127	-0.3936
PUNGRA	inferior	A	0.2307	0.3506	-0.2165
SALLEU	inferior	A	0.1631	0.0199	-0.4901
PELGRA	inferior	A	0.2897	0.065	-0.4675
TAROFF	inferior	A	0.151	0.0141	-0.4929
TROMAJ	inferior	A	0.0852	0.0108	-0.4946
SALPOLY	inferior	A	0.2922	0.1003	-0.4499
TITTUB	inferior	A	0.1777	0.0084	-0.9916
ANCARE	superior	B	0.2451	2.7313	0.1924
LEPARILO	superior	B	0.0581	3.0401	0.1855
ANTTEXTX	superior	B	0.1367	0.8567	-0.0239
DIOJUNJUN	superior	B	0.1882	1.6621	0.0946
PAPMULMUL	superior	B	0.5185	0.9301	-0.01
LEPCASCAS	superior	B	0.1606	1.1432	0.0239
NATIOLIOL	superior	B	0.1133	0.2538	-0.1866
AGRVANINC	superior	B	0.1922	0.3827	-0.1235
URBDORDOR	superior	B	0.0656	0.1541	-0.1692
ZERCESES	superior	B	0.3312	0.5036	-0.0709
LEPMAR	superior	B	0.1341	0.1178	-0.4411
EURDAISID	superior	B	0.1907	0.645	-0.0592
DIOMONPOE	superior	B	0.2706	0.2519	-0.2494
DANPLEPLE	superior	B	0.1338	0.2724	-0.0909
ANTMAE	superior	B	0.32	0.2434	-0.1513
PYRPRO	superior	B	0.087	0.1823	-0.1635
HYLPHYPHY	superior	B	0.3411	0.2925	-0.1769
POLLEOARI	superior	B	0.0922	0.0141	-0.9859
ANTCLO	superior	B	0.2975	0.1606	-0.1679
CHLEHR	superior	B	0.1371	0.1431	-0.4285
DRYIULMOD	superior	B	0.1113	0.0668	-0.3111

EURMEXMEX	superior	B	0.125	0.0623	-0.3126
ATRLLO	superior	B	0.0767	0.0398	-0.4801
AUTSIE	superior	B	0.1778	0.2565	-0.3718
BATPHIPI	superior	B	0.1357	0.0299	-0.485
PHOPOLYLIL	superior	B	0.3041	0.4141	-0.1953
PONPRO	superior	B	0.0201	0.0054	-0.9946
DANGILTHE	superior	B	0	0.0032	-0.9968
APPDRU	superior	B	0	0.0022	-0.9978
CYAHER	superior	B	0	0.0022	-0.9978
HELCHAVAZ	superior	B	0.4404	0.0323	-0.9677
PAPGRAGRA	superior	B	0.3909	0.0238	-0.9762
PYRDINWES	superior	B	0	0.0022	-0.9978
EUTCLA	superior	B	0	0.0011	-0.9989
PAPTHOAUT	superior	B	0.3566	0.0123	-0.9877
PYRCOMCOM	superior	B	0.5287	0.04	-0.96
SIPSTESTE	superior	B	0.4527	0.0238	-0.9762
VANANN	superior	B	0	0.0011	-0.9989
BIDBIG	inferior	B	0.316	19.5883	0.6196
PHACOCC	inferior	B	0.1951	2.3738	0.0916
DICIN	inferior	B	0.3004	2.1101	0.1009
LEONEP	inferior	B	0.3712	1.6488	0.0721
PSICAL	inferior	B	0.5144	2.8869	0.1451
TITTUB	inferior	B	0.2216	2.4966	0.0998
MIMACU	inferior	B	0.2837	2.5068	0.1256
BARSAL	inferior	B	0.1794	1.4456	0.0637
OENROS	inferior	B	0.2222	0.6253	-0.0624
OXADRU	inferior	B	0.1804	1.1102	0.0275
ANODCRI	inferior	B	0.2512	0.2514	-0.2495
GLABIP	inferior	B	0.235	0.1346	-0.2885
SIDRHO	inferior	B	0.4939	0.3788	-0.2071
WIGURE	inferior	B	0.3601	0.4193	-0.1936
BOUTER	inferior	B	0.3683	0.0235	-0.9765

Anexo3. Parámetros a nivel de especie en ambas temporadas de muestreo. Donde: **d'** es el índice de especialización, **ST**: es la fuerza o importancia de la especie y **IPP**: es el índice de interacción push- pull.

Especie	Nivel trófico	Temporada	d'	ST	IPP
LEPARILO	superior	Lluvias	0.0648	8.5413	0.3591
PAPMULMUL	superior	Lluvias	0.2557	2.3777	0.1252
DIOJUNJUN	superior	Lluvias	0.1118	1.0493	0.0049
ANCARE	superior	Lluvias	0.4382	2.5245	0.1694
URBDORDOR	superior	Lluvias	0.0576	1.251	0.0228
DANPLEPLE	superior	Lluvias	0.142	0.3918	-0.076
DIOMONPOE	superior	Lluvias	0.1538	0.644	-0.0712
AGRVANINC	superior	Lluvias	0.0774	0.6089	-0.0489
ANTTEXTEX	superior	Lluvias	0.2307	0.7166	-0.0472
LEPCASCAS	superior	Lluvias	0.3566	2.7931	0.2241
NATIOLIOL	superior	Lluvias	0.2861	0.2193	-0.1952
POLLEOARI	superior	Lluvias	0.05	0.0399	-0.48
ZERCESCES	superior	Lluvias	0.468	0.9798	-0.0029
ANTMAE	superior	Lluvias	0.2629	0.3199	-0.0972
DRYIULMOD	superior	Lluvias	0.0471	0.0827	-0.2293
LEPMAR	superior	Lluvias	0.3002	0.7986	-0.0671
EURDAISID	superior	Lluvias	0.3949	0.6601	-0.068
APPDRU	superior	Lluvias	0.032	0.0191	-0.4905
PYRPRO	superior	Lluvias	0.1183	0.1863	-0.1356
AUTSIE	superior	Lluvias	0.1803	0.4838	-0.1291
VANANN	superior	Lluvias	0.1473	0.47	-0.1325
EURMEXMEX	superior	Lluvias	0.3955	0.2718	-0.1456
HYLPHYPHY	superior	Lluvias	0.3012	0.2812	-0.1438
SIPSTESTE	superior	Lluvias	0.1185	0.1212	-0.4394
PAPGRAGRA	superior	Lluvias	0.126	0.1187	-0.2203
ATRLLO	superior	Lluvias	0.054	0.0634	-0.3122
ANTCLO	superior	Lluvias	0.3608	0.2382	-0.127
CHLEHR	superior	Lluvias	0.0175	0.0081	-0.496
PAPTHOAUT	superior	Lluvias	0.0795	0.0211	-0.4895
PHOPOLYLIL	superior	Lluvias	0.0114	0.0182	-0.3273
MARPET	superior	Lluvias	0.0697	0.0041	-0.9959
HELCHAVAZ	superior	Lluvias	0.069	0.0035	-0.9965
PAPROGPHA	superior	Lluvias	0.2138	0.1135	-0.4433
PAPBREBRE	superior	Lluvias	0.2871	0.2018	-0.3991
PARPHO	superior	Lluvias	0.0659	0.003	-0.997
PONPRO	superior	Lluvias	0.171	0.0057	-0.9943
BATPHIPHI	superior	Lluvias	0.2947	0.0284	-0.4858
DANGILTHE	superior	Lluvias	0.159	0.0034	-0.9966
MIMTHYACO	superior	Lluvias	0.0514	0.0012	-0.9988

CYAHER	superior	Lluvias	0	0.0006	-0.9994
EUTCLA	superior	Lluvias	0.0882	0.0011	-0.9989
PAPPOLPOL	superior	Lluvias	0	0.0006	-0.9994
PYRCOMCOM	superior	Lluvias	0.8522	0.3333	-0.6667
PYRDINWES	superior	Lluvias	0	0.0006	-0.9994
LANCAM	inferior	Lluvias	0.3773	21.323	0.5807
BIDBIG	inferior	Lluvias	0.4379	11.3792	0.3707
PHACOCC	inferior	Lluvias	0.1429	1.291	0.0194
DICCIN	inferior	Lluvias	0.1872	1.6194	0.0563
LEONEP	inferior	Lluvias	0.2404	0.9177	-0.0091
PSICAL	inferior	Lluvias	0.2087	0.935	-0.005
TITTUB	inferior	Lluvias	0.0579	0.616	-0.0256
OENROS	inferior	Lluvias	0.4208	1.0195	0.0032
BOUSP	inferior	Lluvias	0.1829	0.4413	-0.0798
MIMACU	inferior	Lluvias	0.3548	0.9856	-0.0018
DURERE	inferior	Lluvias	0.2016	0.3553	-0.0806
SALAMA	inferior	Lluvias	0.2341	0.0342	-0.4829
MACGIBB	inferior	Lluvias	0.3794	0.1441	-0.2853
FOEVUL	inferior	Lluvias	0.2795	0.5552	-0.089
ACMREP	inferior	Lluvias	0.3777	0.0916	-0.4542
GLABIP	inferior	Lluvias	0.3605	0.124	-0.292
PUNGRA	inferior	Lluvias	0.2452	0.4123	-0.1959
BARSAL	inferior	Lluvias	0.4916	0.2205	-0.2598
LANACHY	inferior	Lluvias	0.1778	0.0231	-0.4885
SIDRHO	inferior	Lluvias	0.5337	0.2537	-0.2488
SALLEU	inferior	Lluvias	0.152	0.0168	-0.4916
TAROFF	inferior	Lluvias	0.1389	0.0119	-0.494
TROMAJ	inferior	Lluvias	0.0883	0.01	-0.495
PELGRA	inferior	Lluvias	0.2618	0.0365	-0.4817
SALPOLY	inferior	Lluvias	0.2958	0.1095	-0.4453
OXADRU	inferior	Lluvias	0.7022	1.0625	0.0313
WIGURE	inferior	Lluvias	0.3165	0.0112	-0.9888
LEPARIELO	superior	Secas	0.0892	5.3658	0.3638
ANCARE	superior	Secas	0.511	2.6561	0.2366
DIOJUNJUN	superior	Secas	0.1837	1.4011	0.0802
PAPMULMUL	superior	Secas	0.264	1.824	0.1648
ANTTEXTEX	superior	Secas	0.2644	1.1274	0.0255
DIOMONPOE	superior	Secas	0.2327	0.3721	-0.3139
DANPLEPLE	superior	Secas	0.1679	0.2645	-0.1839
LEPCASCAS	superior	Secas	0.0756	0.2091	-0.2636
HELCHAVAZ	superior	Secas	0.203	0.4709	-0.1323

AGRVANINC	superior	Secas	0.2333	1.1582	0.0527
ATRLLO	superior	Secas	0.1544	0.1405	-0.4298
EURDAISID	superior	Secas	0.2404	0.1231	-0.4385
URBDORDOR	superior	Secas	0.1143	0.0246	-0.9754
LEPMAR	superior	Secas	0.2405	0.0393	-0.9607
CHLEHR	superior	Secas	0.0927	0.1538	-0.2821
EURMEXMEX	superior	Secas	0.4183	0.2281	-0.3859
NATIOLIOL	superior	Secas	0.221	0.0286	-0.9714
ANTCLO	superior	Secas	0.4838	0.2687	-0.2438
ZERCESES	superior	Secas	0.5983	1.176	0.0587
APPDRU	superior	Secas	0	0.0153	-0.4923
DANGILTHE	superior	Secas	0.1023	0.0502	-0.4749
ANTMAE	superior	Secas	0.2849	0.227	-0.2577
MIMTHYACO	superior	Secas	0.0896	0.0102	-0.9898
PHOPOLYLIL	superior	Secas	0.3377	0.5061	-0.2469
POLLEOARI	superior	Secas	0	0.0133	-0.4934
SIPSTESTE	superior	Secas	0.1083	0.0482	-0.4759
PAPGRAGRA	superior	Secas	0.081	0.0082	-0.9918
PYRPRO	superior	Secas	0.0015	0.0112	-0.4944
CATNIMNIM	superior	Secas	0.1816	0.0107	-0.9893
VANANN	superior	Secas	0.0814	0.0061	-0.9939
BATPHIPI	superior	Secas	0.1642	0.0071	-0.9929
CYAHER	superior	Secas	0.1642	0.0071	-0.9929
PYRDINWES	superior	Secas	0.1642	0.0071	-0.9929
PAPBREBRE	superior	Secas	0.48	0.04	-0.96
LANCAM	inferior	Secas	0.4673	15.8334	0.5933
BIDBIG	inferior	Secas	0.5265	10.8511	0.5795
BARSAL	inferior	Secas	0.1895	0.5302	-0.094
TITTUB	inferior	Secas	0.1776	0.3939	-0.101
BOUSP	inferior	Secas	0.3889	2.8578	0.1858
LANACHY	inferior	Secas	0.4194	0.8701	-0.0433
MIMACU	inferior	Secas	0.2432	0.7908	-0.0349
OXADRU	inferior	Secas	0.2458	0.1177	-0.4411
ANODCRI	inferior	Secas	0.3182	0.3435	-0.2188
OENROS	inferior	Secas	0.3	0.2699	-0.2434
PSICAL	inferior	Secas	0.4646	0.2779	-0.361
WIGURE	inferior	Secas	0.416	0.4086	-0.2957
DURERE	inferior	Secas	0.1548	0.0303	-0.4849
LEONEP	inferior	Secas	0.5489	0.1034	-0.8966
BOUTER	inferior	Secas	0.2867	0.0227	-0.9773
PUNGRA	inferior	Secas	0.1031	0.0086	-0.9914

SALAMA	inferior	Secas	0.7639	0.2857	-0.7143
PELGRA	inferior	Secas	0	0.0043	-0.9957
