

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Diversidad de Mariposas y Polillas (Lepidoptera) del Jardín Botánico

“Ing. Gustavo Aguirre Benavides”

Por:

JACKSON NAHUM SOLIS LARA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA
Diversidad de Mariposas y Polillas (Lepidoptera) del Jardín Botánico
"Ing. Gustavo Aguirre Benavides"

Por:

JACKSON NAHUM SOLIS LARA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGIA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Michelle Ivonne Ramos Robles
Asesor Principal



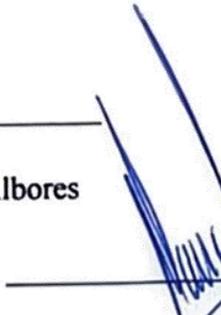
Dr. Jonas Morales Linares
Asesor Principal Externo



Dr. Jorge Enrique Ramírez Albores
Coasesor



Dr. Antonio Juárez Maldonado
Coasesor



Dr. Alberto Sánchez Ramírez

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

Derechos de Autor y Declaración de No Plagio

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor. Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Autor Principal



Est. Jackson Nahum Solís Lara

Asesor Principal



Dra. Michelle Ivonne Ramos Robles

DEDICATORIA

A mi familia y a Dios

Por siempre estar conmigo unidos como un equipo enfrentando adversidades

A las personas que confiaron y creyeron en mí y aun a las que no, profundamente les doy las gracias porque gracias a eso estoy aquí.

En Memoria

En honor al Dr. Valdés Reyna
fuente de inspiración, gran amigo y profesor,
ejemplo de dar lo mejor en momentos de adversidad,
gracias por compartirnos conocimiento
y momentos divertidos que nunca se olvidan,
por siempre en nuestros corazones.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme vivir y concluir esta importante etapa de mi vida.

A mi madre, Laura Cristina Lara González, quien me apoyó y sacrificó su tiempo y esfuerzo por que yo pudiera culminar mis estudios, por ser un ejemplo de vida al sacar adelante a la familia a pesar de las adversidades.

A mi hermana Almendra Izamar Solís Lara por el apoyo y asilo brindado, por sus consejos y regaños, por siempre estar ahí para mí y brindarme aliento.

A Aldo Romo, por brindarme apoyo y aliento, consejos y por hacerme ver un panorama distinto al que estaba acostumbrado.

A mi papá por brindarme su apoyo.

A la Dra. Michelle Ivone Ramos Robles por buscarme y creer en mí, darme consejos y regaños, por su apoyo incondicional desde el primer día, por aguantarme y mostrarme panoramas distintos y mejores, por tantos buenos y malos momentos que pasamos en este proyecto y por hacerme creer en mí mismo y en mi valor como persona.

Al Dr. Jonas Morales Linares por todo su apoyo en este proceso.

Al comité y jurado examinador por sus comentarios y sugerencias al presente trabajo que ayudo a enriquecer el mismo.

A Mirna Raquel Zamudio Pérez por su gran apoyo y confianza, por ser una persona muy linda y noble que me ayudó en el proceso, por los momentos vividos y su apoyo en el proyecto.

Al apoyo del proyecto: 38111-425104001-2308 UAAAN para realizar la presente investigación.

A la colección de Entomología General de la UANL y al curador de la misma el Dr. Humberto Quiroz Martínez por las facilidades de acceso y el apoyo del personal.

A mi Alma Mater, por recibirme y formarme en lo que soy.

A los doctores, profesores y personas que me formaron y me enseñaron.

A mis amigos, que fueron un apoyo emocional en los momentos difíciles.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.3. HIPÓTESIS.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 TAXONOMÍA	5
2.2. DIFERENCIAS ENTRE MARIPOSAS Y POLILLAS	7
2.2.1. Mariposas	7
2.2.2. Polillas	7
2.3 MORFOLOGÍA	8
2.3.1. Cabeza	8
2.3.2. Tórax.....	8
2.3.3. Abdomen	9
2.4. CICLO DE VIDA	10
2.4.1. Huevo	10
2.4.2. Larva.....	11
2.4.3. Pupa	12
2.4.4. Adulto (imago)	13
2.5. HÁBITOS.....	13
2.6 REQUERIMIENTOS ABIÓTICOS	14
2.7. REPRODUCCIÓN	14
2.8. ALIMENTACIÓN	15
2.9. AMENAZAS Y CONSERVACIÓN	15
2.10. IMPORTANCIA ECOLÓGICA.....	16
2.11. FAMILIAS DE LEPIDÓPTEROS.....	17
2.11.1. Familia Papilionidae.....	17
2.11.2. Familia Pieridae.....	18
2.11.3. Familia Nymphalidae	18
2.11.4. Familia Lycaenidae	19
2.11.5. Familia Riodinidae	20
2.11.6. Familia Hesperidae.....	20
2.11.7. Familia Zygaenidae	21
2.12. DIVERSIDAD Y COMPOSICIÓN DE LEPIDÓPTEROS	22
2.13. CAMBIOS ESTACIONALES DE LEPIDÓPTEROS DIURNOS Y NOCTURNOS.....	23
2.14. ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD	23
2.15. CONSERVACIÓN EX-SITU	24

2.16. LOS JARDINES BOTÁNICOS	24
2.17. IMPORTANCIA DE LOS JARDINES BOTÁNICOS	25
2.18. IMPORTANCIA DE LOS JARDINES BOTÁNICOS PARA LOS LEPIDÓPTEROS	26
2.19. JARDINES BOTÁNICOS EN MÉXICO.....	27
2.20. JARDÍN BOTÁNICO ING. GUSTAVO AGUIRRE BENAVIDES.....	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. SITIO DE ESTUDIO	30
3.2. MÉTODOS DE MUESTREO	32
3.2.1 Colecta de lepidópteros	32
3.2.2. Preparación y montaje	33
3.2.3. Identificación taxonómica	33
3.3. ANÁLISIS DE DATOS.....	34
4. RESULTADOS	37
5. DISCUSIÓN	46
6. CONCLUSIONES	50
7. LITERATURA CITADA	52
ANEXO 1. CATÁLOGO DE LOS LEPIDÓPTEROS MÁS COMUNES DEL JARDÍN BOTÁNICO “ING. GUSTAVO AGUIRRE BENAVIDES”.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ABUNDANCIA DE MARIPOSAS CAPTURADAS EN EL JARDÍN BOTÁNICO POR ESTACIONES.....	38
TABLA 2. ABUNDANCIA DE POLILLAS CAPTURADAS EN EL JARDÍN BOTÁNICO POR ESTACIONES.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PARTES DE MARIPOSAS Y POLILLAS.....	7
FIGURA 2. ESTADO LARVARIO DE LEPIDÓPTERA.....	12
FIGURA 3. ESQUEMA GENERAL DE UNA CRISÁLIDA Y UNA PUPA	13
FIGURA 4. ÁREAS DEL JARDÍN BOTÁNICO “ING. GUSTAVO AGUIRRE BENAVIDES”:	31
FIGURA 5. COMPARACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE LEPIDÓPTEROS EN EL JARDÍN BOTÁNICO “ING. GUSTAVO AGUIRRE BENAVIDES” DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.	43
FIGURA 6. COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN (DIVERSIDAD BETA) DE LEPIDÓPTEROS EN TOTAL.....	44
FIGURA 7. COMPARACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE LEPIDÓPTEROS ENTRE LAS ESTACIONES.....	45

RESUMEN

La biodiversidad global se enfrenta a distintas afectaciones antrópicas como el cambio de uso de suelo y el cambio climático. En este contexto, los jardines botánicos representan una alternativa para la conservación de especies de plantas. No obstante, también podrían ser un refugio para la diversidad de otras especies asociadas a las plantas, tal como los insectos. Por lo tanto, se presenta un estudio que contribuye a la identificación, clasificación y análisis de la diversidad de lepidópteros diurnos (mariposas) y nocturnos (polillas) existentes en el Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides” ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El muestreo consistió en la captura de los lepidópteros mediante tres métodos complementarios en los que se registraron las distribuciones poblacionales por estacionalidad durante tres estaciones (primavera, verano y otoño) del año 2023. Adicionalmente, se analizó y comparó la diversidad alfa y beta de las especies entre los grupos de lepidópteros y las estaciones. Se obtuvo un total de 529 capturas de lepidópteros en donde se registraron 95 especies, de las cuales 43 fueron de mariposas con un total de 324 capturas y 52 morfoespecies de polillas con un total de 187 capturas. La estación de primavera fue la más activa registrando un total de 309 individuos colectados pertenecientes a 65 especies en total. Las familias Pieridae con 127 individuos y Nymphalidae con 125 individuos fueron las más representativas en cuanto a abundancia y diversidad respectivamente, así mismo las especies más abundantes de mariposas fueron *Pontia protodice* con 35 individuos, *Nathalis iole* con 33 individuos, y *Battus philenor* con 30 individuos. En el caso de las polillas la más abundante fue la especie *Mythimna unipuncta* con 68 individuos, seguida de *Melipotis indomita* con 10 individuos y *Ascalapha odorata* con 8 individuos. No se encontraron diferencias significativas en cuanto al número efectivo de especies, sin embargo, la riqueza fue mayor en polillas, mientras que en mariposas se mostró un mayor número de especies dominantes. Este estudio incrementa el conocimiento acerca de la diversidad y composición de especies de Lepidópteros en jardines botánicos de zonas áridas y semiáridas, por lo cual se reafirma la idea de que la conservación *ex situ* ayuda al resguardo de la biodiversidad en general.

Palabras Clave: Abundancia, Conservación *ex situ*, Estacionalidad, Recambio de especies.

ABSTRACT

Global biodiversity faces different anthropogenic impacts such as land use change and climate change. In this context, botanical gardens represent an alternative for the conservation of plant species. However, they could also be a refuge for the diversity of other species associated with plants, such as insects. Therefore, a study is presented that contributes to the identification, classification and analysis of the diversity of Lepidoptera diurnal (butterflies) and nocturnal (moths) in the “Ing. Gustavo Aguirre Benavides” Botanical Garden located at the University Autonoma Agraria Antonio Narro. The sampling consisted of the capture of Lepidoptera using three complementary methods in which species distributions by seasonality were recorded during three seasons (spring, summer and fall) of the year 2023. In addition, the Alpha and Beta diversity of the species was analyzed and compared between the groups and the seasons. A total of 529 captures of Lepidoptera were obtained, in which 95 species were recorded, of which 43 were butterflies with a total of 324 captures and 52 morphospecies of moths with a total of 187 captures. The spring season was the most active, recording a total of 309 collected individuals belonging to 65 species in total. The families Pieridae with 127 individuals and Nymphalidae with 125 individuals were the most representative in terms of abundance and diversity respectively. Likewise, the most abundant species of butterflies were *Pontia protodice* with 35 individuals, *Nathalis iole* with 33 individuals, and *Battus philenor* with 30 individuals. In the case of moths, the most abundant was the species *Mythimna unipuncta* with 68 individuals, followed by *Melipotis indomita* with 10 individuals and *Ascalapha odorata* with 8 individuals. No significant differences were found in the effective number of species, however, richness was higher in moths, while butterflies showed a higher number of dominant species. This study increases knowledge about the diversity and species composition of Lepidoptera in botanical gardens in arid and semi-arid areas, thus reaffirming the idea that ex situ conservation helps to safeguard biodiversity in general.

Keywords: Abundance, Conservation ex situ, Seasonality, Species turnover.

1. INTRODUCCIÓN

Los insectos son el grupo de animales más abundante y diverso del mundo, con casi 30 órdenes conocidos, distribuyéndose desde el nivel del mar hasta las partes más altas del planeta (Villareal *et al.*, 2004; Goldstein, 2017). Dentro de los insectos destacan los lepidópteros, el cual es el grupo más estudiado y desde un punto de vista biológico, representan la mayor biodiversidad total de todos los ecosistemas en los que habitan, solo por detrás del orden Coleoptera, el cual es el más abundante (García-Barros *et al.*, 2015; Tovar *et al.*, 2020). La palabra lepidóptero proviene del griego “*lepis*” escama y “*pteron*” ala, ya que la principal característica que diferencia a estos invertebrados son sus alas membranosas con pequeñas escamas aplanadas las cuales son setas modificadas de diferentes colores. Los estudios filogenéticos moleculares de este orden tienen su origen en 1990, lo que resultó hasta la actualidad en general en dos grupos, las mariposas de hábitos diurnos, colores vivos y llamativos y las polillas de hábitos nocturnos, colores apagados y poco llamativos, existiendo excepciones a la regla, obteniendo como resultado que cada una de las superfamilias de este orden contiene más de 1,500 especies (García-Barros *et al.*, 2015; Goldstein, 2017; Mitter *et al.*, 2017; Tovar *et al.*, 2021).

Se estima que en el planeta habitan más de 112,000 a 250,000 especies de lepidópteros, pero menos del 60% de las especies (157,424 especies) se han identificado y la mayoría se encuentran en América Latina (Lamas, 2000; Mitter *et al.*, 2017). Se estima que el 35% de las especies descritas (alrededor de 146,000 especies) se encuentran en el Neotrópico, en esta región se encuentra aproximadamente el 42% de las mariposas diurnas descritas a la fecha (Lamas *et al.*, 1981; Ashfaq *et al.*, 2017; Mitter *et al.*, 2017; Farfán, 2018; Ramírez-Cruz *et al.*, 2022). Para México, se han registrado un aproximado de 23,750 especies, lo que corresponde aproximadamente al 10% de las especies de mariposas registradas mundialmente Llorente-Bousquets *et al.*, 2014; García-Barros *et al.*, 2015; Mitter *et al.*,

2017). En particular, para el Noreste de México se estima que existe 15% de las mariposas representadas a nivel nacional (De la Luz Sada y Farías, 2011).

Este grupo cumple un importante rol en los ecosistemas, tal como contribuir en la polinización de las flores, servir como alimento de otros organismos, además de ser bioindicadores del estado de los ecosistemas, una de las características principales para esto es su tipo de interacción ecológica en cada estadio, ya que al ser larva actúan como consumidores de hojas y al ser adultos actúan como polinizadores, lo cual mantiene un equilibrio en los ecosistemas (Palacios y Constantino, 2006; Matteson y Langelloto, 2008; Sánchez-Jasso y García-Albarrán, 2018). A pesar de todos los beneficios ecológicos que nos brinda este grupo, actualmente se encuentra amenazado por la sexta extinción masiva (Ceballos y Ortega-Baes, 2011), la cual implica una extinción acelerada y de gran magnitud de especies, tanto de plantas y en mayor escala de animales (Koch y Barnosky, 2006). Lo anterior se debe a los efectos negativos del calentamiento global, el cual es la consecuencia principalmente de las actividades humanas, tales como el cambio de uso de suelo, la remoción de la vegetación y la expansión de las comunidades humanas debido al crecimiento de ciudades y de áreas de cultivos agrícolas, entre otras (Miller-Rushing *et al.*, 2008).

Una de las estrategias para llevar a cabo la conservación de este grupo de insectos, es la protección de los hábitats naturales que están siendo devastados rápidamente, por lo que se requieren estrategias y participación activa a nivel local, nacional y global (Normander, 2012). Una de las estrategias más populares y funcionales son los jardines botánicos, los cuales juegan un papel crucial en la conservación *ex situ* e *in situ* de la vida silvestre (Forero, 1989; Cantú-Ayala *et al.*, 2023). Estos lugares se enfocan en la educación ambiental y en las implementaciones de estrategias de acción global para revertir y frenar el proceso de pérdida de la biodiversidad y las consecuencias del calentamiento global, lo que resalta su gran importancia para preservar tanto la flora como la fauna asociada a estas especies de plantas y ecosistemas (Vovides *et al.*, 2010; Cantú-Ayala *et al.*, 2023).

Justificación

La crisis de la biodiversidad causada por el cambio climático y los efectos negativos de origen antrópico, como el cambio de uso de suelo, provocan una pérdida de la diversidad, principalmente de insectos. En particular, el grupo de los lepidópteros (mariposas y polillas) son un componente diverso en especies de la mayoría de los ecosistemas. Su importancia ecológica radica, no sólo por el alto porcentaje de especies y biomasa que representan en los ecosistemas, sino también porque actúan como herbívoros, polinizadores y alimento de insectívoros. Sin embargo, la diversidad de la comunidad de lepidópteros en zonas áridas y semiáridas del norte de México ha sido poco estudiada, en este sentido, los jardines botánicos son estrategias de conservación *ex situ* contra la pérdida de la biodiversidad, especies amenazadas y en peligro de extinción, así como para combatir los efectos del cambio climático. Recientemente se han considerado a los jardines botánicos como *hotspots* (i.e., región específica que alberga un número particularmente alto de especies animales y vegetales nativas; Myers, 2000), debido a que resguardan la diversidad de plantas y animales frente a la pérdida del hábitat, condiciones abióticas extremas o el cambio climático global (Prudic *et al.*, 2022). Aunque en el pasado los jardines botánicos se enfocaban en especies de interés económico o paisajístico, en la actualidad estos lugares han tomado mayor relevancia en temas de conservación de especies vegetales. Esto también implica un refugio para una gran proporción de fauna asociada a dicha vegetación. Los jardines botánicos han adquirido gran importancia en la implementación de medidas para frenar el efecto de las talas excesivas, el mal manejo del suelo y la extinción de especies, factores que en conjunto contribuyen al cambio climático en aumento. Investigaciones en sitios como los jardines botánicos y en insectos como los lepidópteros ayudan a concienciar a la población mundial y a tener una visión más amplia sobre la biodiversidad (Arribas *et al.*, 2012; Vovides *et al.*, 2023).

1.1. Objetivo general

Evaluar y comparar la diversidad y composición temporal de lepidópteros diurnos y nocturnos del Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides”, además de elaborar un catálogo de las especies más comunes.

1.2. Objetivos específicos

1. Determinar y comparar la diversidad entre lepidópteros diurnos y nocturnos.
2. Comparar la diversidad y composición temporal de lepidópteros diurnos y nocturnos en tres estaciones (primavera, verano y otoño).
3. Elaborar un catálogo de los lepidópteros diurnos y nocturnos más comunes del jardín botánico.

1.3. Hipótesis

1. En la región del Noreste de México las polillas son más diversas que las mariposas, por lo cual se espera encontrar el mismo patrón en el jardín botánico.
2. La estacionalidad del sitio de estudio influye en los patrones de la diversidad y composición de mariposas y polillas, reflejando adaptaciones a cambios estacionales en el hábitat y la disponibilidad de recursos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Taxonomía

Los artrópodos representan el grupo más diverso de reino Animalia, contando con un aproximado de 1,242,040 especies descritas (Jiménez-Martínez y Rodríguez-Flores, 2014; De la Luz Sada y Farías, 2011). Dentro del filo Arthropoda, la clase mejor representada es Insecta con 1,020,007 especies descritas a nivel mundial y está compuesta por 31 órdenes, caracterizados principalmente por poseer patas articuladas y un exoesqueleto externo que les brinda protección y soporte de su estructura interna (Jiménez-Martínez y Rodríguez-Flores, 2014). El 81% de las especies de insectos que están descritas a nivel mundial están representados por los órdenes Coleoptera, Diptera, Hymenoptera y Lepidoptera, siendo este último el segundo más abundante solo por debajo del orden Coleoptera (Jiménez-Martínez y Rodríguez-Flores, 2014; Zhang, 2011; De la Luz Sada y Farías, 2011; Cárdenas *et al.*, 2016; Soto y Giraldo, 2023).

Se estima que los lepidópteros se originaron hace más de 200 millones de años, en el periodo del Triásico, y aunque en este tiempo aun no existían las plantas con flor, existían las gimnospermas, las cuales fueron el principal atractivo para estos organismos, ya que contaban con azúcares para su consumo, además de estructuras vegetales que les brindaban refugio y protección (Grimaldi y Engel, 2005; Ramos-González, 2017; Grimaldi, 2022).

Existe una gran variedad de lepidópteros a nivel mundial, los cuales se pueden agrupar mediante ciertas características y hábitos. Por ejemplo, el suborden Rhopalocera (diurnos) está definido por sus hábitos y forma de antenas, ya que, en las mariposas, las antenas son simples y filiformes; mientras que en el suborden Heterocera (nocturnos) son polillas que llegan a ser en su mayoría nocturnas y sus antenas de diversas formas con plumas o estructuras diferentes a las mariposas (Linnaeus, 1758). Otra forma de clasificarlas es por el tamaño de su cuerpo y alas, y se distinguen en macrolepidópteros y microlepidópteros, e incluso se pueden diferenciar por la forma de posar las alas cuando están en descanso, y por la forma de las mismas, las cuales son características de importancia taxonómica para algunas familias (Linnaeus, 1758; De la Luz Sada y Farías, 2011; Van Nieuwerkerken *et al.*, 2011). También se pueden diferenciar por la manera en que cubren su pupa, ya que en las polillas las cubren con seda, mientras que en las mariposas lo hacen solo con crisálidas (De la Luz Sada y Farías, 2011; Van Nieuwerkerken *et al.*, 2011).

El orden Lepidoptera está compuesto por los subórdenes Aglossata, Glossata, Zaugloptera, y Heterobathmiina. Las Rhopaloceras o diurnas, se dividen a su vez en dos grandes superfamilias: Papilionoidea (Familias: Pieridae, Papilionidae, Nymphalidae, Riodinidae y Lycaenidae), cuya principal característica es tener colores muy brillantes y antenas claviformes y la Hesperoidea (Familia: Hesperidae), que tiene colores que van de oscuros a anaranjados y tienen antenas filiformes (Linnaeus, 1758; Becker, 2000; Triplehorn, y Johnson, 2005; Rodríguez *et al.*, 2007; Guerra, 2010; De la Luz Sada y Farías, 2011; Van Nieuwerkerken *et al.*, 2011).

2.2. Diferencias entre mariposas y polillas

2.2.1. Mariposas

Antenas hechas de filamentos finos y están dobladas hacia adelante las mariposas no tienen frenillo, las alas de las mariposas son de colores brillantes, tórax delgado y estructuras abdominales lisas, las mariposas descansan doblando sus alas sobre sus cuerpos, las mariposas están activas durante el día (Perveen, 2016).

2.2.2. Polillas

Antenas ramificadas como hilos o plumas, cuentan con frenillo, que es un ala fusionada que conecta con el ala trasera y delantera, alas oscuras, tórax grueso y peludo y están activas durante la noche (Perveen, 2016).



Figura 1. Partes de mariposas y polillas (Perveen, 2016).

2.3 Morfología

Los lepidópteros están compuestos principalmente por tres partes: 1) Cabeza, en donde están los ojos, los órganos alimenticios y las antenas; 2) Tórax, donde están las patas, alas y algunos órganos de locomoción y órganos vitales; 3) Abdomen con muchos órganos como los de reproducción, asimilación, respiración y los órganos circulatorios (De la Luz Sada y Farías, 2011; Beutelspacher, 2013; Tovar *et al.*, 2020). A continuación, se describen más detalles de la estructura morfológica de los lepidópteros:

2.3.1. Cabeza

Cuenta con un par de antenas filamentosas que nacen desde los ojos en la parte dorsal y sirven como órganos sensoriales para la búsqueda de alimento y durante el apareamiento; a los lados de la cabeza cuentan con grandes ojos compuestos, constituidos por unidades fotosensibles (omátidos). Ubicados en la parte ventral de la cabeza están los palpos labiales, que se cree que sirven para limpiar y proteger los ojos, y entre estos se encuentra la probóscide, que es un órgano utilizado para alimentarse. La probóscide tiene la capacidad de recogerse en forma de espiral y estirarse cuando sea necesario para introducirla a las flores u otras estructuras que contengan fluidos nutritivos (García-Robledo *et al.*, 2002; Valencia y Constantino, 2005).

2.3.2. Tórax

El tórax está compuesto por tres segmentos fusionados, en los cuales se encuentran cuatro alas unidas a los músculos del tórax y también un par de patas en cada uno de los segmentos del mismo. Los adultos normalmente presentan dos pares de alas, uno de alas anteriores y un par de alas posteriores, las cuales varían de tamaño y van de los tres milímetros en los microlepidópteros y algunas llegan a medir hasta los treinta centímetros en los macrolepidópteros más grandes. Estas son membranosas y son sostenidas por un sistema de

fuertes venas desde el tórax, en las cuales interiormente se encuentran los nervios y los vasos de aire y hemolinfa. Estas alas están cubiertas por escamas aplanadas de colores encargados de darle el patrón y características distintivas de cada especie y familia, estos colores pueden atribuirse a pigmentos naturales o ser de origen estructural. La diferencia principal es que los colores estructurales son iridiscentes y se producen por difractor la luz sobre las finas aristas de las escamas, mientras que los pigmentos naturales provienen de la melanina o propiedades químicas que el individuo genera con base a su alimentación. Asimismo, cuentan con escamas traslapadas en forma de pelos o piliformes que les cubren el cuerpo, el cual se une a la cabeza con una membrana llamada cervical (García-Robledo *et al.*, 2002; Valencia y Constantino, 2005; Chacon, 2007; De la Luz Sada y Farías, 2011; Tovar *et al.*, 2020).

2.3.3. Abdomen

El abdomen cuenta con órganos que desempeñan funciones de respiración, digestión excreción y reproducción. En el caso de las hembras, el abdomen es cilíndrico y un poco más robusto, ya que en él transportan los huevos. El abdomen de los lepidópteros está dividido en diez segmentos y en cada uno de los ocho segmentos anteriores posee un par de orificios en la parte lateral que usa para respirar (espiráculos); en los segmentos terminales se encuentra el ano, los genitales y el orificio copular. En machos en el penúltimo segmento abdominal se encuentran dos valvas que cuando se abren exponen el edeago, estructura que usan para la inseminación, algunos tienen androconios que utilizan para producir feromonas. En el caso de las hembras, el último segmento del abdomen posee tres orificios: el ano, el poro para copular y el poro para ovipositar. Las hembras cuentan con ovarios en donde contienen los huevos en diferentes estados de maduración y también cuentan con una espermateca en donde almacena los espermatozoides que fertilizan los huevos dentro de la hembra por un poro llamado micropilo (García-Robledo *et al.*, 2002; Valencia y Constantino, 2005).

2.4. Ciclo de vida

El ciclo de vida de los lepidópteros presenta una metamorfosis completa de cuatro etapas: huevo, en el cual permanecen un tiempo definido según la especie; seguido de larva u oruga, para después convertirse en pupa, crisálida o capullo; y finalmente emergen como adulto o imago, que se conoce comúnmente como la mariposa o polilla. Este ciclo comienza con los adultos apareándose, posteriormente la hembra buscará una planta hospedera para colocar los huevecillos en sus hojas, las cuales le servirán de alimento a la larva hasta completar su etapa, para posteriormente pupar, es de vital importancia que las hembras encuentren las plantas hospederas, ya que son generalmente específicas para cada especie (García-Robledo *et al.*, 2002; Valencia y Constantino, 2005; Powel y Opler, 2009; De la Luz Sada y Farías, 2011; Beutelspacher, 2013). A continuación, se proporcionan más detalles del ciclo de vida de los lepidópteros:

2.4.1. Huevo

La reproducción de los lepidópteros es sexual y ovípara, los huevos presentan una variación en tamaño, forma, color y hábito de postura. Los huevos están protegidos por una capa gruesa que los cubre por completo a excepción de un microporo, que es por donde respira el embrión y cumple una función parecida al ombligo cuando el huevo se encuentra dentro del lepidóptero (García-Robledo *et al.*, 2002; Valencia y Constantino, 2005). Estos huevecillos son depositados en las plantas que posteriormente le servirán de alimento al siguiente estadio, la hembra coloca estos huevecillos solos o en grupo, lo cual depende de la especie o familia a la cual pertenezca. La rapidez con la que se desarrolla el huevo depende directamente del clima, ya que, si es cálido, este se desarrollará más rápido y con mayor facilidad (García-Robledo *et al.*, 2002; Valencia y Constantino, 2005; Powel y Opler, 2009; Beutelspacher, 2013).

2.4.2. Larva

En esta etapa se alimentan en la mayoría de hojas, aunque pueden alimentarse también de otras partes de las plantas, incluso algunas especies pueden llegar a alimentarse de lana, pelos, escamas de insectos e incluso pueden llegar a ser depredadoras. En esta fase, la cabeza de la larva está provista con mandíbulas fuertes ubicadas delante de una cápsula cefálica, seguida de un cuerpo alargado con tracto digestivo (Bersays y Chapman, 1994; Schoonhoven *et al.*, 2005). Las larvas experimentan una muda cuatro o diez veces, aproximadamente, durante todo su estadio, esta muda es comúnmente llamada instar, y es común que en el último instar las larvas se preparen para crear la pupa y dejen de alimentarse por completo (García-Robledo *et al.*, 2002; Miller y Hammond, 2003; Powel y Opler, 2009; Beutelspacher, 2013).

Esta etapa es una de las más activas y también una en donde son más vulnerables, por lo que, las larvas han desarrollado diversas medidas de protección y mimetismo: colores muy llamativos, toxinas, mal sabor, mal olor, un mal aspecto; mimetismo con hojas, ramas pequeñas, animales e incluso eses de aves; y algunas especies cuentan con pelos, conectados a glándulas que secretan veneno o sustancias irritantes con las que al entrar en contacto irritan e inhiben a los depredadores (Bersays y Chapman, 1994; Schoonhoven *et al.*, 2005; Valencia y Constantino, 2005; De la Luz Sada y Farías, 2011).

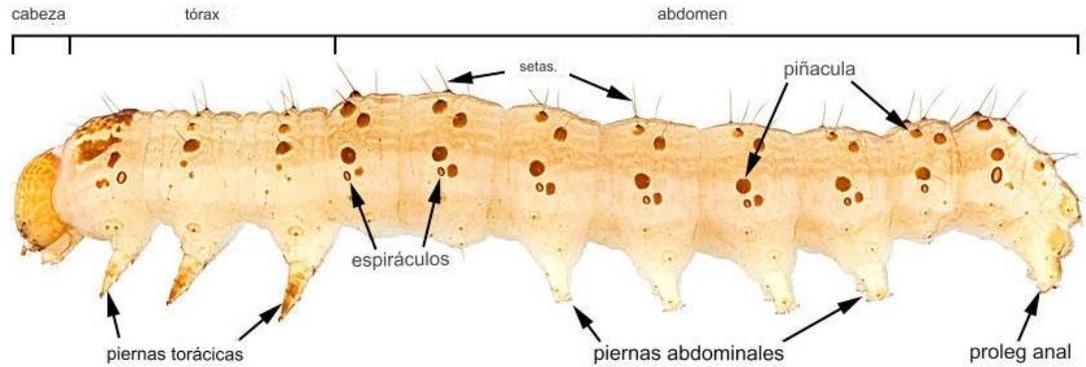


Figura 2. Estado larvario de Lepidóptera (Romero y Navarro, 2009).

2.4.3. Pupa

Esta fase de descanso en lepidópteros, es la de metamorfosis del ciclo de vida que ocurre dentro de una cápsula quitinosa dura llamada crisálida. Para iniciar esta fase la oruga abandona la planta hospedera para buscar un sitio seguro, y se adhiere fuertemente a una superficie usando ganchos especializados. En el caso de las polillas, la pupa se le llama capullo porque lo cubren con seda para que pase desapercibido en los tallos o bien en el suelo, y algunas otras especies diurnas forman una crisálida cristalina o blancuzca brillante. En esta fase la actividad externa es muy limitada o casi nula, es llevado a cabo un reacomodo muy grande de tejidos, ya que el cuerpo de la oruga prácticamente se “licua” dentro de la crisálida o capullo y da forma a un organismo totalmente diferente, que da como resultado a un adulto. El tiempo de duración en pupa es muy variable y va desde los nueve días hasta un año según la especie y las condiciones medioambientales (García-Robledo *et al.*, 2002; Miller y Hammond, 2003; Valencia y Constantino, 2005; Powel y Opler, 2009; De la Luz Sada y Farías, 2011; Beutelspacher, 2013).

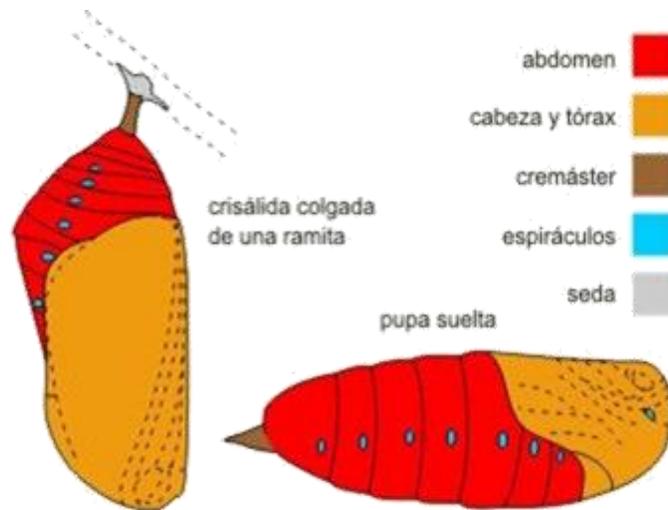


Figura 3. Esquema general de una crisálida y una pupa (Núñez-Bustos, 2019).

2.4.4. Adulto (imago)

En la fase adulta el insecto está completamente desarrollado para volar, alimentarse y reproducirse, ya que el individuo tiene el tamaño normal y no sigue creciendo. De este modo, su cuerpo ya está constituido por las tres partes principales: cabeza, tórax y abdomen (García-Robledo *et al.*, 2002; Núñez-Bustos, 2019).

2.5. Hábitos

Los lepidópteros son uno de los insectos más activos y vistosos, además de ser uno de los grupos mejor conocidos. La mayoría de las mariposas son heliófilas, es decir, buscan asolearse para alcanzar las temperaturas óptimas para volar y desplazarse, también son específicos con su alimento en estado larvario ya que se asocian a una planta generalmente, son en su mayoría solitarias, aunque algunas especies migran juntas, tienden a mimetizarse con el entorno lo cual han adquirido evolutivamente (Forno, 1991).

2.6 Requerimientos abióticos

Los lepidópteros requieren de un hábitat apropiado para satisfacer sus necesidades, como un clima favorable, alimento abundante, ambiente propicio para su reproducción, resguardo del clima extremo y protección contra sus depredadores, los cuales pueden encontrarse en bosques, selvas, praderas, matorrales y cultivos de plantas. No obstante, las larvas y los adultos de lepidópteros tienen estilos de vida muy distintos, por lo cual son de gran importancia en las interacciones ecológicas de los ecosistemas terrestres, ya que suelen presentar una adaptación muy específica con las plantas (Forno, 1991; Quinteros, 2006).

2.7. Reproducción

La reproducción es muy variable entre especies de lepidópteros, ya que cada una de ellas tiene rituales de cortejo distintos que son fundamentales para que la pareja se reconozca. Los colores llamativos, el aleteo y la forma de posar son imprescindibles para el cortejo de las parejas, sin embargo, el olfato es lo más importante, por lo que los mecanismos sexuales olfativos son fundamentales en el apareamiento (Valencia y Constantino, 2005). De este modo, los machos utilizan sus androconias, sustancias químicas, para estimular al sexo opuesto durante el apareamiento, las cuales se encuentran en las alas a manera de escamas modificadas o mechones de pelo. Por otra parte, las hembras utilizan sustancias odoríferas llamadas feromonas que esparcen en el aire para atraer a los machos desde distancias largas para aparearse ya que basta con que una sola de estas partículas toque los receptores del macho ubicados en las antenas, el cual le manda señales al cerebro para orientarse y ubique a la hembra, cuando el macho de alguna especie identifica a una hembra y es aceptado por ella para copular, el macho asegura la extremidad del abdomen de la hembra con válvulas y ganchos, luego introduce la parte externa de su pene en un orificio denominado ostium bursae (Valencia y Constantino, 2005). Durante la cópula pueden llegar a permanecer unidos varias horas debido a que los músculos del macho se contraen con tanta fuerza que se les dificulta separarse de la hembra (Valencia y Constantino, 2005).

Las feromonas masculinas tienen funciones muy diversas, y estas dependen de la especie o incluso de las circunstancias en las que se encuentre el individuo, ya que algunas veces las utilizan para dar estímulos a las hembras durante el apareamiento, los cuales son necesarios para que la reproducción y fecundación tengan éxito (Valencia y Constantino, 2005). En algunos casos, algunas especies utilizan sonidos para atraer a la pareja. Un caso muy popular es la Mariposa tronadora roja (*Hamadryas amphinome*) la cual produce un sonido que se define como de chasquido que genera del abdomen para espantar a las mariposas invasoras o para disuadir a sus predadores (Valencia y Constantino, 2005).

2.8. Alimentación

Los lepidópteros en estado adulto se ubican en tres gremios de alimentación: 1) Nectarívoros, su principal fuente de alimento lo obtienen de las flores, al extraer el néctar de ellas; 2) Sales minerales, obtienen su alimento y nutrición principalmente de la arena húmeda y charcos; y 3) Copronecrófago-frugívoro, se alimentan de excretas de animales y de frutos fermentadas. Sin embargo, algunas especies pueden pertenecer a más de una categoría, dependiendo de la disponibilidad de alimento, la región y las condiciones ambientales de la zona, ya que los lepidópteros que presentan una probóscide prolongada y desarrollada se pueden alimentar de diferentes fuentes. Por ello el gremio de alimentación dependerá de las necesidades de los lepidópteros, y cómo el alimento y sustancias consumidas intervienen en su longevidad, fecundidad y actividad de vuelo (Valencia y Constantino, 2005).

2.9. Amenazas y conservación

La principal amenaza que enfrentan los lepidópteros es la acelerada fragmentación de sus hábitats junto con el cambio dado por el calentamiento ambiental teniendo como consecuencia la acidificación y contaminación de cuerpos de agua y suelos en donde estos

habitan, así como las malas prácticas agrícolas, ganaderas y forestales, así mismo, el tráfico y comercio ilegal de especies (Cerdeña *et al.*, 2014; Levi *et al.*, 2017).

Para lo cual la principal estrategia es conservar los hábitats en los que se encuentran gestionando su diversidad, abundancia y distribución (Kremen, 1992; Guzmán y Vásquez, 2018; Sajjad *et al.*, 2020). Así que para su conservación se debe incrementar la variabilidad de su alimento, así como la disponibilidad del mismo, para lo cual se deben usar plantas de néctar para adultos y aumentar la variabilidad de plantas forrajeras para estados larvarios principalmente ya que la desaparición o baja población de estas podría conducir a la extinción o migración forzada de los lepidópteros (Palacios-Mayoral *et al.*, 2018; Grados *et al.*, 2021; Valencia-Montoya *et al.*, 2021; Vásquez-Bardales *et al.*, 2021).

2.10. Importancia ecológica

Estos insectos son de gran importancia en las cadenas tróficas, ya que en estado larval son uno de los mayores depredadores y consumidores de estructuras vegetales, siendo controladores biológicos del crecimiento vegetativo y reincorporando nutrientes al suelo, llegando algunos incluso a considerarse importantes plagas de cultivos de gran importancia económica (Gareca, 2007; Gámez, 2010). Mientras que en los estados adulto estos organismos son uno de los factores más importantes para la reproducción y polinización de plantas, siendo algunas especies de lepidópteros las principales polinizadoras de una amplia gama de plantas, por lo que son considerados un eslabón fundamental para ecosistemas terrestres por sus interacciones polen-planta que da un balance a los ecosistemas, además de tener un gran valor escénico para el ecoturismo y estético y ser parte fundamental del segundo eslabón de la cadena trófica (Andrade, 1998; Ollerton, 1999; Henao-Bañol *et al.*, 2018).

Los lepidópteros tienen papeles fundamentales para indicar el estado en el que se encuentran los hábitats ya que se encuentran estrechamente ligados a la diversidad vegetal que pudiera existir o faltar en ellos (Silva, 2011), por lo cual usualmente son usados en diversos estudios

que tienen que ver con biogeografía para comprender qué es lo que causa la alteración de un hábitat (Orozco *et al.*, 2009).

2.11. Familias de lepidópteros

Las especies de Lepidoptera se agrupan en 43 superfamilias y 133 familias (Linnaeus, 1758; Becker, 2000; Triplehorn, y Johnson, 2005; Rodríguez *et al.*, 2007; Guerra 2010; De la Luz Sada y Farías, 2011; Van Nieukerken *et al.*, 2011; Mitter *et al.*, 2017). A continuación, se describirán características principales de algunas familias encontradas en el jardín:

2.11.1. Familia Papilionidae

Conocida principalmente por mariposas colas de golondrina, ya que casi todos los géneros presentan extensiones en forma de “colas” en las alas posteriores, generalmente son individuos grandes y de colores brillantes. En el norte de México, las mariposas que pertenecen a esta familia generalmente son de color negro, amarillo, azul y rojo (García-Robledo *et al.*, 2002; De la Luz Sada y Farías, 2011). Poseen un cuerpo robusto en el cual se encuentran tres pares de patas bien desarrolladas y unas antenas cortas curvadas hacia arriba, un par de grandes ojos compuestos y unas alas de tamaño de mediano a grande con la característica única de su patrón en las venaciones alares y su vuelo rápido. Una característica principal de los adultos es el hábito de agitar las alas mientras toman néctar de las flores o agua y sales del suelo. También las larvas se reconocen por presentar una glándula retráctil en forma de “Y” color anaranjado que se encuentra casi siempre en el primero de los segmentos del tórax y detrás de la cabeza llamada osmeterio, que cuando se siente amenazada para disuadir a sus depredadores y parasitoides desprende un olor desagradable a base de ácido isobutírico y terpenos (García-Robledo *et al.*, 2002; De la Luz Sada y Farías, 2011). Sus principales plantas hospederas pertenecen a las familias: Rutaceae, Piperaceae, Apiaceae, Aristolochiaceae, Hernandiaceae, Magnoliaceae y Lauraceae (García-Robledo *et al.*, 2002).

2.11.2. Familia Pieridae

Distribuida ampliamente por todo el mundo, está constituida por 71 géneros y un aproximado de 1,220 especies agrupadas en cuatro subfamilias, siendo Pierinae la más abundante (García-Robledo *et al.*, 2002). Sus principales características son sus coloraciones alares amarillentas, blancuzcas, amarillo verdoso y anaranjadas; tres pares de patas bien desarrolladas y su celda discal cerrada en ambas alas, su vuelo es rápido y bajo, algunos individuos de esta familia son migratorios y de distribución amplia. Los adultos ponen huevos alargados usualmente de colores llamativos de tonalidades amarillas y anaranjadas con forma de vaso, las larvas de esta familia generalmente tienen colores verdosos, cuerpo cilíndrico, con segmentos abdominales divididos en anillos sin espinas como el caso de la familia Nymphalidae, aunque algunos pueden llegar a presentar pelos largos o gránulos, con cabeza redonda y rugosa (García-Robledo *et al.*, 2002; De la Luz Sada y Farías, 2011). En caso de las pupas, en su mayoría son largas en ambos ápices con forma de punta en la cabeza y se aseguran al sustrato por un cinturón de seda. Los adultos generalmente presentan dimorfismo o variación en el color, el cual puede ser estacional o sexual, dependiendo la especie, su tamaño es variable y oscila de pequeño a mediano (García-Robledo *et al.*, 2002; De la Luz Sada y Farías, 2011). Las principales familias de plantas hospederas son: Brassicaceae, Capparidaceae, Fabaceae, Loranthaceae y Tropaeolaceae (García-Robledo *et al.*, 2002).

2.11.3. Familia Nymphalidae

Es una de las más diversas del orden Lepidoptera, ya que tiene aproximadamente 7,250 especies descritas, contiene 2,857 especies en el Neotrópico e incluye 12 subfamilias (Charaxinae, Apaturinae, Libytheinae, Nymphalinae, Acraeinae, Heliconiinae, Ithomiinae, Danainae, Melitaeinae, Satyrinae, Brassolinae y Morphinae (García-Robledo *et al.*, 2002; Valencia y Constantino, 2005; De la Luz Sada y Farías, 2011). La característica principal de esta familia la tienen los machos, ya que cuentan con solo cuatro patas para caminar, ya que el primer par de patas es de un tamaño reducido o está atrofiado, y está convertido en un par

de cepillos. Los adultos son de un color brillante y su tamaño es de mediano a grande, y a esta familia pertenecen las especies más longevas, ya que viven de seis a once meses en estado adulto, son territoriales y en su mayoría todas las especies se posan con las alas medio abiertas (García-Robledo *et al.*, 2002; De la Luz Sada y Farías, 2011). Entre las principales plantas hospederas de esta familia se encuentran: Anacardiaceae, Bombacaceae, Vochysiaceae, Urticaceae, Myrtaceae, Orchidaceae, Rubiaceae, Hippocrateaceae, Sterculiaceae, Clusiaceae, Ulmaceae, así como algunas especies de musgos (García-Robledo *et al.*, 2002; De la Luz Sada y Farías, 2011).

2.11.4. Familia Lycaenidae

Este grupo de mariposas es actualmente en un proceso de revisión taxonómica, ya que comprende un grupo muy amplio y complejo (García-Robledo *et al.*, 2002). Está representado por mariposas de tamaño pequeño conocidas como mariposas listadas debido a que cuentan con pequeñas colas en las alas posteriores que les sirven como método de defensa al confundir a sus depredadores (García-Robledo *et al.*, 2002). Los adultos de esta familia generalmente cuentan con coloraciones azules, verdes, rojos o naranjas iridiscentes en el área dorsal, mientras que en el área ventral tienen fondos verdosos, cafés o blancos, aunados con manchas, líneas y puntos oscuros. Solo los machos cuentan con el primer par de patas reducido (De la Luz Sada y Farías, 2011). Las larvas de esta familia han desarrollado mirmecofilia, la cual es una asociación especial en la que las larvas secretan una sustancia azucarada de la cual se alimentan las hormigas a cambio de protección de su parte para las larvas (García-Robledo *et al.*, 2002; De la Luz Sada y Farías, 2011). Estas a su vez cuentan con filamentos en el cuerpo y sus huevecillos tienen forma de turbante (García-Robledo *et al.*, 2002; De la Luz Sada y Farías, 2011). Sus plantas hospederas pertenecen a las familias: Fabaceae, Acanthaceae, Annonaceae, Euphorbiaceae, Orchidaceae, Cycadaceae (García-Robledo *et al.*, 2002).

2.11.5. Familia Riodinidae

Esta familia está repartida en aproximadamente más de 115 géneros dentro de 10 tribus, las cuales son: Lemoniini, Charitini, Euselasiini, Eeurybiini, Emesini, Nymphidiini, Mesosemiini, Riodinini y Symmachiini (García-Robledo *et al.*, 2002). Este grupo de mariposas es de tamaño pequeño, son coloridas y tienden a ser endémicas. Una de las características principales de esta familia es que cuando se posan, extienden completamente sus cuatro alas. Las especies de esta familia tienen pequeñas marcas metálicas muy brillantes y muchos géneros presentan colores anaranjados en la vista ventral. Algunas especies de esta familia habitualmente son más activas en las horas que el sol es más intenso. Los huevecillos se caracterizan por parecer erizos de mar, mientras que las larvas de esta familia presentan características achatadas y largas en las puntas, con manchones pelos alargados y delgados en sus laterales y dorsales. También presentan asociación mirmecófila con hormigas con la característica de que las larvas de esta familia se distinguen de las de Lycaenidae porque cuenta con un órgano torácico que secreta una feromona que utilizan para estimular a las hormigas para que estas protejan a las larvas de esta familia cuando se siente amenazada, además de que cuenta con estridulación, el cual es un sonido que las larvas hacen para llamar a las hormigas (García-Robledo *et al.*, 2002).

2.11.6. Familia Hesperidae

Esta familia es la segunda más diversa en especies, solo por debajo de la familia Nymphalidae, cuenta con tres subfamilias (Pyrrhopyginae, Pyrginae y Hesperinae), y presenta una distribución mundial con mayor incidencia en regiones ártica y subártica (García-Robledo *et al.*, 2002). Los individuos pertenecientes a esta familia usualmente se confunden con polillas, ya que cuentan con características muy similares a estas como su cuerpo robusto, ojos grandes y las antenas ganchudas o filiformes. Siendo en su fase adulta mariposas de tamaños que van de pequeños a medianos y de alas cortas con músculos alares bien desarrollados. La mayoría de las especies cuentan con una coloración parda y muy opaca

con algunas excepciones como los géneros *Astraptes*, *Jemadia*, *Mimoniades*, *Phareas*, *Phocides* y *Pyrrhopyge*, los cuales tienen coloraciones normalmente llamativas. Las características principales que distinguen a las larvas de esta familia son su cuerpo liso y alargado con una cabeza redonda lisa de donde viene su sobrenombre de gusano cabezón. El hábito que distingue a las larvas de esta familia es que doblan y pegan las hojas de sus plantas hospederas con seda para ocultarse de depredadores y parásitos (García-Robledo *et al.*, 2002). La principal familia de planta hospedera es Fabaceae, seguidas de Heliconiaceae, Marantaceae y Poaceae (García-Robledo *et al.*, 2002).

2.11.7. Familia Zygaenidae

Esta familia era antiguamente denominada Heterocera (polillas), cuyas especies están adaptadas al vuelo diurno. Se distribuyen por todo el mundo, aunque algunas subfamilias son propias de algunas regiones específicas, pertenecen al suborden *Ditrysia*. Esta familia contiene alrededor de 1,200 especies válidas distribuidas por el mundo, incluso algunas se consideran plagas de importancia, la familia Zygaenidae incluye cinco subfamilias: Inouelinae Efetov y Tarmann, 2017 (oriental), Procridinae Boisduval, 1828 (holártica, afrotropical, oriental, australiana, neotropical), Chalcosiinae Walker, 1865 (palaártica, oriental), Callizygaeninae Alberti, 1954 (Oriental) y Zygaeninae Latreille, 1809 (Palaártico, Oriental, Afrotropical) (Nazarov y Efetov 1993; Schmitt 2004; Fernández-Rubio, 2005; Tarmann 2009; Efetov *et al.*, 2019; Hoffmann y Tremewan, 2023). Esta familia tiene como característica principal la capacidad de sintetizar cianuro a partir de hidrógeno como mecanismo de defensa, los zygaenidos son comúnmente conocidos como polillas *burnet*, *forester* y “ahumadas”, suelen volar durante el día. Algunas de estas especies tienen distribución restringida y representan indicadores ecológicos sensibles en sus hábitats, se utilizan junto con algunas especies de mariposas para hacer evaluaciones ecológicas (Nazarov y Efetov 1993; Schmitt 2004; Fernández-Rubio, 2005; Tarmann 2009; Efetov *et al.*, 2019; Hoffmann y Tremewan, 2023).

2.12. Diversidad y composición de lepidópteros

La mayoría o casi todos los insectos que se encuentran en el planeta pertenecen al territorio del Neotrópico, el cual está compuesto principalmente por bosques y selvas. Por tanto, el grupo de los macro insectos más conocidos son los del orden Lepidoptera y el 46% de todas las especies encontradas en el Neotrópico. Esta región cuenta con la mayor diversidad de lepidópteros en el mundo, ya que se estima que más del 35% del total de especies, estimación que se incrementa al 42% cuando solo se consideran lepidópteros diurnos (Brown y Hutchings, 1997; Maes, 1999; Lamas 2004).

Los lepidópteros son considerados como el segundo orden más abundante y diverso de la clase Insecta (Maes, 1999; Constantino, 2001; Ramírez-Cruz *et al.*, 2022) estos, junto con los órdenes Diptera, Hymenoptera, y Coleoptera son reconocidos como los cuatro ordenes hiperdiversos de esta clase (Martin-Piera *et al.*, 2000). De las 650,000 especies animales, los lepidópteros cuentan con el 11% del total de todas las especies animales reportadas en el planeta, ya que cuentan con alrededor de 112,000 a 250,000 especies, de las cuales 20,000 son mariposas y 23,000 polillas (Wagner *et al.*, 2021). A nivel mundial se distribuyen en 43 superfamilias y se estima que el número total de estos alcanza el medio millón ya que los últimos años se ha estado describiendo un promedio aproximado de mil nuevas especies anualmente, además, tienen una amplia distribución por todo el mundo a excepción de la Antártida (Maes, 1999; Constantino, 2005; Kristensen *et al.*, 2007; Pérez y Zeledón, 2014; Mitter *et al.*, 2017; Khan *et al.*, 2023).

México cuenta con un estimado de 23,750 especies del orden Lepidoptera, con un aproximado de 14,500 especies descritas y documentadas, lo cual indica que México cuenta con 10% de representación de los lepidópteros a nivel mundial. México cuenta con diferentes endemismos por familia: Hesperidae con 15.83%, Papilionidae 6.3%, Pieridae 12.98%, Lycaenidae 5.27%, Riodinidae 16.29% y Nymphalidae 11.86%. Al considerar las subespecies el endemismo aumenta a un 22.2%, lo que se traduce a casi la cuarta parte de los taxones de este nivel (Kristensen *et al.*, 2007; Pérez y Zeledón, 2014; Khan *et al.*, 2023).

En el Noreste de México se encuentra el 15% de las mariposas reportadas para el país, en zonas cercanas a Coahuila y pertenecientes al Desierto Chihuahuense como Monterrey (De la Luz Sada y Farías, 2011); en Tamaulipas se han registrado 21 especies de papilónidos en el municipio de Victoria (De la Maza y De la Maza, 1976).

2.13. Cambios estacionales de lepidópteros diurnos y nocturnos

En algunos organismos como los insectos, ocurre comúnmente un fenómeno llamado estacionalidad, el cual es importante para muchos procesos biológicos como herbivoría, la polinización, parasitismo, transmisión de enfermedades, dispersión, entre otros (Ramírez-Cruz *et al.*, 2022). Este fenómeno afecta también a las dinámicas poblacionales de otros organismos vertebrados y de poblaciones agrícolas, ya que son de gran importancia económica en agronomía y alimenticia para sus depredadores (Ramírez-Cruz *et al.*, 2022). En el caso de los lepidópteros se sabe que algunas especies pueden migrar dependiendo la estacionalidad, tal como la mariposa monarca (Goldstein, 2017; Ramírez-Cruz *et al.*, 2022).

2.14. Estrategias de conservación de la biodiversidad

La diversidad biológica existente en México hace que sea reconocido como uno de los 12 países megadiversos de todo el mundo, ya que el país cuenta con un alto número de especies, entre las cuales existe un alto número de especies endémicas, en peligro de extinción y protegidas (Vovides *et al.*, 2010; Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021). Una de las principales amenazas de esta diversidad se asocia a la deforestación, cambio de uso de suelo, agricultura irresponsable, calentamiento global, extinción masiva de especies vegetales y animales y contaminación debido principalmente al crecimiento poblacional humano (Baena y Halffter 2008; Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021). La tasa de deforestación en México es una de las mayores a nivel mundial, ya que el país se encuentra en el quinto lugar global, por lo tanto, es de vital importancia que se tomen las medidas necesarias para frenar la gran deforestación y defaunación que existe en el país para evitar la pérdida de la

diversidad biológica (Dirzo y Miranda, 1991; Young *et al.*, 2016; Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021).

2.15. Conservación *ex-situ*

Se basa principalmente en desarrollar especies fuera de su ambiente natural y tiene como objetivo el mantenimiento de poblaciones de especies amenazadas, asegurando así su propagación a largo plazo, en caso de flora, el ejemplo más claro son los jardines botánicos y en fauna los zoológicos (Lascuráin *et al.*, 2009).

La conservación *ex situ* se basa en crear colecciones ordenadas de tal forma basados en los hábitats de un territorio en específico, por lo cual es de suma importancia conocer los requerimientos de la flora que se va a manejar en estos espacios de conservación (Bacchetta *et al.*, 2008).

Los jardines botánicos se han vuelto una de las alternativas más positivas en cuanto a parar la pérdida de especies en peligro de extinción, confinando la mayoría de estas especies para su protección y reproducción, esto lo logran mediante predios o instalaciones que manejan vida silvestre fuera de sus hábitats naturales (Rodríguez-Acosta, 2012; Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021).

2.16. Los jardines botánicos

Una de las alternativas más factibles para conservar y tratar de frenar esta pérdida de biodiversidad en el mundo y en el país son los jardines botánicos. germoplasma (Vovides *et al.*, 2010; Golding *et al.*, 2010; Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021). Jackson (1999), define a los jardines botánicos como “una institución que contiene colecciones documentadas de plantas vivas para los fines de investigación científica, conservación, exhibición y

educación”, en algunos otros lugares como Estados Unidos se les define como “laboratorios vivientes”, “museos de colecciones vivas”, etc.; aunque también se le llama conservación en cautiverio o en colecciones (Smith y Harvey-Brown, 2017).

Estos jardines son sitios en los cuales se cultivan plantas con diferentes fines, los cuales pueden ser educativos, para estudios botánicos, técnicos y científicos, para concientizar a la población acerca de la importancia de conservar especies, e incluso para producir semillas y germoplasma (Vovides *et al.*, 2010; Golding *et al.*, 2010; Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021). Se estima que en el mundo existen aproximadamente 2,500 jardines botánicos en los cuales se cultivan alrededor de seis millones de accesiones (i.e., lote de semillas de una especie que se ha recogido en un lugar determinado y en un momento concreto) de plantas vivas, lo que representa un aproximado de 80,000 especies diferentes, por lo cual se les reconoce como una herramienta de suma importancia como albergues de la biodiversidad (Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021). En el caso de América, existe un aproximado de noventa jardines botánicos, los cuales se encuentran distribuidos por América Latina, Centro América y Norte América de la siguiente forma: 57 jardines en América del Sur y 37 en México y Norteamérica (Forero 1989; Golding *et al.*, 2010; Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021).

2.17. Importancia de los jardines botánicos

Los jardines botánicos en su mayoría son sitios de esparcimiento, aprendizaje, educación y enfoque científico, recreación, por lo cual son una opción muy importante para la conservación e investigación principalmente de la biodiversidad, esto porque en ellos se encuentra una enorme diversidad de especies florales y faunísticas (Golding *et al.*, 2010). Tal es así, que se les considera de vital importancia en áreas como la documentación, comprensión, cultivo y conservación de plantas desde una visión taxonómica (Smith y Harvey-Brown, 2017).

Diversos estudios han comprobado que los jardines botánicos son la opción más viable (Heywood *et al.*, 2018; Smith y Harvey-Brown, 2018), el más reconocido fue en Turquía, en el cual se demostró que los jardines botánicos obtenían mejores resultados en comparación con otras cinco estrategias como la crianza en zoológicos para animales o viveros para plantas; los resultados comprobaron que los jardines botánicos conservaban una elevada riqueza de especies, con un promedio de 120 taxas de 606 evaluadas (Golding *et al.*, 2010; Coban *et al.*, 2021). Además, los jardines botánicos cuentan con aproximadamente el 60% de la diversidad total de especies de árboles, todos y cada uno de los jardines botánicos del mundo posee una flora y fauna característica y particular, por lo cual son importantes sumideros de carbono, lo cual los hace una importante herramienta para para frenar el cambio climático (Golding *et al.*, 2010; Coban *et al.*, 2021; Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021; Ramos-Robles *et al.*, 2023).

En el caso de la educación, existen programas de estudio especializados y dirigidos hacia los jardines botánicos en los cuales se une el aspecto teórico con lo práctico haciendo visitas a estos lugares y dando clases en las que los alumnos o interesados aprenden de las plantas y animales que existen en estos lugares, haciéndolos conscientes de la importancia de su conservación, e incluso algunas universidades programan visitas a estos lugares durante sus cursos educativos (Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021; Nesimyan-Agadi y Assaraf, 2021).

2.18. Importancia de los jardines botánicos para los lepidópteros

La importancia de los jardines botánicos para los lepidópteros radica en que ofrecen refugio, alimento y un sitio libre de las presiones ocasionadas por las grandes ciudades, aunado a eso, estos sitios son conexiones y rutas que ayudan a los lepidópteros a completar sus vuelos migratorios (De la Rosa-Tilapa y Noriega, 2023). Esto, toma una relevancia mayor en las ciudades, las cuales, por lo general, poseen muy poca cobertura vegetal y en donde se ejerce una fuerte presión sobre la biodiversidad de especies, tales como lepidópteros, por lo cual, se

requieren espacios destinados a la conservación de la vida silvestre como los jardines botánicos.

2.19. Jardines botánicos en México

En el país, estos lugares son considerados como centros de conservación biológica de gran importancia, y existen alrededor de 51 jardines botánicos repartidos en 22 estados de la república, de los cuales 24 son pertenecen a la Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C. (AMJB). Las cifras del año 2018 reportan que el número de jardines botánicos del país pertenecientes a esta asociación aumentó a 40 jardines que se encuentran distribuidos alrededor de 22 estados de la república (Martínez-González *et al.*, 2012; Rodríguez-Acosta, 2000; Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021).

2.20. Jardín Botánico Ing. Gustavo Aguirre Benavides

Ubicado al sur de la ciudad de Saltillo Coahuila, el Jardín Botánico Ing. Gustavo Aguirre Benavides, fundado en 1968 cuyo principal fundador fue el Ing. José A. de la Cruz Campa y recibiendo el nombre en honor al ingeniero químico Gustavo Aguirre Benavides, nacido y criado en Coahuila y conocido como uno de los mayores protectores del medio ambiente y de las zonas áridas del noreste de México. El jardín cuenta con una extensión total de cuatro hectáreas, en el cual se encuentran áreas diseñadas principalmente para separar las diferentes colecciones botánicas de las zonas áridas y semiáridas principalmente como las que representa el desierto chihuahuense (Ramos-Robles *et al.*, 2023).

El jardín cuenta con una amplia variedad florística, consta de más de seiscientos especies provenientes de distintas regiones principalmente de zonas áridas del Desierto Chihuahuense y vegetación referente al Noreste de México. El jardín se encuentra dividido en colecciones en las cuales se presenta un tipo de vegetación diferente, en donde destacan agaves, leguminosas, gramíneas y cactáceas (González-Ramírez, 2019; Ramos-Robles *et al.*, 2023).

En particular, en el bosque de pino se destaca la presencia del pino piñonero (*Pinus cembroides*), palma china (*Yucca filifera*), maguey cerrano (*Agave gentryi*), ejemplares de bosque de encino como el encino blanco (*Quercus gravessi*), encino gris (*Quercus grisea*), encino colorado (*Quercus saltillensis*) y el encino rojo (*Quercus greggii*). Así como especies de cactáceas entre las más importantes se encuentran *Ariocarpus* como *Ariocarpus agavoides*, *Cylindropuntia* como *Cylindropuntia fulgida* y *Cylindropuntia imbricata*, *Echinocactus* como *Kroenleinia grusonii* y *Echinocactus horizonthalonius*, *grousonia* como *grusoniana bulbispina* y también de *Ferocactus* como *Ferocactus cylindraceus*. Especies representativas del matorral crasicale están el maguey de Parras (*Agave parrasana*) y opuntias como el nopal morado (*Opuntia violacea*) y algunas especies de matorral desérticomicrofílo como el huizache (*Acacia farnesiana*), hojaseén (*Flourensia cernua*), mezquite dulce (*Prosopis glandulosa*) y la gobernadora (*Larrea tridentata*). Especies de matorral giposófilo como la costilla de vaca (*Atriplex canescens*), géneros de matorral desértico rosetófilo como *Agave*, *Manfreda*, *Dasyliirion*, *Hesperaloe*, *Nolina* y *Yucca* y algunas especies de matorral submontano representado principalmente por la rosa silvestre (*Purshia plicata*). Especies de matorral espinoso tamaulipeco entre los que destacan el cenizo (*Leucophyllum frutescens*), la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), mezquite (*Prosopis glandulosa*) y especies de algunas gramíneas, destacando la navajita morada (*Bouteloua trifida*). Por último, algunos géneros de zacatal destacando gramíneas como *Aristida*, *Arundo*, *Bouteloua*, *Bromus*, *Cenchrus*, *Panicum*, *Chloris*, *Eragrostis* y *Cynodon* (González-Ramírez, 2019; Ramos-Robles *et al.*, 2023).

Con respecto a la fauna en el jardín se puede observar mayormente la presencia de invertebrados principalmente de insectos como las mariposas cola de golondrina azul (*Battus philenor*), vanesa pintada (*Vanessa cardui*) y la monarca (*Danaus plexippus*), entre otras. Especies de abejas como la melífera europea (*Apis mellifera*), la excavadora de California (*Anthophora californica*), abeja verde metálico (*Agapostemon* sp.) y abejorros como el zumbador (*Bombus sonorus*) y abejorro negro (*Xylocopa californica*), entre otros. Con respecto al grupo de vertebrados encontramos a especies de mamíferos como la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), el ardillón de rocas (*Otospermophilus variegatus*), así como

perros domésticos (*Canis familiaris*). Con respecto al grupo de las aves encontramos especies como el correcaminos norteño (*Geococcyx californianus*), el gavilán de Cooper (*Accipiter cooperii*), el papamoscas cardenalito (*Pyrocephalus rubinus*), el gorrión pálido (*Spizella pallida*), el gorrión cola blanca (*Pooecetes gramineus*), el colibrí garganta rubí (*Archilochus colubris*), entre otras. Con respecto a los reptiles se encuentran especies como la lagartija espinosa norteña de grieta (*Sceloporus poinsettii*), el huico pinto del Noreste (*Aspidozelis gularis*), el huico manchado de la Altiplanicie (*Aspidozelis scalaris*), entre otros (González-Ramírez, 2019; Ramos-Robles *et al.*, 2023).

El jardín fue creado con la finalidad de promover y concientizar a las personas sobre la importancia de la biodiversidad y el cuidado al medio ambiente, por lo cual en este lugar se realizan visitas guiadas a alumnos de la universidad y personas externas para lograr el objetivo, también es un importante por los estudios científicos que se llevan a cabo como los estudios hechos en cactáceas y agaves, aparte de talleres para monitorear fauna silvestre y plantas de importancia forrajera y estudios con especies amenazadas recursos florales y visitantes polinizadores (Ramos-Robles *et al.*, 2023).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio de estudio

Los muestreos del presente estudio fueron realizados en el Jardín Botánico Ing. Gustavo Aguirre Benavides posee una extensión aproximada de cuatro hectáreas y se encuentra ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila. Localizado a una latitud norte de 25° 22'41" y longitud oeste de 101° 00'00" y a una altitud de 1,743 metros sobre el nivel del mar (Figura 4). Posee un clima extremo y muy seco por lo que presenta una temperatura media anual de 19.8 °C, con temperaturas mínimas de alrededor de -10.2 °C y máxima que llegan alrededor de los 35°C y una precipitación promedio anual de 298.5 mm (Ramos-Robles *et al.*, 2023). El jardín cuenta con una colección de alrededor de 300 especies, distribuidas en 256 géneros de los cuales los más representativos son géneros de cactáceas con 43 y de matorral desértico rosetófilo con 40, así mismo se encuentran 147 familias de las cuales el matorral desértico micrófilo es el más representativo con 18 y 10 especies que son endémicas del estado de Coahuila entre las que destacan *Agave montana*, *Myrospermum sousanum* y *Prunus cercocarpifolia* (Ramos-Robles *et al.*, 2023).



Figura 4. Áreas del Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides”: 1) Bosque de Pino, 2) Bosque de Encino, 3) Cactáceas, 4) Izotal, 5) Matorral Crassicaule, 6) Matorral Desértico Micrófilo, 7) Matorral Desértico Rosetófilo, 8) Matorral Espinoso Tamaulipeco, 9) Matorral Gipsófilo, 10) Zacatal, 11) Matorral Submontano, 12) Pinetum, 13) Jardín de Polinizadores, 14) Cactario, 15) Invernadero, 16) Área de aclimatación, 17) Oficinas, 18) Estacionamiento.

3.2. Métodos de muestreo

El estudio está compuesto por tres etapas: 1) colecta de lepidópteros en campo; 2) preparación y montaje; e 3) identificación taxonómica.

3.2.1 Colecta de lepidópteros

De mayo a noviembre del 2023 en un horario de 8 am a 12 pm se llevaron a cabo 61 muestreos bajo el permiso de colecta 05/K5-0153/06/23 con tres métodos complementarios: redes entomológicas, trampas tipo Van Someren-Rydon y trampas de luz. 1) redes entomológicas, se seleccionaron ocho transectos de diferente longitud de entre 30 a 120 metros dentro del Jardín Botánico. Estos fueron recorridos a pie, con un paso a baja velocidad equipados con una red entomológica de golpeo, empleando el método de línea de transecto (Fontenia, 1987). Se registraron todos los lepidópteros encontrados a una distancia de 2.5 metros a ambos lados del transecto y se capturó a los individuos que fueron posibles en cada transecto, anotando el número de transecto, número de individuo y hora de captura de cada individuo; 2) trampas tipo Van Someren-Rydon, se instalaron cuatro trampas a una altura aproximada de dos metros de altura, los lugares fueron elegidos en donde se observó una mayor concentración de flora. Estas trampas se cebaron con plátano y manzana fermentados y vainilla, el cual se cambiaba una vez cada 15 días. Las trampas se dejaron activas durante toda la noche por 61 días, registrando el número de individuos colectados, el número de trampa y número de individuo; 3) trampas de luz, se realizaron siete muestreos nocturnos de junio a noviembre y se utilizó una lámpara led rectangular convencional, colocada sobre una base aproximadamente a un metro de altura, sobre la cual se colocó una tela blanca con la finalidad de reflejar y difundir la luz blanca sobre la tela. La trampa se dejó activada durante aproximadamente cuatro horas para atraer lepidópteros nocturnos, los cuales fueron capturados manualmente para su posterior sacrificio en una cámara letal a base de acetato de etilo. Para complementar esta metodología se hicieron recorridos a lo largo de los transectos en donde había plantas en floración y con la ayuda de linternas frontales que atraían a los lepidópteros nocturnos y con una red entomológica se capturaron. Todos los lepidópteros

colectados fueron sacrificados y almacenados en bolsas de papel encerado, registrando todos los datos de captura de cada uno en una bitácora diaria.

Los especímenes colectados fueron llevados al Laboratorio de Ecología del Departamento de Botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y montados en una placa de poliestireno con la ayuda de alfileres entomológicos y tiras de papel encerado. El material se almacenó en cajas entomológicas que contaban con esferas de naftalina ubicadas en pequeños contenedores plásticos, esto para evitar la incidencia de organismos que deterioren los especímenes. Todos los lepidópteros capturados fueron registrados con el fin de analizar su abundancia y riqueza.

3.2.2. Preparación y montaje

Los lepidópteros fueron retirados del papel cebolla para su posterior preparación en placas de nieve seca, para esto se hizo una abertura en la placa en la que posteriormente se acomodó el cuerpo del lepidóptero insertados con un alfiler entomológico de número adecuado desde el calibre 000 al 5 para el volumen del tórax, con la abertura lo suficientemente profunda de tal forma en que las alas quedaran a buena altura para proceder al extendido de las alas con la ayuda de tiras de papel encerado y alfileres para su determinación. Posteriormente se les asignó un número de identificación y datos de captura para almacenarlos temporalmente en bolsas de hule o recipientes plásticos, utilizando esferas de naftalina.

3.2.3. Identificación taxonómica

A cada individuo colectado se le asignó un código identificador (ID) y se procedió a identificarse taxonómicamente con diversas guías especializadas de lepidópteros diurnos y nocturnos (Leckie y Beadle, 2018). Aunado a esto, se utilizó la identificación por medio de

fotografías en Internet y en páginas como iNaturalist México (<https://www.naturalist.mx>, 2022). Además, para corroborar la identificación de las especies de lepidópteros, el material se llevó a la Colección Entomológica del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y a la Colección Entomológica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Para los individuos que no pudieron ser identificados se tomaron como unidades taxonómicas reconocibles o UTR (Cultid-Medina y Escobar, 2019) como morfoespecie asignada por rasgos parecidos a cada individuo o grupo de individuos.

3.3. Análisis de datos

Se evaluó la eficacia del muestreo de lepidópteros calculando la cobertura, que estima la proporción de especies registradas con respecto al total esperado para la comunidad de interés (Chao y Jost, 2012; Cultid-Medina y Escobar, 2019). La cobertura de la muestra se calculó con la siguiente fórmula:

$$\hat{c}_n = 1 - \frac{f_1}{n} \left[\frac{(n-1)f_1}{(n-1) * f_1 + 2f_2} \right]$$

Donde f_1 es el número de especies con un individuo (*singletons*), f_2 es el número de especies con dos individuos (*doubletons*) y n es el número total de individuos registrados.

La cobertura de muestreo tiene valores entre 0 y 1, donde un valor cercano a 1 indica que se ha registrado una proporción alta de las especies presentes en la comunidad, lo que sugiere una alta eficacia del muestreo.

Posteriormente, la comparación de la diversidad de lepidópteros, entre mariposas y polillas, así como entre las estaciones primavera, verano y otoño se realizó mediante el análisis de diversidad verdadera utilizando el paquete iNEXT (Hsieh *et al.*, 2016). Para este análisis se utilizó la siguiente fórmula:

$$qD = \left(\sum_{i=1}^s p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

Donde p_i corresponde a la abundancia relativa (proporcional) de la i -ésima especie, S es el número de especies y q es el orden de diversidad, el cual toma los siguientes valores: $q = 0$, $q = 1$ y $q = 2$, donde el primero indica el número total de especies (riqueza), el segundo estima el número efectivo de especies, es decir, el número de especies con una abundancia similar (exponencial de Shannon), mientras que el tercero indica el número de especies más abundantes o dominantes (inverso de Simpson) (Jost, 2006; Cultid-Medina y Escobar, 2019). Los tres niveles de diversidad fueron graficados mediante curvas de interpolación y extrapolación con sus respectivos intervalos de confianza (Hsieh *et al.*, 2016).

La composición de especies temporal (primavera, verano y otoño) de lepidópteros se comparó considerando a todas las especies y por grupo (mariposas y polillas). En este análisis se utilizó el enfoque de partición de diversidad beta (Baselga, 2010) mediante el paquete Bepart (Baselga y Orme, 2012). Se utilizó el índice de disimilitud de Sorensen (BSOR), que se compone del recambio especies (BSIM) y la pérdida/ganancia de especies o anidamiento (BSNE; Baselga, 2010). Todos los análisis de diversidad y composición de especies fueron realizados mediante el programa R versión 4.3.2 (R Core Team, 2023) utilizando los paquetes correspondientes.

El índice de disimilitud de Sorensen (BSOR) entre dos sitios A y B se calcula como:

$$BSOR = \frac{b+c}{2a+b+c}$$

Donde a es el número de especies presentes en ambos sitios, b es el número de especies presentes en el sitio B pero no en A y c es el número de especies presentes en el sitio A pero no en B .

Componente de recambio de especies (BSIM) se calcula como:

$$BSIM = \frac{\min(b,c)}{a+\min(b,c)}$$

El componente de anidamiento (BSNE) se calcula como:

$$BSNE = BSOR - BSIM$$

4. RESULTADOS

Se obtuvo una abundancia total de 529 individuos de lepidópteros, de los cuales 342 fueron mariposas y 187 polillas (Tabla 1). En total, las familias de mariposas mejor representada fueron Pieridae y Nymphalidae con un total de 127 y 125 individuos, respectivamente. Las especies más abundantes fueron *Pontia protodice* (Pieridae; 35), *Nathalis iole* (Pieridae; 33) y *Battus philenor* (Papilionidae; 30). Con respecto a las polillas, la especie *Mythimna unipuncta* fue la más abundante con 68 individuos, seguido de la especie *Melipotis indomita* (Noctuidae) con 10 individuos y *Ascalapha odorata* (Erebidae) con 8 individuos (Tabla 2). De manera complementaria se obtuvo información sobre los lepidópteros capturados y se clasificaron en diferentes categorías: Categoría de Riesgo (CR), Importancia Económica (P), Migratoria (M), Bioindicadora de Conservación (BC), Bioindicadora de Disturbio (BD). Los resultados mostraron la presencia de ocho especies de mariposas migratorias, dos especies de mariposas en alguna categoría de riesgo, seis especies de importancia económica (cuatro mariposas y dos polillas), una especie de mariposas como bioindicadora de conservación y una especie de mariposa como bioindicadora de disturbio (Tabla 1 y 2).

Considerando la abundancia estacional de las mariposas, en primavera (mayo a junio) se registró el mayor número de individuos con 250 individuos. La familia mejor representada de mariposas en esta estación fue Pieridae con un total de 107 individuos, seguida de Nymphalidae con 81 individuos, representados mayormente por las mariposas *Pontia protodice* (35) y *Nathalis iole* (28) (Tabla 1). Mientras que para las polillas en verano (julio a septiembre) se encontró la mayor abundancia con 114 individuos, siendo en esta estación la especie *Mythimna unipuncta* la más abundante con 51 individuos (Tabla 1).

La riqueza total fue de 95 especies, de las cuales 43 fueron de mariposas y 52 morfoespecies de polillas. Cabe destacar que dentro de las mariposas la familia Nymphalidae fue la que tuvo una mayor diversidad de especies con un total de 18, de las cuales las más abundantes fueron *Libytheana carinenta* (20) y *Euptoieta claudia* (14). En contraste, la familia con menos abundancia y riqueza de mariposas fue Zygaenidae, con tan solo un individuo de la especie *Harrisina metallica*. Con respecto a las polillas solo tres familias lograron identificarse: Erebidae, Noctuidae y Pyralidae (Tabla 1).

La riqueza por estaciones de los dos grupos, en primavera se registró el mayor número de especies con 65, seguido de verano con 54 y finalmente otoño con 27 especies. Para el grupo de las mariposas la primavera fue la estación con mayor número de especies con 39 y para el grupo de las polillas el verano fue el verano con 38 especies (Tabla 1). En general, los transectos en donde se registró una mayor diversidad de lepidópteros, fue en los transectos donde se encontraba vegetación más abundante fue de plantas herbáceas en floración, pastizales bajos, área de cactáceas y matorral.

Tabla 1. Abundancia de mariposas capturadas en el jardín botánico por estaciones. Se presentan las especies dentro de las siguientes categorías: Categoría de Riesgo (CR), Importancia Económica (P), Migratoria (M), Bioindicadora de Conservación (BC), Bioindicadora de Disturbio (BD).

Familia Especie	Primavera	Verano	Otoño	Total
Hesperiidae	13	7	1	21
<i>Burnsius</i> sp (Grishin, 2019)	8	2	0	10
<i>Copaeodes aurantiaca</i> (Hewitson, 1868)	1	3	0	4
<i>Erynnis funeralis</i> (Scudder y Burgess, 1870)	2	2	1	5
<i>Grais stigmaticus</i> (Mabille, 1883)	1	0	0	1
<i>Polites vibex</i> (Geyer, 1832)	1	0	0	1
Lycaenidae	15	7	4	26
<i>Strymon melinus</i> (Hübner 1818)	1	1	0	2
<i>Zizula cyna</i> (Edwards, 1881) ^{CR}	14	6	4	24

Nymphalidae	81	22	22	125
<i>Anaea aidea</i> (Guérin-Méneville, 1844)	4	0	1	5
<i>Anthanassa texana</i> (W.H. Edwards, 1863)	3	1	0	4
<i>Asterocampa clyton</i> (Boisduval & Leconte, 1835)	1	5	0	6
<i>Biblis hyperia</i> (Cramer, 1779)	2	0	0	2
<i>Danaus Eresimus</i> (Cramer, 1777)	1	1	0	2
<i>Danaus plexippus</i> (Linnaeus, 1758) ^{CR, M}	0	0	9	9
<i>Eunica monima</i> (Stoll, 1782)	1	0	0	1
<i>Euptoieta claudia</i> (Cramer, 1775)	14	0	0	14
<i>Junonia coenia</i> (Hübner, 1822) ^M	1	1	0	2
<i>Libytheana carinenta</i> (Cramer, 1777) ^M	19	1	0	20
<i>Limenitis arthemis ssp. astyanax</i> (Drury, 1773)	0	1	0	1
<i>Mestra amymone</i> (Ménétriés, 1857)	4	5	1	10
<i>Eunica tatila</i> (Herrich-Schaffer, 1855)	2	0	0	2
<i>Nymphalis antiopa</i> (Linnaeus, 1758)	4	3	3	10
<i>Phyciodes graphica</i> (R. Felder, 1869)	5	1	2	8
<i>Polygonia interrogationis</i> (Fabricius, 1798) ^M	10	1	2	13
<i>Vanessa atalanta</i> (Linnaeus, 1758) ^M	10	0	1	11
<i>Vanessa cardui</i> (Linnaeus, 1758) ^M	0	2	3	5
Papilionidae	29	4	3	36
<i>Battus philenor</i> (Linnaeus, 1771)	23	4	3	30
<i>Heraclides ornythion</i> (Boisduval, 1836)	2	0	0	2
<i>Papilio cresphontes</i> (Cramer, 1777)	2	0	0	2
<i>Papilio polyxenes</i> (Fabricius, 1775) ^{P, BD}	2	0	0	2
Pieridae	107	14	6	127
<i>Abaeis nicippe</i> (Cramer, 1779)	5	0	1	6
<i>Colias eurytheme</i> (Boisduval, 1852) ^P	2	0	0	2
<i>Eurema lisa</i> (Boisduval y Le Conte, 1830)	12	4	0	16
<i>Eurema proterpia</i> (Fabricius, 1775)	2	0	0	2
<i>Eurema salome</i> (C. y R. Felder, 1861)	0	1	1	2
<i>Kricogonia lyside</i> (Godart, 1819) ^M	16	6	0	22
<i>Nathalis iole</i> (Boisduval, 1836)	28	2	3	33
<i>Phoebis agarithe</i> (Boisduval, 1836) ^{BC}	5	0	0	5
<i>Pontia protodice</i> (Boisduval y Leconte, 1830) ^P	35	0	0	35
<i>Zerene cesonia</i> (Stoll, 1790) ^M	2	1	1	4
Riodinidae	2	1	1	4
<i>Calephelis nemesis</i> (W.H. Edwards, 1871)	2	1	1	4
Zygaenidae	1	0	0	1
<i>Harrisina metálica</i> (Stretch, 1885) ^P	1	0	0	1

Sin identificar	2	0	0	2
sp 1	1	0	0	1
sp 28	1	0	0	1
Total	250	55	37	342

Tabla 2. Abundancia de polillas capturadas en el jardín botánico por estaciones. Se presentan las especies dentro de las siguientes categorías: Categoría de Riesgo (CR), Importancia Económica (P), Migratoria (M).

Familia Especie y morfoespecie	Primavera	Verano	Otoño	Total
Erebidae	1	7	0	9
<i>Ascalapha odorata</i> (Linnaeus, 1758)	1	7	0	8
<i>Eudocima serpentifera</i> (Walker, 1858)	0	0	1	1
Noctuidae	22	55	3	80
<i>Alypodes bimaculata</i> (Herrich-Schäffer, 1853)	1	0	0	1
<i>Melipotis indomita</i> (Walker, 1858)	7	3	0	10
<i>Mythimna unipuncta</i> (Haworth, 1809) ^P	14	51	3	68
<i>Striacosta</i> sp (Smith, 1888)	0	1	0	1
Pyralidae	1	2	0	3
<i>Homoeosoma electellum</i> (Hulst, 1887) ^P	1	1	0	2
L93	0	1	0	1
Sin identificar	35	50	11	96
L40	1	1	0	2
L42	5	0	0	5
L43	3	0	0	3
L45	0	1	0	1
L46	3	0	0	3
L47	2	5	0	7
L48	1	4	0	5
L49	1	0	0	1
L50	2	2	1	5
L51	1	0	0	1
L53	3	0	0	3
L54	1	0	0	1
L55	2	0	0	2
L56	1	0	0	1

L57	1	0	0	1
L63	0	5	0	5
L64	0	2	0	2
L65	0	1	0	1
L66	0	1	0	1
L67	0	2	0	2
L68	0	3	0	3
L70	0	3	2	5
L71	0	1	0	1
L72	0	2	0	2
L77	0	0	1	1
L78	0	0	1	1
L79	0	0	1	1
L80	0	0	1	1
L81	0	1	0	1
L83	0	3	0	3
L84	0	2	0	2
L85	0	3	1	4
L86	0	0	1	1
L87	0	1	0	1
L88	1	1	0	2
L89	1	1	0	2
L90	0	2	0	2
L91	0	1	0	1
L92	0	1	0	1
L94	1	0	0	1
L95	1	0	0	1
L96	1	0	0	1
L97	0	0	1	1
L98	1	0	0	1
L99	2	1	1	4
Total	59	114	14	187

Con respecto al análisis de diversidad la completitud del muestreo fue robusto y con valores similares estadísticamente entre los dos grupos, de 0.98 para las mariposas y 0.86 para las polillas. Las comparaciones de diversidad de especies entre mariposas y polillas mostraron patrones distintos. La riqueza ($q = 0$) fue significativamente mayor en el grupo de las polillas (52 especies) que en las mariposas (43 especies); el grupo de las mariposas mostró un número significativamente mayor de especies dominantes ($q = 2$; 19 especies) que las polillas (7 especies); mientras que el número efectivo de especies ($q = 1$) no difirió entre las mariposas (26 especies) y polillas (20 especies; Figura 5). Por otro lado, se observó una tendencia de disminución progresiva en la riqueza y abundancia de lepidópteros de primavera a otoño, pero no se detectaron diferencias significativas en los tres niveles de diversidad (Figura 7).

La composición de especies (diversidad beta) mostró la mayor disimilitud de la composición de especies entre las estaciones primavera-otoño (BSOR = 0.65) y entre primavera-verano la menor disimilitud (BSOR = 0.48). El recambio de especies (BSIM) fue el componente que más influyó en la disimilitud total de la comunidad de lepidópteros entre las estaciones (Figura 6a). En particular, la mayor disimilitud de la composición de especies en el grupo de las mariposas ocurrió entre primavera-otoño (BSOR = 0.53) y la menor fue entre primavera-verano (BSOR = 0.35), siendo el anidamiento (BSNE) el componente que más influyó en la disimilitud total entre las estaciones (Figura 6b). Para el caso de las polillas, la mayor disimilitud de la composición de especies fue entre primavera-otoño (BSOR = 0.84) y la menor fue entre primavera-verano (BSOR = 0.61), siendo el recambio de especies (BSIM) el componente que contribuyó mayormente a la disimilitud total entre las estaciones (Figura 6c).

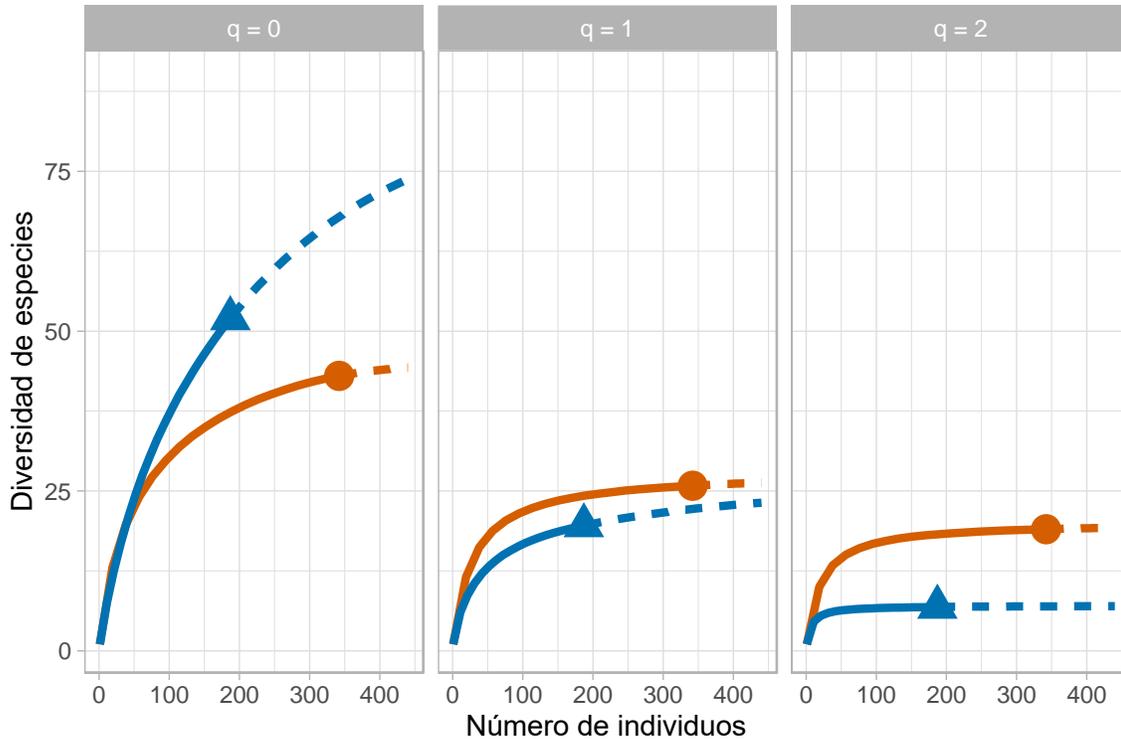


Figura 5. Comparación de la diversidad de lepidópteros en el Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Mariposas (círculo rojo) y polillas (triángulo azul). En los paneles, $q = 0$ indica la riqueza de especies, $q = 1$ representa el número de especies efectivas (comunes), y $q = 2$ es el número de especies dominantes. Las curvas para cada grupo se componen de una línea continua que representa los datos observados (interpolación), la línea punteada de extrapolación a 400 unidades de muestreo (individuos) y el sombreado corresponde a los intervalos de confianza al 95%.

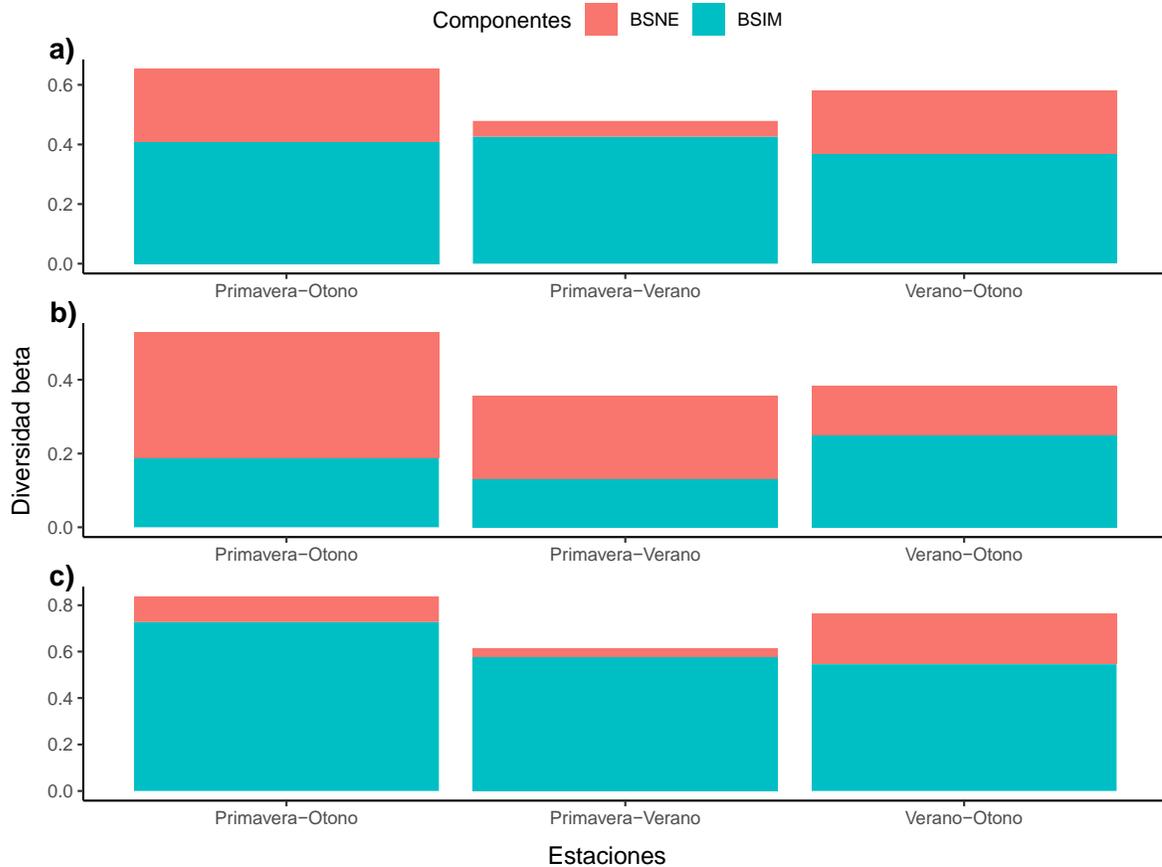


Figura 6. Comparación de la composición (diversidad beta) de lepidópteros en total (a), mariposas (b) y polillas (c) entre las estaciones primavera, verano y otoño en el Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El valor total de las barras indica la disimilitud de especies considerando el índice de Sorensen, el cual se subdivide en los componentes de pérdida/ganancia de especies (BSNE) y recambio de especies (BSIM).

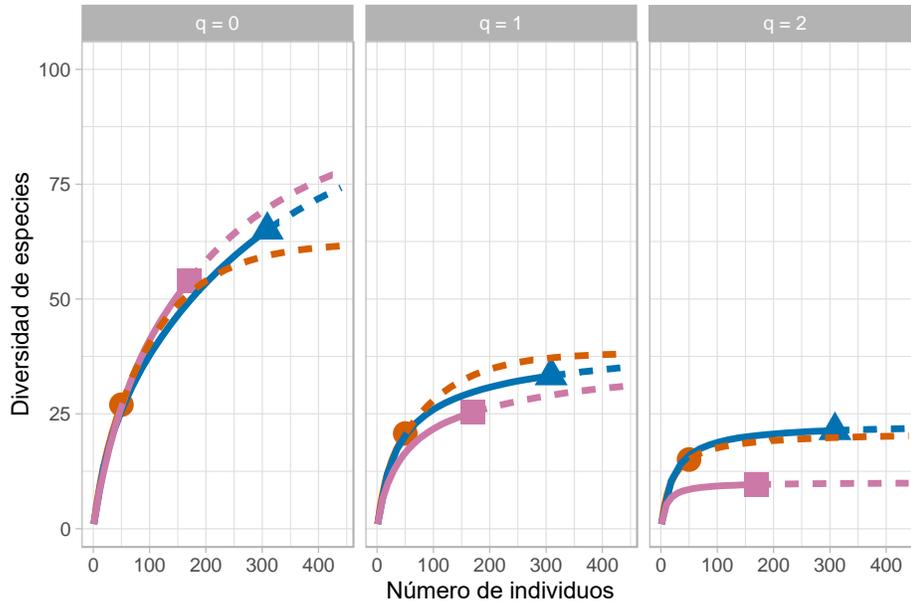


Figura 7. Comparación de la diversidad de lepidópteros entre las estaciones. Primavera (círculo rojo), verano (triángulo azul) y otoño (cuadrado rosado) en el Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En los paneles, $q = 0$ indica la riqueza de especies, $q = 1$ representa el número de especies efectivas (comunes), y $q = 2$ es el número de especies dominantes. Las curvas para cada grupo se componen de una línea continua que representa los datos observados (interpolación), la línea punteada de extrapolación a 400 unidades de muestreo (individuos) y el sombreado corresponde a los intervalos de confianza al 95 %.

5. DISCUSIÓN

Este estudio incrementa el conocimiento acerca de la diversidad y composición de especies de Lepidoptera en jardines botánicos de zonas áridas y semiáridas, lo cual ha sido poco abordado con respecto al estudio de este grupo de insectos, ya que la mayoría de los estudios similares se han llevado a cabo principalmente en zonas tropicales (Lamas, 2000; Mitter *et al.*, 2017; González-Oreja *et al.*, 2023). En general, nuestras hipótesis se cumplieron parcialmente, ya que la diversidad de polillas fue mayor con respecto a la de las mariposas, pero la diversidad de estos no mostró diferencias significativas entre las estaciones. Además, la composición de lepidópteros cambió en más del 50% de las especies entre las estaciones de primavera y otoño.

El conocimiento de diversidad de especies de Lepidoptera en el noreste de México es relativamente escaso, pero en la zona metropolitana de Monterrey, México se reportaron 209 especies de mariposas durante un año de muestreo (Meléndez-Jaramillo, 2020). En contraste, en este estudio se registró una cuarta parte de este número de especies, lo cual podría deberse a que la mayor extensión superficial de Monterrey favorecería el albergar una mayor diversidad de recursos importantes para este grupo, con respecto al jardín botánico estudiado. Por otro lado, la abundancia total de lepidópteros (529 individuos) registrada en el jardín botánico puede considerarse amplia, con respecto a un trabajo similar en el Jardín Botánico Alejandro von Humboldt de Colombia, ya que se reportan 281 individuos de mariposas en tres meses de muestreo (Ospina-Lopez y Reinoso-Flórez, 2009). Además, se ha reportado que la abundancia de lepidópteros en parques urbanos es favorecida cuando existe una alta riqueza de especies de plantas (Giuliano *et al.*, 2004), tal como podría ocurrir en el jardín estudiado.

Las familias Pieridae y Nymphalidae fueron las mejor representadas, las cuales son muy frecuentes y de amplia distribución global (García-Robledo *et al.*, 2002), incluyendo México (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014), y se sabe que su abundancia se asocia positivamente con ambientes que presentan una alta abundancia de plantas hospederas (Nájera-Moyotl *et al.* 2015). Entre las especies más abundantes de mariposas destaca *Pontia protodice* y *Battus philenor*, las cuales son consideradas de amplia distribución en México (Oñate-Ocaña *et al.*, 2006; Sánchez- Jasso *et al.*, 2019). Por otro lado, las larvas de la segunda polilla más frecuente, *Melipotis indomita*, son consideradas como un control biológico de árboles de mezquite (*Prosopis* spp.; Deloach y Cuda, 1994).

Por otro lado, la mayor abundancia y riqueza de mariposas ocurrió en primavera, mientras que para las polillas ocurrió en verano. En este sentido, se sabe que las estaciones o el régimen de lluvias puede afectar la abundancia y riqueza de las especies, por ejemplo, Pieridae fue la familia más común en primavera, aunque también suele tolerar distintos regímenes de lluvia y temperatura a lo largo del año (Pozo *et al.*, 2008; Nájera-Moyotl *et al.*, 2015). Cabe destacar que, en una misma región, la abundancia y riqueza de las mariposas pueden variar entre los meses de muestreo debido a las condiciones ambientales y las dificultades del muestreo (Rosas-Echeverría *et al.*, 2019).

El jardín botánico muestreado alberga en 4 hectáreas alrededor de 300 especies de plantas (Ramos-Robles *et al.*, 2023), lo cual debería representar una fuente constante de recursos que los lepidópteros podrían utilizar para completar sus ciclos de vida. Si bien se registraron en total 95 especies de lepidópteros en este jardín, la riqueza de especies ($q = 0$) de polillas (52 morfoespecies) fue significativamente mayor que la de mariposas (43 especies), lo cual es acorde con los patrones globales de diversidad de lepidópteros (Wagner *et al.*, 2021). Como referentes a comparar, en el Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con una extensión aproximada de 10 hectáreas, se han documentado preliminarmente 29 especies de mariposas y cuatro de polillas (González-Oreja *et al.*, 2023); mientras que en el Jardín Botánico Alejandro von Humboldt de 10 hectáreas de extensión se

registraron 84 especies de mariposas (Ospina-Lopez y Reinoso-Flórez, 2009), lo cual denota la gran riqueza de especies de lepidópteros registrada en el jardín estudiado.

Considerando el número de especies dominantes ($q = 2$), las mariposas fueron significativamente más diversas que las polillas, lo cual se explica por la presencia de más especies con un número alto de individuos, mientras que en las polillas se registraron menos individuos por especie, sugiriendo que pueden ser especies más raras (New, 2004). Con respecto a las especies efectivas ($q = 1$), la carencia de diferencias significativas entre mariposas y polillas sugiere que ambos grupos también pueden tener especies con similar número de individuos. Estos patrones contrastantes de diversidad destacan la variabilidad de especies de lepidópteros, así como la dinámica poblacional que determina sus abundancias (Merckx *et al.*, 2013).

La mayor disimilitud en la composición de las especies de lepidópteros en total y a nivel de grupos separados (mariposas y polillas) ocurrió entre la primavera y otoño, que corresponden a las estaciones más separadas en el tiempo y con mayores diferencias de temperatura y precipitación del periodo de muestreo. Se destaca que el recambio de especies (BSIM) fue el factor que más contribuyó a las diferencias en lepidópteros en total y en las polillas, lo cual implica que las especies se van sustituyendo a lo largo del tiempo, tal como se ha reportado en ecosistemas naturales (Pozo *et al.*, 2008). En contraste, la mayor disimilitud en la composición de especies de mariposas fue determinada por el anidamiento de especies (BSNE), lo que sugiere una importante pérdida en el número de especies entre estas estaciones con respecto a las otras comparaciones. No obstante, esta pérdida no necesariamente se considera negativa, más bien puede ser una respuesta natural de las especies a las variaciones en la temperatura, precipitación, así como disponibilidad de recursos provistos de las plantas con respecto a la estacionalidad (Pozo *et al.*, 2008; Nájera-Moyotl *et al.*, 2015).

En este estudio, se logró identificar diversas categorías de algunas especies de mariposas que reflejan su rol ecológico y económico. La identificación de ocho especies de mariposas migratorias y dos en alguna categoría de riesgo, subrayan la importancia de los jardines botánicos como lugares que contribuyen a la conservación de especies vulnerables frente a la pérdida del hábitat, así como la ayuda de las especies migratorias para alimentarse y descansar, y así poder completar sus vuelos migratorios (Fattorini *et al.*, 2023). Asimismo, la presencia de seis especies de importancia económica (i.e., plagas), incluyeron cuatro mariposas y dos polillas, resalta la importancia de estos sitios para identificar especies que pueden tener impactos en la agricultura, ya sea tanto como plagas o agentes de polinización (Hill, 1997). El hallazgo de una especie de mariposa como bioindicadora de conservación y otra como bioindicadora de disturbio proporciona una herramienta valiosa para evaluar la salud de los ecosistemas (Orta *et al.*, 2022). Esto debido a que las especies bioindicadoras pueden reflejar los cambios en la calidad del hábitat y contribuir a detectar los impactos de actividades humanas antes de que sean irreversibles (Orta *et al.*, 2022).

Por lo tanto, este estudio muestra los patrones de diversidad y composición de especies de Lepidoptera al interior de un jardín botánico ubicado en una región semiárida de México, lo cual también resalta la importancia de su conservación y manejo adecuado de estos insectos. Este estudio resulta novedoso y oportuno dado los aspectos adversos de origen antrópico en contra de la biodiversidad, tales como la pérdida de hábitat y el cambio climático. Además, esta tesis sienta las bases de la colección de lepidópteros del jardín botánico y se espera que a partir de esto se puedan generar nuevas líneas de investigación relacionadas a este grupo, tal como el monitoreo a largo plazo de estas especies y evaluar el impacto de factores ambientales y antropogénicos en sus poblaciones.

6. CONCLUSIONES

Se analizó la diversidad y composición de mariposas y polillas dentro del Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, de las cuales se encontró que existe una mayor abundancia de individuos en la estación de primavera con un valor del 58.4% de los individuos registrados, lo cual también se reflejó en el número de especies estacional de mariposas y polillas, alcanzándose en la primavera un porcentaje cercano al 44.5%.

No se tuvo una diferencia estadística entre la diversidad de especies de los dos grupos, por lo que, se concluye que, aunque en las tres estaciones hubo variaciones, estas no fueron muy drásticas. No obstante, en otoño disminuyó un poco el recambio de especies debido al anidamiento de las especies, y en esta estación, como en las anteriores se mantuvo la diversidad alfa.

De acuerdo al conteo, las familias Pieridae y Nymphalidae fueron las más representadas a nivel global en el jardín, de las cuales algunas como *Danaus plexippus* y *Libytheana carinenta* tienen un importante papel migratorio dentro de los lepidópteros. Por ello, los jardines botánicos representan un importante reservorio para el mantenimiento de un equilibrio, aunque no totalmente natural, lo más cercano posible al hábitat que las especies necesitan para sobrevivir.

El análisis de diversidad beta mostró la mayor disimilitud en la composición de especies entre las estaciones primavera-otoño, mientras que entre primavera-verano ocurrió la menor disimilitud de especies. En particular, el recambio de especies fue el componente de la

diversidad beta que más influyó en la disimilitud total de la comunidad de lepidópteros entre las estaciones. A nivel de grupos, el componente más relevante fue el anidamiento de especies (pérdida de especies) para las mariposas, mientras que para las polillas fue el recambio de especies.

Considerando los resultados generales de colecta, se concluye que el jardín botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides” constituye una buena estrategia de conservación *ex situ*, ya que cuenta con una representatividad biológica del Desierto Chihuahuense y el Noreste de México, además de que resguarda alrededor del 60% de las familias de lepidópteros reportados para el estado de Coahuila (Ramos-Robles *et al.*, datos no publicados). Además, este sitio se encuentra en la ruta migratoria de distintas especies de mariposas o en peligro de extinción como la mariposa monarca (*Danaus plexippus*), ayudando al paso de estas especies y sirviendo de descanso para completar sus vuelos migratorios.

La importancia de este estudio radica principalmente en que el grupo de Lepidoptera en el Noreste del país ha sido poco estudiado y sienta las bases para futuros estudios acerca de la diversidad de especies en jardines botánicos, así como en zonas semidesérticas con base en la colección de lepidópteros que se estableció a partir de esta investigación. De este modo, este estudio favorece las posibilidades de seguir con el estudio en específico del grupo de las mariposas y polillas de México y el mundo.

7. LITERATURA CITADA

- Andrade, G. (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*, 22(84), 407-421.
- Ashfaq, M., Akhtar, S., Rafi, M. A., Mansoor, S., y Hebert, P. D. (2017). Mapping global biodiversity connections with DNA barcodes: Lepidoptera of Pakistan. *PLoS One*, 12(3), e0174749.
- Bacchetta, G., Bueno Sánchez, A., Fenu, G., Jiménez-Alfaro, B., Mattana, E., Piotto, B., y Virevaire, M. (2008). Conservación *ex situ* de plantas silvestres (pp. 1-375). Gijón: Principado de Asturias.
- Baena, M.L. y Halffter, G. (2008). Extinción de especies, Capítulo 10. En: CONABIO. Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. Pp. 263-282.
- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19:134-143. 10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x
- Baselga, A., y Orme, C. D. L. (2012). betapart: An R package for the study of beta diversity. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(5), 808–812. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00224.x>
- Becker, V.O. (2000). Microlepidoptera. En Lorente-Bousquets, J., González, S., y Papavero, N. (eds.), *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento Vol. II*. Facultad de Ciencias, UNAM, 2: 453-468.
- Beutelspacher, B.C.R. (2013). *Las Mariposas Nocturnas del Valle de México*. Instituto de Biología, UNAM, 284 Pp.

- Brown, KS y Hutchings, R. W. (1997). Disturbance, fragmentation, and the dynamic of diversity in Amazonian forest butterflies. En: Lawrence, WF; Bierregard, RO. Eds. Tropical forest remnants: Ecology, management, and conservation of fragmented communities. USA, Chicago Press. 91-110 Pp.
- Cantú-Ayala, C., F. N. González-Saldívar, J. I. Uvalle-Sauceda, C. Ramírez-Martínez y González-Rodríguez, H. (2023). El Jardín Botánico Efraím Hernández Xolocotzi en el contexto de la conservación de la biodiversidad. *Revista Ciencia UANL* 24:16-24.
- Cárdenas, G., Mora, M., Murrieta, M., Quiñónez, B., y Véliz, B. (2016). Caracterización de lepidópteros diurnos presentes en tres áreas de la hacienda experimental mútila. *Gestión Ambiental*, 14, 5-14.
- Ceballos G y Ortega-Baes, P. (2011). La sexta extinción: La pérdida de especies y poblaciones en el Neotrópico. Universidad de Chile, 95-108 Pp.
- Cepeda-Cornejo, V., y Cuautle-García, L. M. (2021). Los jardines botánicos reservorios de diversidad biológica. *Revista Tonantzin Tlalli de la FCB-BUAP*, 1(1), 26-31.
- Cerdeña, J., Wilhelm, T., y Zacca, T. (2014). Mariposas altoandinas del sur del Perú, I. Satyrinae de la puna xerofítica, con la descripción de dos nuevos taxones y tres nuevos registros para Perú (Lepidoptera: Nymphalidae). *Revista Peruana de Biología*, 21(3), 213–222.
- Chacon, I. y J. Montero. (2007). Mariposas de Costa Rica. Butterflies and moths of Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Costa Rica. 624Pp.
- Chao, A., y Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- Çoban, S., Yener, S. D., y Bayraktar, S. (2021). Woody plant composition and diversity of urban green spaces in Istanbul, Turkey. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 155(1), 83-91.
- Cultid-Medina, C. A. y F. Escobar. (2019). Pautas para la estimación y comparación estadística de la diversidad biológica (qD). En: Moreno, C. E. (Ed.) *La biodiversidad*

en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hgo., México. Pp. 175-202.

De la Luz Sada, M., y Farías, A. M. (2011). Guía de mariposas de Nuevo León. Fondo Editorial de NL. 366p.

De la Maza, R. E. y De la Maza. J. E. 1976. Papilionidos del Canon del Novillo, Tamaulipas (Lepidoptera: Papilionidae). Revista de la Sociedad Mexicana de Lepidopterología, 2(1), 25–31.

De la Rosa-Tilapa, A., y Noriega, M. S. J. (2023). Jardín botánico de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán: centro de conservación de polinizadores y visitantes florales en el norte del valle de México. Herreriana, 5(1), 21-26.

Deloach, C. J., y Cuda, J. P. (1994). Host range of the mesquite cutworm, *Melipotis indomita* (Lepidoptera: Noctuidae), a potential biocontrol agent for mesquite (*Prosopis* spp). Biological Control, 4(1), 38-44. <https://doi.org/10.1006/bcon.1994.1007>

Dirzo R, y Miranda A. (1991). Altered patterns of herbivory and diversity in the forest understory: a case study of the possible consequences of contemporary defaunation. En Plant-animal interactions: evolutionary ecology in tropical and temperate regions (eds Price PW, Lewinsohn TM, Fernandes GW, Benson WW), pp. 273-287. New York, NY: Wiley and Sons.

Efetov, K. A., Kirsanova, A. V., Lazareva, Z. S., Parshkova, E. V., Tarmann, G. M., Rougerie, R., y Hebert, P. D. (2019). DNA barcoding of Zygaenidae (Lepidoptera): results and perspectives. Nota Lepidopterologica, 42(2), 137-150.

Farfán, J. (2018). Mariposas (Lepidoptera: Papilionoidea) de Arequipa, Perú: Lista preliminar con dos nuevos registros para Perú. Revista Peruana de Biología, 25(4), 357-370.

Fattorini, S., Mantoni, C., Dapporto, L., Davini, G., y Di Biase, L. (2023). Using Botanical Gardens as Butterfly Gardens: Insights from a Pilot Project in the Gran Sasso and Monti Della Laga National Park (Italy). Conservation, 3(1), 109-126.

- Fernández-Rubio, F. (2005). *Lepidoptera: Zygaenidae* (Vol. 26). Editorial CSIC-CSIC Press.
- Fontenla, J. L. (1987). Aspectos comparativos estructurales de tres comunidades de mariposas (Lepidoptera, Rhopalocera) en Cuba. *Poeyana* 337: 1-20.
- Forero, E. (1989). Los jardines botánicos y la conservación de la naturaleza. *Acta Botánica Brasilca*, 3(2), supl.1 Feira de Santana, 315-322.
- Forno, E. (1991). *Mariposas. Historia Natural de un Valle en los Andes: La Paz*. La Paz, Universidad Mayor de San Andrés, Instituto de Ecología, 559Pp.
- Fottit, R.G. y Adler, P.H. (2009). *Insect Biodiversity: Science and Society*. Blackwell Publishing Ltd., 642Pp.
- Gámez Alas, 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 (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador)*.
- García-Barros, E., Romo, H., i Monteys, V. S., Munguira, M. L., Baixeras, J., Moreno, A. V., y García, J. L. Y. (2015). Orden Lepidoptera. *Revista IDE@-SEA*, 65, 1-21.
- García-Robledo, C.A., Constantino, L.M., Heredia, M.D., y Kattan, G. (2002). *Mariposas Comunes de la Cordillera Central de Colombia*. Wildlife Conservation Society, 105 Pp.
- García-Robledo, C., Constantino, L. M., Heredia, M. D. y Kattan, G. (2002). *Mariposas Comunes de la Cordillera Central*. (WCS, Ed.). *EcoAndina*, Wildlife Conservation Society. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4135.0563>.
- Gareca, Y. y S. Reichle. (2007). *Guía de mariposas diurnas de las Reserva Departamental Valle de Tucavaca*. FCBC (Fundación para la Conservación del Bosque Semideciduo Chiquitano). Bolivia 143Pp.
- Giuliano, W. M., Accamando, A. K., y McAdams, E. J. (2004). *Lepidoptera-habitat relationships in urban parks*. *Urban Ecosystems*, 7(4), 361-370. <https://doi.org/10.1007/s11252-005-6835-7>

- Golding, J., Gusewell, S., Kreft, H., Kuzevanov, V. Y., Lehvavirta, S., Parmentier, I., y Pautasso, M. (2010). Species-richness patterns of the living collections of the world's botanic gardens: a matter of socio-economics *Annals of Botany*, 105(5), 689-696. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq043>.
- Goldstein, P. Z. (2017). Diversity and significance of Lepidoptera: a phylogenetic perspective. *Insect biodiversity: science and society*, 463-495.
- González-Ramírez, A. (2019). Órdenes y familias de insectos del Jardín Botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides” en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 243-246pp.
- González-Oreja, J. A., Sandoval-Ruiz, C. A., y Jiménez-Moreno, F. J. (2023). Mariposas y polillas del Jardín Botánico Universitario de la BUAP: un primer contacto. *Elementos*, 123, 45-53.
- Grados, J., López, E., Olanda, E., Mojarovich, M., y Cerdeña, J. (2021). Estudio preliminar de los Arctiinae (Lepidoptera: Erebidae) del departamento de Arequipa, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 28(1), 1-10.
- Grimaldi, D. y Engel M.S. (2005). *Evolution of the insects*. Cambridge University Press: 755 Pp.
- Grimaldi, D. A. (2022). Evolutionary history of interactions among terrestrial arthropods. *Current Opinion in Insect Science*, 51, 100915.
- Guerra, J. F. (2010). *Mariposas diurnas comunes del Municipio de Coroico*. Bustillos, Bolivia. 115Pp.
- Guzmán, R., y Vásquez, R. (2018). Diversidad de esfinges (Lepidoptera: Sphingidae) en el valle del río Rímac – provincia de Lima, Huarochiri y Cañete, Lima, Perú. *Sagasteguiana*, 6(2), 91-104.
- Henao-Bañol, E., Páez, A., y Rodríguez, J. (2018). Inventario de mariposas diurnas (Lepidoptera: Hesperioidea-Papilionoidea) De La Reserva Forestal Productora Protectora De La Cuenca Alta Del Río Bogotá (RFPP-CARB). *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 22(2), 144-171.

- Heywood, V., Shaw, K., Harvey-Brown, Y., y Smith, P. (2018). BGCI and IABG's species recovery manual. Botanic Gardens Conservation International.
- Hill, D.S. 1997. The economic importance of insects. London, Chapman & Hall, 395p.
- Hsieh, T. C., K. H. Ma y A. Chao. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution* 7:1451-1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>.
- iNaturalist. <https://www.inaturalist.org> (último acceso en 05/12/2023)
- Jackson, P. S. W. (1999). Experimentation on a large scale-an analysis of the holdings and resources of botanic gardens. *Botanic Gardens Conservation News*, 27-30.
- Jiménez-Martínez, E. y Rodríguez-Flores, O. (2014). *Insectos: Plagas de cultivos en Nicaragua*. Universidad Nacional Agraria, Managua, NI. ISBN 978-99924-1-029-5.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Khan, A. U., Poly, N. Y., Dutta, S., y Alam, F. (2023). Lepidopteran insects status and diversity: A review. *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science*, 3(1), 55-80.
- Koch, P. L., y Barnosky, A. D. (2006). Late Quaternary extinctions: state of the debate. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 37.
- Kremen, C. (1992). Assessing the indicator properties of species assemblages for natural areas monitoring. *Ecological Applications*, 2(2), 203-217.
- Kristensen, N. P., M. J. Scoble y O. Karsholt. (2007). Lepidoptera phylogeny and systematics: the state of inventorying moth and butterfly diversity. *Zootaxa* 1668:699-747.
- Lamas, G. (1981). Pasado, presente y futuro de los estudios sobre mariposas neotropicales en América Latina. *Simposia y Conferencias. IV Congreso Latinoamericano de Entomología (Maracay)*, pp. D39-D57.

- Lamas, G. (2000). Estado actual del conocimiento de la sistemática de los lepidópteros, con especial referencia a la región Neotropical. Hacia un proyecto para el inventario y estimación de la diversidad biológica en Iberoamérica: PrIBES-2000. SEA. Zaragoza, España, 253-260.
- Lamas, G. (2004). Twenty- five Neotropical Dismorphiinae (Lepidoptera: Pieridae). Revista Peruana de Entomología. 17-36 Pp.
- Lamas, G., Mcinnis, M.L., Busby, R.C. y Robbins, R.K. (2021). The lycaenid butterfly fauna (Lepidoptera) of Cosñipata, Peru: annotated checklist, elevational patterns, and rarity. *Insecta Mundi* 0861:1-34.
- Lascuráin M, List R, Barraza L, Díaz Pardo E, Gual Sil F, Maunder M, Dorantes J, Luna VE. 2009. Conservación de especies *ex situ*. En: Sarukhán J, coord. Capital Natural de México, Vol. II: Estado de Conservación y Tendencias de Cambio. México City: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 517-544Pp.
- Leckie, S., y Beadle, D. (2018). Peterson Field Guide to Moths of Southeastern North America; Houghton Mifflin Harcourt Publishing Co.: New York, NY, USA, 640Pp.
- Levi, Y., Ríos, W., Cáceres, Z., y Cáceres, E. (2017). Mariposas Diurnas (Lepidoptera: Rhopalocera) En Áreas Cultivadas Y Bosques Intervenidos En Tingo María, Perú. *Investigación y Amazonía*, 7(4), 14-21.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines genera, species, cum characteribus, diffeerentiis, synonymis, locis*. 10th ed. Holmiae, 534 Pp.
- Llorente-Bousquets J., Vargas-Fernández I., Luis Marnez A., Trujano-Ortega M., Hernández-Mejía B.C. y Warren A.D. (2014). Biodiversidad de Lepidoptera en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 353-371.
- Maes, J.M. (1999). *Insectos de Nicaragua*. Secretaría Técnica Bosawas, Marena, Managua, Nicaragua. Imprenta Print. León, Nicaragua. 1900Pp.

- Martínez-González, L., Franco, V. y Balcázar, T. (2012). Plan de acción en educación ambiental para los jardines botánicos de México. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A. C., México.
- Martin-Piera, F., J. J. Morrone y Melic, A. (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. 326 Pp.
- Matteson, K. C., Ascher, J. S., y Langellotto, G. A. (2008). Bee richness and abundance in New York City urban gardens. *Annals of the Entomological Society of America*, 101(1), 140-150.
- Mejía, H. C. (2013). Distribución, diversidad y uso de hábitat de las mariposas en el Parque Nacional Natural Gorgona, Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 14(1), 77-78.
- Meléndez-Jaramillo, E. (2020). Mariposas diurnas (Lepidoptera: papilionoidea) como indicadores de la calidad ambiental en el área metropolitana de Monterrey, México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Merckx, T., Huertas, B., Basset, Y., y Thomas, J. (2013). A global perspective on conserving butterflies and moths and their habitats. En D. W. McDonald y K. J. Willis (Eds.), *Key Topics in Conservation Biology 2* (pp. 237–257).
- Miller, J.C. y Hammond, P.C. (2003). *Lepidoptera of the Pacific Northwest: Caterpillars and Adults*. Forest Health Technology Enterprise Team (FHTET). Department of Agriculture, 334p.
- Miller-Rushing, A. J., Inouye, D. W., y Primack, R. B. (2008). How well do first flowering dates measure plant responses to climate change? The effects of population size and sampling frequency. *Journal of Ecology*, 96(6), 1289-1296.
- Mitter, C., D. R. Davis y Cummings, M. P. (2017). Phylogeny and evolution of Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 62:265-283. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035125>

- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., y Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858.
- Nájera-Moyotl, S., Quiroz-Soberanes, J. H., Solís-Heredia, L. E., y Villegas-Ramírez, F. (2015). Diversidad y abundancia de mariposas (Rhopalocera: Lepidoptera) en dos temporadas en el municipio de Atlixco, Puebla. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Entomología*, 1, 58-63.
- Nazarov, V. V., y Efetov, K. A. (1993). On the role of Zygaenidae (Lepidoptera) in pollination of *Anacamptis pyramidalis* (Orchidaceae). *Zoologicheskii Zhurnal*, 72(10): 54-67.
- Nesimyan-Agadi, D., y Assaraf, O. B. (2021). How can learners explain phenomena in ecology using evolutionary evidence from informal learning environments as resources? *Journal of Biological Education*, 57, 170-183. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1877784>
- New, T. R. (2004). Moths (Insecta: Lepidoptera) and conservation: background and perspective. *Journal of Insect Conservation*, 8(2), 79-94. <https://doi.org/10.1023/B:JICO.0000045807.04047.bd>
- Normander, B. (2012). Biodiversidad: combatir la sexta extinción masiva. En: La situación del mundo 2012: Hacia una prosperidad sostenible informe anual del Worldwatch Institute sobre el progreso hacia una sociedad sostenible. Barcelona, España: Icaria; 16Pp.
- Núñez-Bustos, E. (2019). Nuevos registros de mariposas diurnas para Misiones, Argentina (Lepidoptera: Papilionoidea), con notas taxonómicas. *Historia Natural (Tercera Serie)* 9(1):105-113.
- Ollerton, J. (1999). La evolución de las relaciones polinizado-planta en los artrópodos. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 26(2), 741-758.
- Oñate-Ocaña, L., Trujano-Ortega, M., Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A., y Vargas-Fernández, I. (2006). Patrones de distribución de la familia Papilionidae

- (Lepidoptera). Componentes bióticos principales de la entomofauna mexicana, 2, 661-714.
- Orozco, S., Muriel, S., y Palacio, J. (2009). Diversidad de lepidópteros diurnos en un área de bosque seco tropical del Occidente antioqueño. *Actualidades Biológicas*, 31(90), 31-41.
- Orta, C., Reyes-Agüero, J. A., Luis-Martínez, M. A., Muñoz-Robles, C. A., y Méndez, H. (2022). Mariposas bioindicadoras ecológicas en México. Artículo de revisión. *Acta zoológica mexicana*, 38, 1-33.
- Ospina-Lopez, L. A., y Reinoso-Flórez, G. (2009). Mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea) del jardín botánico Alejandro von Humboldt de la Universidad del Tolima (Ibagué - Colombia). *Tumbaga*, 1(4), 135-148.
- Palacios, M., y Constantino, L. M. (2006). Diversidad de lepidópteros Rhopalocera en un gradiente altitudinal en la Reserva Natural El Pangan, Nariño, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 10(1), 258-278.
- Palacios-Mayoral, V., Palacios-Mosquera, L., y Jiménez-Ortega, A. (2018). Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea) asociadas con tres hábitats en el corregimiento de Pacurita, municipio de Quibdó, Chocó, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(164), 237-245.
- Pérez, J., y Zeledón, F. (2014). Diversidad de lepidópteros diurnos: Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae en 11 hábitats de la zona núcleo de la reserva natural El Tisey, Estelí, Nicaragua, 2013. Universidad Nacional Agraria, UNA, 100Pp.
- Perveen, F. K. (2016). Biology and ecology of the common cutworm, *Spodoptera litura*. Raleigh. North Carolina, USA: Lulu Publishing and Marketing Inc., (LPM)1-137Pp.
- Pozo, C., Luis-Martínez, A., Llorente-Bousquets, J., Salas-Suárez, N., Maya-Martínez, A., Vargas-Fernández, I., y Warren, A. D. (2008). Seasonality and phenology of the butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) of Mexico's Calakmul region. *Florida Entomologist*, 91(3), 407-422. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2008\)91\[407:SAPOTB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2008)91[407:SAPOTB]2.0.CO;2)

- Powel, J.A. y Opler, P.A. (2009). *Moths of Western North America*. University of California press, 369 p.
- Prudic, K. L., Cruz, T. M. P., Winzer, J. I., Oliver, J. C., Melkonoff, N. A., Verbais, H., y Hogan, A. (2022). Botanical gardens are local hotspots for urban butterflies in arid environments. *Insects*, 13(10), 865.
- R Core Team, (2023). *R: a Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ramírez-Cruz, A. F., Saldaña-Chafloque, C. F., y Valderrama-Alfaro, S. M. (2022). Abundancia y diversidad de lepidópteros en San Benito, Cajamarca, Perú. *Agroindustrial Science*, 12(2), 181-189.
- Ramos-González, M. (2017). Las mariposas (Insecta: Lepidoptera) depositadas en el Museo de Historia Natural de Concepción, Chile. *Colecciones Digitales, Subdirección de Investigación DIBAM*. 2-27Pp.
- Ramos-Robles, M., Villarreal-Quintanilla, J., A., Valdés-Reyna, J. y Carranza-Pérez, M. A. (2023). Jardín Botánico Ing. Gustavo Aguirre Benavides: Espacio de conservación de plantas de zonas áridas del sureste del Desierto Chihuahuense. En México megadiverso visto a través de sus jardines y sus protagonistas. *Asociación Mexicana de Jardines Botánicos (AMJB) / Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)*. ISBN: 978-607-59896-0-0.
- Rodríguez, F., Villalobos, M., y Pozo, M. (2007). Lepidópteros diurnos. En *Lepidópteros diurnos*. (pp. 242–244). CICY, PPD-FENAM, CONABIO, SEDUMA.
- Rodríguez-Acosta, M. (2000). *Estrategia para los Jardines Botánicos Mexicanos*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A. C., México, D.F. 38 Pp.
- Romero, V., y Navarro, F. (2009). *Lepidoptera*, 309-340. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos (primera ed.)*. San Miguel de Tucumán-Argentina, Fundación Miguel Lillo. 656Pp.
- Rosas-Echeverría, M. V., Coyote-Ávila, C. A., Aguilar-Dorantes, K. M., y Martínez-Peralta, C. (2019). Diversity of butterflies (Lepidoptera) in Sierra de Huautla, Morelos,

- México: A conservation approach. *Annals of the Entomological Society of America*, 112(4), 409-417. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz022>
- Sajjad, M., Sarwar, Z., Hussain, S., Zaka, S., Saeed, Q., Bodlah, I., Naveed, K., Hussain, T., Aslam, M., Panhwar, W., Anwaar, H., y Khan, K. (2020). First record and taxonomic description of the genus *Thysanoplusia* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae: Plusiinae) from Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(5), 1375–1379.
- Sánchez-Jasso, J., y García-Albarrán, M. (2018). Cuánto sabemos de las mariposas. *Universitaria*, 2(9), 30-31. <https://revistauniversitaria.uaemex.mx/article/view/11812>
- Sánchez-Jasso, J. M., Estrada-Álvarez, J. C., Medina, J. P. y Estrada-Álvarez, B. Y. (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. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2659>
- Schmitt, T., y Seitz, A. (2004). Low diversity but high differentiation: The population genetics of *Aglaope infausta* (Zygaenidae: Lepidoptera). *Journal of Biogeography*, 31(1), 137-144.
- Schoonhoven, L.M. Van Loon, J.J.A. y Dicke, M. (2005). *Insect-Plant Biology*. Oxford University Press, 421Pp.
- Silva, X. (2011). *Ecología de Mariposas de Ecuador*. Universidad San Francisco de Quito. Imprenta Mariscal. 216Pp.
- Smith P. y Harvey-Brown Y. (2017). BGCI: Revisión Técnica Definición de un jardín botánico y cómo medir el funcionamiento y la gestión, 3-8Pp.
- Smith, P., y Harvey-Brown, Y. (2018). BGCI technical review: the economic, social and environmental impacts of botanic gardens. BGCI technical review: the economic, social and environmental impacts of botanic gardens. 25-48Pp.
- Soto, S. I. U., y Giraldo, A. C. (2023). *Guía de mariposas: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Campus El Volador. Universidad Nacional de Colombia. 162Pp.*

- Tarmann, G. (2009). Die Vinschger Trockenrasen - Ein Zustandsbericht auf basis der bioindikatoren Tagfalter und widderchen (Lepidoptera: Rhopalocera, Zygaenidae). *Wissenschaftliches Jahrbuch der Tiroler Landesmuseen*. 2:307-350.
- Tovar, A. T. D., Flórez, I. P. G., Ramírez, K. L. A., y Cedeño, E. F. A. (2020). Contribución de las salidas de campo en el aprendizaje sobre la conservación ecológica de lepidópteros. *Revision documental. Revista Electrónica EDUCyT*, 11(Extra), 709-720.
- Triplehorn, C. A. and Johnson, N. F. 2005. *Borror and delong's Introduction to the study of Insects*. Thomson Brooks/Cole, USA, Seventh Edition. 864Pp.
- Uribe, C. y J. A. Salazar. 1998. *Mariposas del Llano*. Bogotá. Cristina Uribe Editores, Ltda. 104Pp.
- Valencia-Montoya, W. A., Quental, T. B., Tonini, J. F. R., Talavera, G., Crall, J. D., Lamas, G., Busby, R. C., Carvalho, A. P. S., Morais, A. B., Oliveira Mega, N., Romanowski, H. P., Liénard, M. A., Salzman, S., Whitaker, M. R. L., Kawahara, A. Y., Lohman, D. J., Robbins, R. K., y Pierce, N. E. (2021). Evolutionary trade-offs between male secondary sexual traits revealed by a phylogeny of the hyperdiverse tribe Eumaeini (Lepidoptera: Lycaenidae). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 288(1950), 20202512. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2512>
- Van Nieuwerkerken, E.J., Kaila, L., Kristensen, N.P., Lees, D.C., Minet, J., Mitter, C., Mutanen, M., Regier, J.C., Simonsen, T.J., Wahlberg, N., Yen, S-H., Zahiri, R., Adamski, D., Baixeras, J., Bartsch, D., Bengtsson, B.A., Brown, J.W., Bucheli, S.R., Davis, D.R., De Prins, J., De Prins, W., Epstein, M.E., Gentilipoole, P., Hättenschwiler, C.G.P., Hausmann, A., Holloway, J.D., Kallies, A., Karsholt, O., Kawahara, A. Y., Koster, S.(J.C.), Kozlov, M.V., Lafontaine, J.D., Lamas, G., Landry, J.F., Lee,S., Nuss, M., Park, K-T., Penz, C., Rota, J., Schintlmeister, A., Schmidt, B.C., Sohn, J-C., Solis, M.A.,Tarmann, G.M., Warren, A.D., Weller, S., Yakovlev, R.V., Zolotuhin, V.V. y Zwick, A. (2011). Order Lepidoptera Linneaus, 1758. En Zhang, Z-Q. (ed.). *Animal*

biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. Magnolia press, 3148:212-221.

Vásquez-Bardales, J., Callirgos-Bardales, J., Zárate-Gómez, R., Ramírez-Hernández, J., Pinedo-Jiménez, J., García-Ruíz, A., Valderrama-Freyre, H., Pacheco-Gómez, T., y Tello-Espinoza, R. (2021). Diversidad y composición de mariposas (Lepidoptera: Morphinae y Satyrinae) de los varillales en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto, Perú. *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 25(1), 177-190.

Villareal, H. M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., y Umaña, A. M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad, 12-31Pp.

Vovides A.P., Linares E. y Bye R. (2010). Jardines Botánicos de México: Historia y Perspectiva. Secretaría de Educación de Veracruz, Xalapa. 232Pp.

Wagner, D. L., Fox, R., Salcido, D. M., y Dyer, L. A. (2021). A window to the world of global insect declines: Moth biodiversity trends are complex and heterogeneous. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2), e2002549117.

Young, H. S., McCauley, D. J., Galetti, M., y Dirzo, R. (2016). Patterns, causes, and consequences of anthropocene defaunation. En D. J. Futuyma (Ed.), *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Vol. 47, pp. 333-358. Palo Alto: Annual Reviews.

Zhang, Z.Q. (2011). *Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness*. Magnolia press, 237Pp.

Anexo 1. Catálogo de los lepidópteros más comunes del jardín botánico “Ing. Gustavo Aguirre Benavides”. Entre paréntesis se indica la abundancia de cada especie.

MARIPOSAS



DORSAL



VENTRAL



Pontia protodice (35)

PIERIDAE

Nathalis iole (33)

PIERIDAE

Battus philenor (30)

PAPILIONIDAE

Zizula cyna (24)

LYCAENIDAE



DORSAL



VENTRAL



Kricogonia lyside (22)

PIERIDAE

Libytheana carinenta (20)

NYMPHALIDAE

Eurema lisa (16)

PIERIDAE

Euptoieta claudia (14)

NYMPHALIDAE

Anexo 1



DORSAL



VENTRAL



*Polygonia
interrogations* (13)
NYMPHALIDAE

Vanessa atalanta (11)
NYMPHALIDAE

Burnsius sp (10)
HESPERIIDAE

Mestra amymone (10)
NYMPHALIDAE



DORSAL



VENTRAL



Nymphalis antiopa (10)
NYMPHALIDAE

Danaus plexippus (9)
NYMPHALIDAE

Phyciodes graphica (8)
NYMPHALIDAE

Abaeis nicippe (6)
PIERIDAE

Anexo 1



DORSAL



VENTRAL



Asterocampa clyton (6)
NYMPHALIDAE

Anaea aidea (5)
NYMPHALIDAE

Erynnis funeralis (5)
HESPERIIDAE

Phoebis agarithe (5)
PIERIDAE



DORSAL



VENTRAL

Vanessa cardui (5)
NYMPHALIDAE

Anexo 1

POLILLAS



DORSAL



VENTRAL

L59 (68)

L41 (10)

L52 (8)

L47 (7)



DORSAL



VENTRAL

L42 (5)

L48 (5)

L50 (5)

L63 (5)

Anexo 1



DORSAL



VENTRAL

L70 (5)