



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE PAPILIONOIDEA  
(LEPIDOPTERA) EN EL PARQUE BOSQUE DE  
CHAPULTEPEC (PBC), CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**BIÓLOGO**

**P R E S E N T A**

**JESUS MARTIN TAPIA GONZALEZ**

DIRECTORA DE TESIS:

**DRA. MARYSOL TRUJANO ORTEGA**



CIUDAD DE MÉXICO, 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



A close-up photograph of a butterfly wing, likely a monarch or similar species, showing intricate patterns of orange, black, and white. The wing is the central focus, with its veins and color bands clearly visible. The background is dark, making the bright colors of the wing stand out.

Análisis temporal y espacial de  
Papilionoidea (Lepidoptera) en el  
Parque Bosque de Chapultepec (PBC),  
Ciudad de México, México

Jesus Martin Tapia Gonzalez



## **Agradecimientos institucionales**

El presente trabajo se realizó gracias al financiamiento otorgado por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT-300197) a Uri Omar García-Vázquez. Las colectas fueron realizadas bajo el permiso (FAUT- 0247) conferido a Marysol Trujano-Ortega por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Agradecemos a Mónica Pacheco, Martín Aguilar y a Juana Osorio de la Dirección de Gestión del Bosque de Chapultepec, a la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) y a la Secretaría de Defensa Nacional (SEDENA) por el apoyo logístico en campo.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT-300197; CONACyT-284966) por las becas otorgadas con las que fue posible concluir esta tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES-Z) por mi formación académica como Biólogo.

A mi directora de tesis, la Dra. Marysol Trujano-Ortega y a mis sinodales, la M. en C. María de las Mercedes Luna-Reyes, el Dr. Uri Omar García-Vázquez, el Dr. David Nahum Espinosa-Organista y el M. en C. Genaro Montaña-Arias por sus valiosos comentarios que ayudaron a enriquecer este trabajo.

Finalmente agradezco al Dr. Jorge Enrique Llorente-Bousquets y al M. en C. Armando Luis-Martínez por brindarme un espacio en Colección Lepidopterológica del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” en la cual fueron curados y depositados los ejemplares recolectados en este estudio.



Todos los días subo hasta la cima  
Me gusta mirar el mundo desde arriba  
En la subida siento las cosquillas  
Me gusta saber que aprendo cada día

De las caídas, de las heridas  
De esta ironía que le llaman vida  
Desde el silencio veo más lejos  
Soy el espejo el punto de partida

Simple y descalzo trato de llegar a donde voy  
Ya he andado tanto y todavía no me canso  
Fumando flores tomando jugo de luna  
Única cura contra el miedo a la locura

A contramano pensando en ser o no ser  
Atravesando la piel  
Dejando el tiempo caer

*⚡ Energizado, llevo una luz en la sien ⚡*

Aunque hoy toque perder  
¡Jamás estuve tan bien!

**La cima - Roberto Jesús Ruiz Díaz Arévalo**



*A mi madre*

*Mi fuerza para no renunciar, la luz en mis noches oscuras*

*La que me muestra que a su lado esta vida no es tan dura*

## **Agradecimientos personales**

En alguna ocasión observé en la tesis de un profesor de la FES, que los agradecimientos eran el único apartado que todos leían con seguridad. Así que trataré de plasmar en estas hojas mi más sincero agradecimiento a cada una de las personas que fueron parte de esto.

Primeramente, agradezco a mi madre por todo el esfuerzo, amor, consideración y confianza que tuvo por mí desde el comienzo de la carrera y hasta el día de hoy que culmina esta etapa. Gracias por cada desayuno y por cada almuerzo preparado a las cuatro de la mañana, por cada beso y cada abrazo, por cada palabra de aliento antes de subirme al transporte. Gracias por cada sacrificio que hiciste para que llegáramos juntos a esta primera meta. Te amo para siempre, ma'. La página de arriba es exclusivamente para ti, la persona que más me inspira en la vida.

A mi padre por el sobreesfuerzo físico y económico que realizó a pesar de su estado de salud para que pudiera seguir estudiando. Por la confianza que me brindó hasta el último día de su vida. Ojalá pudieras haber visto que logré lo que te prometí algún día (terminar una licenciatura en la mejor universidad del país). Sin tu ausencia no lo hubiera logrado, te extraño y te amo para siempre, pa'.

A mis hermanas Elizabeth y Yadira por confiar en mí, por enorgullecerse de cada pequeño logro que he tenido, por darme ánimos y levantarme siempre que pensaba que este proceso ya no daba para más. Me esfuerzo día con día por que siempre se sientan orgullosas de mí. Agradezco tenerlas y las amo mucho, mis osas.

A la persona que creyó que lograría esto desde el primer día que le conté de mi amor y fascinación por los animales (hace diez años en el CCH). A mi compañera, mejor amiga y la mujer con la que he recorrido cada tramo de la carrera. A mi bióloga favorita, Abihail, la persona que comparte conmigo la misma pasión y respeto por los animales. Abi, definitivamente no estuviera en este punto si no me hubieras brindando tu apoyo, comprensión, paciencia y cariño ¡Te quiero mucho!

Al Sr. Alfredo Silva porque gracias al empleo que me otorgó en la taquería me permitió seguir estudiando y seguir sustentando los gastos de mi casa. Gracias por permitirme dormir en su hogar y facilitar el traslado a Chapu durante el tiempo que duró el muestreo. Gracias por todo su apoyo y por esa figura paterna y de responsabilidad que me brindó después de la partida de mi padre.

A la Sra. Graciela Rodríguez por tratarme y procurarme como a uno más de sus hijos (yo a usted también la veo como a una segunda mamá), por cada vez que dormía dos o tres horas por levantarse a prepararme un desayuno y un almuerzo cuándo tocaba muestrear en Chapu. Pero sobre todo le agradezco el apoyo emocional y por sus amables sentimientos que me ha brindado en este proceso y en mis peores momentos. La quiero, ese sentimiento jamás cambiará.

A las mejores personas que pude conocer en la FES, mi team. Daniel Salgado Ponce, César Iván Reyes Cruz, Eder Ortiz Granados, Isaac de la Vega, Ignacio Neri Cruz y Mariana García. Gracias a ustedes mi camino en la carrera fue sumamente divertido. Gracias por cada enseñanza que me brindaron (académica y personal). Con ustedes comprendí lo feliz que se puede ser con una simple baraja de cartas siempre y cuando te encuentres con las personas correctas. Los quiero.

Agradezco a la persona más influyente actualmente en mi ámbito académico, Marysol Trujano Ortega. Marysol, no existen palabras suficientes para agradecerte todo lo que has hecho por mí en estos tres años. Primeramente, gracias por tu tiempo, dedicación y conocimientos invertidos en este escrito (desde el primer anteproyecto hasta esta última versión). Gracias por cada una de las oportunidades que me has brindando, por tu comprensión, confianza y sobre todo paciencia. Gracias por no colgarme del cuello cuando te mandaba correcciones a las cuatro de la mañana porque era la hora que llegaba de trabajar de la taquería. Gracias por todo lo que me has enseñado en campo y ahora recientemente en la colección (definitivamente ya hubiéramos quemado la colección si no fuera por tu conocimiento y asesorías transmitidas). Gracias por tus consejos y pláticas que, si bien, priorizan lo académico, me han dejado también un mensaje personal. Gracias por enseñarme que la clave de todo no es solo aprender, sino también disfrutar el proceso. Gracias por tu amable lado humano que me has demostrado derivado a mis situaciones personales actuales. Marysol, eres para mí un ejemplo de dos cosas: 1) las mujeres científicas pueden destacar y ser enormemente competitivas y superiores en un ámbito tan complicado y 2)

para ser un excelente profesor no solo se necesita ser brillante, sino también saber transmitir el conocimiento. ¡Mi admiración y respeto para ti! ¡Gracias por todo!

Agradezco a la profesora Mercedes Luna Reyes porque cuándo me sentía sin rumbo y sin saber completamente con cuál grupo taxonómico trabajar, me acogió en su laboratorio y me hizo sentir por primera vez en la carrera que formaba parte de algo. Profesora, gracias por su calidez, amabilidad y todo el conocimiento transmitido en el laboratorio y en las dos materias teóricas que cursé con usted. Gracias por estar tan pendiente y comprometida con este trabajo y gracias por creer en mí al presentarme con Marysol. Finalmente, gracias por demostrarnos que, a pesar de la limitación de recursos y personal, con mucho esfuerzo, dedicación y sacrificio se puede mantener funcionando perfectamente una colección científica. ¡Mi respeto y agradecimiento para usted, profesora!

A mi herpeto-masto-entomólogo favorito, Uri Omar García Vázquez. Prof, le agradezco porque usted me inició en quinto semestre en este mundo de la mariposeada (se escucha rara esa última palabra). Gracias por la oportunidad brindada en este proyecto tan grande. Gracias por contribuir enormemente con el muestreo de este trabajo. Finalmente, le agradezco por su profesionalismo y conocimientos transmitidos en todas las materias que cursé con usted en la carrera (aunque usted ya estaba harto de que lo siguiera todos los semestres). ¡Gracias por darle nivel a la FES, prof!

Al team Chapu:

A Marysol y a Uri nuevamente por su inmenso apoyo en las colectas, por cada enseñanza, aprendizaje y broma lanzada durante el muestreo.

A Javier Vega por ser parte fundamental de todo esto. Amigo, gracias por tu enorme esfuerzo y apoyo en las colectas, por acompañarme a poner trampas (lo bueno que nunca perdimos ninguna ¿verdad?) aunque esto no fuera parte del método de tu trabajo. Sentí tu apoyo en cada día de muestreo. Agradezco que, a diferencia de Jorge y de Laura, nosotros pudimos apoyarnos, aprender y caer juntos. Definitivamente seguiremos frecuentándonos académicamente después de esta etapa y estoy feliz de que así sea. ¡Gracias, Javi! ¡Team Lepidoptera!

Agradezco a Omar Ávalos Hernández por el enorme conocimiento transmitido en campo y en talleres brindados, así como su infinito apoyo en los análisis estadísticos de este trabajo.

A Laura por sus colectas (una súper rifada y rara) y la confianza que me brindó para discutir sobre temas más personales como la familia.

A los herpeto, Gabo, Toño y Jorge por involucrarse y capturar (de maneras sumamente extrañas) algunos ejemplares de mariposas para este estudio. Así mismo les agradezco por transmitirme su conocimiento sobre uno de los taxones más fascinantes.

A cada uno de ustedes les agradezco por cada día de muestreo, cada risa, cada almuerzo compartido, cada caída, cada tráfico-aventura con los traslados y cada enseñanza que me brindaron. Estoy sumamente agradecido de haber formado parte de este grupo de trabajo y de haber conocido y compartido este lapso con personas tan amables, inteligentes y brillantes. Jamás olvidaré el año 2020, ni el día en el que el cabo Gómez capturó un *Papilio garamas* antes que yo.

Por último, agradezco al grupo más reciente pero no menos importante, al team de la Colección de la Facultad de Ciencias. Mi agradecimiento total al profesor Armando Luis Martínez por la facilidad otorgada para comparar, curar y depositar los bichos recolectados y sobre todo por brindarme la oportunidad de seguir aprendiendo del taxón mientras terminaba la última parte de este trabajo. Así mismo agradezco al M. en C. Ubaldo Guzmán Villa por sus múltiples consejos sobre la presentación final y cuestiones de metodología del estudio. Y a los chicos (Javier y Karla) por su amistad, bromas infinitas y comprensión brindada en estos meses.



## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	5
Orden Lepidoptera.....	5
Superfamilia Papilionoidea.....	6
Lepidoptera y Papilionoidea en México.....	6
Papilionoidea en la Ciudad de México.....	6
Papilionoidea en el PBC.....	7
Cuarta sección del Parque Bosque de Chapultepec .....	8
JUSTIFICACIÓN.....	9
OBJETIVOS .....	11
MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
Zona de estudio .....	12
Diseño del muestreo y procedimientos en campo.....	14
Trabajo de gabinete .....	18
Análisis estadísticos .....	18
Análisis de ordenación .....	21
RESULTADOS.....	25
Lista de especies.....	25
Distribución y exclusividad de Papilionoidea por sección y familia .....	39
Riqueza .....	43
Diversidad alfa .....	45
Diversidad beta .....	46
Diversidad gamma.....	50
Análisis de ordenación .....	50
DISCUSIÓN .....	53
Lista de especies.....	53
Exclusividad.....	56
Riqueza y diversidad de las unidades espaciales y ecológicas .....	57
Diversidad beta .....	60
Análisis de ordenación .....	64
CONCLUSIONES .....	66
REFERENCIAS.....	68
APÉNDICES.....	80

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

1. Distribución de las rutas y puntos de recolecta para el muestreo de Papilionoidea en el PBC
2. Ambientes en las secciones del PBC
3. Métodos de recolecta utilizados para el muestreo de Papilionoidea en el PBC
4. Riqueza de Papilionoidea en el PBC
5. Diversidad de Papilionoidea en el PBC
6. Dendograma de similitud de Papilionoidea en el PBC
7. Diversidad beta espacial de Papilionoidea en el PBC
8. Diversidad beta temporal de Papilionoidea en el PBC
9. ACP para las especies de Papilionoidea en el PBC
10. ACP para las variables categóricas de Papilionoidea en el PBC
11. ACP para las variables ambientales y cuantitativas discretas de Papilionoidea en el PBC

## **ÍNDICE DE CUADROS**

1. Variables utilizadas para la elaboración del ACP de Papiliooidea en el PBC
2. Lista de especies de Papilionoidea en el PBC
3. Distribución y exclusividad de Papilionoidea en el PBC
4. Valores de abundancia y riqueza para cada unidad de análisis del PBC
5. Valores de diversidad de las unidades espaciales y ecológicas del PBC
6. Valores de similitud de Bray-Curtis de las cuatro secciones del PBC
7. Valores de diversidad beta espacial de las cuatro secciones del PBC
8. Valores de diversidad beta temporal de las tres primeras secciones del PBC



## RESUMEN

Los parques urbanos brindan servicios ecológicos, sociales y culturales relevantes en el ecosistema urbano. El Parque Bosque de Chapultepec (PBC) es el parque urbano más grande de Latinoamérica y cuenta con una representación alta de Papilionoidea en su área. Este trabajo forma parte de un estudio multitaxonómico en el PBC que incluye el análisis de grupos de vertebrados (anfibios, reptiles y aves) que son sensibles a la perturbación y otros grupos de insectos polinizadores (abejas y moscas).

La diversidad de Papilionoidea en el PBC se evaluó a lo largo de un año con salidas semanales empleando redes áreas y trampas Van Someren-Rydon. Se cubrieron cuatro secciones, ocho rutas y 117 puntos, donde cada punto tuvo al menos seis repeticiones, la mitad en la temporada seca y la otra mitad en la lluviosa. Se calculó la riqueza específica para las unidades taxonómicas (superfamilia y familias), espaciales (PBC y las secciones) y ecológicas (temporadas) con un modelo no paramétrico. También se calculó la diversidad alfa (NES) para las unidades espaciales y ecológicas. Así mismo, se estimó la diversidad beta entendida como disimilitud y dividida en sus dos componentes (recambio y anidamiento), con un enfoque espacial entre las cuatro secciones actuales y con un enfoque temporal de las tres primeras secciones respecto a sí mismas de acuerdo con lo reportado en un estudio de mariposas de hace más de una década en el PBC. Finalmente se distinguieron las variables (de hábitat, ambientales y de perturbación) que se asocian con la riqueza y abundancia de la comunidad de mariposas en el PBC.

Se recolectaron 2076 individuos pertenecientes a cinco familias 73 géneros y 92 especies, de los cuales 26 representan registros nuevos para el PBC. El 10% de ellas (9) son endémicas a México y representan el 2% de las endémicas totales para el país. Los valores más altos de riqueza y abundancia se encontraron en la primera y cuarta sección para las unidades espaciales y en la temporada de lluvias para las unidades ecológicas. La riqueza estimada fue de 108 especies con el estimador no paramétrico Chao 1, lo que corresponde a una completitud del inventario del 85%, por lo que se considera un buen nivel de la fauna de mariposas. Si se considera este estimador, el PBC cuenta con el 70% de la riqueza de la Ciudad de México y el 7% de la riqueza del país. Al compararlo con otras zonas periféricas en la ciudad que son más heterogéneas en altitud, clima y

vegetación, el PBC representa una de las áreas verdes con mayor riqueza de mariposas en la Ciudad de México.

Los resultados de la diversidad beta mostraron que la primera y la cuarta sección tuvieron el valor más alto de disimilitud (54%) dado en su mayoría por recambio de especies y que la segunda sección fue la que mostró mayor cambio en el tiempo con un 58% de disimilitud que de igual modo se debe en su mayoría por recambio. Las variables que se asocian positivamente con la riqueza y abundancia de mariposas en el parque son la riqueza de microhábitats, densidad y riqueza arbórea y cobertura de pasto; mientras que las variables que se asocian negativamente son la cobertura de suelo, número de postes, número de personas, número de carros en movimiento y la distancia al borde del parque.

Aunque la completitud obtenida en el inventario se considera aceptable, se recomienda continuar con muestreos en distintas zonas del parque, sobre todo en la cuarta sección, que es un área nueva con un conocimiento limitado de las mariposas. Las estimaciones de riqueza en la temporada seca, así como en la segunda y tercera sección sugieren que existen especies aún por registrarse; así mismo en este estudio no se recolectó ningún taxón de la familia Riodinidae, por lo que se recomienda una búsqueda dirigida a esta familia y un mayor esfuerzo de muestreo en la segunda y tercera sección.

El material recolectado fue curado y una muestra representativa se montó en alfileres entomológicos y se ingresó a la Colección Lepidopterológica del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias, UNAM, lo que aumenta el conocimiento de este grupo de insectos en la Ciudad de México y en los ecosistemas urbanos del país.

## INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica se define como la variedad y variabilidad de los seres vivos y los complejos ecológicos que ellos integran (Morrone *et al.* 1999). La idea de separar la diversidad de especies en distintos componentes data de 1960, cuando Whittaker propuso que el número total de especies de una región (diversidad gamma) es resultado de la combinación del número de especies en las localidades que conforman la región bajo estudio (diversidad alfa) y la diferencia en composición de especies entre estas localidades (diversidad beta) (Rodríguez *et al.* 2003).

La evaluación de la disimilitud entre sitios incluye el análisis de los componentes que dan lugar a la diversidad beta: el recambio de especies (*turnover*) y el anidamiento por diferencias en riqueza (Baselga, 2009). El recambio de especies denota el cambio direccional en la composición de especies como resultado de lo que observamos en función del efecto de un gradiente físico, ambiental o temporal y mide la magnitud del cambio en la identidad, abundancia relativa, biomasa y/o cobertura de individuos entre muestras (Oksanen y Tonteri, 1995; Nekola y White, 1999; Vellend, 2001; Legendre, 2007; Anderson *et al.* 2010). Existen diferentes factores que explican el cambio en la composición de especies que se interpretan en las dimensiones espacial y temporal; factores ambientales como la heterogeneidad, de modificación del hábitat como la perturbación y de capacidad de respuesta a ellos como la dispersión y la competencia (Hubbell, 2001; Legendre *et al.* 2005).

El orden Lepidoptera contiene 157 424 especies (Nieukerken *et al.* 2011) y constituye aproximadamente el 10% del total de las especies animales; en México se encuentra la mayor parte de las superfamilias (25) con una cifra cercana a las 15 000 especies (Llorente-Busquets *et al.* 2014). La superfamilia Papilionoidea incluye siete familias: Papilionidae, Hedyliidae, Hesperidae, Pieridae, Nymphalidae, Lycaenidae y Riodinidae, donde los hedílicos se agregaron recientemente al grupo y son la única familia en la que los adultos presentan hábitos nocturnos (Espeland *et al.* 2018). Papilionoidea contiene casi 19 000 especies (Nieukerken *et al.* 2011); se estima que más de 2 000 de estas se encuentran en México (Llorente-Busquets *et al.* 2014). En la Ciudad de México se reportan 155 especies de las seis familias con hábitos diurnos de Papilionoidea y existen algunos géneros representados en la ciudad que son endémicos al país, como *Eucheira* Kirby y *Paramacera* Butler y otros diversificados ampliamente como *Piruna* Evans (Trujano-Ortega y Luis-Martínez, 2016).

Los parques urbanos son espacios que se contraponen a la creciente expansión del territorio urbano y asumen varias funciones, como promotores de la cohesión social (Peters *et al.* 2010) y sitios para el resguardo de la biodiversidad en la ciudad (Cornelis y Hermy, 2004). En la alcaldía Miguel Hidalgo de la Ciudad de México se encuentra el Parque Bosque de Chapultepec (PBC), para el cual se tiene un único trabajo de Papilionoidea de hace 12 años (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011); en él existen tres muestreos de un año cada uno y cubren la primera, segunda y tercera sección del parque. Este estudio reporta 89 especies distribuidas en 70 géneros y seis familias (exceptuando Hedyliidae). El PBC es el bosque urbano más grande de América Latina y actualmente se encuentra dividido en cuatro secciones, que brindan diversos servicios ambientales como la aportación de oxígeno por la presencia de abundante vegetación, la disminución de partículas contaminantes, así como refugios para la fauna local y migratoria (Enríquez, 2012).

El presente estudio tiene como propósito generar la lista faunística actualizada de seis familias de Papilionoidea en el PBC incluyendo la cuarta sección, describir los componentes de la diversidad, abundancia y riqueza de la superfamilia; así como analizar el recambio en el tiempo respecto al trabajo de hace 12 años (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011). De igual manera se analizó cómo se asocian las variables de hábitat y de perturbación con la riqueza y abundancia de la comunidad de mariposas en el PBC. Debido al poco interés y a los trabajos limitados que se tienen sobre los ecosistemas urbanos a lo largo del tiempo, es importante generar estudios sistematizados que sirvan como punto de comparación con otros estudios lepidopterológicos en los parques urbanos del país.

## ANTECEDENTES

### Orden Lepidoptera

Este grupo de insectos contiene más de 150 000 especies descritas (Nieukerken *et al.* 2011) aunque las estimaciones oscilan entre 255 000 y cerca del medio millón de especies (Kristensen *et al.* 2007). De acuerdo con los criterios expuestos por Kristensen *et al.* (1999) y Kristensen (2007) y con la información actualizada de Nieukerken *et al.* (2011), se reconocen cuatro subórdenes: Zeugloptera, Aglossata, Heterobathmiina y Glossata. Este último taxón incluye casi todas las especies del orden con 40 superfamilias y entre 130 y 140 familias (Regier *et al.* 2013). Su distribución es cosmopolita (Convey, 2004), aunque la mayor riqueza de especies ocurre en la región Neotropical (más de 44 000 descritas) (Llorente-Bousquets *et al.* 2014).

Lepidoptera se representa por insectos holometábolos típicos, que atraviesan las fases de huevo, larva, pupa y adulto (Traut *et al.* 2007). Las larvas son de tipo eruciforme (orugas) y con cápsula cefálica generalmente bien esclerosada, presentan cinco pares de patas falsas (aunque hay excepciones) en los segmentos abdominales tercero a sexto y décimo (García-Barrios *et al.* 2016). Los adultos se identifican por la presencia de dos pares de alas con escamas aplanadas, donde generalmente las alas posteriores son más pequeñas que las anteriores (Borror y White, 1970). Presentan un aparato bucal modificado en una espiritrompa que le sirve para alimentarse al succionar líquidos (Chacón y Montero, 2007); aunque puede estar ausente en los grupos basales del orden, así como, por pérdida o reducción secundaria en diversas familias (García-Barrios *et al.* 2016). Otros caracteres morfológicos son dos ocelos laterales en la cabeza, el órgano de Rath en los palpos labiales y una epífisis en la cara interna de las tibias anteriores (García-Barrios, 1999).

Los lepidópteros son un modelo adecuado para el análisis y propuestas de conservación de la diversidad biológica debido a sus variadas preferencias ecológicas, sus estrechas relaciones con las plantas huéspedes, sus respuestas a las perturbaciones en los ecosistemas y su capacidad de colonizar gran cantidad de ellos (Llorente *et al.* 1996; Almaráz-Almaráz y León-Cortés, 2013).

## **Superfamilia Papilionoidea**

Papilionoidea se originó hace 119 millones de años en el Cretácico tardío, aunque la mayoría de los linajes existentes divergieron después de la extinción masiva del Cretácico-Paleógeno hace 65 millones de años. Este constituye un clado monofilético con siete familias: Papilionidae, Hedyliidae, Hesperidae, Pieridae, Nymphalidae, Lycaenidae y Riodinidae (Espeland *et al.* 2018). Los adultos presentan vuelo diurno y las antenas tienen forma de maza; en el caso de Hesperidae con terminación en forma de gancho distal pequeño (Hernández-Mejía, 2009). Estas características no se presentan en la familia Hedyliidae debido a su readaptación al medio nocturno (Espeland *et al.* 2018).

En este trabajo se referirá en adelante como Papilionoidea a las familias: Papilionidae, Hesperidae, Pieridae, Nymphalidae, Lycaenidae y Riodinidae, cuyos organismos presentan hábitos diurnos y antenas con masa antenal o en forma de gancho (Hernández-Mejía, 2009; Espeland *et al.* 2018).

## **Lepidoptera y Papilionoidea en México**

En México se representa la mayor parte de las superfamilias (25) del orden. El país posee una riqueza mayor a la de toda la región Neártica (11 532 especies) con 14 500 especies descritas (Llorente-Busquets *et al.* 2014). Papilionoidea contiene 1885 especies descritas para el país: 56 de Papilionidae, 800 de Hesperidae, 90 de Pieridae, 440 de Nymphalidae, 244 de Lycaenidae y 255 de Riodinidae. El endemismo de Papilionoidea en México es de 423 especies, de los cuales 28 son de Papilionidae, 185 son de Hesperidae, 34 de Pieridae, 129 de Nymphalidae, 13 de Lycaenidae y 34 de Riodinidae (Trujano-Ortega y Luis-Martínez, 2016).

## **Papilionoidea en la Ciudad de México**

En la Ciudad de México se reportan 155 especies de mariposas diurnas representadas por siete papilionidos, 51 hespéridos, 26 piéridos, 53 ninfálidos, 15 licénidos y tres riodínidos. Estas representan el 80% de la fauna de la Cuenca de México y el 20% de estas son endémicas al país (Trujano-Ortega y Luis-Martínez, 2016).

De acuerdo con Trujano-Ortega y Luis-Martínez (2016) la mayor parte de Papilionoidea en la Ciudad de México se distribuye dentro de los Parques y Jardines Urbanos de la ciudad. Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011) registraron 89 especies en tres secciones del Parque Bosque de Chapultepec. Por otro lado, Blancas-Velázquez (2022) registró 74 especies en el Centro de Educación Ambiental Yautlica (CEAY) en la Sierra de Santa Catarina. Finalmente, Trujano-Ortega y Luis-Martínez (2016) reportan 65 especies en los bosques y cañadas de la ciudad, que son las áreas mejor conservadas.

### **Papilionoidea en el PBC**

Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011) integraron una lista de 89 especies, 70 géneros y seis familias de Papilionoidea como resultado de tres años de muestreo y observación. Estos muestreos representan tres periodos temporales con intervalos de 12 y cuatro años entre ellos: el primer muestreo comprendió de 1992 a 1993, el segundo de 2004 a 2005 y el tercero de 2008 a 2009, cada uno de ellos con una salida por mes en sitios estratégicos de tres secciones del PBC. En su estudio se observa que el número de especies disminuyó drásticamente en el tiempo, ya que de 80 especies registradas en el primero de ellos, descendió a 46 en el segundo y 35 en el tercero; sin embargo, este patrón carece de explicación en la obra. De acuerdo con Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011), la segunda sección es la más rica en especies con 70, seguida de la primera con 66 y la tercera con 52. Se registraron 13 especies en la categoría “muy raras” por la presencia de un solo ejemplar. Los autores registraron seis especies residentes, debido a que observaron su estado larval en la planta de alimentación: *Pterourus multicaudata multicaudata* Kirby, *Phoebis philea philea* L., *P. sennae marcellina* Cramer, *Leptophobia aripa elodia* Boisduval, *Nymphalis antiopa antiopa* L. y *Chlosyne ehrenbergii* Geyer. La especie más abundante en el PBC fue *L. aripa elodia*, de acuerdo con este estudio.

### **Cuarta sección del Parque Bosque de Chapultepec**

El presidente de la República Andrés Manuel López Obrador anunció el 2 de abril del 2019 que los terrenos del campo militar 1F ubicados al norte de la alcaldía Álvaro Obregón, en los que inicialmente se construiría un desarrollo inmobiliario para financiar a la Guardia Nacional, serían destinados a la cuarta sección del Bosque de Chapultepec. Ahora, en este espacio se creará un complejo artístico, cultural y recreativo. El proyecto abarca una superficie de 100 hectáreas que se integraron al bosque, bajo la dirección del artista Gabriel Orozco y coordinado por las secretarías de Cultura (CULTURA) y de la Defensa Nacional (SEDENA), por parte del Gobierno Federal y del Gobierno de la Ciudad de México (Gálvez, 2020).

Dentro del polígono se encuentran dos unidades territoriales de uso, una de conservación que corresponde a zonas verdes y una dominada por infraestructura. Además de conservar mejores condiciones en niveles de contaminación y manejo de vegetación, la cuarta sección se encuentra en la subcuenca del río Tacubaya por lo que tiene características hidrográficas diferentes respecto a las otras secciones. De igual modo, en el extremo poniente del polígono se encuentra un manantial de agua donde el cauce desciende por la barranca Tacubaya (SEDEMA, 2021).



## JUSTIFICACIÓN

El conocimiento de las interacciones existentes entre la urbanización y la biodiversidad es una de las estrategias más importantes a nivel mundial para proponer acciones que disminuyan o mitiguen el impacto ocasionado por el crecimiento urbano (ONU, 2012). Los grupos conocidos como bioindicadores sirven para determinar la condición de un ambiente antropizado (MacGregor *et al.* 2016) como las mariposas, las aves y los murciélagos (Reyes-Paecke *et al.* 2018). Dentro de ellos, las aves son el grupo taxonómico más estudiado como bioindicador, ya que conforman comunidades complejas a lo largo de las zonas urbanas y son sensibles a cambios en la estructura y composición de sus hábitats (Zuria *et al.* 2019). Sin embargo, también existen especies altamente adaptadas a ambientes antropizados. Por otro lado, el conocimiento del papel bioindicador de los insectos es limitado (Cabrero-Sañudo *et al.* 2022) y su estudio se encuentra en las primeras etapas, por ejemplo, se sabe que las mariposas son un grupo bioindicador del estado de conservación de los ecosistemas y de los cambios de la diversidad de especies que ocurren como consecuencia del cambio de uso de suelo (Blair 1999, 2001; Orta *et al.* 2022).

En trabajos de revisión mencionan que existe un impacto negativo entre la urbanización y la diversidad de mariposas (riqueza y abundancia); además, que la urbanización se encuentra directamente relacionada con la extinción local de las especies (Ramírez-Restrepo *et al.* 2015; Orta *et al.* 2022). Por lo anterior, es necesario conocer y comprender las comunidades de flora y fauna que se desarrollan en la ciudad, con la finalidad de proponer acciones que protejan la biodiversidad local y minimicen la pérdida de los ecosistemas naturales (Cadenasso *et al.* 2008; Leston y Koper, 2017).

Dentro de las ciudades, los parques urbanos juegan un papel importante en la conservación de la biodiversidad. Entre los factores relevantes que condicionan la distribución, abundancia y diversidad de la fauna se encuentran el tamaño y la heterogeneidad del hábitat, la edad del parque y el grado de modificación y perturbación de origen antrópico (De Juana, 2015). Estos espacios verdes ofrecen servicios ambientales, como la purificación del aire y el agua, el amortiguamiento del viento y del ruido o la estabilización del microclima, así como servicios sociales y psicológicos, que son de importancia crucial para la habitabilidad de las ciudades modernas y el bienestar de los habitantes (Chiesura, 2004; Bertram, 2015; WHO, 2016).

Al incluir en este estudio la cuarta sección del Bosque de Chapultepec, se espera una riqueza mayor de Papilionoidea comparada con la lista preliminar existente (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011); sin embargo, debido a factores como el cambio en la composición vegetal, la contaminación por residuos sólidos, asentamientos humanos y el dinamismo ecológico del parque, también es posible esperar un recambio o reducción de la lista preliminar de mariposas.

Este trabajo forma parte de un estudio multitaxonómico en el PBC que incluye el análisis de grupos de vertebrados (anfibios, reptiles y aves) que son sensibles a la perturbación y otros grupos de insectos polinizadores (abejas y moscas). Este estudio contribuirá con una actualización a lista de Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011) incluyendo la cuarta sección, un análisis del recambio de especies en el espacio entre unidades administrativas (secciones), así como un recambio en el tiempo (más de una década) entre las tres primeras secciones del parque y un análisis cuantitativo de los componentes de la diversidad de Papilionoidea en el PBC, el espacio abierto más grande de América Latina, de gran importancia para los humanos y para las especies que lo habitan.

## **OBJETIVOS**

### Objetivo general

Estimar los componentes de la diversidad de Papilionoidea en el PBC y analizar el recambio espacial entre secciones y temporal respecto a la lista de especies de hace 12 años de Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011).

### Objetivos particulares

- Actualizar la lista faunística actual de especies de Papilionoidea del PBC.
- Estimar la riqueza de especies para el PBC y por cada una de las cuatro secciones.
- Estimar el recambio espacial entre secciones.
- Estimar el recambio temporal de tres secciones respecto al trabajo de Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011).
- Distinguir la asociación de las variables de hábitat en diferente escala y las de perturbación con la riqueza y abundancia de la comunidad de mariposas en el PBC.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Zona de estudio

#### *Parque Bosque de Chapultepec*

El Parque Bosque de Chapultepec (PBC) se sitúa al poniente de la Ciudad de México aproximadamente a 5.5 km del centro de esta, dentro de la delegación Miguel Hidalgo (Manzanares, 2015). Se ubica entre los  $99^{\circ}11'30''$  y los  $99^{\circ}15'30''$  de longitud oeste y a  $19^{\circ}25'30''$  con  $19^{\circ}23'30''$  de latitud norte, a una altitud de 2240 msnm (PUEC, 2002).

La superficie correspondiente a tres secciones es de 700 hectáreas aproximadamente: 274 0864 ha de la primera sección, 168 0326 ha de la segunda y 243 8991 ha de la tercera (PUEC, 2002). La cuarta sección abarca una superficie de 100 ha y se encuentra situada dentro de la delegación Álvaro Obregón (Gálvez, 2020), por lo que el bosque extiende su área a aproximadamente 800 ha y con esto se convierte en el parque urbano más grande de Latinoamérica (SEDEMA, 2021).

*Orografía.* El relieve del bosque oscila entre los 2200 y 2400 msnm (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011). En la primera sección, las construcciones como museos, zonas comerciales y el zoológico ocupan una superficie importante y junto con las zonas de recreación y los caminos, sellan el suelo en 45% del área. Esta sección es la más visitada, recibiendo más de 9 millones de personas al año (PUEC, 2002). La segunda sección constituye el área que presenta la mayor superficie sellada (52.5% de su área) debido a las extensiones que ocupan las distintas edificaciones (museos, estacionamientos y caminos). Esta sección recibe alrededor de 4 millones y medio de personas al año (PUEC, 2002). La tercera sección entre caminos en desuso y kioscos abandonados se contabilizan 4.41 hectáreas selladas que pueden recuperarse mediante la eliminación o bien la ruptura de la capa del concreto o cemento. En las tres secciones se encuentran caminos en desuso, abandonados, que están siendo revegetados de manera natural (Cotler *et al.* 2021).

*Hidrología.* Chapultepec presenta tres lagos artificiales, uno en la primera sección y dos en la segunda. Los humedales artificiales que los lagos mantienen presentan una red alimenticia eficiente constituida por cianobacterias, algas, plantas acuáticas y animales como insectos, peces, anfibios,

reptiles y aves (Galindo-Leal, 2021). Los escurrimientos superficiales son muy escasos y se presentan solo en la tercera sección durante la época de lluvias a causa del terreno accidentado, lo que genera el deslave del terreno. Todas las cañadas confluyen en la porción norte del panteón de Dolores, en la subcuenca denominada Dolores-Chapultepec, donde se encuentra una pequeña presa, esta genera un embalse que funge como regulador climático e hidrológico local (PUEC, 2002).

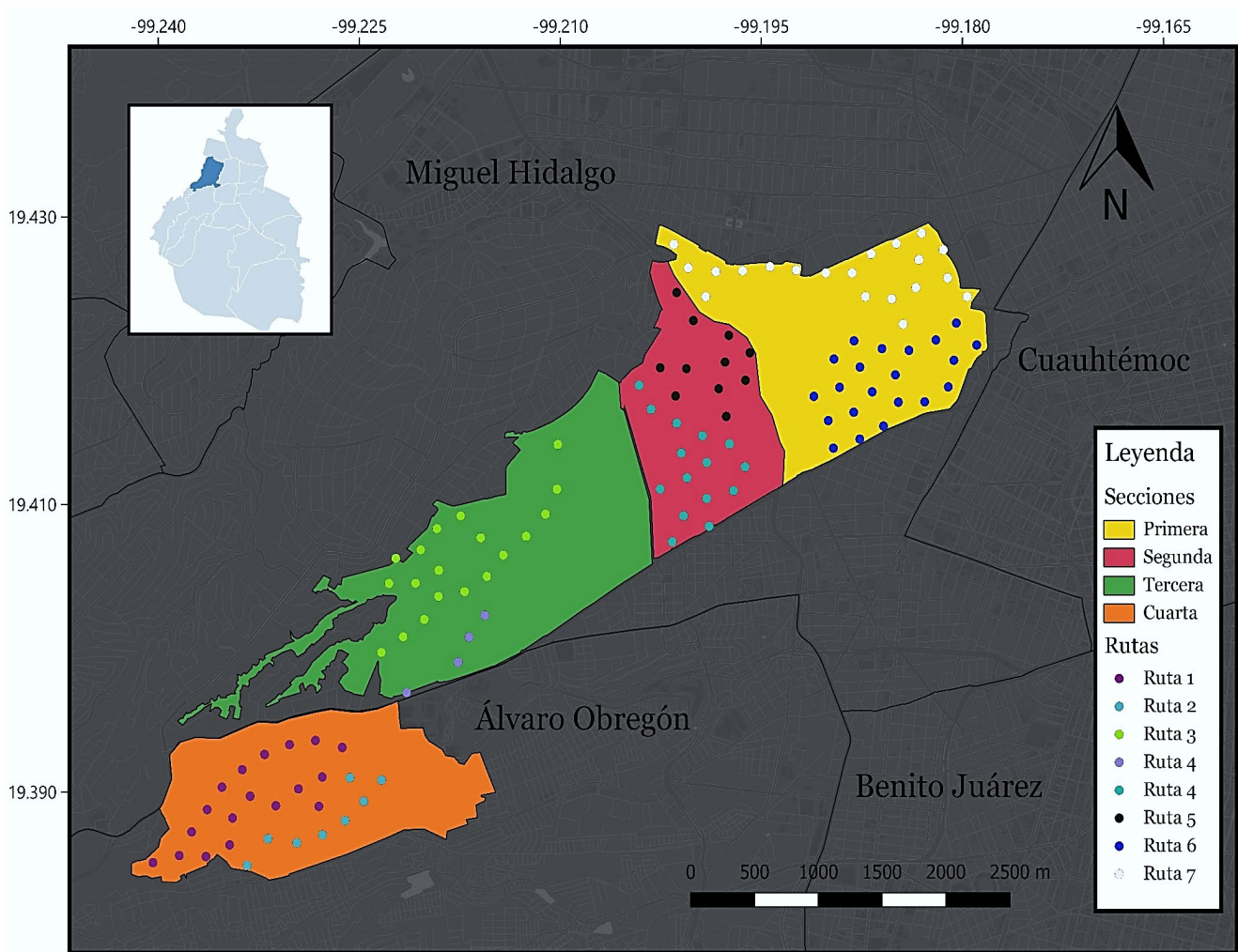
*Clima.* El PBC presenta un clima templado subhúmedo (Cwb). La temperatura promedio es de 15 °C. Mayo es el mes más cálido del año con un promedio de 17.5 °C. Las precipitaciones en promedio son de 1058 mm, donde el mes más seco es diciembre con 17 mm de lluvia y con un promedio de 183 mm; mientras que la mayor precipitación se presenta en septiembre (CLIMATE-DATA, 2021).

*Vegetación.* Cada sección del PBC presenta vegetación y flora características y se pueden encontrar especies nativas e introducidas. En la primera sección un tercio de su superficie corresponde a zonas verdes, el estrato arbóreo se representa por ahuehuetes (*Taxodium mucronatum* Ten.), eucalipto azul australiano (*Eucalyptus globulus* Labill), casuarina (*Casuarina equisetifolia* L.) trueno (*Ligustrum japonicum* Thunb), fresno (*Fraxinus uhdei* Lingelsh), jacaranda (*Jacaranda mimosifolia* Don), cedro blanco (*Cupressus lusitanica* Mill) negundo (*Acer negundo* L.) y algunas especies de encino (*Quercus* spp.) (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011; Galindo-Leal, 2021). En la segunda sección menos de la mitad de su superficie corresponde a zonas verdes, el estrato arbóreo predominantemente son eucaliptos (*Eucalyptus* sp.) y en menor proporción por ejemplares de jacarandas, fresnos, truenos, cedro blanco, palmeras (*Phoenix* sp.) y pirul (*Schinus molle* L.). El estrato arbustivo se encuentra pobremente representado por tepozán (*Buddleia cordata* Kunth) y tabaquillo (*Nicotiana glauca* Graham) (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011; Galindo-Leal, 2021). Finalmente, en la tercera sección más de la mitad de su superficie corresponde a zonas verdes, cuenta con numerosas barrancas con vegetación y cuenta con una gran abundancia de arbustos y hierbas, el estrato arbóreo incluye eucaliptos en una gran extensión, y en menor proporción pirul, fresno, cedro blanco y tejocote (*Crataegus pubescens* Presl). Los estratos herbáceo y arbustivo incluyen tepozán, tabaquillo y algunas cultivadas como bugambilia

(*Bougainvillea* sp.). El estrato herbáceo comprende varias especies de gramíneas como *Agrostis* sp., *Bromus* sp. y *Eragrostis* sp. (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011; Galindo-Leal, 2021).

### Diseño del muestreo y procedimientos en campo

Los muestreos se realizaron a lo largo de un año con salidas semanales de dos a tres días. El esfuerzo de recolecta fue de dos o tres personas para cumplir un total de 90 días efectivos de campo. Se cubrieron cuatro secciones, ocho rutas y 117 puntos: 41 puntos en la primera sección, 27 en la segunda, 23 en la tercera y 26 en la cuarta (Fig. 1 y Fig. 2). Cada punto tuvo al menos seis repeticiones, la mitad en la temporada seca y la otra mitad en la época lluviosa.



**Figura 1.** Distribución de las rutas y puntos de recolecta propuestos para el muestreo de Papilionoidea en las cuatro secciones del Parque Bosque de Chapultepec de la Ciudad de México.



**Figura 2.** Ambientes en las cuatro secciones del Parque Bosque de Chapultepec: a), Primera; b), Segunda; c), Tercera; d), Cuarta.

Se emplearon dos técnicas de recolecta, directa e indirecta. La directa se realizó con redes entomológicas en sitios donde se encuentran los organismos, como caminos, claros de luz, cuerpos de agua, bordes de vegetación, inflorescencias, copas de los árboles, animales en descomposición y materia fecal. La indirecta se realizó con 10 a 20 trampas trampa Van-Someren-Rydon (Rydon, 1964); Estas se colocaron en cada una de las cuatro secciones con fermento de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) y plátano macho (*Musa balbisiana* Colla) maduros y con al menos 50 metros de separación entre ellas y a una altura de al menos 1.5 m, con el fin de atraer a los lepidópteros que son afines al gremio acimófago (Fig. 3).



**Figura 3.** Técnicas de recolecta utilizadas en el muestreo de Papilionoidea en el Parque Bosque de Chapultepec: a), Directo; b), Indirecto.

Los ejemplares recolectados se colocaron en bolsas de papel glassine y en cajas de plástico para su almacenamiento y transporte, y se tomaron los datos de recolecta que incluyeron: lugar, fecha, sección, ruta, punto, hora y método de captura. Se tomó una muestra de los insectos para su identificación taxonómica bajo la Licencia de Colecta Científica por Línea de Investigación para Investigadores y colectores científicos vinculados a instituciones de investigación con Núm. FAUT – 0247 y los ejemplares se depositaron en la Colección del Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM con registro DFE.IN.071.0798.

Por otro lado, se tomaron distintas variables divididas en cuatro grupos: variables del paisaje (circunferencia, densidad, altura, diámetro y estrato arbóreo, cobertura de pavimento, de agua, de herbáceas, de pasto, de construcción y de basura, especies arbóreas dominantes), variables locales (riqueza floral, flor dominante y riqueza de microhábitat, riqueza arbustiva y riqueza de herbácea), variables ambientales (temperatura y humedad) y de perturbación (número de personas, perros, gatos, ardillas y automóviles). Las variables del paisaje se tomaron una sola ocasión en todo el muestreo. Las variables locales se tomaron por temporada y cada vez que variaban por el manejo



del parque; las variables ambientales y de perturbación se tomaron cada día de recolecta. La descripción de cómo se tomó cada una de estas variables y su unidad se presenta en el Apéndice 1. Una sola persona midió las variables para evitar el sesgo de percepción.

## **Trabajo de gabinete**

La determinación taxonómica se realizó con las guías ilustradas de Glassberg (2007) y la de Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011), la lista interactiva de la página Butterflies of America (Warren *et al.* 2013) y por comparación de la colección Lepidopterológica del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias, UNAM. Se construyó una base de datos en Excel con los datos de recolecta para integrar la lista faunística de Papilionoidea en el PBC.

## **Análisis estadísticos**

*Unidades de análisis.* Se ordenó la información en unidades taxonómicas, espaciales y ecológicas. Para las unidades taxonómicas se utilizó la superfamilia y las seis familias. Para las unidades espaciales el PBC y las cuatro secciones. Finalmente, para las unidades ecológicas se utilizaron la temporada seca y lluviosa.

## **Riqueza**

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta su valor de importancia (Moreno, 2001). Debido a que una comunidad generalmente se integra por un gran número de especies con abundancias relativamente bajas, cuando se realiza un muestreo y cada individuo se reconoce taxonómicamente, algunas especies raras en la comunidad pueden no estar representadas en la muestra. Para subsanar este problema se han generado modelos matemáticos que permiten estimar la diversidad total de la comunidad, los cuales se han vuelto de uso común para estimar la riqueza de especies (Moreno, 2001; Espinosa-Escalante, 2003; Chao *et al.* 2009; Beck y Schwanghart, 2010). En este trabajo se utilizó un método no paramétrico (Chao 1), que se calcula con el límite inferior de la riqueza real basado en el número de especies raras en la muestra, representadas por uno o dos individuos (*singletons* y *doubletons*) y así es posible construir un intervalo de confianza donde el límite inferior de la estimación es mayor a la riqueza observada (Moreno, 2001; Chao *et al.* 2010). Esto se realizó con el paquete Spade (Chao y Shen, 2016) del lenguaje de programación R (R Core Team, 2021).

## Diversidad

La diversidad de una comunidad es la relación del número de especies y su representatividad en un área determinada, y se puede medir en función de la dominancia o la equidad de dicha comunidad (Moreno, 2001). Esta medición es necesaria para evaluar cuánto cambia la diversidad entre dos comunidades, diferentes tipos de hábitat, a través de gradientes ambientales naturales o antrópicos, o en distintos momentos en el tiempo (García-Morales, 2011). Su evaluación a lo largo del tiempo informa acerca de cambios en la estructura de la comunidad y como ésta reacciona a perturbaciones en el medio (Moreno, 2001).

*Diversidad alfa.* La gran mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Para diferenciar los distintos métodos en función de las variables biológicas que miden, se pueden dividir en dos grandes grupos: 1) los que cuantifican el número de especies presentes (riqueza específica) y, 2) los que analizan la estructura de la comunidad; es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie, como la abundancia relativa de los individuos, biomasa, cobertura o productividad (Moreno, 2001).

Para determinar la diversidad de especies de las unidades espaciales y ecológicas, se utilizaron números efectivos, mediante la fórmula:

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

Donde:

qD = diversidad verdadera

pi = abundancia relativa (abundancia proporcional) de la iésima especie

S = número de especies q = orden de la diversidad y define la sensibilidad del índice a las abundancias relativas de las especies (Jost, 2006).

Se utilizó la diversidad de orden 1 (<sup>1</sup>D), en la cual todas las especies son consideradas en el valor de diversidad y ponderadas proporcionalmente según su abundancia en la comunidad (Jost,

2006). Debido a que no es posible calcular de forma directa la fórmula de diversidad verdadera con valor  $q=1$ , se obtuvo el exponencial del índice de entropía de Shannon (Jost, 2006). Estas estimaciones se realizaron con el paquete Spade (Chao y Shen, 2016) del lenguaje de programación R (R Core Team, 2021).

$${}^1D = \exp(H') = \exp\left[-\left(\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i\right)\right]$$

*Diversidad beta.* A diferencia de las diversidades alfa y gamma que pueden ser medidas fácilmente en función del número de especies, la medición de la diversidad beta es de una dimensión diferente porque se basa en proporciones o diferencias (Magurran, 1988). Estas proporciones se evalúan con base en índices o coeficientes de similitud, de disimilitud o de distancia entre las muestras a partir de datos cualitativos (presencia-ausencia de especies) o cuantitativos (abundancia proporcional de cada especie medida como número de individuos, biomasa, densidad o cobertura) (Moreno, 2001). Sin embargo, estas diferencias pueden deberse a dos fenómenos importantes de diferenciar: (1) el reemplazamiento entre sitios de unas especies por otras o, (2) la pérdida de especies de los sitios más diversos a los menos diversos. Separar estos dos componentes de la diversidad beta es clave para entender cómo se distribuye la diversidad biológica y evaluar lo diferente que son las comunidades biológicas y las causas de esas diferencias (Baselga y Gómez-Rodríguez, 2019).

El recambio de especies se entiende como el cambio en la composición y estructura de las comunidades de una unidad de muestreo a otra a lo largo de un gradiente espacial, temporal o ambiental (Vellend, 2001; Moreno y Rodríguez, 2010; Anderson *et al.* 2010). Se analizó con un enfoque espacial al comparar las diferentes secciones del parque y con un enfoque temporal al comparar la diversidad en las primeras tres secciones del PBC respecto al estudio realizado hace más de una década por Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011). Se siguió la propuesta de Baselga (2009, 2013), que sugiere utilizar dos tipos de análisis: 1) con abundancia de especies (beta.bray) y 2) con datos de presencia-ausencia de especies (beta.jac); con el paquete betapart (Baselga, 2021) del lenguaje de programación R (R Core Team, 2021).

De igual modo se construyó una matriz de similitud de las cuatro secciones del parque mediante el índice de Bray-Curtis y el dendrograma de similitud mediante un análisis cluster con la técnica ligamiento promedio en el programa BioDiversity Pro 2.0 (McAleece *et al.* 1997).

*Diversidad gamma.* La mayoría de los esfuerzos realizados para medir la biodiversidad en áreas que incluyen más de un tipo de comunidad se limitan a presentar listas de especies de sitios puntuales (diversidad alfa), describiendo la diversidad regional (gamma) únicamente en términos de números de especies, o bien con cualquier otra medida de diversidad alfa (Moreno, 2001). En este estudio se utilizó la fórmula propuesta por Schluter y Ricklefs (1993), con base en los componentes alfa, beta y la dimensión espacial y se expresó la diversidad gamma en número de especies, considerando los elementos biológicos originales establecidos por Whittaker (1972); así, el valor suele aproximarse al número total de especies registradas en todas las comunidades (Moreno, 2001).

### **Análisis de ordenación**

La variación de la riqueza y diversidad de las especies, en especial en aves, ha sido correlacionada con el clima y la heterogeneidad del paisaje, ya que tales factores influyen con diferente magnitud con relación a su escala de análisis (Bühning, 1997; Cueto y Casenave, 1999; Gillespie y Walter, 2001). En este sentido, el clima parece tener gran importancia a nivel macrogeográfico; mientras que regionalmente, la heterogeneidad del paisaje tiene mayor relevancia (Bühning, 1997; Cueto y de Casenave, 1999). Actualmente, los procesos que determinan los patrones de distribución y la abundancia de las especies, así como la riqueza y composición específica pueden describirse e interpretarse más precisamente al tomar en cuenta variables ambientales y de perturbación humana en los ecosistemas (Ferrer-Sánchez, 2015).

En ecología los análisis de ordenación son comúnmente empleados para describir la relación entre los patrones de composición de especies y los gradientes ambientales que los influyen; es decir, permiten establecer los factores que estructuran una comunidad. Los métodos de ordenación son herramientas exploratorias, por lo que hay gran libertad en la manipulación *a posteriori* de los datos; sin embargo, esto es también su mayor desventaja, ya que no permiten la

ejecución de pruebas de hipótesis *sensu stricto*, por lo que las interpretaciones alcanzadas mediante la aplicación de estas técnicas tienen un alto componente de subjetividad (Palmer, 2008).

Con los datos obtenidos en este trabajo se formaron tres grupos nuevos de variables: 1) categóricas, que incluyen las unidades espaciales y las ecológicas; 2) ambientales, con todas las variables tomadas en campo; 3) cuantitativas discretas, incluyen la riqueza y abundancia de Papilionoidea para representarlas en el gráfico y relacionarlas con las variables restantes (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Variables utilizadas para la elaboración del Análisis de Componentes Principales de Papilioinoidea en el Parque Bosque de Chapultepec.

<b>Variable</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Categóricas</b>	
Primera	
Segunda	
Tercera	
Cuarta	
Seca	
Lluviosa	
<b>Ambientales</b>	
Cobertura de herbáceas promedio	CobHerbProm
Riqueza de herbáceas	RiquHerb
Cobertura de flores promedio	CobeFlorProm
Riqueza de flores	RiquFlor
Cobertura de arbustos	CobeArbu
Riqueza de arbustos	RiquArbus
Riqueza arbórea	RiquArbor
Densidad arbórea	DensArbo
Densidad dominante	DensDomi
Circunferencia promedio	CircProm
Diámetro a la altura del pecho promedio	DapProm
Altura de árboles promedio	AltuArboProm
Cobertura de dosel	CobeDose
Cobertura de pasto promedio	CobePastoProm
Cobertura de pavimento promedio	CobePaviProm
Cobertura de suelo promedio	CobeSuelProm
Cobertura de agua promedio	CobeAguaProm

Número de postes	NumPost
Distancia al borde	DistBorde
Cobertura de basura promedio	CobeBasuProm
Cobertura de construcción promedio	CobeConstProm
Riqueza de microhábitats	RiquMicro
Temperatura	Temper
Humedad	
Autos estacionados	AutosEst
Autos en movimiento	AutosMov
Personas	Perso
Perros	
Gatos	
Ardillas	Ardill
<b>Cuantitativas discretas</b>	
Riqueza de Papilionoidea	RiqPap
Abundancia de Papilionoidea	AbunPap

---

El método de ordenación más factible (lineal o unimodal) se evaluó a partir de un Análisis de Correspondencia sin Tendencia (DCA), en el que si se obtiene un valor de longitud de gradiente menor a tres es conveniente realizar un método lineal (ACP); si el valor de longitud se encuentra entre tres y cuatro, ambos modelos funcionan razonablemente bien y se aplicaría el que muestre mayor variación de los datos; finalmente, si el valor es mayor a cuatro, se deben usar métodos unimodales (DCA, CA o CCA).

Una vez obtenido el valor del DCA, se eligió realizar un Análisis de Componentes Principales (ACP). El ACP consiste en construir “componentes principales” mediante una combinación lineal de las variables originales, con el objetivo de identificar patrones. Identificados estos patrones, es posible comprimir la base de datos; es decir, se puede disminuir el número de variables sin pérdida de información sustancial (Smith, 2002).

Debido a que algunas especies toman diferente papel en el funcionamiento de las comunidades y aquellas que son dominantes ejercen mayor influencia sobre la estructura de ésta (Martin-López *et al.* 2007), se realizó: 1) un análisis general que incluyó todas las especies registradas en este estudio. Posterior a eso, una vez identificadas las especies dominantes se realizaron otros dos análisis, uno donde 2) se excluyeron a las especies dominantes del análisis

general y otro en el que 3) se incluyeron solo las especies dominantes. Esto con la finalidad analizar el efecto que pudiera tener la dominancia de algunas especies en la comunidad de mariposas. Dichos resultados y la representación gráfica del análisis general se realizaron mediante el software CANOCO 4.5 (Ter Braak & Šmilauer 2002).



## RESULTADOS

### Lista de especies

Se presenta la lista de especies de Papilionoidea en el PBC con 115 especies en 87 géneros de seis familias de Papilionoidea: Papilionidae, HesperIIDae, Pieridae, Nymphalidae, Lycaenidae y Riodinidae, que representan el 74% de la riqueza reportada para la Ciudad de México. Esta lista integra las observaciones del trabajo de campo y los registros históricos (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011). HesperIIDae y Nymphalidae son las familias con mayor representación de especies (ambas 31%); mientras que la menos representada fue Riodinidae (2%) (Cuadro 2).

Se obtuvieron 26 registros nuevos para el parque, donde el 38% son ninfálicos y el 23% hespéridos. En detalle, Papilionidae (3): *Mimoides aconophos* (Gray, [1853]), *Heraclides rogeri pharnaces* (Doubleday, 1846) y *Pyrrhosticta menatius victorinus* (Doubleday, 1844). HesperIIDae (6): *Polygonus leo arizonensis* (Skinner, 1911), *Cabares potrillo potrillo* (Lucas, 1857), *Heliopyrgus domicella domicella* (Erichson, [1849]), *Piruna mullinsi* H. Freeman, 1991, *Panoquina lucas* (Fabricius, 1793) y *Lerema accius* (J. E. Smith, 1797). Pieridae (4): *Pyrisitia lisa centralis* (Herrich-Schäffer, 1865), *Pyrisitia nise nelphe* (R. Felder, 1869), *Phoebis neocypris virgo* (Butler, 1870) y *Hesperocharis costaricensis pasion* (Reakirt, [1867]). Nymphalidae (10): *Mechanitis polymnia lycidice* H.W. Bates, 1864, *Caligo telamonius memnon* (C. Felder & R. Felder, 1867), *Marpesia petreus* (Cramer, 1776), *Mestra dorcas amymone* (Ménétriés, 1857), *Smyrna blomfieldia datis* Fruhstorfer, 1908, *Chlosyne rosita browni* Bauer, 1961, *Chlosyne theona theona* (Ménétriés, 1855), *Anthanassa ardys ardys* (Hewitson, 1864), *Dryas iulia moderata* (Riley, 1926) y *Heliconius charithonia vazquezae* W.P. Comstock & F.M. Brown, 1950. Lycaenidae (3): *Thereus orasus* (Godman & Salvin, 1887), *Cyanophrys agricolor* (Butler & H. Druce, 1872) y *Electrostrymon guzanta* (Schaus, 1902) (Cuadro 2; estos registros se señalan en la lista con un asterisco).

Se encontraron 23 especies de Papilionoidea en la literatura que no se recolectaron durante el trabajo de campo de este estudio (señaladas con el superíndice  $\Delta$  en la lista); estas son: *Battus polydamas polydamas* (Linnaeus, 1758) (Papilionidae), *Chioides albofasciatus* (Hewitson, 1867), *Urbanus procne* (Plötz, 1881), *Astraptes fulgerator azul* (Reakirt, [1867]), *Thorybes mexicana*

*mexicana* (Herrich-Schäffer, 1869), *Perichares adela* (Hewitson, 1867), *Panoquina ocola ocola* (W. H. Edwards, 1863), *Onespa gala* (Godman, 1900) y *Atrytonopsis deva* (W. H. Edwards, 1877) (Hesperiidae), *Colias eurytheme* Boisduval, 1852 y *Catasticta teutila teutila* (Doubleday, 1847) (Pieridae), *Lycorea halia atergatis* Doubleday, [1847], *Danaus eresimus montezuma* Talbot, 1943, *Eunica monima* (Stoll, 1782), *Diaethria anna anna* (Guérin-Méneville, [1844]), *Polygonia haroldii* (Dewitz, 1877), *Chlosyne janais janais* (Drury, 1782) y *Phyciodes graphica graphica* (R. Felder, 1869) (Nymphalidae), *Ministrymon azia* (Hewitson, 1873), *Brephidium exilis exilis* (Boisduval, 1852) y *Plebejus acmon* (Westwood, [1851]) (Lycaenidae), *Emesis zela zela* (Butler, 1870) y *Calephelis perditalis perditalis* Barnes & McDunnough, 1918 (Riodinidae) (Cuadro 2).

El endemismo de Papilionoidea en el PBC respecto a la Ciudad de México es bajo (39%) y aún menor respecto al del país (3%). Al considerar el endemismo específico se registraron 12 especies (negritas en la lista). Estas se dividieron de acuerdo con su distribución espacial en tres categorías (superíndice en la lista de especies): 1, Endémicas a México; 2, Endémicas a la Faja Volcánica Transmexicana; 3, Endémicas al Valle de México. De las 12 especies, dos pertenecen a Papilionidae: *Mimoides aconophos* y *Pyrrhosticta garamas garamas* (Geyer, [1829]), cuatro a Hesperiidae: *Staphylus tepeca* (E. Bell, 1942), *Piruna mullinsi*, *Onespa gala* y *Paratrytone raspa* (Evans, 1955), dos a Pieridae: *Catasticta nimbice nimbice* (Boisduval, 1836) y *Catasticta teutila teutila*, y cuatro a Nymphalidae: *Gyrocheilus patrobas patrobas* (Hewitson, 1862), *Polygonia haroldii*, *Chlosyne rosita browni* y *Anthanassa ardys ardys* (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Lista de especies de Papilionoidea en el Parque Bosque de Chapultepec. Las especies endémicas se marcan en negritas, los superíndices indican la escala espacial a la que son endémicas: 1, Endémicas a México; 2, Endémicas a la Faja Volcánica Transmexicana; 3, Endémicas al Valle de México. \* Registros nuevos para el parque. Δ Taxones no recolectados en este trabajo, pero reportados el parque históricamente (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011). El arreglo taxonómico de las familias sigue a Espeland *et al.* (2018) y dentro de las familias a Llorente-Busquets *et al.* (2006), Luis-Martínez *et al.* (2021) y Warren *et al.* (2009).

## **PAPILIONIDAE** Latreille, [1802]

### Subfamilia Papilioninae Latreille, [1802]

Tribu Leptocircini W. F. Kirby, 1896

Género *Mimoides* Brown, 1991

1. *Mimoides aconophos* (Gray, [1853])<sup>1,\*</sup>

Tribu Troidini Talbot, 1939

Género *Battus* Scopoli, 1777

2. *Battus philenor philenor* (Linnaeus, 1771)

3. *Battus polydamas polydamas* (Linnaeus, 1758)<sup>Δ</sup>

Tribu Papilionini Latreille, [1802]

Género *Heraclides* Hübner, [1819]

4. *Heraclides rogeri pharnaces* (Doubleday, 1846)<sup>\*</sup>

Género *Papilio* Linnaeus, 1758

5. *Papilio polyxenes asterius* Stoll, 1782

Género *Pterourus* Scopoli, 1777

6. *Pterourus multicaudata multicaudata* (W.F. Kirby, 1884)

Género *Pyrrhosticta* Butler, 1872

7. *Pyrrhosticta garamas garamas* (Geyer, [1829])<sup>1,2</sup>

8. *Pyrrhosticta menatius victorinus* (Doubleday, 1844)<sup>\*</sup>

**HESPERIIDAE** Latreille, 1809

Subfamilia Eudaminae Mabille, 1877

Género *Polygonus* Hübner, 1825

9. *Polygonus leo arizonensis* (Skinner, 1911)<sup>\*</sup>

Género *Chioides* Lindsey, 1921

10. *Chioides albofasciatus* (Hewitson, 1867)<sup>Δ</sup>

Género *Urbanus* Hübner, 1807

11. *Urbanus proteus proteus* (Linnaeus, 1758)

12. *Urbanus dorantes dorantes* (Stoll, 1790)

13. *Urbanus procne* (Plötz, 1881)<sup>Δ</sup>

Género *Astrartes* Hübner, [1819]

14. *Astrartes fulgurator azul* (Reakirt, [1867])<sup>Δ</sup>

Género *Autochton* Hübner, 1823

15. *Autochton cellus* (Boisduval & Le Conte, [1837])

Género *Thorybes* Scudder, 1872

16. *Thorybes mexicana mexicana* (Herrich-Schäffer, 1869)<sup>Δ</sup>

Género *Cabares* Godman & Salvin, 1894

17. *Cabares potrillo potrillo* (Lucas, 1857)<sup>\*</sup>

Subfamilia Pyrginae Burmeister, 1878

Tribu Pyrrhopygini Mabille, 1877

Género *Apyrrothrix* Lindsey, 1921

18. *Apyrrothrix araxes araxes* (Hewitson, 1867)

Tribu Carcharodini Verity, 1940

Género *Staphylus* Godman & Salvin, 1896

19. *Staphylus tepeca* (Bell, 1942)<sup>1,2,3</sup>

Tribu Erynnini Brues & Carpenter, 1932

Género *Chiomara* Godman & Salvin, 1899

20. *Chiomara georgina georgina* (Reakirt, 1868)

Género *Erynnis* Schrank, 1801

21. *Erynnis tristis tatus* (Edwards, 1883)

Tribu Achlyodidini Burmeister, 1878

Género *Achlyodes* Hübner, 1819

22. *Achlyodes pallida* (R. Felder, 1869)

Tribu Pyrgini Burmeister, 1878

Género *Pyrgus* Hübner, 1819

23. *Pyrgus communis communis* (Grote, 1872)

Género *Heliopyrgus* Herrera, 1957

24. *Heliopyrgus domicella domicella* (Erichson, [1849]) \*

Subfamilia Heteropterinae Aurivillius, 1925 (1879)

Género *Piruna* Evans, 1955

25. ***Piruna mullinsi*** Freeman, 1991 <sup>1, \*</sup>

26. *Piruna polingii* (Barnes, 1900)

Subfamilia Hesperinae Latreille, 1809

Género *Perichares* Scudder, 1872

27. *Perichares adela* (Hewitson, 1867) <sup>Δ</sup>

Tribu Thymelicini Tutt, 1905

Género *Ancyloxypha* Felder, [1863]

28. *Ancyloxypha arene* (Edwards, 1871)

Género *Copaeodes* Speyer, 1877

29. *Copaeodes minima* (Edwards, 1870)

Tribu Calpodini Clark, 1948

Género *Calpodes* Hübner, [1819]

30. *Calpodes ethlius* (Stoll, 1782)

Género *Panoquina* F. Hemming, 1934

31. *Panoquina ocola ocola* (Edwards, 1863) <sup>Δ</sup>

32. *Panoquina lucas* (Fabricius, 1793) \*

Tribu Moncini A. Warren, 2008

Género *Amblyscirtes* Scudder, 1872

33. *Amblyscirtes fimbriata fimbriata* (Plötz, 1882)

Género *Lerema* Scudder, 1872

34. *Lerema accius* (J. E. Smith, 1797) \*

Tribu Hesperini Latreille, 1809

Género *Hylephila* Billberg, 1820

35. *Hylephila phyleus phyleus* (Drury, 1773)

Género *Atalopedes* Scudder, 1872

36. *Atalopedes campestris huron* (Edwards, 1863)

Género *Poanes* Scudder, 1872

37. *Poanes melane vitellina* (Herrich-Schäffer, 1869)

38. *Poanes taxiles* (Edwards, 1881)

Género *Onespa* Steinhauser, 1974

39. ***Onespa gala*** (Godman, 1900) <sup>1,Δ</sup>

Genéro *Paratrytone* Godman, 1900

40. ***Paratrytone raspa*** (Evans, 1955) <sup>1</sup>

Género *Librita* Evans, 1955

41. *Librita librita* (Plötz, 1886)

Género *Atrytonopsis* F. Godman, 1900

42. *Atrytonopsis deva* (Edwards, 1877) <sup>Δ</sup>

Género *Thespieus* Godman, 1900

43. *Thespieus macareus* (Herrich-Schäffer, 1869)

## **PIERIDAE** Swainson, 1820

Subfamilia Coliadae Swainson, 1821

Género *Colias* Fabricius, 1807

44. *Colias eurytheme* Boisduval, 1852 <sup>Δ</sup>

Género *Eurema* Hübner, [1819]

45. *Eurema दौरα* (Wallengren, 1860)

46. *Eurema mexicana mexicana* (Boisduval, 1836)

47. *Eurema salome jamapa* (Reakirt, 1866)

Género *Pyrisitia* Butler, 1870

48. *Pyrisitia lisa centralis* (Herrich-Schäffer, 1865) <sup>\*</sup>

49. *Pyrisitia nise nelphe* (R. Felder, 1869) <sup>\*</sup>

50. *Pyrisitia proterpia* (Fabricius, 1775)

Género *Abaeis* Hübner, [1819]

51. *Abaeis nicippe* (Cramer, 1779)

Género *Nathalis* Boisduval, 1836

52. *Nathalis iole* Boisduval, 1836

Género *Zerene* Hübner, [1819]

53. *Zerene cesonia cesonia* (Stoll, 1790)

Género *Anteos* Hübner, [1819]

54. *Anteos clorinde* (Godart, [1824])

55. *Anteos maerula* (Fabricius, 1775)

Género *Phoebis* Hübner, [1819]

56. *Phoebis agarithe agarithe* (Boisduval, 1836)

57. *Phoebis neocypris virgo* (Butler, 1870) \*

58. *Phoebis philea philea* (Linnaeus, 1763)

59. *Phoebis sennae marcellina* (Cramer, 1777)

Subfamilia Pierinae Swainson, 1820

Tribu Anthocharidini Scudder, 1889

Género *Hesperocharis* C. Felder, 1862

60. *Hesperocharis costaricensis pasion* (Reakirt, [1867]) \*

Tribu Pierini Swainson, 1820

Género *Glutophrissa* Butler, 1887

61. *Glutophrissa drusilla tenuis* (Lamas, 1981)

Género *Leptophobia* Butler, 1870

62. *Leptophobia aripa elodia* (Boisduval, 1836)

Género *Pontia* Fabricius, 1807

63. *Pontia protodice* (Boisduval & LeConte, [1830])

Género *Catasticta* Butler, 1870

64. *Catasticta nimbice nimbice* (Boisduval, 1836) <sup>1</sup>

65. *Catasticta teutila teutila* (Doubleday, 1847) <sup>1,2,Δ</sup>



**NYMPHALIDAE** Rafinesque, 1815

Subfamilia Danainae Boisduval, 1833

Género *Lycorea* Doubleday, [1847]

66. *Lycorea halia atergatis* Doubleday, [1847] <sup>Δ</sup>

Tribu Danaini Boisduval, 1833

Género *Danaus* Kluk, 1780

67. *Danaus eresimus montezuma* Talbot, 1943 <sup>Δ</sup>

68. *Danaus gilippus thersippus* (Bates, 1863)

69. *Danaus plexippus plexippus* (Linnaeus, 1758)

Subfamilia Ithomiinae Godman & Salvin, 1879

Tribu Mechanitini Bar, 1878

Género *Mechanitis* Fabricius, 1807

70. *Mechanitis polymnia lycidice* Bates, 1864 <sup>\*</sup>

Subfamilia Charaxinae Guenée, 1865

Tribu Anaeini Reuter, 1896

Género *Anaea* Hübner, [1819]

71. *Anaea troglodyta aidea* (Guérin-Méneville, [1844])

Tribu Brassolini Boisduval, 1836

Género *Caligo* Hübner, [1819]

72. *Caligo telamonius memnon* (C. Felder & R. Felder, 1867) <sup>\*</sup>

Subfamilia Satyrinae Boisduval, 1833

Tribu Satyrini Boisduval, 1833

Género *Gyrocheilus* A. Butler, 1867

73. *Gyrocheilus patrobas patrobas* (Hewitson, 1862)<sup>1</sup>

Subfamilia Biblidinae Boisduval, 1833

Tribu Cyrestini Guenée, 1865

Género *Marpesia* Hübner, 1818

74. *Marpesia chiron marius* (Cramer, 1779)

75. *Marpesia petreus* (Cramer, 1776)<sup>\*</sup>

Tribu Biblidini Boisduval, 1833

Género *Mestra* Hübner, [1825]

76. *Mestra dorcas amymone* (Ménétriés, 1857)<sup>\*</sup>

Género *Eunica* Hübner, [1819]

77. *Eunica monima* (Stoll, 1782)<sup>Δ</sup>

Género *Diaethria* Billberg, 1820

78. *Diaethria anna anna* (Guérin-Méneville, [1844])<sup>Δ</sup>

Subfamilia Nymphalinae Rafinesque, 1815

Tribu Nymphalini Rafinesque, 1815

Género *Smyrna* Hübner, [1823]

79. *Smyrna blomfildia datis* Fruhstorfer, 1908<sup>\*</sup>

Género *Nymphalis* Kluk, 1780

80. *Nymphalis antiopa antiopa* (Linnaeus, 1758)

Género *Polygonia* J. Hübner, [1819]

81. *Polygonia haroldii* (Dewitz, 1877)<sup>1,2,Δ</sup>

Género *Vanessa* Fabricius, 1807

82. *Vanessa annabella* (Field, 1971)

83. *Vanessa atalanta rubria* (Fruhstorfer, 1909)

84. *Vanessa cardui* (Linnaeus, 1758)

85. *Vanessa virginiensis* (Drury, 1773)

Tribu Victorinini Scudder, 1893

Género *Siproeta* Hübner, [1823]

86. *Siproeta stelenes biplagiata* (Fruhstorfer, 1907)

Tribu Junoniini Reuter, 1896

Género *Junonia* Hübner, [1819]

87. *Junonia coenia* Hübner, [1822]

Tribu Melitaeini Herrich-Schäffer, 1843

Género *Chlosyne* Butler, 1870

88. *Chlosyne ehrenbergii* (Geyer, [1833])

89. *Chlosyne janais janais* (Drury, 1782) <sup>Δ</sup>

90. *Chlosyne lacinia lacinia* (Geyer, 1837)

91. ***Chlosyne rosita browni*** Bauer, 1961 <sup>1, \*</sup>

92. *Chlosyne theona theona* (Ménétriés, 1855) <sup>\*</sup>

Género *Phyciodes* Hübner, [1819]

93. *Phyciodes graphica graphica* (R. Felder, 1869) <sup>Δ</sup>

Género *Anthanassa* Scudder, 1875

94. ***Anthanassa ardys ardys*** (Hewitson, 1864) <sup>1, \*</sup>

95. *Anthanassa texana texana* (Edwards, 1863)

Subfamilia Heliconiinae Swainson, 1822

Tribu Heliconiini Swainson, 1822

Género *Agraulis* Boisduval & Le Conte, [1835]

96. *Agraulis vanillae incarnata* (Riley, 1926)

Género *Dione* Hübner, [1819]

97. *Dione junonia huascuma* (Reakirt, 1866)

98. *Dione moneta poeyii* Butler, 1873

Género *Dryas* Hübner, [1807]

99. *Dryas iulia moderata* (Riley, 1926) \*

Género *Heliconius* Kluk, 1780

100. *Heliconius charithonia vazquezae* P. Comstock & M. Brown, 1950 \*

Tribu Argynnini Swainson, 1833

Género *Euptoieta* Doubleday, [1848]

101. *Euptoieta hegesia meridiania* Stichel, 1938

## **LYCAENIDAE [LEACH], [1815]**

Subfamilia Theclinae Swainson, 1831

Tribu Eumaeini Doubleday, 1847

Género *Thereus* Hübner, [1819]

102. *Thereus orasus* (Godman & Salvin, 1887) \*

Género *Cyanophrys* Clench, 1961

103. *Cyanophrys agricolor* (Butler & H. Druce, 1872) \*

Género *Callophrys* Billberg, 1820

104. *Callophrys xami* (Reakirt, [1867])

Género *Electrostrymon* Clench, 1961

105. *Electrostrymon guzanta* (Schaus, 1902) \*

Género *Ministrymon* Clench, 1961

106. *Ministrymon azia* (Hewitson, 1873) <sup>Δ</sup>

Subfamilia Polyommatae Swainson, 1827

Género *Leptotes* Scudder, 1876

107. *Leptotes marina* (Reakirt, 1868)

Género *Zizula* Chapman, 1910

108. *Zizula cyna* (Edwards, 1881)

Género *Brephidium* Scudder, 1876

109. *Brephidium exilis exilis* (Boisduval, 1852) <sup>Δ</sup>

Género *Cupido* Schrank, 1801

110. *Cupido comyntas texana* F. Chermock, 1944

Género *Celastrina* Tutt, 1906

111. *Celastrina argiolus gozora* (Boisduval, 1870)

Género *Echinargus* Hübner, 1818

112. *Echinargus isola* (Reakirt, [1867])

Género *Plebejus* Kluk, 1780

113. *Plebejus acmon* (Westwood, [1851]) <sup>Δ</sup>

**RIODINIDAE** Grote, 1895

Subfamilia Riodininae Grote, 1895

Tribu Emesidini Seraphim, Freitas & Kaminski, 2018

Género *Emesis* Fabricius, 1807

114. *Emesis zela zela* Butler, 1870 <sup>Δ</sup>

Tribu Riodinini Grote, 1895

Género *Calephelis* Grote & Robinson, 1869

115. *Calephelis perditalis perditalis* Barnes & McDunnough, 1918 <sup>Δ</sup>

## Distribución y exclusividad de Papilionoidea por sección y familia

Con las observaciones del trabajo de campo y los registros históricos se obtuvieron 35 taxones exclusivos en las cuatro secciones del parque; de los cuales 18 se encontraron en la primera sección, siete en la segunda, seis en la tercera y cuatro en la cuarta. Las familias con más taxones exclusivos fueron Nymphalidae (15) y Hesperidae (9), seguidas por Papilionidae y Lycaenidae (4) cada una y la familia con menor cantidad fue Pieridae (3). Por otro lado, se consideraron taxones de amplia distribución (36) aquellos que se encontraron en las cuatro secciones del parque y durante el año del muestreo, esto tomando en cuenta la escala espacial y temporal. Las familias con más taxones de distribución amplia fueron Pieridae (11) y Nymphalidae (10), seguidas por Hesperidae (8) y Lycaenidae (4) y la familia con menor cantidad fue Papilionidae (3) (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Distribución y exclusividad de Papilionoidea en cuatro secciones del Parque Bosque de Chapultepec. Se incluyen taxones de la lista previa (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011) y los registrados en este trabajo. Las especies exclusivas se marcan subrayadas, los superíndices indican la sección a la cuál es exclusiva: 1, Primera; 2, Segunda; 3, Tercera; 4, Cuarta.

TAXÓN	P	S	T	C
<b>Papilionidae</b>				
<u>Mimoides aconophos</u> <sup>1</sup>	×			
<u>Battus philenor philenor</u>	×	×	×	
<u>Battus polydamas polydamas</u> <sup>1</sup>	×			
<u>Heraclides rogeri pharnaces</u> <sup>1</sup>	×			
<u>Papilio polyxenes asterius</u>	×	×	×	×
<u>Pterourus multicaudata multicaudata</u>	×	×	×	×
<u>Pyrrhosticta garamas garamas</u>	×	×	×	×
<u>Pyrrhosticta menatius victorinus</u> <sup>4</sup>				×
<b>Hesperidae</b>				
<u>Polygonus leo arizonensis</u>	×			×
<u>Chionides albofasciatus</u>	×	×		
<u>Urbanus proteus proteus</u>	×	×	×	
<u>Urbanus dorantes dorantes</u>	×	×	×	×
<u>Urbanus procne</u>	×		×	×
<u>Astraptes fulgerator azul</u> <sup>1</sup>	×			

<i>Autochton cellus</i>			×	×
<i>Thorybes mexicana mexicana</i>		×	×	
<u><i>Cabares potrillo potrillo</i></u> <sup>2</sup>		×		
<u><i>Apyrrothrix araxes araxes</i></u>	×		×	
<i>Staphylus tepeca</i>	×	×	×	×
<u><i>Chiomara georgina georgina</i></u>	×	×		
<i>Erynnis tristis tatus</i>	×	×		×
<i>Achlyodes pallida</i>	×	×	×	×
<i>Pyrgus communis communis</i>	×	×	×	
<u><i>Heliopyrgus domicella domicella</i></u> <sup>1</sup>	×			
<u><i>Piruna mullinsi</i></u> <sup>1</sup>	×			
<u><i>Piruna polingii</i></u>			×	×
<u><i>Perichares adela</i></u> <sup>1</sup>	×			
<i>Ancyloxypha arene</i>	×	×	×	×
<i>Copaeodes minima</i>	×	×	×	×
<u><i>Calpodes ethlius</i></u>	×	×		
<i>Panoquina ocola ocola</i>	×	×		
<u><i>Panoquina lucas</i></u> <sup>4</sup>				×
<u><i>Amblyscirtes fimbriata fimbriata</i></u>	×	×	×	
<i>Lerema accius</i>			×	×
<i>Hylephila phyleus phyleus</i>	×	×	×	×
<i>Atalopedes campestris huron</i>	×	×	×	×
<i>Poanes melane vitellina</i>	×	×	×	×
<i>Poanes taxiles</i>	×		×	
<u><i>Onespa gala</i></u> <sup>3</sup>			×	
<u><i>Paratrytone raspa</i></u>			×	×
<u><i>Librita librita</i></u> <sup>3</sup>			×	
<u><i>Atrytonopsis deva</i></u> <sup>3</sup>			×	
<i>Thespieus macareus</i>	×	×		×
<b>Pieridae</b>				
<i>Colias eurytheme</i>	×	×	×	
<i>Eurema दौरा</i>	×	×	×	
<i>Eurema mexicana mexicana</i>	×	×	×	×
<i>Eurema salome jamapa</i>	×	×	×	×
<u><i>Pyrisitia lisa centralis</i></u> <sup>2</sup>		×		
<i>Pyrisitia nise nelphe</i>	×	×		
<i>Pyrisitia proterpia</i>	×	×	×	×
<i>Abaeis nicippe</i>	×	×	×	×



<i>Nathalis iole</i>	×	×	×	×
<i>Zerene cesonia cesonia</i>	×	×	×	×
<i>Anteos clorinde</i>	×	×	×	×
<i>Anteos maerula</i>	×	×		×
<i>Phoebis agarithe agarithe</i>	×	×	×	
<u><i>Phoebis neocypris virgo</i></u> <sup>4</sup>				×
<i>Phoebis philea philea</i>	×	×	×	×
<i>Phoebis sennae marcellina</i>	×	×	×	×
<i>Hesperocharis costaricensis pasion</i>	×	×	×	
<u><i>Glutophrissa drusilla tenuis</i></u> <sup>1</sup>	×			
<i>Leptophobia aripa elodia</i>	×	×	×	×
<i>Pontia protodice</i>	×	×	×	×
<i>Catasticta nimbice nimbice</i>	×	×		×
<i>Catasticta teutila teutila</i>	×	×		
<b>Nymphalidae</b>				
<u><i>Lycorea halia atergatis</i></u> <sup>2</sup>		×		
<u><i>Danaus eresimus montezuma</i></u> <sup>2</sup>		×		
<i>Danaus gilippus thersippus</i>	×	×	×	
<i>Danaus plexippus plexippus</i>	×	×	×	×
<u><i>Mechanitis polymnia lycidice</i></u> <sup>1</sup>	×			
<i>Anaea troglodyta aidea</i>	×	×		×
<u><i>Caligo telamonius memnon</i></u> <sup>1</sup>	×			
<u><i>Gyrocheilus patrobas patrobas</i></u> <sup>3</sup>			×	
<u><i>Marpesia chiron marius</i></u>	×	×		
<u><i>Marpesia petreus</i></u> <sup>3</sup>			×	
<u><i>Mestra dorcas amymone</i></u> <sup>2</sup>		×		
<i>Eunica monima</i>	×	×	×	
<u><i>Diaethria anna anna</i></u> <sup>2</sup>		×		
<u><i>Smyrna blomfieldia datis</i></u> <sup>1</sup>	×			
<i>Nymphalis antiopa antiopa</i>	×	×	×	×
<i>Polygonia haroldii</i>	×	×		
<i>Vanessa annabella</i>	×	×	×	×
<i>Vanessa atalanta rubria</i>	×	×	×	×
<u><i>Vanessa cardui</i></u>	×	×	×	×
<i>Vanessa virginiensis</i>	×	×	×	×
<u><i>Siproeta stelenes biplagiata</i></u>	×		×	
<u><i>Junonia coenia</i></u>	×	×		
<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	×	×	×	×
<u><i>Chlosyne janais janais</i></u> <sup>1</sup>	×			

<i>Chlosyne lacinia lacinia</i>	×	×	×	
<i>Chlosyne rosita browni</i> <sup>4</sup>				×
<i>Chlosyne theona theona</i> <sup>1</sup>	×			
<i>Phyciodes graphica graphica</i> <sup>3</sup>			×	
<i>Anthanassa ardys ardys</i>			×	×
<i>Anthanassa texana texana</i>	×	×	×	×
<i>Agraulis vanillae incarnata</i>	×	×	×	
<i>Dione juno huascuma</i>	×	×	×	×
<i>Dione moneta poeyii</i>	×	×	×	×
<i>Dryas iulia moderata</i> <sup>1</sup>	×			
<i>Heliconius charithonia vazquezae</i> <sup>1</sup>	×			
<i>Euptoieta hegesia meridiania</i>	×		×	×
<b>Lycaenidae</b>				
<i>Thereus orasus</i>	×	×		
<i>Cyanophrys agricolor</i> <sup>1</sup>	×			
<i>Callophrys xami</i>	×	×	×	
<i>Electrostrymon guzanta</i>	×	×	×	×
<i>Ministrymon azia</i> <sup>1</sup>	×			
<i>Leptotes marina</i>	×	×	×	×
<i>Zizula cyna</i>	×	×	×	
<i>Brephidium exilis exilis</i> <sup>1</sup>	×			
<i>Cupido comyntas texana</i> <sup>2</sup>		×		
<i>Celastrina argiolus gozora</i>	×	×	×	×
<i>Echinargus isola</i>	×	×	×	×
<i>Plebejus acmon</i>	×	×		
<b>Riodinidae</b>				
<i>Emesis zela zela</i>	×	×	×	
<i>Calephelis perditalis perditalis</i>	×	×		
<b>Total de taxones exclusivos</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>4</b>

## Riqueza

*Unidades taxonómicas.* De acuerdo con los datos recopilados en campo, Papilionoidea presentó 92 especies y 2076 individuos recolectados, donde la riqueza estimada de 108 especies indica que faltan 16 especies por registrar para completar la lista. Cinco de las seis unidades taxonómicas (exceptuando Riodinidae) tuvieron un porcentaje alto de completitud ( $> 80\%$ ). La familia más rica es Nymphalidae con 29 especies (31%); mientras que Papilionidae presenta la menor riqueza con siete especies (8%). Hesperidae, Pieridae y Lycaenidae se encuentran por debajo del 30% de la riqueza específica del PBC. Por otro lado, Pieridae presentó la mayor abundancia con 818 individuos (40%); mientras que Papilionidae solo contó con 128 individuos (6%). Hesperidae, Lycaenidae y Nymphalidae se encuentran por debajo del 24% de la abundancia total (Cuadro 4; Fig. 4).

*Unidades espaciales.* De acuerdo con la riqueza estimada (108 taxones), el PBC tiene una completitud del 85%, lo que se considera un buen nivel de la fauna de mariposas. La sección más rica es la primera con 67 especies observadas, le sigue la tercera y la cuarta con 52 cada una y la segunda con 41. La sección más abundante es la cuarta con 741 individuos (36%), seguida de la primera y tercera con 593 y 437 individuos respectivamente (29% y 20%); por último, la segunda sección también fue la menos abundante con 305 individuos recolectados (15%). Las cuatro secciones presentan un porcentaje bajo de completitud ( $< 80\%$ ) (Cuadro 4; Fig. 4).

*Unidades ecológicas.* La temporada seca registró 52 especies observadas y 951 individuos (46%), cuya riqueza estimada fue de 72 especies, por lo que su completitud fue del 72%. En contraste, la temporada lluviosa con 80 especies observadas y 1125 individuos (54%) presentó un porcentaje de completitud aceptable del 83%, ya que la riqueza estimada fue de 96 especies (Cuadro 4; Fig. 4).

**Cuadro 4.** Valores de abundancia y riqueza para cada unidad taxonómica, espacial y ecológica de análisis. Se muestran las estimaciones de Chao 1 con límites del intervalo de confianza del 95% y la completitud del muestreo. Dentro de las unidades taxonómicas no se muestra la familia Riodinidae, ya que no se recolectó ningún organismo del grupo durante este estudio.

Unidades	Abundancia	Riq. Obs.	Riq. Est.	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Completitud
<b>Taxonómicas</b>						
Papilionoidea	2076	92	108	98.7	134.3	85%

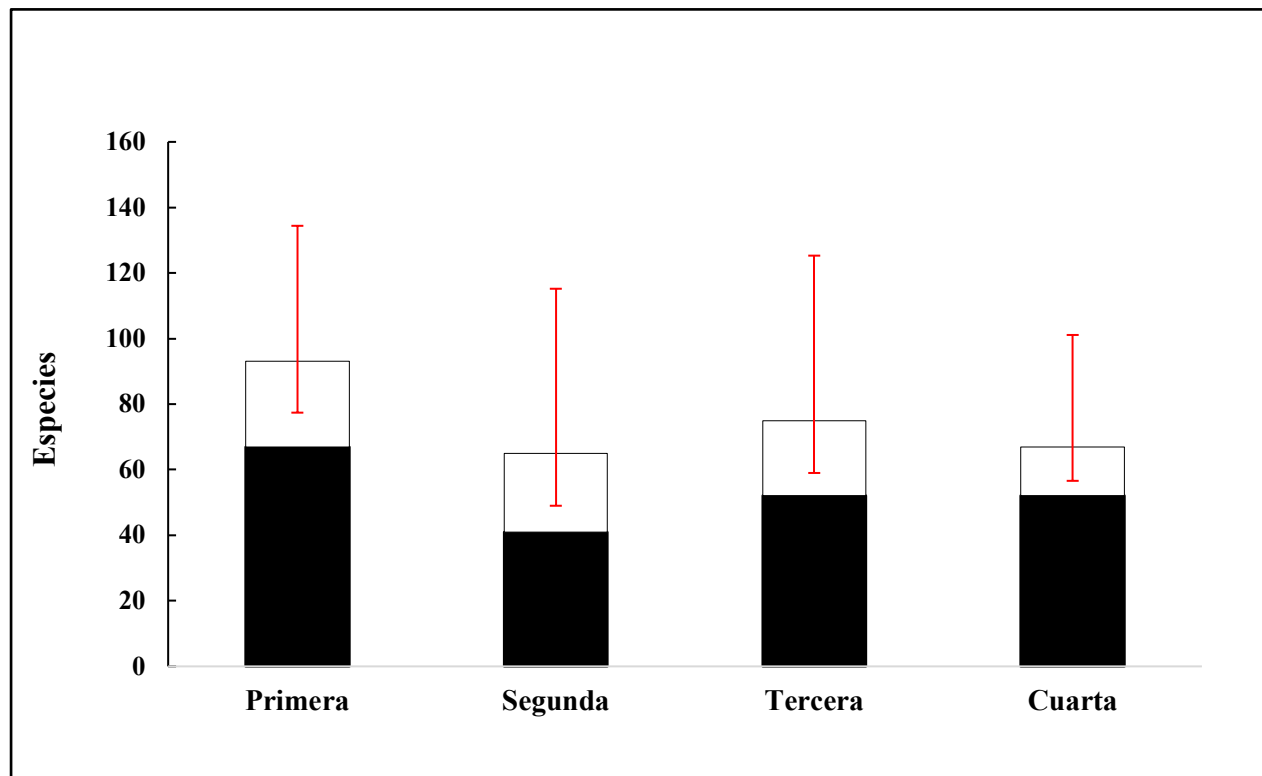
Papilionidae	128	7	8	7	15.2	88%
Hesperiidae	443	27	32	28.7	45.5	84%
Pieridae	818	20	20	20	24.1	100%
Nymphalidae	500	29	36	30.6	61.3	81%
Lycaenidae	187	9	11	9.1	24	82%

**Espaciales**

PBC	2076	92	108	98.7	134.3	85%
Primera	593	67	93	77.4	134.4	72%
Segunda	305	41	65	49	115.2	63%
Tercera	437	52	75	59	125.3	69%
Cuarta	741	52	67	56.6	101.1	78%

**Ecológicas**

Seca	951	52	72	59.1	112.4	72%
Lluviosa	1125	80	96	86.2	123.9	83%



**Figura 4.** Riqueza observada (negro) y estimada (blanco) de Papilionoidea en las cuatro secciones del Parque Bosque de Chapultepec. Se muestran los límites del intervalo de confianza al 95%.

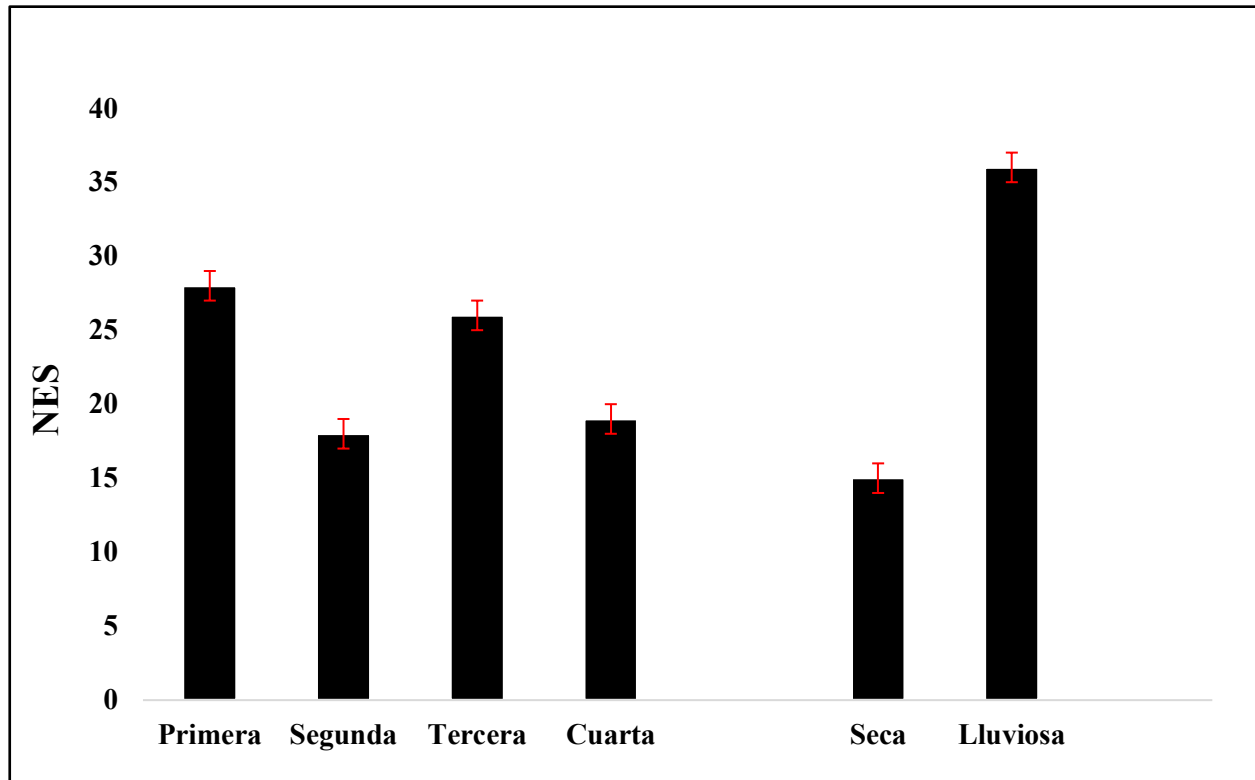
## Diversidad alfa

*Unidades espaciales.* La diversidad de Papilionoidea en el PBC es de 29 expresado en número efectivo de especies. La sección más diversa es la primera con 28 especies efectivas; cabe destacar que esta sección presenta solo una especie efectiva menos que el parque en su totalidad (29); le sigue la tercera sección con 26 especies efectivas, la cuarta con 19 y la menos diversa es la segunda con 18 (Cuadro 5; Fig. 5).

*Unidades ecológicas.* La diversidad de Papilionoidea en temporada lluviosa (36 especies efectivas) representa más del doble de la obtenida en la temporada seca (15) (Cuadro 5; Fig. 5).

**Cuadro 5.** Valores de diversidad expresada en número efectivo de especies para las unidades espaciales y ecológicas de análisis. Se muestran los límites del intervalo de confianza del 95%.

<b>Unidades</b>	<b>Diversidad (NES)</b>	<b>Lim Inf.</b>	<b>Lim Sup.</b>	<b>Error -</b>	<b>Error +</b>
<b>Espaciales</b>					
PBC	29	26.9	30.4	2.1	1.4
Primera	28	25	31.7	3	3.7
Segunda	18	14	21.3	4	3.3
Tercera	26	22.6	29.1	3.4	3.1
Cuarta	19	17.4	21.2	1.6	2.2
<b>Ecológicas</b>					
Seca	15	13.9	16.7	1.1	1.7
Lluviosa	36	32.9	38.3	3.1	2.3



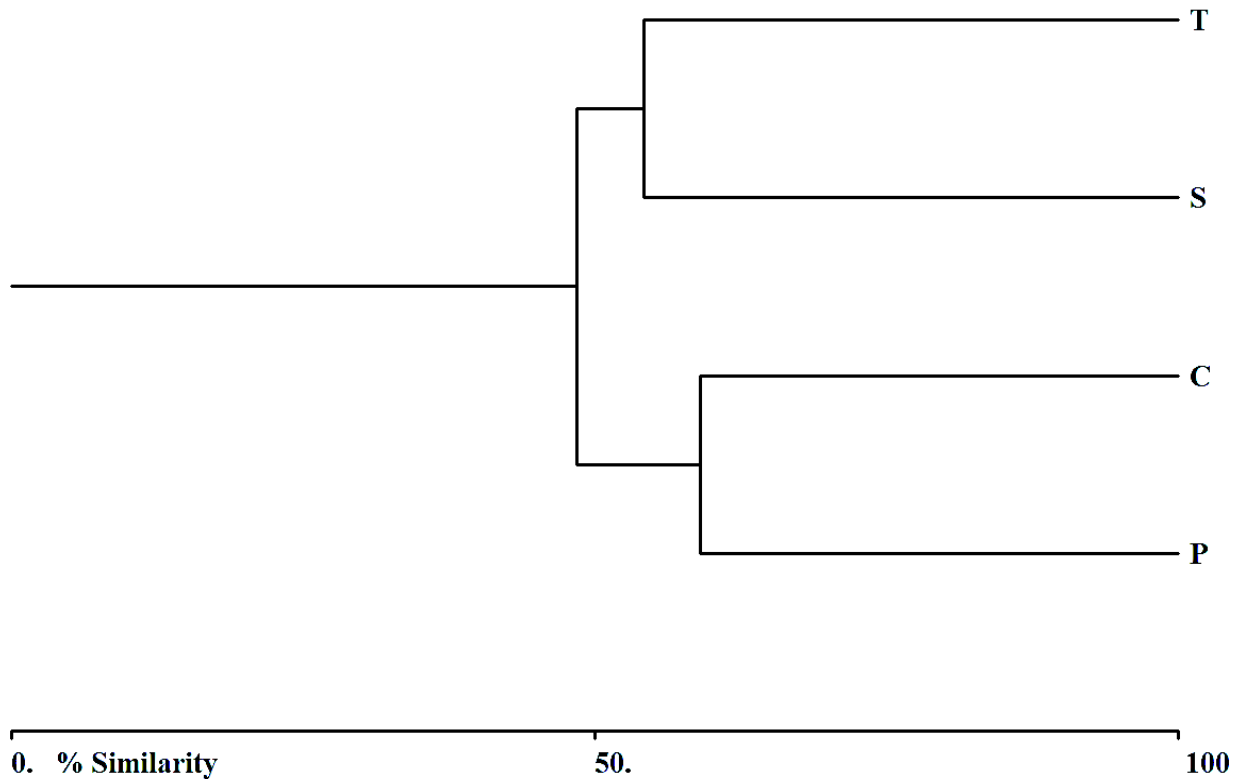
**Figura 5.** Diversidad de Papilionoidea por unidades espaciales (secciones) y ecológicas (temporadas) en el Parque Bosque de Chapultepec. Se muestran los límites del intervalo de confianza al 95%.

### Diversidad beta

A partir de los datos de abundancia de este estudio, los valores de similitud de Bray-Curtis indican que las secciones se dividen en dos grupos, por un lado, las más similares son la cuarta y la primera con el 59% de similitud; mientras que la tercera y la segunda sección se agruparon con el 54% (Cuadro 6; Fig. 6).

**Cuadro 6.** Valores de diversidad beta espacial por pares entendida como similitud de las cuatro secciones del Parque Bosque de Chapultepec.

	Primera	Segunda	Tercera
Segunda	0.51		
Tercera	0.47	<b>0.54</b>	
Cuarta	<b>0.59</b>	0.45	0.5



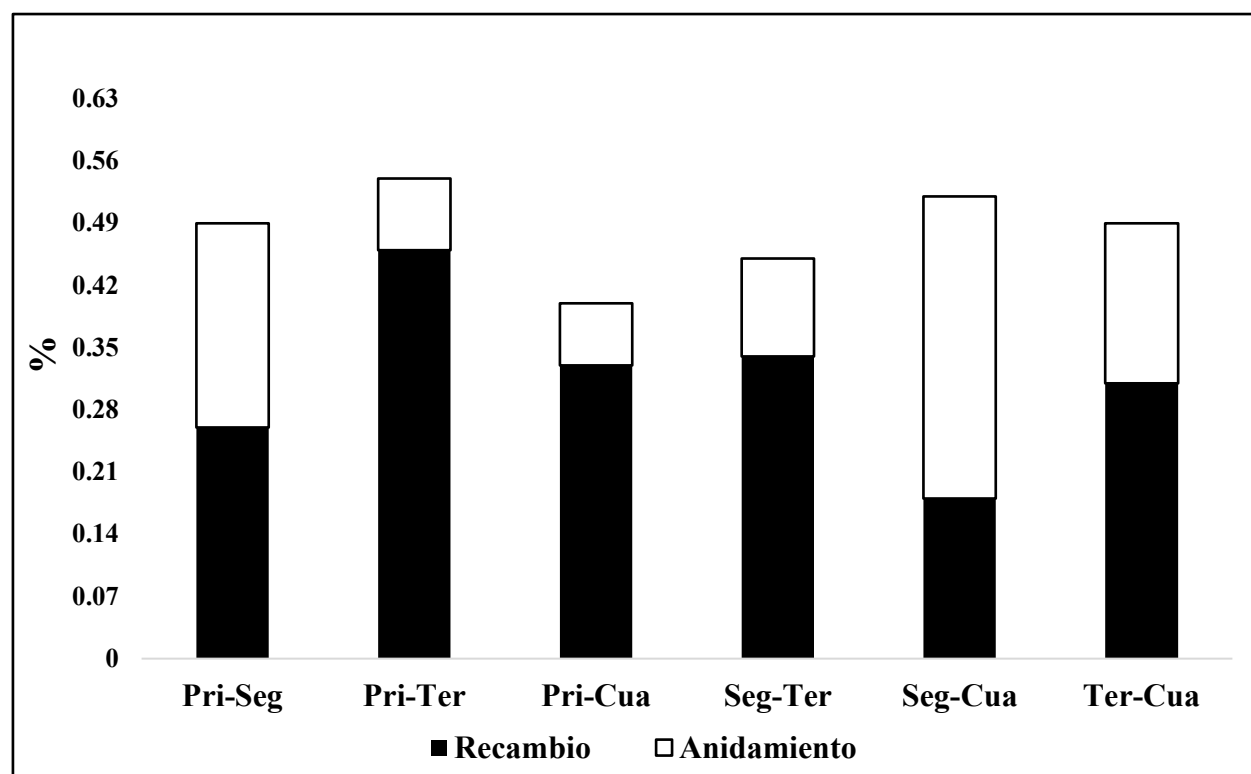
**Figura 6.** Dendrograma de similitud (UPGMA) a partir del índice de Bray-Curtis de las cuatro secciones del Parque Bosque de Chapultepec. P: Primera; S: Segunda; T: Tercera; C: Cuarta.

*Beta Espacial.* A partir de los datos de abundancia de este estudio, se estimó el porcentaje de disimilitud total que aportó el recambio y el anidamiento a la diversidad beta espacial entre pares de las cuatro secciones del parque.

La primera y la tercera sección fueron las menos similares con el 54% de disimilitud, este porcentaje se debe a 46% recambio y 0.8% anidamiento. La disimilitud entre los pares de secciones restantes en su mayoría se debe a recambio, a excepción del par conformado entre la segunda y la cuarta sección, donde el anidamiento aporta casi todas las diferencias a la diversidad beta total (Cuadro 7; Fig. 7).

**Cuadro 7.** Valores de diversidad beta entendidas como disimilitud que aporta cada componente (recambio y anidamiento) a la diversidad beta espacial entre las cuatro secciones del Parque Bosque de Chapultepec. Pri: Primera; Seg: Segunda; Ter: Tercera; Cua: Cuarta.

	<b>Recambio</b>	<b>Anidamiento</b>	<b>Beta espacial</b>
<b>Pri-Seg</b>	0.26	0.23	0.49
<b>Pri-Ter</b>	<b>0.46</b>	0.08	<b>0.54</b>
<b>Pri-Cua</b>	0.33	0.07	0.4
<b>Seg-Ter</b>	0.34	0.11	0.45
<b>Seg-Cua</b>	0.18	<b>0.34</b>	0.52
<b>Ter-Cua</b>	0.31	0.18	0.49



**Figura 7.** Diversidad beta espacial entendida como disimilitud y explicada en sus dos componentes (recambio y anidamiento) de las cuatro secciones del Parque Bosque de Chapultepec. Pri: Primera; Seg: Segunda; Ter: Tercera; Cua: Cuarta.

*Beta temporal.* A partir de los datos de presencia-ausencia del trabajo de Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011) y los datos de este trabajo, se estimó el porcentaje de disimilitud que aportó el

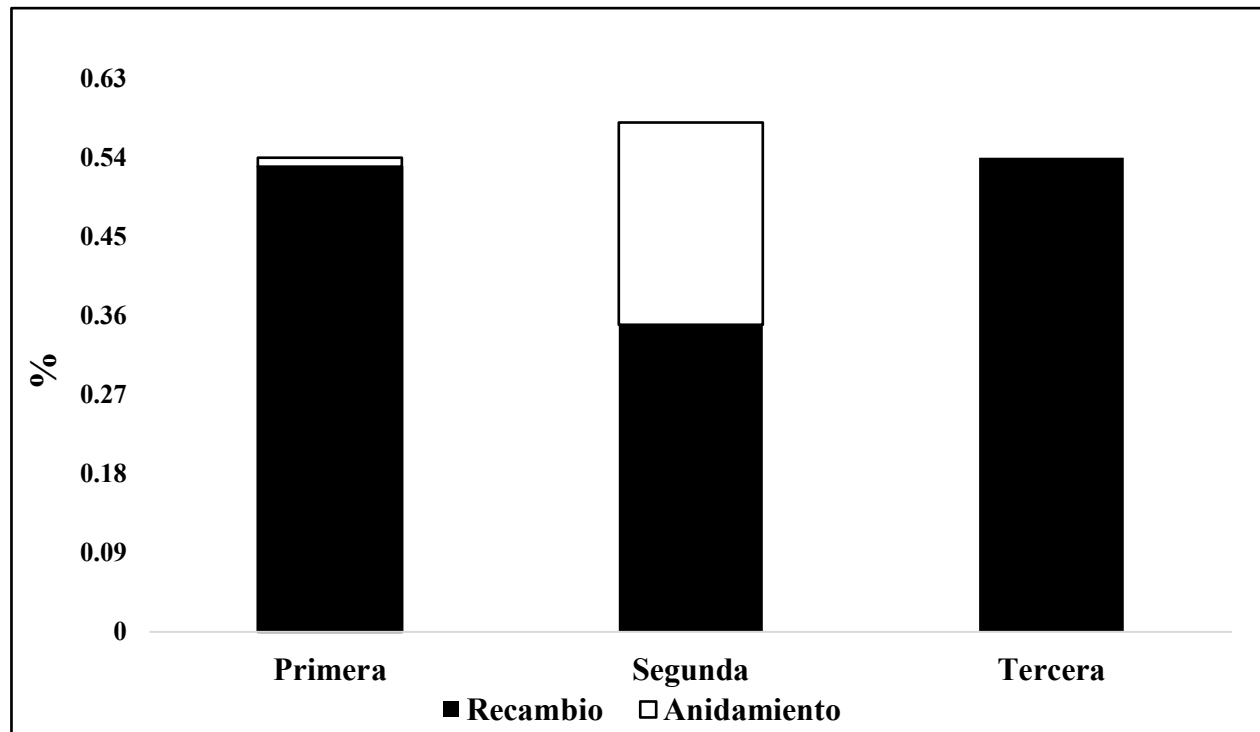


recambio y el anidamiento a la diversidad beta temporal entre las tres primeras secciones del parque con un intervalo de tiempo de separación de más de una década, considerando que el último muestreo reportado por estos autores fue en el 2009.

La segunda sección es la que mostró mayor cambio en el tiempo con un porcentaje del 58%, que se compone en su mayoría por el recambio de especies (35%) y en menor medida por el anidamiento específico (23%). La primera y tercera sección tuvieron el mismo porcentaje de disimilitud (54%), y en ambas unidades el anidamiento no tiene influencia en la beta temporal de estas secciones (Cuadro 8; Fig. 8).

**Cuadro 8.** Valores que aporta cada componente (recambio y anidamiento) a la diversidad beta temporal en las tres primeras secciones del Parque Bosque de Chapultepec. Pri, Primera; Seg, Segunda; Ter, Tercera; T1, Tiempo 1; T2, Tiempo 2.

	Riq. Obs. T1	Riq. Obs. T2	Recambio	Anidamiento	Beta temporal
<b>Pri T1 - Pri T2</b>	66	67	<b>0.53</b>	0.01	0.54
<b>Seg T1 - Seg T2</b>	70	41	<b>0.35</b>	0.23	0.58
<b>Ter T1 - Ter T2</b>	52	52	<b>0.54</b>	0	0.54



**Figura 8.** Diversidad beta temporal entendida como disimilitud y explicada en sus dos componentes (recambio y anidamiento) en las tres primeras secciones del Parque Bosque de Chapultepec.

### **Diversidad gamma**

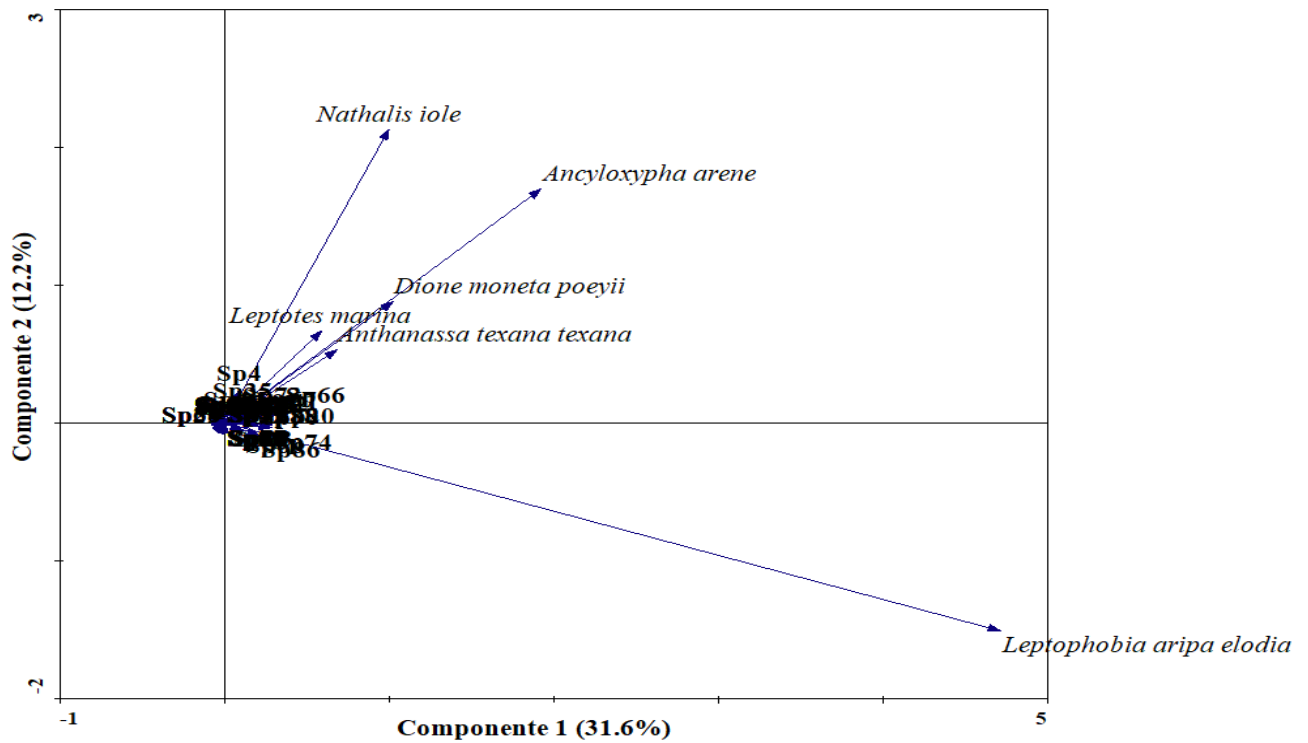
Con los datos recolectados en este trabajo, se calculó el valor de la diversidad gamma para el parque, esto con base en los componentes alfa promedio = 54, diversidad beta = 0.43, y dimensión de la muestra (número total de comunidades muestreadas) = 4; se obtuvo un valor de 91 especies para el PBC.

### **Análisis de ordenación**

*ACP.* Los análisis explicaron el 43.8 de la variación total de los datos, 31.6% en el primer componente y 12.2% en el segundo para el análisis general (incluyendo todas las especies); 32.1% de la variación total, 18.5% en el primer componente y 13.6 en el segundo para el segundo análisis que excluye las especies dominantes y finalmente el 77.5% de la variación total, 50.3% en el primer componente y 27.2 en el segundo para el tercer análisis con solo las especies dominantes.

El plano de ordenación del análisis general mostró lo siguiente: 1) se encontraron seis especies dominantes: *Leptophobia aripa elodia*, *Nathalis iole*, *Ancyloxypha arene*, *Dione moneta poeyii*, *Leptotes marina* y *Anthanassa t. texana*; 2) la riqueza y la abundancia de Papilionoidea son las variables que más peso tienen en el análisis; 3) la cuarta sección presenta más riqueza y abundancia que el resto, mientras que la primera y la tercera tienen un valor semejante; 4) la segunda sección presenta valores promedio y la primera y tercera presentan valores debajo del promedio; 5) existe más riqueza y abundancia en la temporada de secas que en la de lluvias; 6) las variables ambientales que más correlación positiva tienen con la riqueza y la abundancia de mariposas son: riqueza de microhábitats, cobertura de pasto, densidad arbórea y riqueza arbórea; 7) la riqueza de arbustos y herbáceas no están fuertemente relacionadas con la riqueza y abundancia de mariposas; 8) la cobertura de basura, cobertura de construcción, perros, gatos y ardillas parecen no tener influencia sobre la riqueza y abundancia de mariposas; 9) las variables de perturbación que más relación negativa tienen con la riqueza y abundancia son la cobertura de suelo, el número

de personas, número de carros en movimiento, número de postes y la distancia al borde del parque; sin embargo, esta última variable tiene una relación negativa casi perfecta con la riqueza de Papilionoidea (Fig. 9, 10 y 11).



**Figura 9.** Análisis de componentes principales (ACP) para las especies de Papilionoidea en el Parque Bosque de Chapultepec.

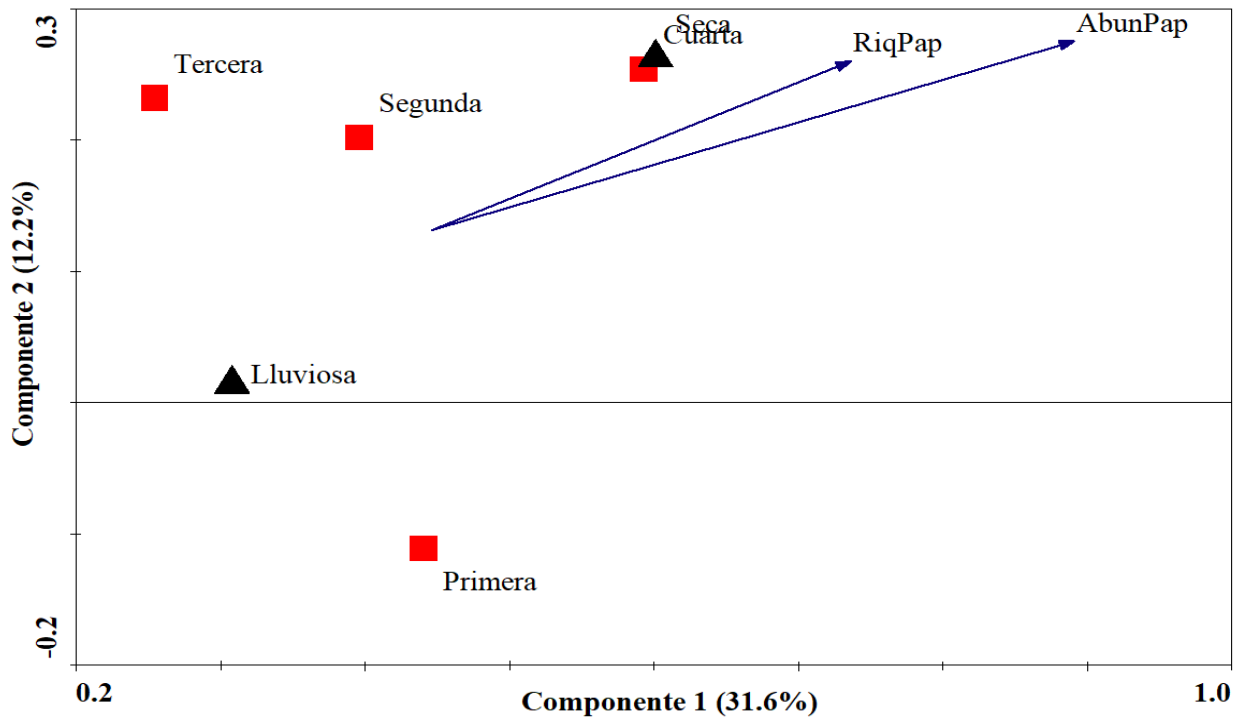


Figura 10. Análisis de componentes principales (ACP) para las variables categóricas de Papilionoidea en el Parque Bosque de Chapultepec.

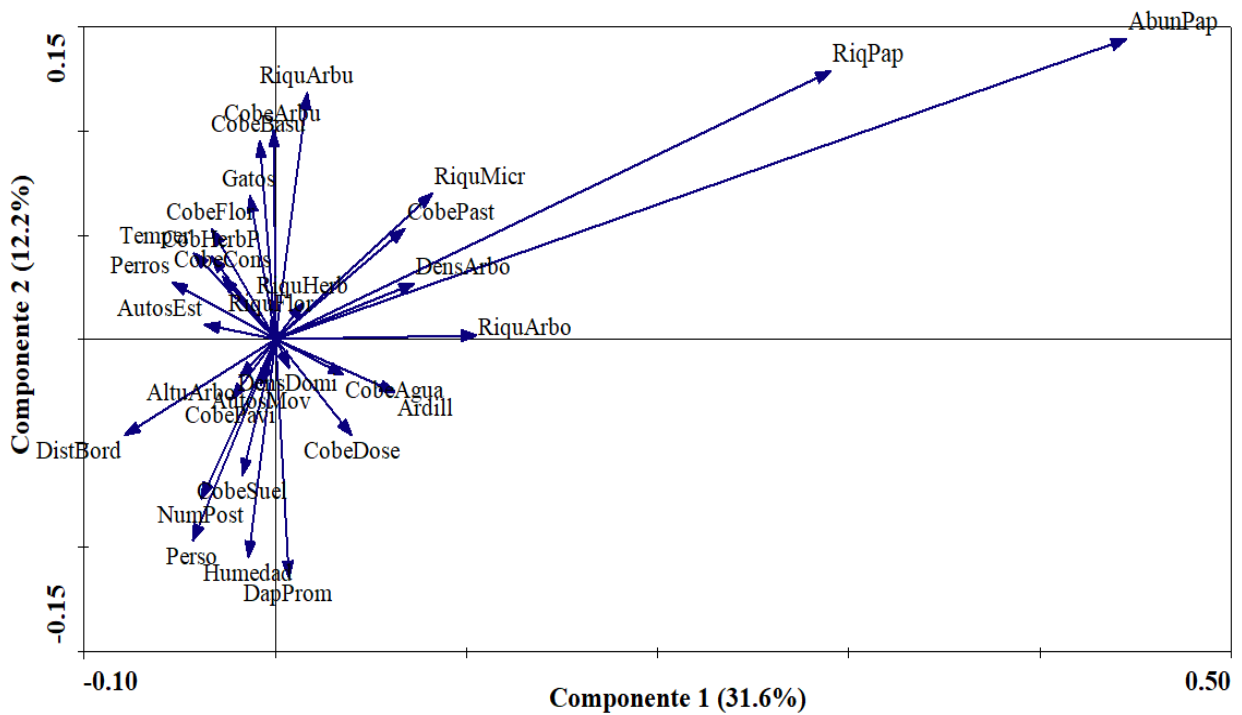


Figura 11. Análisis de componentes principales (ACP) para las variables ambientales y cuantitativas discretas de Papilionoidea en el Parque Bosque de Chapultepec.

## DISCUSIÓN

### Lista de especies

La evaluación continua de los registros históricos en los inventarios faunísticos permite identificar cambios temporales en la riqueza, distribución y composición de especies. Por tal motivo, es necesario generar estudios sistemáticos y completos que aumenten las probabilidades de registrar a todas las especies en el área de estudio (Luis-Martínez *et al.* 2021). De este modo, con los organismos recolectados en este trabajo y los registros históricos tomados de Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011), la lista de Papilionoidea en el PBC contiene 115 especies que representan el 74% de la lepidopterofauna diurna reportada por Trujano-Ortega y Luis-Martínez (2016) para la Ciudad de México. Si se toma en cuenta que el PBC representa solo el 0.54% de la superficie total de la Ciudad de México, los resultados hallados muestran que el parque es una zona con un alto porcentaje de mariposas.

Del total de especies registradas, 26 son registros nuevos para el parque, lo que posiblemente se debe al diseño sistemático del muestreo, la distribución espacial y temporal amplia de los puntos de recolecta en las secciones y la adición de la cuarta sección al área de estudio. Al analizar estos registros nuevos, destacan dos taxones cuya distribución geográfica no se encuentra en el centro del país ni en ambientes templados característicos de esta zona, por lo tanto, no se distribuyen en la Ciudad de México ni en los estados colindantes: *Caligo telamonius memnon* (Nymphalidae) se distribuye desde el este y suroeste del país hasta Nicaragua, de los 0 a los 1500 msnm (Warren *et al.* 2013; Castro-Ibarra *et al.* 2017). El único organismo que se recolectó en este estudio fue en la primera sección donde se localiza un centro de exhibición de mariposas como parte del Zoológico de Chapultepec, sitio donde se cría y reproduce esta especie; además, las larvas de este lepidóptero se alimentan de plantas de los géneros *Musa* spp. y *Heliconia* spp. (Terreros, 2005) cuya distribución geográfica tampoco coincide con la Ciudad de México ni estados contiguos (Villaseñor, 2016). Por lo que la presencia de esta especie en el PBC se considera un registro ocasional, muy probablemente resultado del mariposario cercano o bien, debido al transporte de pupas en plantas exóticas introducidas en el parque.

El segundo caso es *Mechanitis polymnia lycidice* (Nymphalidae) que se encuentra desde sureste de México hasta Brasil de los 0 a los 1400 msnm (Warren *et al.* 2013; Ruíz *et al.* 2015); el único espécimen se recolectó en la primera sección. Las larvas de esta especie se alimentan de plantas del género *Solanum* L. (Giraldo y Uribe, 2010), que se encuentra altamente diversificado en todo el país (Villaseñor, 2016); sin embargo, debido a las características ecológicas que requieren sus especies (altitud y humedad), resulta difícil asegurar que existan poblaciones establecidas del lepidóptero en el PBC. Por lo que su presencia también se asocia al mariposario o al transporte de pupas en plantas exóticas introducidas.

Así, destacan dos taxones endémicos a México cuyos registros en el PBC posiblemente indiquen una ampliación en su distribución: *Chlosyne rosita browni* (Nymphalidae) que se reporta en Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro y Puebla (Luis-Martínez *et al.* 2010); Este último representa la distribución más céntrica de la especie. Además, se distribuye en condiciones ambientales secas (Tapia-Sedeño, 2017). El único organismo recolectado en este estudio se encontró en la cuarta sección. De acuerdo con Tapia-Sedeño (2017) las subespecies que se distribuyen en el centro de México corresponden a *C. r. riobalsensis* y *C. r. mazarum* por lo cual sería conveniente realizar análisis moleculares (DNA barcoding) que corroboren la presencia de *C. r. browni* en el PBC y en el centro del país. La cuarta sección es la única de la que se tiene un conocimiento limitado de la flora y fauna existente; además, por ser un espacio restringido para el público, la dinámica ecológica es diferente respecto a las otras tres secciones; en particular en las variables de perturbación y las variables de escala local (riqueza y cobertura de flores y herbáceas, diversidad de microhábitats).

En el caso de *Mimoides aconophos* (Papilionidae) se recolectaron dos organismos (♂ y ♀) en el Jardín Botánico de Chapultepec. La distribución más céntrica que se tiene del taxón en el país es Morelos y el Estado de México (Vargas-Fernández *et al.* 2016); sin embargo, no se tienen registros para la Ciudad de México. De este modo, la presencia del taxón en el parque es posible y se explica porque: 1) el Estado de México y Morelos presentan ambientes y elevaciones similares a las de la Ciudad de México (Sánchez-Jasso *et al.* 2019; Luna-Reyes *et al.* 2012; Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011); 2) la recolecta de ambos sexos en el muestreo puede indicar que existen poblaciones establecidas; 3) las orugas de este lepidóptero suelen encontrarse en plantas del género

*Annona L.* (Beccaloni, 2008; Warren *et al.* 2013), cuya distribución geográfica no coincide con las zonas céntricas del país, pero habitualmente se introducen en toda la república, como sucede en el Jardín Botánico que cuenta con especies introducidas de este género (Pro- Bosque de Chapultepec, 2020).

Sin embargo, es necesario realizar estudios que confirmen la presencia de estas dos especies en el PBC, en los que se apliquen diversos criterios como lo son: residencia de especies, emplear un esfuerzo de muestreo mayor en tiempo y espacio de Papilionoidea y conocer si realizan conductas relacionadas con su ciclo de vida como la ovoposición o la confirmación de su planta hospedara en el parque.

Por otro lado, hubo 23 especies previamente registradas por Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011) que no se recolectaron en este estudio. Esta ausencia se puede deber a factores propios de las especies como su rareza espacial o temporal y densidades poblacionales bajas; o bien, a cuestiones técnicas como el esfuerzo de muestreo insuficiente o incluso a la posible extinción local de especies de mariposas en el parque debidas a la modificación de los ambientes. Brown (1984) propone que especies con densidades poblacionales más altas tienden a habitar una mayor proporción de lugares dentro de una región y a tener rangos geográficos mayores; mientras que las especies raras, poseen distribuciones espaciales restringidas. De acuerdo con Ramírez-Restrepo *et al.* (2017), la falta de disponibilidad de plantas huésped es un factor determinante que explica la ausencia o densidad baja de ciertas especies de mariposas en algunas de las zonas verdes o en la ciudad. De igual manera, la relación estrecha entre la abundancia de plantas huésped y el estado de persistencia de las mariposas sugiere que la disminución o rareza de las plantas huésped puede hacer vulnerables e incluso causar su extirpación (Harrison, 1991; Corke, 1999; Koh *et al.* 2004; Mulder *et al.* 2005 y Ockinger *et al.* 2006).

Hace casi dos décadas, Llorente-Bousquets (1985) mencionó que las alteraciones ecológicas en el Valle de México causadas por el gran asentamiento humano, provocaron que algunas especies de mariposas redujeran su área de distribución y otras ya no se encontraran. No obstante, algunas otras aumentaron su distribución territorial y abundancia debido a la introducción de su planta huésped a hábitats secundarios y perturbados (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011), como *Leptophobia aripa helodia* que es una mariposa abundante y de distribución amplia

que además se cría, comercializa y libera como taxón de ornato en la industria de liberación de mariposas vivas en eventos sociales (Cervantes, 2012); incluso esta mariposa es una plaga en plantas comestibles que se cultivan en la Ciudad de México como la col (*Brassica oleracea* var. *capitata*. L) (Ramírez, 2000), lo que explica su gran abundancia y presencia a lo largo del año.

## **Exclusividad**

Debido a la cercanía entre secciones resulta complicado asegurar que las especies son exclusivas de alguna de estas unidades administrativas; sin embargo, existen algunos factores que pueden influir en la distribución de las mariposas dentro de ellas. En el caso de la primera sección se registraron 17 taxones exclusivos; no obstante, la presencia del Jardín Botánico puede ser un factor determinante en el alto número de especies exclusivas. El jardín cuenta con una superficie de 5.3 ha y más de 300 variedades de plantas distribuidas en distintas zonas, entre ellas una designada a polinizadores (Pro- Bosque de Chapultepec, 2020); por lo que los imagos de las mariposas utilizan las plantas del jardín como fuente de alimento, pero no necesariamente llevan ahí conductas relacionadas con su ciclo de vida, como la oviposición. La segunda sección con siete taxones exclusivos es muy heterogénea en composición y muy cercana a la primera. La tercera sección presentó seis taxones exclusivos, donde destaca *Gyrocheilus p. patrobas* que es una especie que suele habitar cerca de arroyos y cañadas en bosques abiertos de coníferas (Lotts *et al.* 2021). Estas condiciones las presenta dicha sección, ya que cuenta con numerosas barrancas con vegetación abierta en su ladera norte (Galindo-Leal, 2021). Finalmente, en la cuarta sección hubo cuatro taxones exclusivos que son registros nuevos para el PBC, lo que reafirma la importancia de realizar estudios faunísticos y florísticos que aporten información sobre la composición y distribución de las especies presentes en el área (Ramírez-Restrepo *et al.* 2015).

Otro aspecto importante acerca de la exclusividad de las especies de mariposas en el PBC radica en conocer si estas especies habitan de manera regular y presentan poblaciones establecidas en el parque, de tal modo que se puedan considerar como residentes del sitio. Luis-Martínez (1987) menciona que no existe método específico para determinar la composición de mariposas residentes en una comunidad; sin embargo, aplicó cinco criterios para clasificar a las especies de cinco familias de Papilionoidea (exceptuando Hesperidae) como residentes o no residentes en la Cañada de los Dinamos. Estos criterios consisten en aspectos ecológicos y etológicos de los taxones: 1)



plantas de alimentación presentes en el área o zonas adyacentes; 2) abundancia relativa; 3) conductas migratorias; 4) abundancia en áreas adyacentes y 5) estado de conservación de los ejemplares. De este modo, clasificó como residentes a 38 especies en el área.

Al comparar los taxones exclusivos del PBC respecto a las zonas localizadas en la periferia de la ciudad que presentan estudios lepidopterológicos previos (Luis-Martínez, 1987), como el caso de la cañada de los Dinamos que es más heterogénea en latitud y clima (Trujano-Ortega y Luis-Martínez, 2016), se observa que estos taxones exclusivos en el PBC tienen distribuciones espaciales más amplias. De este modo, en este estudio se observa que la exclusividad espacial de Papilionoidea entre secciones y en el parque parece estar relacionada con el número elevado de plantas introducidas en las dos primeras secciones (Pro-Bosque de Chapultepec, 2020; Galindo-Leal, 2021) y la gran capacidad de dispersión de estas especies. Así mismo, la mayor parte de las mariposas de la Ciudad de México se encuentran dentro de los Parques y Jardines Urbanos (71%), donde dominan bosques de coníferas y el matorral xerófilo en el caso de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) (Trujano-Ortega y Luis-Martínez, 2016). Esto denota la importancia de las ciudades como lugares de resguardo para la biodiversidad local (Cadenasso *et al.* 2008) y de los parques urbanos como lugares de sitio que las mariposas utilizan como fuente de alimento y de refugio constante dentro del ecosistema urbano.

### **Riqueza y diversidad de las unidades espaciales y ecológicas**

El conocimiento que se tiene sobre Papilionoidea en la Ciudad de México es reducido y aún menor en parques urbanos en la entidad; sin embargo, comparando la riqueza actualizada del taxón en el PBC (115 spp.) (riqueza registrada en este estudio: (92 spp.) + riqueza histórica del parque (89 spp.) (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011) con otras áreas semejantes dentro de la ciudad, se observa que la riqueza del PBC es mayor que la de Bosques y Cañadas dentro de la Ciudad de México (69 spp.), a la de Serranías de Xochimilco y a la de Milpa Alta (12 spp) (Trujano-Ortega y Luis-Martínez, 2016). El PBC presenta 23 especies más que la zona de Bosques y Cañadas a pesar de que ésta incluye sitios más heterogéneos en clima, altitud y vegetación como lo son la cañada de los Dinamos, la sierra de las Cruces, Topilejo y las partes altas de Milpa Alta (Trujano-Ortega y Luis-Martínez, 2016). De igual manera, el PBC presenta una riqueza mayor que la del Centro de

Educación Ambiental Yautlica (CEAY) (74 spp.) en la Sierra de Santa Catarina en la alcaldía Iztapalapa de la Ciudad de México y zona conurbana (Blancas-Velásquez, 2022).

Es posible que la gran riqueza del PBC en comparación con el CEAY se deba a que ambos sitios presentan diferencias en la extensión, vegetación y clima, donde el CEAY es un sitio seco la mayor parte del año con solo dos tipos de vegetación, matorral y pastizal (Blancas-Velásquez, 2022). Así mismo, si consideramos el grado de gestión y perturbación humana, así como las características ambientales y el enfoque social/cultural del PCB, Este debería presentar menor riqueza que el CEAY y la Cañada de los Dinamos, ya que estos se encuentran en alguna categoría de Área Natural Protegida (SEDEMA, 2010); además, la cañada presenta distintos tipos de vegetación como lo son: Bosque de *Abies*, Bosque Mesófilo de Montaña y Bosque de *Quercus* los cuales se distribuyen a lo largo de un gradiente altitudinal que va de los 2500 a más de 3500 msnm (Rzędowski, 1978, 1979, 1980).

Finalmente, comparando la riqueza actualizada de mariposas en el PBC con la de otros centros urbanos dentro del país, se observa que el PBC presenta una riqueza menor (115 spp.) que la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) con 209 spp. (Meléndez-Jaramillo *et al.* 2021). Es posible que la ZMM albergue más del 50% de mariposas que el Bosque de Chapultepec debido a la extensión geográfica amplia ya que la ZMM es el área urbana más grande del noreste de México y el tercer centro urbano más grande del país (Meléndez-Jaramillo *et al.* 2021).

Hesperiidae es la familia más rica de México, seguida de Nymphalidae, Lycaenidae, Riodinidae, Pieridae y Papilionidae (Llorente-Bousquets *et al.* 2014); en este trabajo se conserva el patrón de riqueza por familia. Cabe mencionar que en este estudio solo se registraron especies de la familia Riodinidae a partir de datos históricos (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011); aun así, la riqueza de la familia en la Ciudad de México es baja (2 spp.) (Trujano-Ortega y Luis-Martínez, 2016). De igual modo, la proporción de riqueza por familia de Riodinidae y de Lycaenidae cambia ya que su muestreo requiere una mayor inversión de tiempo de búsqueda y que su distribución suele ubicarse en microhábitats y estratos de vegetación específicos que no se

encuentran en las ciudades; además de ciertos periodos de tiempo durante el día y el año (Arellano-Covarrubias *et al.* 2018).

En el PBC la temporada de lluvias alberga más riqueza y abundancia respecto a la temporada seca. Este patrón ecológico coincide con el reportado para este grupo de insectos en diversos tipos de ambientes y elevaciones (Arellano-Covarrubias, 2013; Arellano-Covarrubias *et al.* 2016; Meléndez-Jaramillo *et al.* 2021), ya que la disponibilidad del recurso hídrico tiene un efecto en la fenología e interviene directamente en el crecimiento de la vegetación (Ramírez-Restrepo *et al.* 2007). En el caso de las mariposas, esto implica una mayor oferta de alimento durante la fase larval y debido al aumento de la cobertura vegetal, una mayor disponibilidad de refugios y alimento para los adultos (Grøtan *et al.* 2012; Valtonen *et al.* 2013).

En general, la diversidad del PBC es baja respecto a otras zonas naturales, lo que denota una gran dominancia de algunas especies. La hipótesis de perturbación intermedia (Connell, 1978) sustenta que los valores elevados de diversidad pueden ser mantenidos por niveles intermedios de perturbación (natural o antrópica), debido a que la perturbación abre paso para que el paisaje tenga un mayor nivel de heterogeneidad en las comunidades vegetales y con ello una mayor disponibilidad de hábitats con flores para libar, presencia de plantas huésped y mayor entrada de luz solar en zonas abiertas que benefician los procesos de termorregulación de las mariposas (Martínez *et al.* 2015 ; Ospina-López *et al.* 2015 ). En este sentido, la primera sección es la más rica con 93 especies estimadas, cabe mencionar que esta sección es altamente heterogénea y el jardín botánico que aloja resulta una fuente de alimentación determinante para las mariposas debido a la gran variedad de plantas disponibles ya que este gremio nectarívoro es el de mayor relevancia para las familias de este taxón (Hernández-Jerónimo, 2022). De igual modo, esta sección presentó la mayor diversidad con 28 especies efectivas, donde *N. iole* es el único taxón dominante. Por otro lado, la segunda sección representa la sección con menos riqueza estimada y la menos diversa con 18 especies efectivas, en ella se registraron tres de los seis taxones dominantes (*A. arene*, *L. aripa elodia* y *N. iole*), que representan el 54% del total (305) de ejemplares capturados. Un punto relevante es que estos resultados reflejan los parámetros que el orden <sup>1</sup>D toma en cuenta, ya que otorga más peso a especies abundantes que a especies raras (Moreno, 2001).

En los estudios faunísticos es sustancial evaluar los diferentes componentes de la diversidad, ya que arrojan información acerca del comportamiento de las comunidades, por ejemplo, a pesar de que el PBC es una unidad espacial reducida, se observa que diferentes secciones contienen diversidades similares, aun cuando su riqueza observada y estimada varía. Por ejemplo, la cuarta sección presentó más especies registradas (52) que la segunda (41), pero diversidades similares (19 y 18 especies NES respectivamente). De acuerdo con Segarra-Bermudez (2019), algunos factores como la temperatura, precipitación, cantidad de luz y estacionalidad, afectan directamente la diversidad de las mariposas en su sobrevivencia, longevidad y fecundidad de especies; pero también las afectan indirectamente al modificar las características de sus plantas huésped (calidad, fenología, defensa).

La riqueza elevada de mariposas que presenta el PBC sugiere la necesidad de realizar estudios lepidopterológicos en otros parques urbanos que puedan ser comparados con el presente trabajo y con ello generar estrategias que permitan la conservación de estas especies en este tipo de sistemas urbanos. Por otro lado, la conservación de la biodiversidad urbana debe enfocarse en las múltiples especies presentes en las ciudades, pero también en la variedad de paisajes y las dinámicas ecológicas en sus distintas escalas espaciales y temporales (Wu y Loucks 1995; Parker 1997). Los parques urbanos brindan otros servicios de regulación ecológica como la polinización, control de erosión e inundaciones, regulación microclimática, pero también brindan servicios culturales como el acceso a lugares de recreación, interacciones sociales, turismo y la apreciación de la belleza estética del lugar (MEA, 2005), lo que es de suma relevancia.

### **Diversidad beta**

El dendrograma de similitud de Bray-Curtis indica que las secciones más similares son la primera y la cuarta con el 59% de similitud. Este resultado pareciera diferir con algunas características espaciales y ecológicas de estas dos unidades como la extensión territorial, gestión y perturbación. La primera sección conformada por 274 0864 ha y donde las construcciones sellan el suelo en 45% del área es la sección que más visitantes recibe al año (PUEC, 2002). Por otro lado, la cuarta sección abarca solo 100 0000 ha (Gálvez, 2020) y debido a que es un sitio recién inaugurado y abierto al

público, presenta una dinámica ecológica distinta y las diferentes formas de perturbación impactan en menor grado el sistema en comparación con las otras tres secciones. Sin embargo, la primera y la cuarta sección presentaron la mayor abundancia en este estudio (593 y 741 individuos respectivamente) y son las unidades que más especies comparten (38 spp.), por lo que los resultados reflejan el modo en que estos métodos operan, ya que el índice de Bray-Curtis mide las diferencias en abundancia de los taxones que componen las muestras e ignora los casos en los cuales el taxón está ausente en ambas muestras (Giraldo-Mendoza, 2015).

**Beta espacial.** La primera y la tercera sección tuvieron el valor más alto de disimilitud (54%) dado en su mayoría por recambio, además de ser las secciones con más riqueza estimada en el parque (93 y 75 especies respectivamente). La disimilitud por recambio sugiere que estas unidades son sumamente diferentes entre ellas, aun siendo tan cercanas y perteneciendo al PBC. En el caso de la primera sección, el jardín botánico recibe gran atención en cuanto su mantenimiento, por lo que se encuentra altamente gestionado por las autoridades del parque y presenta una gran diversidad de vegetación y flores que se mantienen a lo largo del tiempo para atraer a diferentes polinizadores; lo que se favorece por su ubicación céntrica en la sección (Pro- Bosque de Chapultepec, 2020). Estas características hacen de esta sección y del jardín botánico un sistema homogéneo en el tiempo, además que la abundante vegetación permite la regulación de un microclima distinto a las zonas aledañas al PBC (Galindo-Leal, 2021) y esto beneficia la riqueza y abundancia de mariposas y otros insectos en el parque (CONABIO, 2022). Por otro lado, la tercera sección tiene un paisaje más heterogéneo y una pendiente más acentuada (Galindo-Leal, 2021), así mismo es la unidad con menos superficie sellada (4.1 ha) (Cotler *et al.* 2021) y más de la mitad de su superficie corresponde a zonas verdes, cuenta con numerosas barrancas y gran abundancia de arbustos y hierbas (Díaz-Batres y Llorente-Bousquets, 2011); además, es la sección que menos visitantes recibe por año (Cotler *et al.* 2021).

**Beta temporal.** Se encontraron 23 taxones reportados en la obra de Díaz-Batres y Llorente-Bousquets (2011) en el tiempo uno (1992-2009; T1) que no fueron registrados en este estudio (tiempo dos, T2) para las tres primeras secciones del PBC. Existen diversos factores que pueden influir en el cambio de la comunidad de mariposas en un lapso temporal de más de una década, estos son: 1) Rareza de especies; 2) Esfuerzo de muestreo insuficiente y; 3) Registros ocasionales

en el PBC o identificación taxonómica cambiante (Rabinowitz, 1981; Trujano-Ortega y Luis-Martínez, 2016; Cruz-Flores *et al.* 2017).

1) *Rareza de especies*, siete de los 23 taxones no registrados actualmente se encuentran clasificados como “muy raros” en la obra del T1 debido a que constituyen registros únicos ya sea recolectados u observados. Las especies raras tienen una mayor probabilidad de desaparecer en el tiempo y espacio que las especies comunes (Rabinowitz, 1981; Gaston, 1994), sobre todo en ambientes con una tasa de modificación acelerada como lo es el PBC.

2) *Esfuerzo de muestreo insuficiente*, se encontraron 12 taxones reportados en el T1 que no fueron registrados en este estudio, pero que sí se encuentran reportados para la Ciudad de México (Trujano-Ortega y Luis-Martínez, 2016). Una desventaja de los inventarios faunísticos es que existen diversos factores que podrían determinar que una especie no sea detectada durante el muestreo, tales como las técnicas inadecuadas, esfuerzo de muestreo insuficiente, rasgos conductuales de las especies como estacionalidad, densidad poblacional baja y conductas crípticas (Cruz-Flores *et al.* 2017). La diferencia de tiempo que duró el muestreo entre ambos estudios es significativa, por lo que el estudio llevado a cabo en el T1 aumenta sin duda la probabilidad de registro de las especies en comparación con este estudio.

3) *Registros ocasionales en el PBC o identificación taxonómica cambiante*, se encontraron cuatro taxones clasificados como “muy raros” en el T1 que no fueron registrados en este estudio y además no se reportan en la Ciudad de México por Trujano-Ortega y Luis-Martínez (2016). Sin embargo, de estos cuatro taxones, dos podrían tener distribución en la Ciudad de México y la ausencia en el trabajo de Trujano-Ortega y Luis-Martínez (2016) y en el presente estudio podrían deberse más a cuestiones propias del muestreo o rareza de estas especies: a) *Battus polydamas polydamas* especie de amplia distribución en México y reportada para la entidad por Llorente-Bousquets *et al.* (2003) y Blancas-Velázquez (2022) y b) *Danaus eresimus montezuma* taxón con amplia distribución reportado en zonas céntricas del país y colindantes con la Ciudad de México como Hidalgo y Morelos (Luis-Martínez *et al.* 2003) y recientemente en la Ciudad de México (Blancas-Velázquez, 2022).

Por otro lado, se encuentran dos taxones cuya distribución geográfica no se ha reportado en ambientes templados característicos de la entidad mexicana: a) *Diaethria anna anna* que se distribuye en los bosques húmedos y tropicales del este de México (Luis-Martínez *et al.* 2003; Warren *et al.* 2013); y b) *Lycorea halia atergatis* que se distribuye ambas costas de la república mexicana además de estar asociada a ambientes de selvas tropicales (Luis-Martínez *et al.* 2003; Warren *et al.* 2013). Esto indica que posiblemente estas especies sean registros ocasionales en el PBC o sea resultado de una identificación taxonómica cambiante en la obra del T1. Ocasionalmente se obtienen registros únicos y aislados a kilómetros del área de distribución conocida para una especie, lo cual no significa que deban ser considerados como parte de la distribución, sobre todo cuando la explicación a estos hallazgos sea de tipo antropogénico (Baldo *et al.* 2008).

En cuanto a secciones, la segunda sección fue la que mostró mayor cambio en el tiempo con un 58% de disimilitud, que se compone en su mayoría de recambio de especies (35%) y en menor medida por anidamiento específico (23%). En la naturaleza el recambio de especies puede reflejar una selección de especies por el ambiente y procesos de dispersión, mientras que el anidamiento es relacionado comúnmente con dinámicas de extinción-colonización (Baselga, 2012; Baselga *et al.* 2012). Así mismo, en estudios recientes, el recambio parece ser el componente más importante de la diversidad beta (Soininen *et al.* 2018). Por otro lado, se ha demostrado que los ensamblajes locales son objeto de una marcada variación temporal, más allá de lo previsto a partir de modelos nulos, lo que sugiere efectos deterministas del cambio ambiental (Dornelas *et al.* 2014). En este sentido, parece que la segunda sección ha sufrido modificaciones considerables en un lapso corto (una década), como la construcción excesiva de edificaciones y la alteración en su cobertura de suelo como la eliminación de árboles y estrato herbáceo, lo que genera la reducción de microhábitats y con ello la disminución de recursos para las mariposas del parque.

Finalmente, la segunda sección presenta la mayor superficie sellada (52.5% de su área) debido a las extensiones que ocupan las distintas edificaciones, muchas de ellas construidas recientemente (museos, estacionamientos, caminos, pistas atléticas y de patinaje “Skateparks”) (Pro- Bosque de Chapultepec, 2020). Además, esta sección recibe alrededor de cuatro millones y medio de personas al año y es la única de las cuatro secciones actuales que permite el ingreso a los

visitantes con mascotas (PUEC, 2002), lo que promueve una dinámica diferente respecto a las otras secciones en un periodo de tiempo corto en una escala espacial tan fina.

### **Análisis de ordenación**

El porcentaje de variación obtenido en el PCA se considera aceptable para una comunidad biológica (Leps y Smilauer, 2003). Sin embargo, los patrones observados parecen deberse principalmente a las seis especies dominantes en el parque. Esto afirma que las especies dominantes toman un papel diferente y ejercen mayor influencia en la estructura de las comunidades (Martin-López *et al.* 2022). Al excluir los taxones dominantes, las 86 especies restantes muestran también una variación total aceptable (Leps y Smilauer, 2003); sin embargo, presentan un comportamiento distinto y parece que cumplen otra función dentro de la comunidad de mariposas en el PBC. En el caso de las variables categóricas, aunque la primera sección y la temporada de lluvias presentaron la mayor riqueza y abundancia en este estudio, el plano de ordenación muestra una fuerte relación positiva entre la temporada seca y la cuarta sección con la riqueza y abundancia de Papilionoidea. Este sesgo en el análisis parece estar influenciado de igual manera por las especies dominantes, ya que el mayor registro de estos seis taxones se obtuvo en la cuarta sección y durante la temporada de secas.

Ortega-Álvarez y MacGregor (2009) evaluaron el efecto que tienen los atributos urbanos sobre las comunidades de aves del suroeste de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), en él realizaron dos análisis 1) incluyendo a las especies dominantes y 2) excluyéndolas; esto para analizar el efecto de las especies dominantes sobre distintos tipos de variables (ambientales y perturbación). Como resultado obtuvo que las especies dominantes se asocian positivamente con variables de perturbación como el número de personas; contrariamente a lo que se obtuvo al excluirlas del análisis, donde encontró asociación positiva con variables de perturbación como la altura arbustiva y la riqueza arbórea. De este modo, se puede observar el mismo patrón en este trabajo, ya que el plano de ordenación del ACP muestra la influencia de las seis especies dominantes sobre las variables categóricas y las cuantitativas discretas.

VARIABLES ambientales como la riqueza de microhábitats, densidad y riqueza arbórea y la cobertura de pasto tuvieron una fuerte relación positiva con la riqueza y abundancia de mariposas. Por el contrario, la cobertura de suelo, el número de personas, número de carros en movimiento,



número de postes y la distancia al borde tuvieron una fuerte relación negativa con la riqueza y abundancia de Papilionoidea. Esto indica que en las periferias del PBC la comunidad de mariposas disminuye y, por el contrario, la mayor abundancia de estos insectos se presenta en las zonas céntricas del parque donde existen parches de vegetación mayores y más recursos. Finalmente se observó que las variables de perturbación son diferenciales de acuerdo con el grupo taxonómico, de tal modo que algunas variables como los autos estacionados y el número de gatos, perros y ardillas afectan negativamente a grupos de vertebrados (aves y reptiles) (Jaime-Escalante, 2016; Ortega-Álvarez 2008; Monrós-González, 2019), pero parecen no afectar drásticamente a las mariposas del PBC.

Ramírez-Restrepo *et al.* (2007) mencionan que, en parques urbanos de Cali en Colombia, la diversidad de mariposas es independiente de la extensión de la zona verde, pero se afecta por la heterogeneidad vegetal y la presencia de parches boscosos. Así mismo, Brown y Hutchings (1997) mencionan que la diversidad total de mariposas en distintos ambientes se mantiene a pesar de la variación en el área de los fragmentos de vegetación, pero está determinada principalmente por la diversidad de microhábitats y de recursos como plantas huésped para las larvas, o bien, flores y frutos para los adultos. En este sentido, se observa que hay una multiplicidad de factores que afectan a cada comunidad de mariposas en diferentes parques urbanos, por lo que se requieren mayores estudios en los que se analicen diferentes variables para llegar a encontrar los patrones espaciales y temporales, así como las causas que los determinan. En el caso del PBC, se recomienda una gestión adecuada de la actividad humana y de la vegetación en zonas céntricas donde se presenta la mayor riqueza y abundancia de mariposas; como es la presencia del jardín para polinizadores ubicado en el Jardín Botánico en la primera sección (Pro- Bosque de Chapultepec, 2020).

## CONCLUSIONES

- La lista de especies actualizada de la superfamilia Papilionoidea en el Parque Bosque de Chapultepec incluye seis familias, 87 géneros y 115 especies. Donde se obtuvieron 26 registros nuevos para el parque; dos de ellos constituyen registros inesperados cuya casualidad requiere verificación a partir del estudio de la biología de las especies y monitoreo en el parque.
- La riqueza estimada del parque es de 108 especies que representa el 85% de completitud.
- La riqueza estimada de mariposas en el PBC es mayor que la de otras zonas verdes periféricas en la ciudad, aun cuando Estas presentan más tipos de vegetación y son más heterogéneas en altitud y clima.
- La riqueza actualizada de Papilionoidea en el PBC representa el 74% de la reportada en la Ciudad de México.
- El PBC presenta en general una diversidad baja debido a la fuerte dominancia de algunas especies. En este estudio se encontraron seis: *L. aripa elodia*, *N. iole*, *A. arene*, *D. moneta poeyii*, *L. marina* y *A. t. texana*
- Las secciones más similares en la composición de sus especies son la cuarta y la primera.
- La beta temporal de Papilionoidea en un lapso de más de una década se debe en mayor parte al recambio. La sección que más cambió en el tiempo es la segunda.
- Las variables que asocian negativamente la riqueza y abundancia de mariposas en el PBC son la distancia al borde, cobertura de suelo, número de personas, número de carros en movimiento y número de postes.
- Las variables que se asocian positivamente a la riqueza y abundancia de la comunidad de mariposas en el PBC son la riqueza de microhábitats, cobertura de pasto, densidad y riqueza arbóreas.

- Se destaca la necesidad de continuar la exploración de zonas en el parque, sobre todo en la cuarta sección donde se tiene conocimiento limitado sobre la composición vegetal y animal del área.
- Vale la pena dedicar esfuerzos de recolecta y observación, así como búsquedas dirigidas para taxones raros y en familias que se distribuyen en hábitats y condiciones específicas como Riodinidae y Lycaenidae.
- Este estudio es una base útil para el desarrollo de estudios futuros en parques urbanos y en los ecosistemas urbanos de la ciudad.

## REFERENCIAS

- Almaráz-Almaráz, M., E. y León-Cortés, J. L. (2013). Ecología y conservación de *Pterourus esperanza* (Insecta: Lepidoptera: Papilionoidea) en la sierra norte de Oaxaca. *Entomología Mexicana*, 12(1): 605-610.
- Anderson, M. J., Crist, T. O., Chase, J. M., Vellend, M., Inouye, B. D., Freestone, A. L., Sanders, N. J., Cornell, H. V., Comita, L. S., Davies, K. F., Harrison, S. P., Kraft, N. J. B., Stegen, J. C. y Swenson, N. G. (2010). Navigating the multiple meanings of  $\beta$  diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology Letters*, 14(1): 19–28.
- Arellano-Covarrubias, A. (2013). Lepidopteroфаuna (Rhopalocera: Papilionoidea y Hesperioidea) del municipio de Misantla, Veracruz, México (Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 114 pp.
- Arellano, Covarrubias, A., Llorente-Bousquets, J. E. y Luis-Martínez, A. (2018). Distribución y fenología de la familia Riodinidae (Lepidoptera: Papilionoidea) en el bosque tropical subcaducifolio de Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(2): 503-55.
- Baldo, D., Borteiro, C., Brusquetti, F., García, J. E. y Prigioni, C. (2008). Reptilia, Gekkonidae, *Hemidactylus mabouia*, *Tarentola mauritanica*: Distribution extension and anthropogenic dispersal. *Check List*, 4(4), 434-438.
- Baselga, A. (2009). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1): 134–143.
- Baselga, A. (2013). Separating the two components of abundance-based dissimilarity: balanced changes in abundance vs. abundance gradients. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(6): 552–557.
- Baselga, A. y Gómez-Rodríguez, C. (2019). Diversidad alfa, beta y gamma: ¿Cómo medimos diferencias entre comunidades biológicas? *Nova Acta Científica Compostelana*, 26: 39-45.
- Baselga, A., Orme, D., Villeger, S., De Bortoli, J., Leprieur, F., y Logez, M. (2021). betapart: Partitioning Beta Diversity into Turnover and Nestedness Components. R package version 1.5.4. <https://CRAN.R-project.org/package=betapart>.
- Beck, J. y Schwanghart, W. (2010). Comparing measures of species diversity from incomplete inventories: an update. *Methods in Ecology & Evolution*, 1:38–44.
- Bertram, K. (2015). The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*, 120, 139-152.
- Blair, R. B. (1999). Birds and butterflies along an urban gradient: Surrogate taxa for assessing biodiversity? *Ecological Applications*, 9(1): 164–170.

- Blair, R. B. (2001). Birds and butterflies along urban gradients in two ecoregions of the United States: is urbanization creating a homogeneous fauna? En: J. Lockwood y L. McKinney (Eds.), *Biotic homogenization* (pp. 33-56). Kluwer Academic/Plenum Publishers New York, New York.
- Blancas-Velázquez, K. (2022). Mariposas diurnas (Papilionoidea y Hesperoidea) del Centro de Educación Ambiental Yautlica en la Sierra de Santa Catarina, Iztapalapa, Distrito Federal (Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 86 pp.
- Borrer, D. J. y White, R. E. (1970). A Field Guide to Insects America north of México (pp. 218-229). Houghton Mifflin Company. Boston, Nueva York.
- Brown, J. (1984). On the relationship between abundance and distribution of species. *The American Naturalist*, 124 (2): 255-279.
- Brown, K. S. y Hutchings, R. W. (1997). Disturbance, fragmentation, and the dynamics of diversity in Amazonian Forest butterflies. En: W. F Laurance y R. Bierregaard. (Eds.), *Tropical Forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities* (pp. 91-110). University of Chicago Press, Chicago.
- Bühning, K. (1997). Determinants of avian species richness at different spatial scales. *Journal of Biogeography*, 24(1): 49–60.
- Cabrero-Sañudo, F., Cañizares García, R., Caro-Miralles, E., Gil Tapetado, D., Grzechnik, S. y López Collar, D. (2022). Seguimiento de artrópodos bioindicadores en áreas urbanas: objetivos, experiencias y perspectivas. *Ecosistemas*, 31(1): 2340.
- Cadenasso, M. L., Pickett, S. y Schwarz, K. (2008). Spatial heterogeneity in urban ecosystems: reconceptualizing land cover and a framework for classification. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(2): 80–88.
- Castro-Ibarra, C., Guzmán-Soto, C. y Oskarly, P. (2017). Ciclo de vida y descripción de los estadios inmaduros de *Caligo telamonius memnon* (C. Felder y R. Felder, 1867) (Lepidoptera: Nymphalidae) en condiciones de zoocría en zona de amortiguación del Parque Nacional Natural Tayrona. *Biodiversidad Neotropical*, 7: (2): 76-85.
- Cervantes-Valera, K. (2012). Preferencia de oviposición de *Leptophobia aripa* sobre la planta hospedera *Tropaeolum majus* L. en el jardín de mariposas de la FES Iztacala. (Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 59 pp.
- Chacón, I. y Montero, J. (2007). Mariposas de Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad. (pp. 624).
- Chao, A., Colwell, Lin, W. y Gotelli, N. (2009). Sufficient sampling for asymptotic minimum species richness estimators. *Ecology*, 90:1125–1133.

- Chao, A., Chiu, H. y Jost, L. (2010). Phylogenetic diversity measures based on Hill numbers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365:3599–3609.
- Chao, A. y Chiu, C. (2016). SpadeR: Species-Richness Prediction and Diversity Estimation with R. R package version 0.1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=SpadeR>.
- Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 68, 129-138.
- Climate-data.org. (2021). *Clima: Chapultepec*. Recuperado mayo 2021, de: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/distrito-federal/chapultepec-766276/t/abril-4/>
- CONABIO. (2022). *Jardín para polinizadores*. Recuperado enero 2023, de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/procesose/polinizacion/jardin-de-polinizadores>
- Convey, P. (2004). Recent lepidopteran records from sub-Antarctic South Georgia. *Polar Biology*, 28(2): 108–110.
- Corke, D. (1999). Are Honeydew/Sap-feeding Butterflies (Lepidoptera: Rhopalocera) affected by particulate air-pollution? *Journal of Insect Conservation*, 3(1): 5–14.
- Cornelis, J. y Hermy, M. (2004). Biodiversity relationships in urban and suburban parks in Flanders. *Landscape and Urban Planning*, 69(4): 385–401.
- Cotler, H., Cram, S., Mendoza-Ruiz, L. y Ramírez-Beltrán, M. (2021). Sellamiento del suelo en el Bosque de Chapultepec y propuestas de restauración. *Investigaciones geográficas*, (105).
- Cruz Flores, D., Martínez-Borrego, D., Fontenla, J. y Mancina, C. (2017). Inventarios y estimaciones de la biodiversidad. En C. Mancina y D. Cruz (Ed.), *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas* (pp. 26-43). AMA, La Habana.
- Cueto, V. R. y Casenave, J. L. (1999). Determinants of bird species richness: role of climate and vegetation structure at a regional scale. *Journal of Biogeography*, 26(3): 487–492.
- De Juana, F. (2016). Gestión de zonas verdes urbanas y periurbanas para la conservación de la biodiversidad: el caso de Vitoria-Gasteiz. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 39: 312-223.
- Díaz-Batres, M. E. y Llorente-Busquets, J. (2011). Mariposas de Chapultepec. Guía Visual (pp. 155.). Panorama, México.
- Dornelas, M., Gotelli, N. J., McGill, B., Shimadzu, H., Moyes, F. y Sievers, C. (2014). Assemblage time series reveal biodiversity change but not systematic loss. *Science*, 344(6181): 296–9.

- Enríquez, C. (2012). El Bosque de Chapultepec y la transformación de su entorno (Tesis de Licenciatura. Facultad de ingeniería). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 121 pp.
- Espeland, M., Breinholt, J., Willmott, K. R., Warren, A. D., Vila, R., Toussaint, E. F., Maunsell, S. C., Aduse-Poku, K., Talavera, G., Eastwood, R., Jarzyna, M. A., Guralnick, R., Lohman, D. J., Pierce, N. E. y Kawahara, A. Y. (2018). A Comprehensive and Dated Phylogenomic Analysis of Butterflies. *Current Biology*, 28(5): 770–778.
- Espinosa–Escalante, T. (2003). ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos: ciencia y cultura* 52:53–56.
- Ferrer, Y. (2015). Variables que influyen en la distribución y abundancia de rapaces diurnas y en la ubicación de sus sitios de anidación en Cuba. (Tesis de doctorado). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S, C, Baja California, México. 281 pp.
- Galindo-Leal, C. (2021). La trama de la vida en el Bosque de Chapultepec. En: *El Bosque de Chapultepec sitio sagrado y natural de México* (pp. 211-236). Paralelo 21.
- Gálvez, X. (2020). *La Cuarta Sección del Bosque de Chapultepec*. Recuperado mayo 2021, de: [https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/2/2020-07-28-1/assets/documentos/PA\\_PAN\\_Sen\\_Galvez\\_Espacio\\_Cultural\\_Los\\_Pinos.pdf](https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/2/2020-07-28-1/assets/documentos/PA_PAN_Sen_Galvez_Espacio_Cultural_Los_Pinos.pdf)
- García-Barrios, E. (1999). Filogenia y evolución de Lepidoptera. *Bol. S.E.A.*, 26: 475-483.
- García-Barrios, E., Romo, E., Sarto, V., Munguira, M., Baixeras, J., Vives, A. y Yela-García, J. L. (2015). Clase Insecta: Orden Lepidoptera. *Bol. S.E.A.*, 65: 1-21.
- García-Morales, R., Moreno, C. E., y Bello-Gutiérrez, J. (2011). Renovando las medidas para evaluar la diversidad en comunidades ecológicas: El número de especies efectivas de murciélagos en el sureste de Tabasco, México. *Therya*, 2(3), 205–215.
- Gillespie, T. W. y Walter, H. (2001). Distribution of bird species richness at a regional scale in tropical dry forest of Central America. *Journal of Biogeography*, 28(5): 651–662.
- Giraldo, S. y Uribe, S. (2010). *Solanum hirtum* as a host plant for *Mechanitis menapis menapis* (Lepidoptera: Ithomiinae). *Revista Colombiana de Entomología*, 36: 169–171.
- Giraldo-Mendoza, A. (2015). La suficiencia taxonómica como herramienta para el monitoreo de artrópodos epígeos: una primera aproximación en el desierto costero peruano. *Ecología Aplicada*, 14(2), 147-156.
- Glassberg, J. (2007). *A Swift Guide to the Butterflies of America and Central America*. (pp. 265). Sunstreak Books, Inc.

- Grøtan, V., Lande, R., Engen, S., Sæther, B.-E. y DeVries, P. J. (2012). Seasonal cycles of species diversity and similarity in a tropical butterfly community. *The Journal of Animal Ecology*, 81, 714–723.
- Harrison, S. (1991). Local extinction in a metapopulation context: an empirical evaluation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 42(1-2)
- Hernández-Jerónimo, J. (2022). Las mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea) del Valle de Cuatro Ciénegas, Cuatro ciénegas de Carranza, Coahuila, México (Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 125 pp.
- Hernández-Mejía, B. C. (2009). Riqueza, distribución y gremios alimentarios de mariposas diurnas de la familia Hesperiiidae (Lepidoptera: Hesperioidea), en el sur del Estado de México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 108 pp.
- Hubbell, S. J. (2001). *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, New Jersey.
- Jaime-Escalante, Nidia., Figuereo-Esquivel y Villaseñor-Gómez, J. F. (2016). Distribución altitudinal de la riqueza y composición de “ensamblajes” de aves en una zona montañosa al sur de Nayarit, México. *Revista de Biología Tropical*, 64 (4), 1537-1551.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2): 363–375.
- Koh, L. P. y Sodhi, N. S. (2004) Importance of reserves, fragments, and parks for butterfly conservation in a tropical urban landscape. *Ecological Applications*, 14(6): 1695–1708.
- Kristensen, N. (1999). The Lepidoptera, I. Evolution, systematics, and biogeography. En: M. Fischer (Ed), *Handbuch der Zoologie, IV, Arthropoda: Insecta, part 35* (pp. 491). W. de Gruyter, Berlín.
- Kristensen, N., Scoble, M. y Karsholt, O. (2007). Lepidoptera phylogeny and systematics: the state of inventorying moth and butterfly diversity. *Zootaxa*, 1668:699-747.
- Legendre, P., Borcard, D. y Peres-Neto, P. R. (2005). Analyzing beta diversity: Partitioning the spatial variation of community composition data. *Ecological Monographs*, 75(4): 435–450.
- Legendre, P. (2007). Studying beta diversity: ecological variation partitioning by multiple regression and canonical analysis. *Journal of Plant Ecology*, 1(1): 3–8.
- Leps, J. y Smilauer, P. (2003). Multivariate analysis of ecological data Using CANOCO. 10.1017/CBO9781139627061.
- Leston, L. y Koper, N. (2017). Urban rights-of-way as extensive butterfly habitats: A case study from Winnipeg, Canada. *Landscape and Urban Planning*, 157, 56–62.
- Llorente-Bousquets, J. E. (1985). Las mariposas, En: *Imagen de la gran Capital* (pp. 19-45). Enciclopedia de México.



- Llorente-Bousquets, J. E., Luis-Martínez A., Vargas, L. F. y Soberón, J. M. (1996). Papilionoidea (Insecta: Lepidoptera). En: J. E. Llorente-Bousquets., A. García y E. Gonzalez (Ed.), *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento* (pp. 531-548). Instituto de Biología, UNAM.
- Llorente-Bousquets, J. E., Oñate-Ocaña, L., Luis-Martínez, A. y Vargas-Fernández, I. (1997). Papilionidae y Pieridae de México: distribución geográfica e ilustración. Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México (pp. 230). Las Prensas de Ciencias.
- Llorente-Bousquets, J., Vargas-Fernández, I., Luis-Martínez, 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.
- Lotts, K. y Naberhau. (2021). Butterflies and moths of North America.<http://www.butterfliesandmoths.org/>
- Luis-Martínez, A. (1987). Distribución altitudinal y estacional de los Papilionoidea (Insecta: Lepidoptera), en la Cañada de los Dinamos: Magdalena Contreras, Ciudad de México. (Tesis de Licenciatura: Facultad de Ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 113 pp.
- Luis-Martínez, A., Llorente-Bousquets, J. E. y Vargas-Fernández, I. (2003). Nymphalidae de México I (Danainae, Apaturinae, Biblidinae y Heliconiinae): distribución geográfica e ilustración. Ciudad de México. Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México (pp. 249). Las Prensas de Ciencias.
- Luis-Martínez, A., Llorente-Bousquets, J. E., Vargas-Fernández, I. y Pozo, C. (2010). Nymphalidae de México III (Nymphalinae): distribución geográfica e ilustración. Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México (pp. 195). Las Prensas de Ciencias.
- Luis-Martínez, A., Ávalos-Hernández, O., Trujano-Ortega, M., Arellano-Covarrubias, A., Vargas-Fernández, I., y Llorente-Bousquets, J. (2021). Richness and Endemism of the Papilionoidea (Lepidoptera) of the Loxicha region, state of Oaxaca, Mexico. *Dugesiana*, 28(2): 233-246.
- Luna-Reyes, M., Luis-Martínez, A., Vargas-Fernández, I. y Llorente-Bousquets, J. E. (2012). Mariposas del estado de Morelos, México (Lepidoptera: Papilionoidea). *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(3), 623-666.
- MacGregor-Fors, I., Escobar, F., Rueda-Hernández, R., Avendaño-Reyes, S., Baena, M., Bandala, V., Chacón-Zapata, S., Guillén-Servent, A., González-García, F., Lorea-Hernández, F., Montes de Oca, E., Montoya, L., Pineda, E., Ramírez-Restrepo, L., Rivera-García, E. y Utrera-Barrillas, E. (2016). City “Green” Contributions: The Role of Urban Greenspaces as Reservoirs for Biodiversity. *Forests*, 7(12): 146.

- MacGregor-Fors, I. (2019). Diseño de muestreo, grupos de estudio y variables independientes. En: I. Zuria., A. Olvera-Ramírez y P. Bastida (Ed.), *Manual de técnicas para el estudio de fauna nativa en ambientes urbanos* (pp. 26-38). Fondo editorial.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Manzanares, J. (2015). Evaluación de seis especies nativas de las familias Anacardiaceae, Boraginaceae y Fabaceae para la reforestación de la segunda sección del bosque de Chapultepec. (Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 83 pp.
- Marcel-Drechsler, R. (2019). La ecología de los reptiles en un parque natural antropizado: factores que afectan a su distribución, gestión y conservación. (Tesis de doctorado). Universidad de Valencia, Valencia, Valencia, España. 171 pp.
- Martínez, E., Rös, M., Bonilla, Ma y Dirzo, R. (2015). La heterogeneidad del hábitat afecta la diversidad y rotación de especies de plantas y artrópodos en los campos de maíz tradicionales. *PLoS ONE*, 10 (7).
- Martín-López, B., González, J., Díaz, S., Castro, I., y García-Llorente, M. (2007). Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas*, 16 (3): 68-79.
- McAleece, N. (1997). Biodiversity PRO, Ver.2.0.0. The Natural History Museum & The Scottish Association for Marine Science. Disponible en <<http://www.sams.ac.uk/peter-lamont/biodiversity-pro>>.
- MEA: Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis*. Island Press, Washington DC.
- Meléndez-Jaramillo, E., Ayala, C., Garza, E., Sánchez-Reyes, U. y Herrera-Fernández, B. (2021). Composition and diversity of butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea) along an atmospheric pollution gradient in the Monterrey Metropolitan Area, Mexico. *ZooKeys*, 1037 (1): 73-103.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad (pp. 84). MyT–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza.
- Moreno, C. E. y Rodríguez, P. (2010). ¿A consistent terminology for quantifying species diversity? *Oecologia*, 163(2): 279–282.
- Morrone, J., Espinosa, D., Fortino, A. y Posadas, P. (1999). El arca de la biodiversidad (pp. 87). UNAM México.
- Mulder, C., Aldenberg, T., De Zwart, D., Van Wijnen, H. J. y Breure, A.M. (2005) Evaluating the impact of pollution on plant-Lepidoptera relationships. *Environmetrics*, 16(4): 357–373.

- Nekola, J. C. y White, P. S. (1999). The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *Journal of Biogeography*, 26(4): 867–878.
- Nieukerken, E., Kaila, L., Kitching, I., Kristensen, N., Lees, D., Minet, J., Mitter, C., Mutanen, M., Regier, J., Simonsen, T., Wahlberg, N., Yen, S., Zahiri, R., Adamski, D., Baixeras, J., Bartsch, D., Bengtsson, B., Brown, J., Bucheli, S., Davis, D., De Prins, J., De Prins, W., Epstein, M., Gentili-Poole, P., Gielis, C., Hättenschwiler, P., Hausmann, A., Holloway, J., Kallies, A., Karsholt, O., Kawahara, A., Koster, S., Kozlov, M., Lafontaine, J., Lamas, G., Landry, J., Lee, S., Nuss, M., Park, K., Penz, C., Rota, J., Schintlmeister, A., Schmidt, B., Sohn, J., Solis, M., Tarmann, G., Warren, A., Weller, S., Yakovlev, R., Zolotuhin, V. y Zwick, A., (2011). Order Lepidoptera Linnaeus, 1758. In: Zhang, Z.-Q. (ed). Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa* 3148, 212-221.
- Öckinger, E., Dannestam, A. y Smith, H. G. (2009). The importance of fragmentation and habitat quality of urban grasslands for butterfly diversity. *Landscape and Urban Planning*, 93(1): 31–37.
- Oksanen, J. y Tonteri, T. (1995). Rate of compositional turnover along gradients and total gradient length. *Journal of Vegetation Science*, 6(6): 815–824.
- ONU-Hábitat. (2012). *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe. Rumbo a una nueva transición urbana*. Recuperado marzo 2021, de: [http://www.cinu.mx/minisitio/Informe\\_Ciudades/SOLACC\\_2012\\_web.pdf](http://www.cinu.mx/minisitio/Informe_Ciudades/SOLACC_2012_web.pdf)
- Orta, S., Reyes-Agüero, J., Luis-Martínez, A. y Muñoz-Robles, C. (2022). Las mariposas bioindicadoras ecológicas de México. Artículo de revisión. *Acta Zoológica Mexicana*, 38, 1-33.
- Ortega-Álvarez, M. R. (2008). Efectos del tipo de uso de suelo urbano sobre la diversidad, estructura y composición de las comunidades de aves del suroeste de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 57 pp.
- Ortega-Álvarez, M. R. y MacGregor-Fors, I. (2009). Living in the big city: Effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition, *Landscape and Urban Planning*, 90, 3–4,
- Ospina-López, La, Andrade-C., Mg y Reinoso-Flórez, G. (2015). Diversidad de mariposas y su relación con el paisaje en la cuenca del río Lagunillas, Tolima, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 39 (153): 455-474.
- Palmer, M. (2008). *Métodos de Ordenación para Ecologistas*. Universidad Estatal de Oklahoma. Recuperado junio 2022 en: <http://ordination.okstate.edu/>
- Peters, K., Elands, B. y Buijs, A. (2010). Social interactions in urban parks: Stimulating social cohesion? *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(2): 93–100.

- Pro-Bosque de Chapultepec. (2022). SEDEMA. Recuperado enero 2023, de: [http://data.sedema.cdmx.gob.mx/bosquedechapultepec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=58&Itemid=87](http://data.sedema.cdmx.gob.mx/bosquedechapultepec/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=87)
- PUEC-UNAM. (2002). Programa Ejecutivo para la implementación del Manejo integral y Desarrollo Autosostenible del Bosque de Chapultepec. Reporte de uso interno. 142 pp.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Rabinowitz, D. (1981). Seven forms of rarity. En: H. Synge (Ed.), *Biological Aspects of Rare Plant Conservation* (pp. 205-217). John Wiley y Sons, Nueva York.
- Ramírez, L. (2000). Evaluación del efecto insecticida de plantas de Los Altos de Chiapas sobre *Leptophobia aripa elodia* Boisd. (Lepidoptera: Pieridae). (Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur). Tabasco, México. 32 pp.
- Ramírez-Restrepo, L., Ulloa-Chacón, P., y Constantino, L. (2007). Diversity of diurnal butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) in Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia. *Revista colombiana de entomología*, 33, 54-63.
- Ramírez-Restrepo, L., Cultid-Medina, C. y MacGregor-Fors, I. (2015). How many butterflies are there in a city of circa half a million people? *Sustainability*, 7, 8587-8597.
- Ramírez-Restrepo, L. y MacGregor-Fors, I. (2017). Mariposas en la ciudad: una revisión de los lepidópteros diurnos urbanos. *Ecosistema urbano*, 20, 171-182.
- Regier, J. C., Mitter, C., Zwick, A., Bazinet, A. L., Cummings, M. P., Kawahara, A. Y., Sohn, J. C., Zwickl, D. J., Cho, S., Davis, D. R., Baixeras, J., Brown, J., Parr, C., Weller, S., Lees, D. C. y Mitter, K. T. (2013). A Large-Scale, Higher-Level, Molecular Phylogenetic Study of the Insect Order Lepidoptera (Moths and Butterflies). *PLoS ONE*, 8(3).
- Reyes-Paecke, S., Barbosa, O., Celis-Diez, J. y De la Barrera, F. (2018). Ecosistemas urbanos. En: *La Biodiversidad de Chile*, vol. II (pp. 101-110). Ministerio del Medio Ambiente, Chile.
- Rodríguez, P., Soberón, J. y Arita, H. (2003). El componente beta de la diversidad de mamíferos de México. *Acta zoológica mexicana*, (89): 241-259.
- Ruíz, E., Vázquez, J., Zárate-Gómez., Pinedo, J. (2015). Aspectos Biológicos de *Morpho helenor theodorus* (Fruhstorfer) (Lepidoptera: Nymphalidae; Morphinae) y *Mechanitis polymnia* (Linnaeus), (Lepidoptera: Nymphalidae; Ithomiinae), En la Amazonía baja del Perú. *Folia Amazónica*, 24 (1): 45-54.
- Ruiz-Gutiérrez, V., Berlanga-García, H., Calderón-Parra, R., Savarino-Drago, A., Aguilar-Gómez, M. y Rodríguez-Contreras, V. (2020). *Manual ilustrado para el monitoreo de aves. Proalas: Programa de América Latina para las aves silvestres*. Ciudad de México: Comisión Nacional para el

Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Iniciativa para la Conservación de las Aves de Norte América, Laboratorio de Ornitología de Cornell.

Rydon, A. (1964). Notes on the use of butterfly traps in East Africa. *Journal of the Lepidopterists Society*, 18(1): 51-58.

Rzedowski, J. (1970). Nota sobre el Bosque Mesófilo de Montaña en el Valle de México. *Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional* 18: 91-106.

Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México* (pp. 432). Limusa México.

Rzedowski, J. (1979). *Flora fanerogámica del Valle de México* (pp. 403). Continental.

Sánchez-Jasso, J., Estrada-Álvarez, J., Medina, J. y Estrada-Fernández, B. (2019). Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea) en el paisaje urbano del municipio de Metepec, Estado de México, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 90.

Schluter, D. y Ricklefs, R. E. (1993). Species diversity: an introduction to the problem. (pp. 1–12). En: D. Schluter y R. E. Ricklefs. (Eds.), *Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives*. The University of Chicago Press.

SEDEMA. (2010). *Áreas Naturales Protegidas de la Ciudad de México*. Recuperado enero 2023, de: <http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/areas-naturales-protegidas>

SEDEMA. (2021). *Cuarta Sección del Bosque de Chapultepec abre los fines de semana*. Recuperado agosto 2021, de: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/cuarta-seccion-del-bosque-de-chapultepec-abre-los-fines-de-semana>.

SEDEMA. (2021). *Plan Maestro Integral del Bosque de Chapultepec Naturaleza y Cultura*. Recuperado enero 2023, de: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/EvaluacionAmbientalestrategicaBosquedeChapultepecNaturalezayCultura/2-1-Plan-Maestro-Intergal-Bosque-de-Chapultepec-N-y-C.pdf>

Segarra-Bermúdez, V. (2019). Análisis de la diversidad y abundancia de mariposas diurnas comparando diferentes hábitats en el municipio de Vila Real (Portugal) en primavera-verano de 2017 (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Smith, L. (2002). *A tutorial on principal components analysis*. Recuperado junio 2022, de: <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/819/1/241621.pdf>

Soininen, J., Heino, J. y Wang, J. (2017). A meta-analysis of nestedness and turnover components of beta diversity across organisms and ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 27 (1).

- Tapia-Sedeño, D. (2017). Variación morfológica y molecular del complejo *Chlosyne rosita* (Lepidoptera: Nymphalidae). (Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 66 pp.
- Ter Braak, C. y Smilauer, P. (2002) Manual de referencia de CANOCO y guía del usuario de CanoDraw para Windows: software para la ordenación comunitaria canónica (versión 4.5). Biometris, Wageningen.
- Terreros-Olivares, L. (2005) Descripción del ciclo de vida de *Caligo memnon* (Papilionoidea: Nymphalidae: Brassoliniinae) en cautiverio en el Parque Ecoarqueológico Xcaret, Quintana Roo. (Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 85 pp.
- Traut, W., Sahara, K., y Marec, F. (2007). Sex Chromosomes and Sex Determination in Lepidoptera. *Sexual Development*, 1(6), 332–346.
- Trujano-Ortega, M. y Luis-Martínez. A. (2016). Mariposas diurnas (Rhopalocera), (pp. 335-342). En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. II. CONABIO/SEDEMA, México.
- Valtonen, A., Molleman, F., Chapman, C. A., Carey, J. R., Ayres, M. P. y Roininen, H. (2013). Tropical phenology: Bi-annual rhythms and interannual variation in an Afrotropical butterfly assemblage. *Ecosphere*, 4, (3).
- Vargas-Fernández, I., Llorente-Bousquets, J. E. y Luis-Martínez, A. (2016). Adiciones a la serie Papilionoidea de México: Distribución geográfica e ilustración. Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México (pp. 119). Las Prensas de Ciencias.
- Vellend, M. (2001). Do commonly used indices of  $\beta$ -diversity measure species turnover? *Journal of Vegetation Science*, 12(4): 545–552.
- Villaseñor, J. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(3), 559-902.
- Warren, A. D., Ogawa, J. R. y Brower, A. V. (2009). Revised classification of the family Hesperiiidae (Lepidoptera: Hesperoidea) based on combined molecular and morphological data. *Systematic Entomology*, 34: 467-523.
- Warren, A. D., Davis, K., Stangeland, E., Pelham, J. y Grishin, N. (2013). Illustrated Lists of American Butterflies. <http://www.butterfliesofamerica.com>.
- Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21, 213–251.
- WHO (World Health Organization). (2016). Urban green spaces and health. A review of evidence. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

Wu, J. O. y Loucks, L. (1995). From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *The Quarterly Review of Biology*, 70: 439-466.

## APÉNDICES

Apéndice 1. Lista de variables del paisaje, locales, ambientales y de perturbación tomadas en los puntos de muestreo en el Parque Bosque de Chapultepec. Se especifica la unidad y la manera en que se tomó cada una de ellas (Ortega-Álvarez, 2008; Ruíz-Gutiérrez *et al.* 2020).

Variable	Unidad	Descripción
Altura arbórea promedio	m	Altura promedio de los cinco arboles medidos en el punto (norte, sur, este, oeste y centro)
Ardillas	#	Número de ardillas que pasan por el punto durante 3 minutos
Autos en movimiento	#	Número de autos que pasan por el punto durante 3 minutos
Autos estacionados	#	Número de autos presentes en el punto durante 3 minutos (estacionados y en movimiento)
Circunferencia promedio	cm	Circunferencia promedio de los cinco arboles medidos en el punto (norte, sur, este, oeste y centro)
Cobertura de agua	%	% del punto cubierto por cuerpos de agua
Cobertura de arbustos	%	% del punto cubierto por vegetación de 50 cm a 5m de altura
Cobertura de basura	%	% del punto cubierto por basura
Cobertura construida	%	% del punto cubierto por construcciones (baldas, casas, edificaciones)
Cobertura de dosel	%	% del punto cubierto por vegetación con altura mayor a los 5 m
Cobertura floral	%	% del punto cubierto por flores de todas las especies
Cobertura de hierbas	%	% del punto cubierto por vegetación de 1 a 50 cm de altura
Cobertura de pasto	%	% del punto cubierto por pasto
Cobertura de pavimento	%	% del punto cubierto por pavimento
Cobertura de suelo	%	% del punto cubierto por suelo desnudo (tierra)
Densidad arbórea	#	Número de árboles en el interior del punto (30 m de radio)
Circunferencia promedio	cm	Circunferencia promedio de los cinco arboles medidos en el punto (norte, sur, este, oeste y centro)
Diámetro a la altura del	cm	DAP promedio de los cinco arboles medidos (CIRCPROM/3.1416)



pecho promedio		
Distancia al borde	m	Distancia del punto de conteo al borde del parque
Número de gatos	#	Número de gatos que pasan por el punto durante 3 min
Humedad	%	Humedad presente durante la realización del punto
Número de postes de luz	#	Número de postes de luz presentes en el punto
Número de perros	#	Número de perros que pasan por el punto durante 3 min
Número de transeúntes	#	Número de personas que pasan por el punto durante 3 min
Riqueza arbórea	#	Número de morfoespecies de árboles en el punto
Riqueza arbustiva	#	Número de morfoespecies de arbustos en el punto
Riqueza floral	#	Número de morfoespecies de flores en el punto
Riqueza herbácea	#	Número de morfoespecies de hierbas en el punto
Riqueza microhábitats	#	Número de microhábitats en el punto (suma de microhábitats)
Temperatura	Celsius	Temperatura durante la realización del punto