



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE HIDALGO**

---

---

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**Diversidad de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) en un  
gradiente de urbanización en la Zona Metropolitana de  
Pachuca, Hidalgo, México.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

P R E S E N T A:

**ELSI BERTHA PÉREZ JARILLO**

DIRECTOR:

**DR. IGNACIO ESTEBAN CASTELLANOS STUREMARK**

CODIRECTOR:

**DR. JOSÉ LUIS SALINAS GUTIÉRREZ**

MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO, 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
**Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería**  
 Institute of Basic Sciences and Engineering  
**Área Académica de Biología**  
 Biology Department

**M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO**  
**DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR, UAEH**  
**PRESENTE**

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado a la pasante de Licenciatura en Biología **Elsi Bertha Pérez Jarillo**, quien presenta el trabajo recepcional de tesis intitulado **"Diversidad de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) en un gradiente de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México."**, después de revisarlo en reunión de sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

PRESIDENTE: Dra. Claudia Elizabeth Moreno Ortega  
 SECRETARIO: M. en C. Manuel González Ledesma  
 PRIMER VOCAL: Dr. Ignacio Esteban Castellanos Sturemark  
 SEGUNDO VOCAL: Dra. Iriana Leticia Zuria Jordan  
 TERCER VOCAL: Dr. José Luis Salinas Gutiérrez  
 PRIMER SUPLENTE: M. en C. Julieta Asiain Álvarez  
 SEGUNDO SUPLENTE: Dra. Ana Paola Martínez Falcón

P.A.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi más atenta consideración.

**ATENTAMENTE**  
**"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"**  
 Mineral de la Reforma, Hidalgo a 31 de Julio de 2017

**M. en C. Magdalena Meza Sánchez**

**Coordinador Adjunto de la Licenciatura en Biología**



C.c.p. Archivo



PROMOTORSE



Ciudad del Conocimiento  
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5  
 Colonia Carboneras  
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184  
 Tel. +52 771 7172000 exts. 6640 y 6642, Fax 2112  
 aab\_ici@uaeh.edu.mx

[www.uaeh.edu.mx](http://www.uaeh.edu.mx)

## AGRADECIMIENTOS

A las mariposas que dieron su vida para la realización de este estudio.

A mis padres académicos, el Dr. Ignacio E. Castellanos Sturemark y la Dra. Iriana L. Zuria Jordan por haberme aceptado en su equipo de trabajo. Particularmente quiero agradecer al Dr. Nacho por que confió en mi trabajo, por sus correcciones, sugerencias, tiempo, paciencia y darme el apoyo necesario para terminar esta tesis.

A cada uno de mis sinodales por su participación en la revisión y corrección de este trabajo: Dra. Ana Paola Martínez Falcón, M. en C. Julieta Asiain Álvarez, Dr. José Luis Salinas Gutiérrez, Dra. Claudia Elizabeth Moreno Ortega, M. en C. Manuel González Ledesma, Dra. Iriana Zuria, Dr. Ignacio Castellanos, gracias por sus observaciones y recomendaciones con el fin de que este trabajo tuviera mejor presentación.

Con particular agradecimiento a la Dra. Claudia Moreno por ayudarme con los análisis para el esfuerzo de muestreo y diversidad taxonómica. Al M. en C. Manuel González por su apoyo con la identificación de algunas plantas. A los doctores José Luis Salinas y Andrew Warren por su gran ayuda con la taxonomía de las mariposas y mostrarme la extraordinaria diversidad de este grupo.

A mis compañeros y amigos de laboratorio, Claudia, Vianey, Eyenith, Janice, Maryev, Ana, Ara, Chucho y Ada por su compañía durante esta etapa. Especialmente a Karina por su tiempo y siempre estar dispuesta a resolver mis dudas.

A mis amigos que me acompañaron a campo, Paulina, Martha, Folken, Axl, Rosario, Mayely y Amneris, quienes además hicieron excelentes observaciones a este trabajo.

A mi familia, especialmente a mi mamá, por su absoluto e incalculable amor, paciencia y comprensión a lo largo de la vida y de estos dos años de tesis. A mis primos, Jorge y Arturo por su apoyo incondicional, consejos, confianza y ánimos que siempre me brindaron. A mi primo Ray por su enorme ayuda con el diseño editorial de la tesis y soportarme en su casa cada vez, muchas, muchas gracias Kayito.

A mis grandes amigas, Sol, Amneris y Diana por su valiosa amistad e impulsarme a realizar y terminar este trabajo. Con especial reconocimiento a Mayely por estar siempre conmigo y apoyarme incondicionalmente en todo, por su confianza, sinceridad y valiosas enseñanzas, por ser mi consejera y contribuir en el seguimiento de mi vida académica, gracias infinitas.

*Pontia protodice*

Foto: Elsi B. Pérez Jarillo.



*We can allow satellites, planets, suns, universe, nay whole systems of universes, to be governed by laws, but the smallest insect, we wish to be created at once by special act, provided with its instincts, its place in nature, its range...*

*Podemos permitir que los satélites, los planetas, los soles, el universo, los sistemas enteros de universos, sean gobernados por leyes, pero el insecto más pequeño, deseamos que sea creado a la vez por un acto especial, provisto de sus instintos, de su lugar en la naturaleza, de su variedad...*

Charles Darwin

“Notebook N” (1838).

En Darwin’s Religious Odyssey (2002) por William E. Phipps.

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.</b>	<b>3</b>
1.1 Grupo de estudio.	5
1.1.1 Lepidoptera: biodiversidad y generalidades.	5
1.1.2 Rhopalocera: clasificación y biodiversidad en México.	13
1.2 Antecedentes.	14
1.2.1 Ambientes urbanos como ecosistemas.	14
1.2.2 Influencia de la urbanización en los insectos.	15
1.2.3 Lepidoptera en zonas urbanas.	18
1.2.4 Escala espacial.	24
1.2.5 Diversidad taxonómica.	26
1.3 Justificación.	27
1.4 Objetivos.	28
1.4.1 Objetivo general.	28
1.4.2 Objetivos particulares.	28
<b>2 MÉTODO.</b>	<b>31</b>
2.1 Área de estudio.	32
2.2 Trabajo de campo.	34
2.2.1 Sitios de muestreo.	34
2.2.2 Recolección de mariposas.	38
2.3 Trabajo en laboratorio.	39
2.3.1 Identificación de ejemplares.	39
2.3.2 Medición de las variables a escala de paisaje.	40
2.3.3 Análisis de datos.	40

<b>3 RESULTADOS.</b>	<b>45</b>
3.1 Composición de especies.	<b>46</b>
3.2 Relación de la riqueza y abundancia de especies con la composición del paisaje.	<b>49</b>
3.3 Diversidad taxonómica y su relación con la composición del paisaje.	<b>52</b>
<b>4 DISCUSIÓN.</b>	<b>55</b>
4.1 Composición de especies.	<b>56</b>
4.2 Relación de la Riqueza y abundancia de especies con la composición del paisaje.	<b>61</b>
4.3 Diversidad taxonómica y su relación con la composición del paisaje.	<b>67</b>
<b>5 CONCLUSIONES.</b>	<b>71</b>
<b>6 LITERATURA CITADA.</b>	<b>75</b>
<b>7 APÉNDICES.</b>	<b>101</b>
Apéndice A	<b>102</b>
Apéndice B	<b>112</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Huevos de la familia Pieridae. A la derecha huevos en grupo de <i>Leptophobia aripa elodia</i> y los otros dos pertenecen a <i>Phoebis philea</i> .	<b>7</b>
<b>Figura 2</b>	<i>Hemileuca mexicana</i> en pasto.	<b>8</b>
<b>Figura 3</b>	Prepupa de <i>Pterourus multicaudata multicaudata</i> en rama de árbol del trueno.	<b>9</b>
<b>Figura 4</b>	<i>Chlosyne ehrenbergii</i> en hoja de tepozán.	<b>9</b>
<b>Figura 5</b>	Pupas. A. <i>Danaus pexippus</i> . B. <i>Arachnis dilecta</i> . C. <i>Megalopyge agesistrata</i> .	<b>10</b>
<b>Figura 6</b>	Adultos. A. <i>Megalopyge agesistrata</i> . B. <i>Phyciodes graphica vesta</i> .	<b>11</b>
<b>Figura 7</b>	<i>Dione moneta poeyii</i> .	<b>12</b>
<b>Figura 8</b>	<i>Poanes melane vitellina</i> perchando en banca del Parque Hidalgo en la ciudad de Pachuca Hidalgo, México.	<b>17</b>
<b>Figura 9</b>	Localización del estado de Hidalgo y los municipios que conforman la zona metropolitana de Pachuca.	<b>32</b>
<b>Figura 10</b>	A. San Javier, sitio más urbanizado. B. Cerro de Zempoala, sitio menos urbanizado.	<b>35</b>
<b>Figura 11</b>	Imagen satelital de la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo. Los puntos de color naranja representan los sitios donde se realizó el muestro.	<b>37</b>
<b>Figura 12</b>	Colecta con red entomológica.	<b>38</b>

<b>Figura 13</b>	A. Resguardo de mariposas en sobres de papel glassine. B. Montaje de mariposas para su identificación.	<b>39</b>
<b>Figura 14</b>	Ejemplo de la medición de las variables a nivel de paisaje realizadas en cada sitio de muestreo en un buffer de 500 m de radio.	<b>41</b>
<b>Figura 15</b>	Número de individuos de mariposas por familia.	<b>47</b>
<b>Figura 16</b>	Relación entre la riqueza de mariposas y la cobertura de superficie impermeable de la zona metropolitana de Pachuca ( $P=0.006$ , $R^2=0.415$ ).	<b>50</b>
<b>Figura 17</b>	Relación entre la riqueza de mariposas y la cobertura de vegetación exótica de la zona metropolitana de Pachuca ( $P=0.011$ , $R^2=0.36$ ).	<b>50</b>
<b>Figura 18</b>	Relación entre la riqueza de mariposas y la cobertura de matorral de la zona metropolitana de Pachuca ( $P=0.033$ , $R^2=0.252$ ).	<b>51</b>
<b>Figura 19</b>	Relación entre la abundancia de mariposas y la cobertura de vegetación exótica de la zona metropolitana de Pachuca ( $P=0.023$ , $R^2=0.289$ ).	<b>51</b>
<b>Figura 20</b>	Diversidad taxonómica de mariposas en 15 sitios con diferente nivel de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca.	<b>52</b>
<b>Figura 21</b>	<i>Erynnis mercurius mercurius</i> hembra. A. Vista dorsal. B. Vista ventral.	<b>112</b>
<b>Figura 22</b>	<i>Erynnis mercurius mercurius</i> macho. A. Vista dorsal. B. Vista ventral.	<b>112</b>

# ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b>	Gradiente de urbanización.	<b>35</b>
<b>Cuadro 2</b>	Número de especies de mariposas registrados por familia y subfamilia.	<b>46</b>
<b>Cuadro 3</b>	Valores de completitud para cada sitio ( $C_n$ : cobertura de la muestra) con base en los datos de abundancia (número de individuos recolectados) y especies raras (con uno y con dos individuos).	<b>48</b>
<b>Cuadro 4</b>	Valores obtenidos de los análisis de regresión lineal simple entre las variables del paisaje y la riqueza y la abundancia de mariposas. Se muestra la ecuación que describe a la recta, el nivel de significancia (P) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).	<b>49</b>
<b>Cuadro 5</b>	Diversidad taxonómica y riqueza de especies de mariposas en 15 sitios de muestreo de la zona metropolitana de Pachuca.	<b>53</b>
<b>Cuadro 6</b>	Valores obtenidos de los análisis de regresión lineal simple entre las variables del paisaje y diversidad taxonómica de mariposas. Se muestra el nivel de significancia (P) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).	<b>53</b>

Larva de *Papilio polyxenes*

Foto: Elsi B. Pérez Jarillo.



## RESUMEN

El incremento imparable de la población humana ocasiona la necesidad de transformar el hábitat para construir asentamientos que brindan comodidad y protección, sin embargo, estas modificaciones, conocidas como urbanización, son uno de los principales factores que causan la pérdida de áreas naturales y alteraciones en las condiciones climáticas, lo cual trae consigo efectos en la biota. Las mariposas, son indicadores de los cambios ambientales debido a que son sensibles a la variación del clima y directamente dependientes de las plantas, por lo cual un estudio de la respuesta de sus comunidades en un ambiente urbano, puede generar ideas sobre la creación de áreas urbanas sustentables para la conservación de la biodiversidad.

En este trabajo se estudió la riqueza y abundancia de especies de mariposas en 15 sitios con distinto grado de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México. Cada sitio fue visitado una vez al mes desde marzo de 2015 a marzo de 2016, y en cada sitio se delimitó un transecto de 100 m de largo x 10 m de ancho y se utilizó la red entomológica por una hora para capturar ejemplares. Se caracterizó el paisaje alrededor de cada sitio de muestreo mediante la digitalización de las coberturas de uso de suelo (superficie impermeable, superficie vegetal nativa, exótica, ruderal-arvense y de cultivo) en buffers circulares de 500 m de radio, utilizando una imagen satelital. Se relacionaron estas variables con la riqueza, abundancia y diversidad taxonómica de mariposas.

Se registró un total de 1625 ejemplares pertenecientes a 59 especies, representadas en 6 familias, 15 subfamilias, 18 tribus y 47 géneros, de las cuales ocho especies son endémicas de México y una es de especial importancia, pues se condiera rara por el escaso número de ejemplares depositados en colecciones biológicas. Los análisis para determinar la relación entre la riqueza de mariposas y la composición del paisaje revelaron que disminuyó conforme aumentó la cobertura de superficie impermeable (nivel de urbanización) y de vegetación introducida, mientras que acrecentó conforme incrementó la cobertura de vegetación nativa (matorral xerófilo). En cuanto a la abundancia, se encontró una relación negativa y significativa con la cobertura de vegetación introducida. La diversidad taxonómica se mostró diferente con respecto a la riqueza de especies en los sitios y se encontró que la diversidad taxonómica no presentó relación significativa con la composición del paisaje.

Estos resultados revelan que la urbanización, medida como el aumento de la cobertura de superficie impermeable y la vegetación introducida, son un factor negativo para las comunidades de mariposas. Se sugiere un aumento de áreas verdes con especies nativas dentro de las ciudades para la conservación de mariposas.



*Brephidium exilis exilis*  
Foto: Elsi B. Pérez Jarillo.



# 1 INTRODUCCIÓN

En el mundo un bebé nace cada ocho minutos, es decir alrededor de 360,000 al día, lo cual suma más de 130 millones al año (UN, 2015). Estos números provocan un incremento en la densidad de habitantes y por tanto la modificación del hábitat para construir estructuras que le den comodidad y protección al ser humano, las cuales generalmente son de materiales manufacturados que tienen como principal característica ser duraderos e impermeables y no permiten que haya una autoregeneración de los procesos ecosistémicos (McKinney, 2002; Alberti *et al.*, 2003). Al conjunto de estas actividades humanas se le conoce como urbanización (Niemelä, 1999). En México, el 79% de la población vive en zonas urbanas y se espera que el porcentaje incremente (United Nations Population Division, 2014), al mismo tiempo que la alta densidad de viviendas, edificios comerciales, carreteras y otras superficies pavimentadas. Por este motivo, para algunos la urbanización ha sido asociada con el desarrollo económico, el cual es necesario para el crecimiento de las ciudades (Berkowitz *et al.*, 2003; McKinney, 2006; Spence *et al.*, 2009), sin embargo, para otros estas modificaciones urbanas son la causa de la pérdida del hábitat y de alteraciones ambientales, lo cual trae consigo efectos negativos en la biodiversidad a diferentes escalas espaciales (Czech y Krausman, 1997; McKinney, 2002; Grimm *et al.*, 2008; McKinney, 2008).

Las ciudades son sistemas abiertos que permiten el paso a especies invasoras, no obstante, solo algunas logran sobrevivir a las amenazas, utilizar los recursos disponibles y establecerse (Emlen, 1974; McGregor-Fors, 2016), por el contrario otras, como las nativas, evaden estos sitios perturbados o se extinguen (McKinney, 2002). Durante los últimos dos siglos se han reportado extinciones tanto de mariposas como de otros insectos, por ejemplo, el caso de Roma, donde se extinguieron 35.5% de las mariposas registradas en la región en un periodo de 60 años (1900-1960; Fattorini, 2011), también en la bahía de San Francisco se extinguieron tres mariposas, además del 43% de las especies perdidas en la bahía es debido al pavimento y estructuras que dan lugar al crecimiento urbano (Connor *et al.*, 2002).

Por lo anterior y debido a que en México se conoce poco acerca de cómo las comunidades de insectos son afectadas por la urbanización (Ramírez-Rastrepo y Halffter, 2013), en el presente trabajo se da a conocer la riqueza, abundancia y diversidad taxonómica de mariposas del grupo Rhopalocera en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México, y su relación con diferentes componentes del hábitat a una escala espacial de paisaje.

## 1.1 GRUPO DE ESTUDIO

### 1.1.1 Lepidoptera: biodiversidad y generalidades

Los artrópodos son el grupo más diverso del reino Animalia ya que cuenta con 1,242,040 especies descritas (Zhang, 2011). Los miembros de la clase Insecta representan a la mayoría de los artrópodos, se conocen 1,020,007 de especies descritas en el mundo y está compuesta por 30 órdenes de los cuales cuatro, Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera y Diptera, representan el 81% de todas las especies de insectos descritas (Zhang, 2011). Los Lepidoptera son el segundo orden más diverso, el primer lugar lo tienen los Coleoptera (Footitt y Adler, 2009; Zhang, 2011).

La riqueza de especies de lepidópteros es diferente de acuerdo a los autores, el número de especies descritas se mantuvo entre 146,277 (Heppner, 1991) y 174,250 (Kristensen, 1998), posteriormente, Pogue (2009) propone un total de 155,181 especies con base en los estudios de Kristensen. Actualmente se estiman 157,424 especies descritas en el mundo (Van Nieukerken *et al.*, 2011). En México, el panorama cambia del mismo modo aunque en menor proporción, en el 2002 se tenía el registro total de 14,383 especies descritas y alrededor de 22,440 estimadas (Heppner, 2002). En la actualidad se estiman 23,750 especies de Lepidoptera, con 14,507 descritas y documentadas (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014).

El orden Lepidoptera se divide en grupos de acuerdo a ciertas características morfológicas. Los grupos Macrolepidoptera y Microlepidoptera hacen referencia al tamaño del cuerpo; Rhopalocera y Heterocera se refiere a la forma de las antenas o por sus hábitos diurnos y nocturnos respectivamente (Triplehorn y Johnson, 2005). Aunque éstas son las principales diferencias entre mariposas y polillas, existen otras características tales como la manera en la que cubren la pupa y cómo posan las alas en descanso. De manera más estricta, el orden Lepidoptera está compuesto por los subórdenes Zaugloptera, Aglossata, Heterobathmiina, y Glossata (Linnaeus, 1758; Becker, 2000; Van Nieuwerkerken *et al.*, 2011).

Los lepidópteros están formados morfológicamente por tres regiones, cabeza, la cual tiene los principales órganos sensitivos y de nutrición; el tórax, tiene órganos de locomoción; y el abdomen, donde se incluyen los órganos de reproducción, asimilación, respiración y circulación (Beutelspacher, 2013). Las cuatro alas están recubiertas por escamas y pelos, característica que le proporciona el nombre al grupo, el cual proviene de las raíces griegas *lepis*: escama y *pteron*: ala, es decir, alas con escamas. Su tamaño va desde tres milímetros en algunos microlepidópteros hasta un poco más de 30 cm en algunos macrolepidópteros (Beutelspacher, 2013).

El ciclo de vida de las mariposas y polillas consta de cuatro fases: huevo, larva, pupa y adulto. El huevo presenta una cubierta gruesa, el corion, la cual protege al embrión de la desecación y variaciones climáticas (Figura 1), también presenta una apertura en un extremo llamada micrópilo, por donde se fertiliza y después servirá como conducto de respiración para el embrión. Con base en esto se definen dos tipos: los que se colocan horizontalmente, con el micrópilo en un extremo, que suelen ser más o menos planos y pueden tomar la parte del sustrato subyacente; y los que se colocan verticales, con el micrópilo en la tapa. Pueden presentar varias formas: esféricos, hemisféricos, cilíndricos y lenticulares. Los huevos son depositados por la hembra en la o las plantas de alimentación, ya sea solos o en grupos dependiendo de la especie o la familia. Su desarrollo está relacionado con la temperatura, progresando más rápidamente en condiciones más cálidas (García-Robledo *et al.*, 2002; Powel y Opler, 2009; Beutelspacher, 2013).



**Figura 1.** Huevos de la familia Pieridae. A la derecha huevos en grupo de *Leptophobia aripa elodia* y los otros dos pertenecen a *Phoebis philea*. Fotos por Elsi B. Pérez Jarillo.

La larva, estado de crecimiento y alimentación constante de la mariposa o polilla (Figura 2), es generalmente fitófaga, se alimenta de follaje, raíces, semillas y flores, dentro de ramas y tallos leñosos; pueden ser monófagas o especialistas de una especie de planta, oligófagas, es decir, que pueden comer de muchas especies dentro de un género o familia y poligófaga que se puede alimentar de varios tipos de planta (Bernays y Chapman, 1994; Schoonhoven *et al.*, 2005). Ciertas especies se alimentan de pelos y lana o de escamas de insectos e incluso algunas pueden ser depredadoras. La cabeza de la oruga presenta ojos llamados stemmata, antenas rudimentarias, un par de mandíbulas, maxilas, palpos y órganos productores de seda que usan para sujetarse al sustrato, como defensa y para tejer el botón pupal.

El tórax tiene un par de patas verdaderas y bien desarrolladas con una uña terminal en cada segmento torácico, en el meso y metatórax se encuentran los espiráculos o estigmas respiratorios. El abdomen tiene diez segmentos, normalmente en los estadios finales, dependiendo de la especie, se encuentran de tres a cinco pares de pseudopatas o patas de succión para adherirse al sustrato. La larva muda varias veces durante su desarrollo, el período comprendido entre cada muda es conocido como instar o estadio de desarrollo, por lo general presenta cinco estadios, pero el número puede variar de cuatro a diez dependiendo de la especie, el último estadio es la prepupa donde la oruga deja de comer, disminuye su actividad y se prepara para pupar (Figura 3). La mayoría de las larvas se alimentan y se desarrollan como individuos solitarios, pero algunas especies son gregarias o viven en colonias (Figura 4; García-Robledo *et al.*, 2002; Miller y Hammond, 2003; Powel y Opler, 2009; Beutelspacher, 2013).



**Figura 2.** *Hemileuca mexicana* en pasto. Foto por Elsi B. Pérez Jarillo.

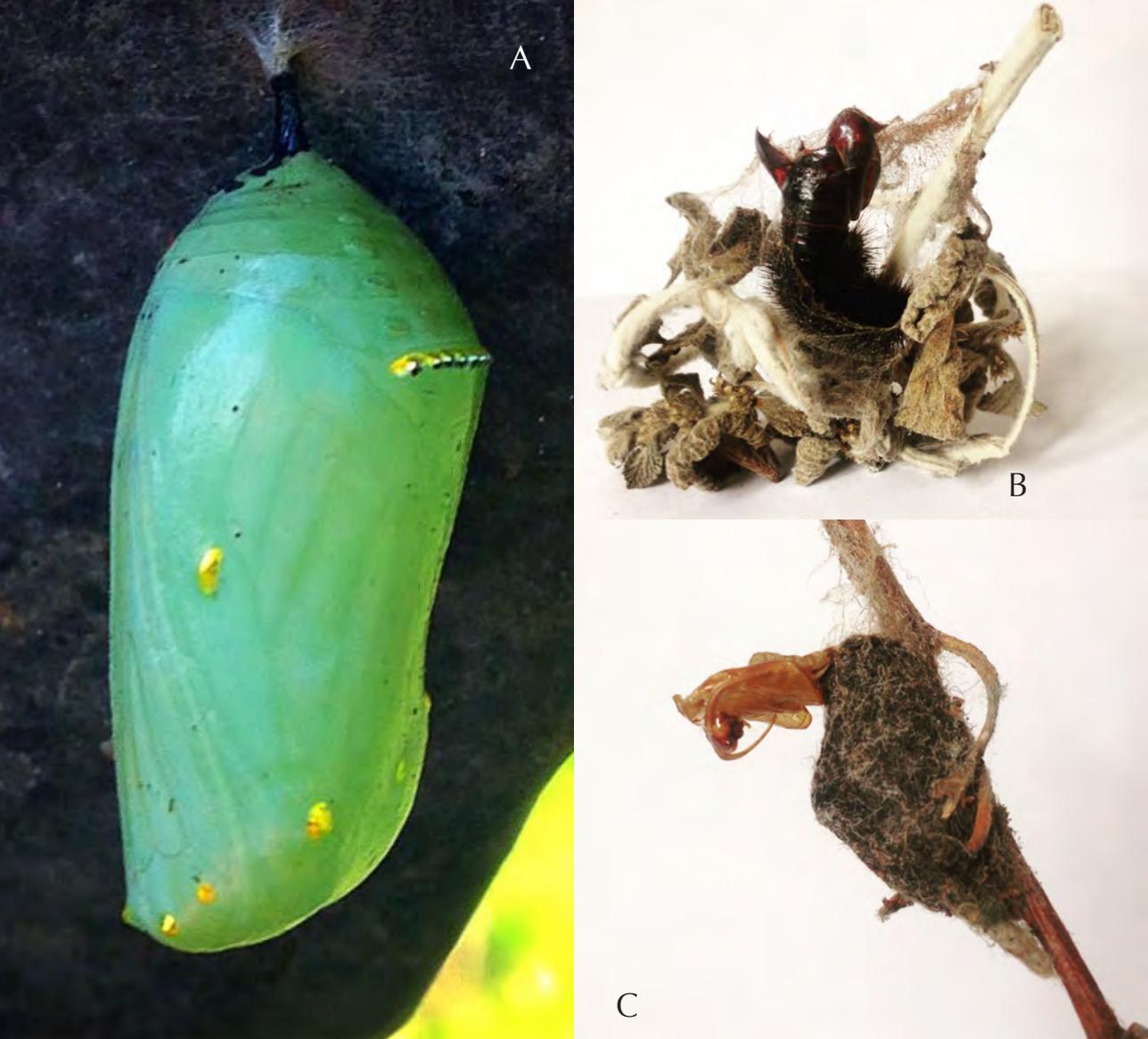


**Figura 3.** Prepupa de *Pterourus multicaudata multicaudata* en rama de árbol del trueno.  
Foto por Elsi B. Pérez Jarillo.

La pupa es la fase de metamorfosis del ciclo de vida dentro de una cápsula rígida y quitinosa, en mariposas se llama crisálida y al inicio de esta fase, la pupa se une fuertemente a un punto fijo por medio de unos ganchos llamados cremaster los cuales están rodeados por el botón pupal, en polillas se le llama capullo ya que se cubre en seda y puede ocupar parte del follaje o quedar desnuda y enterrarse en el suelo (Figura 5). Aunque la actividad externa de esta fase se reduce a unos mínimos movimientos de los segmentos abdominales, internamente se lleva a cabo una reorganización drástica de tejidos que finaliza con la formación del adulto. El período de desarrollo



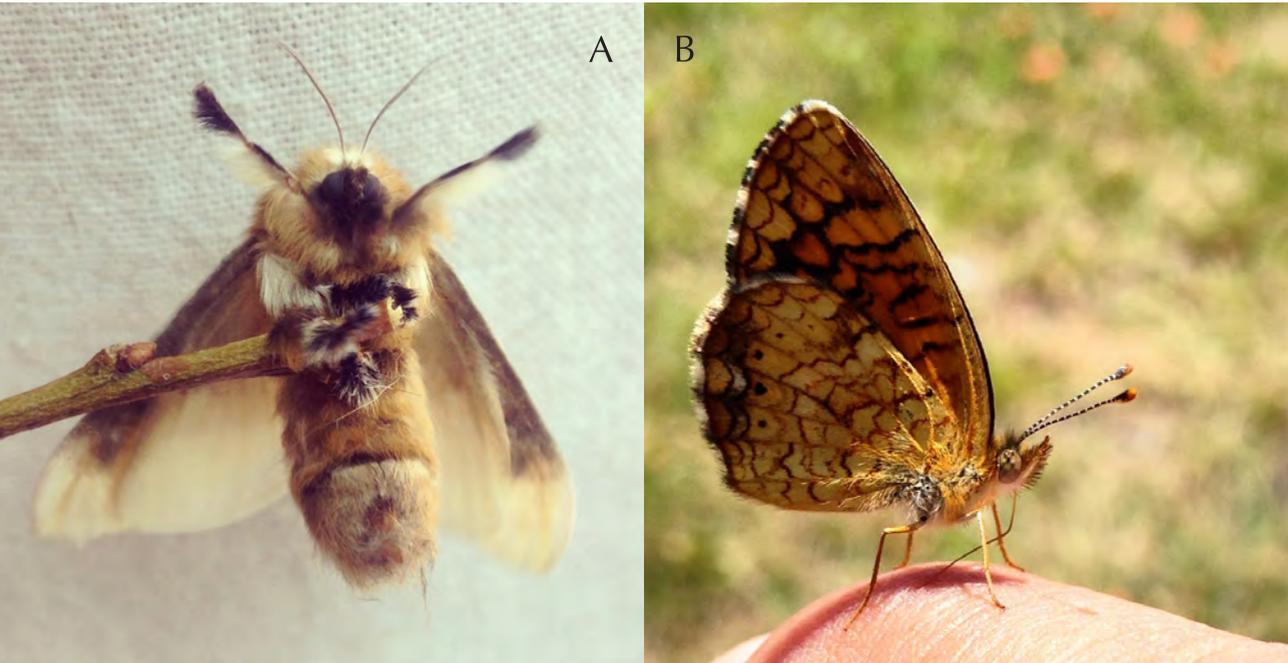
**Figura 4.** *Chlosyne ehrenbergii* en hoja de tepozán  
Foto por Elsi B. Pérez Jarillo.



**Figura 5.** Pupas. A. *Danaus pexippus*. B. *Arachnis dilecta*. C. *Megalopyge agesistrata*. Fotos por Elsi B. Pérez Jarillo.

puede variar desde nueve días hasta más de un año de duración según la especie o las condiciones ambientales y al completarse la metamorfosis la zona ventral de la pupa se abre, y emerge el adulto, el cual se mantendrá inmóvil en un sitio apropiado para poder extender sus alas (García-Robledo *et al.*, 2002; Miller y Hammond, 2003; Powel y Opler, 2009; Beutelspacher, 2013).

El adulto (Figura 6) puede volar y reproducirse, su cabeza presenta ojos compuestos (multitud de pequeñas unidades denominadas omatidias), en algunas especies detrás de la base de la antena pueden tener un pequeño ocelo. Las antenas constan de un segmento basal o escapo, un segundo segmento o pedicelo, y un filamento de muchos segmentos o flagelo. Existe una gran variación en la forma



**Figura 6.** Adultos. A. *Megalopyge agesiistrata*. B. *Phyciodes graphica vеста*.  
Fotos por Elsi B. Pérez Jarillo.

de las antenas, sobre todo en las polillas, éstas pueden ser filiformes, fusiformes, dilatadas, ciliadas, setosas, fasciculadas, dentadas, lameladas, pectinadas y plumosas. Tiene una espiritrompa que es el órgano usado para la alimentación, cabe mencionar que algunas especies de polillas presentan el aparato bucal atrofiado por lo tanto no se alimentan en la fase adulta. El tórax está fusionado por tres segmentos, el protórax, da lugar al par anterior de patas, mesotórax, al segundo par de patas y a las alas anteriores, y metatórax que lleva el último par de patas y las alas posteriores. Las cuatro alas están cubiertas por escamas imbricadas que le dan la coloración, están sostenidas por un sistema de fuertes venas rodeadas por áreas

membranosas llamadas celdas alares, la forma de las venas y celdas alares son importantes caracteres usados para la identificación (Figura 7). En el abdomen se encuentran el tracto digestivo, en la base de éste un par de espiráculos traqueales y al final del mismo las estructuras reproductivas que también tienen importancia taxonómica. En los machos, en el penúltimo segmento abdominal hay dos valvas que al abrirse exponen la estructura usada para la inseminación, el edeago. En la hembra el último segmento abdominal tiene tres aperturas, el ano, el poro usado para la cópula y el poro de oviposición. Algunos machos poseen androconios, los cuales son estructuras productoras de olores cuya función es atraer a las hembras (feromonas), éstos pueden presentarse como pequeños parches oscuros o como pliegues de escamas en las alas y en forma de pincel en el ápice del abdomen (García-Robledo *et al.*, 2002; Powel y Opler, 2009; Beutelspacher, 2013).



**Figura 7.** *Dione moneta poeyii*. Foto por Elsi B. Pérez Jarillo.

### 1.1.2 Rhopalocera: clasificación y biodiversidad en México.

El grupo Rhopalocera se caracteriza por integrar a todas las mariposas con hábitos diurnos (Miller y Hammond, 2003). El nombre proviene de los vocablos griegos *rhopalon* = club y *keras* = cuerno, lo cual hace referencia a las antenas de las mariposas ya que en la punta presentan una ampliación a manera de botón, algunas veces con un gancho curvado al final del botón (Arnett, 2000). Este grupo comprende siete familias: Nymphalidae, Pieridae, Lycaenidae, Papilionidae y Riodinidae consideradas como las mariposas verdaderas; HesperIIDae o mariposas saltarinas; y HedyIidae conocidas como mariposas parecidas a polillas; en conjunto integran a la superfamilia Papilionoidea (Van Nieukerken *et al.*, 2011). De acuerdo con algunos autores, las mariposas saltarinas o también conocidas en inglés como "skippers" (hespéridos), se clasifican como una superfamilia aparte, Hesperioidea (Scott, 1985; Ackery *et al.*, 1999; Warren, 2000; Salinas-Gutierrez *et al.*, 2005; Warren *et al.*, 2008, 2009), sin embargo, estudios moleculares recientes confirman su inclusión a Papilionoidea (De Jong *et al.*, 1996; Lamas, 2008; Regier *et al.*, 2009). Lo mismo ocurre con la familia HedyIidae, las cuales son mariposas que tienen tanto características de polillas como de mariposas y el estudio molecular de Regier *et al.* (2009) las integra dentro de la superfamilia Papilionoidea (Scoble, 1990; De Jong *et al.*, 1996; Mutanen, 2010).

En la actualidad existen descritas 18,768 especies de Rhopalocera en el mundo (Nieukerken *et al.*, 2011), aproximadamente 1,200 más de lo que Pogue recopiló en 2009, ya que su registro fue de 17,501 especies (Pogue, 2009). En México, Heppner (2002) consideró alrededor de 1,800 especies de Rhopalocera, lo que significa que el país contiene el 10% de las especies descritas mundiales; sin embargo, el estudio de los Rhopalocera se ha hecho de manera aislada debido a las dos superfamilias en las que se divide el grupo, los Papilionoidea son los mejor conocidos y los más estudiados, las cifras se compilan en los trabajos de Llorente-Bousquets y Luis-Martínez (1993, 1998), Llorente-Bousquets *et al.* (1996a, 2006) Luis-Martínez *et al.* (2000, 2003, 2005) y Salinas-Gutiérrez *et al.* (1999, 2004), mientras que los Hesperioidea en trabajos de Llorente-Bousquets

*et al.* (1990), Luis-Martínez *et al.* (2003), Warren (2000), Salinas-Gutiérrez *et al.* (2005). En estudios recientes donde consideraron la base de datos MARIPOSA, la cual contiene la compilación de las colecciones más importantes y todas las publicaciones, se reveló que México posee una riqueza de 1,683 especies y 1,968 subespecies descritas o por describir (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014). Del mismo modo los estudios se han realizado de manera geográfica en el país, entre los estados que se han estudiado están La Península de Baja California (Brown *et al.* 1992), Nayarit (Llorente-Bousquets *et al.* 2004), Jalisco (Vargas *et al.*, 1996; Warren *et al.*, 1996 y Llorente-Bousquets *et al.*, 1996b), Michoacán (Salinas-Gutiérrez *et al.* 2015), Colima (Llorente-Bousquets *et al.*, 1996c y Warren *et al.*, 1998), Estado de México (Hernández-Mejía 2008a), Morelos (Luna *et al.*, 2012), Veracruz (Luis-Martínez *et al.*, 1996, 2011a y Hernández-Baz *et al.*, 2010), Oaxaca (Luis-Martínez *et al.*, 2004), Quintana Roo (De la Maza y Gutiérrez, 1994) y Chiapas (De la Maza y De la Maza, 1993 y Luis-Martínez *et al.*, 2011b). Para Hidalgo no hay un estudio general que englobe a todo el estado, sin embargo, se tienen registradas 345 especies y 349 subespecies que han sido recopiladas de 156 localidades del estado (Luis-Martínez *et al.*, 2005; Hernández-Mejía *et al.*, 2008a; Llorente-Bousquets *et al.*, 2014).

## 1.2 ANTECEDENTES

### 1.2.1 Ambientes urbanos como ecosistemas

Todos los seres vivos modifican su ambiente, son parte del flujo de energía y biomasa que definen a un ecosistema, sin embargo, son los seres humanos quienes se convierten en “dominantes”, no solo por ser los creadores de ciudades y ocupar el 54.5% de la superficie del planeta (Cox, 2016), sino por presentar la máxima tasa de recolección de recursos y generación de desechos (Rees, 1997). Por lo anterior, el sistema urbano crece considerablemente dando lugar a “súper organismos” urbanos (Girardet, 1996) con metabolismo propio, los cuales transforman las materias primas, el combustible, el agua y los residuos en el medio ambiente (Decker *et al.*, 2000). Además, son el hogar de multitud de organismos

nativos y/o exóticos que son afectados en su dinámica poblacional, estructura de comunidad, morfología, comportamiento y estrategias en su historia de vida para tener éxito (Ditchkoff, 2006; Bang y Faeth, 2011).

Los efectos provocados por la urbanización sobre las especies pueden ser negativos y positivos, por una parte la gran extensión de superficie impermeable reduce y fragmenta las zonas disponibles para plantas y animales, promoviendo la pérdida de diversidad de especies (Blair y Launer, 1997), también, al mantener edificios residenciales y comerciales simplifican la vegetación removiendo arbustos, madera muerta y el aumento de hierbas (Marzluff *et al.*, 2001), para dar estética al paisaje urbano. Algunas veces estas áreas son remplazadas con especies no nativas de plantas que son más vistosas, lo cual lleva al otro lado, “positivo”, pues incrementan la riqueza vegetal y se convierten en microhábitats para especies que requieren áreas pequeñas para su viabilidad (McKinney, 2008; Walker *et al.*, 2009). Otro factor positivo de la urbanización es la introducción de fertilizantes y agua, así como la productividad de alimentos procesados que van desde la basura hasta las semillas de aves que proporcionan alimento para muchas especies urbanas (Adams, 1994), lo cual les permite una “cómoda” estancia en el gran hotel citadino.

Cada grupo reacciona de diferente manera a la urbanización, mientras algunos se adaptan a las zonas urbanas, otros se eliminan, por tal motivo es necesario comprender los efectos humanos sobre los procesos ecológicos para evitar los cambios dramáticos en la biodiversidad y la composición de las comunidades dentro del ecosistema urbano.

### 1.2.2 Influencia de la urbanización en insectos

Por ser el grupo más diverso de los organismos vivos, los insectos no se libran de la vida citadina y a pesar de que su papel en el ecosistema es importante pues son polinizadores, descomponedores, presas y parásitos, no han sido muy estudiados en zonas urbanas (Bhullar y Majer, 2000; Garden *et al.*, 2006). Gibb y Hochuli demostraron en 2002 que los parches de vegetación nativa ya sean

grandes o pequeños son el hogar de muchos insectos y que junto con la diversidad de la vegetación son elementos para su conservación. Sin embargo, hay insectos que se han adaptado a la vegetación introducida, tal es el caso de la mariposa *Poanes melane vitellina* (Figura 8) que ahora es dependiente de la hierba australiana *Rytidosperma racemosum* en las zonas urbanas y sub urbanas de California (Shapiro, 2007). Del mismo modo, muchos insectos han convertido en su hábitat a los llamados “techos verdes” o “jardines de azotea” que en las grandes ciudades son materia de sustentabilidad; en estos sitios se han encontrado una gran variedad de insectos, incluyendo muchas especies poco comunes, lo cual apoya la idea de que estos hábitats pueden contribuir a mantener la biodiversidad en las ciudades (Maclvor y Lundholm, 2011). Otro entorno urbano donde los insectos viven son los espacios con vegetación ruderal y arvense que, como característica urbana, éstos se podan eventualmente y provocan efectos en sus pequeños habitantes. King y Green (1995) concluyeron que a la hormiga de pavimento *Tetramorium caespitum* le favorece la poda de estas plantas que gustan de crecer en sitios altamente alterados por el humano o cerca de cultivos, sin embargo, en general se considera un factor perjudicial porque es un evento de perturbación intensa y por tanto, repercute negativamente en la diversidad de invertebrados (Gray, 1989). Por ejemplo, en Reino Unido y Finlandia se observó que las mariposas tuvieron un decaimiento brusco después de haber cortado todas las hierbas de los bordes de las carreteras (Munguira y Thomas, 1992; Saarinen *et al.*, 2005), también en Polonia, Alemania y Finlandia se observó que en los sitios menos podados, los cicadélidos y los carábidos aumentaron en diversidad (Chudzica, 1986; Czechowski, 1982; Kegel, 1990).

En muchos casos la pérdida directa de algún recurso crítico a causa de la urbanización es una razón clara y específica de disminución de los organismos, como por ejemplo, en el valle central de California Herrmann *et al.* (2012) asociaron a la urbanización con una menor densidad de árboles de roble blanco (*Quercus lobata*) y por consecuencia una reducción de la diversidad de avispas que se alimentan de estos árboles en las ciudades. En Argentina, la riqueza de moscas sacrófagas disminuye por la falta de sustrato para las larvas y a la disminución de refugios y fuentes de néctar para las moscas adultas (Mulieri y Mariluis, 2011).

No obstante existen especies que pueden ser resistentes a las modificaciones del paisaje, como es el caso de las polillas minadoras de hojas *Stigmella tariella* y *Bucculatrix albertiella*, las cuales presentan mayor abundancia en sitios altamente urbanizados (Rickman y Connor, 2003), o la mariposa joya occidental (*Hypochrysops halyaetus*) que habita en Australia, la cual prefiere hábitats con suelo desnudo, porque es un factor que influye positivamente en la oviposición, además de que vive en asociación con hormigas habitando en sus nidos debido a que es una mariposa mirmecófila (Dover *et al.*, 2009).



**Figura 8.** *Poanes melane vitellina* perchando en banca del Parque Hidalgo en la ciudad de Pachuca Hidalgo, México. Foto por Elsi B. Pérez Jarillo.

### 1.2.3 Lepidoptera en zonas urbanas

Los estudios sobre mariposas en zonas urbanas ha aumentando de manera importante en las últimas dos décadas y actualmente existen alrededor de 141 publicaciones, la mayoría de ellas en el continente americano y en Europa (Ramírez-Restrepo y McGregor-Fors, 2016). Los trabajos que se han publicado están enfocados en determinados temas que van desde listas de especies hasta estudios de diversidad genética.

Entre los estudios que se refieren a la elaboración de lista de especies están por ejemplo, Hernández Baz (1993) quien reportó 270 especies de mariposas en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Kunte (2000) realizó investigaciones urbanas en la ciudad de Pune, en la India, donde reportó que de las 170 especies de mariposas que se tienen registradas para el distrito, 103 prefieren las áreas urbanas y el resto vive en los bosques alrededor de la ciudad y no se encuentran dentro de ésta. Bolotov (2002) realizó una lista de mariposas que habitan en la ciudad de Arkhangelsk, Rusia, encontró 43 especies de las cuales 30 son nativas, las otras 13 especies de origen meridional entran a la ciudad por causa de las actividades humanas. Ramírez-Restrepo *et al.* (2007) realizaron un estudio de diversidad en la ciudad de Santiago de Calí, Colombia; reportaron 193 especies de mariposas de las cuales el 78% vive en las áreas verdes de esa zona urbana. Bustos (2008) hizo una lista de mariposas de la Reserva Ecológica Costanera Sur, ubicada en pleno centro de Buenos Aires, reportó 75 especies, de las cuales algunas marcaron interés por no ser propias de centros urbanos. Nishida *et al.* (2009) presentaron un inventario de mariposas de la Reserva Ecológica Leonelo Oviedo, que es un fragmento de bosque húmedo premontano que se localiza en la parte urbana de la ciudad de San José, Costa Rica, reportaron 203 especies de mariposas de las cuales cuatro son raras y argumentan que estas especies pueden representar un remanente de la fauna anterior del lugar. Soares *et al.* (2012) realizaron una lista de mariposas del Parque Municipal Américo Renê Giannetti, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, donde registraron 165 individuos pertenecientes a 78 especies y

priorizaron a *Lantana camara* (Verbenaceae), un arbusto con flores, el más visitado por los adultos. Bogiani *et al.* (2012) evaluó la riqueza de especies de mariposas encontradas en un remanente urbano de sabana en Campo Grande, Mato Grosso del Sur, Brasil, registraron 62 especies, ninguna indicó que la atmósfera estuviera preservada pero la zona representa un entorno importante para la conservación de las mariposas en la ciudad.

Varios estudios se han realizado en gradientes de urbanización para entender la respuesta de las mariposas a los diferentes cambios de intensidad antropogénica, además de que algunos hacen uso directo de la teoría de la biogeografía de islas en los paisajes urbanos (Ramirez-Restrepo y MacGregor-Fors, 2016). Yamamoto (1977) analizó la diversidad de mariposas en tres sitios de la ciudad de Sapporo donde encontró que la urbanización las afecta de manera negativa. Ruszczyk y De Araujo (1992) utilizaron 3 zonas de muestreo en la ciudad de Porto Alegre para medir la diversidad de mariposas, encontraron que la diversidad disminuye con el incremento de construcciones y edificios. Kitahara y Fuji (1997) tomaron como base la teoría de la biogeografía de islas para comparar las comunidades de mariposas en tres sitios con grado de urbanización diferente y encontraron que en la zona más modificada por el hombre la riqueza y la densidad de especies fue menor. Blair y Launer también utilizaron un gradiente de urbanización en la ciudad de Palo Alto, California, observaron que la fauna de mariposas desaparece progresivamente a medida que los sitios se vuelven más urbanos (Blair y Launer, 1997; Blair, 1999).

Dennis y Hardy (2001) realizaron un estudio en el valle de Mersey, Reino Unido, donde evalúan cómo el aumento de la urbanización afecta a las especies de mariposas, los resultados muestran que la tasa de pérdida fue de 0.68 especies por cada 10% de aumento de cobertura urbana y este resultado aumenta a medida que la urbanización lo hace. Hogsden y Hutchinson (2004), en Ontario, Canadá, estudiaron las comunidades de mariposas a lo largo de un gradiente de urbanización, registraron que el 28% de las especies son adaptables a la perturbación y el 58% de las especies evitan los sitios urbanos. Posa y Sodhi (2006) estudiaron los impactos de la perturbación antropogénica en mariposas al

comparar las comunidades de la Reserva de la Cuenca del Subic Bay y la Ciudad de Olongapo en el oeste de Luzón, Filipinas; encontraron que la estructura de las comunidades de las mariposas en los bosques fue similar a la de los hábitats modificados, pero las abundancias medias de las especies detectadas en las zonas urbanas fueron inferiores a las de otros hábitats.

Ramírez-Restrepo y Halffter (2013) hacen un estudio en dos ciudades de Veracruz, las compararon con bosques y áreas de protección ecológica, sus resultados indican que las ciudades tienen mayor riqueza y abundancia que los bosques, sin embargo, sucede lo contrario con las áreas protegidas, también mencionan que la temperatura es la variable ambiental más importante para explicar la distribución de las mariposas y a nivel de paisaje las escalas más grandes (250 y 500 m) tienen una relación negativa entre la diversidad de mariposas y la urbanización. MacGregor-Fors *et al.* (2014) realizaron una rápida evaluación descriptiva ecológica de los patrones de biodiversidad en Xalapa, Veracruz y contrastaron siete grupos taxonómicos, uno de ellos fueron las mariposas, las cuales mostraron una riqueza de especies estadísticamente más alta en áreas de baja perturbación, demostrando el efecto negativo que tiene la urbanización sobre las comunidades de mariposas. Ramírez-Restrepo *et al.* (2015), realizaron un estudio para estimar la abundancia de mariposas que viven en la ciudad de Xalapa, Veracruz y obtuvieron que actualmente alberga más mariposas que la mitad de la población humana total en dicha ciudad, esto es al menos 1,8 individuos mariposa per cápita, además observaron que los valores más bajos de abundancia se registraron, en general, en las zonas más desarrolladas de la ciudad.

Refiriéndose a la importancia de los parches de vegetación en las zonas urbanas, Owen (1971) y Owen y Owen (1975) estudiaron los jardines urbanos y suburbanos en Sierra Leona, África y Leicester, Inglaterra, descubrieron que la diversidad de mariposas era más alta en esos sitios. Nelson y Nelson (2001) realizaron un estudio en áreas ribereñas urbanas en el área metropolitana de Denver, Colorado donde concluyeron que la riqueza de especies de mariposas y aves fue un 44% menor en los sitios ribereños altamente modificados. Shapiro (2002) demostró que las especies nativas y comúnmente observadas en los jardines

del condado de Yolo en California, se crían principalmente en plantas exóticas, especialmente en malezas naturalizadas. Rickman y Connor (2003) probaron el efecto de la urbanización en polillas asociadas a *Quercus agrifolia* a través de la alteración de la calidad del hábitat en la Bahía de San Francisco, California, observaron que el reemplazo y la fragmentación gradual del hábitat no tiene asociación con la riqueza y abundancia de polillas en general, sin embargo, tres especies sí tuvieron relación, las abundancias de *Stigmella tariella* y *Bucculatrix albertiella* fueron mayores y la abundancia de *Dryseriocrania auricyanea* fue menor en sitios altamente urbanizados. Yamamoto y Natuhara (2005), realizaron huecos artificiales en el dosel de un bosque urbano de árboles perennes en la ciudad de Osaka, ya que por su crecimiento uniforme no había luz y evitaba el crecimiento de plantas herbáceas, lo cual reducía la presencia de mariposas, los resultados mostraron un aumento de mariposas con los años después de la formación de los huecos y como consecuencia del crecimiento de herbáceas.

Valtonen *et al.* (2006), estudiaron las poblaciones de mariposas y polillas que habitan en las plantas que se encuentran en los márgenes de las carreteras en el norte de Europa; descubren que la poda de estos espacios afecta de manera negativa a la riqueza y abundancia de ambos grupos, sobre todo cuando las podas se realizan a mediados del verano. Silva *et al.* (2007) hicieron un estudio en un bosque urbano en Minas Gerais, Brasil, donde encontraron que el 28.6% de 91 especies son comunes en ambientes urbanos y suburbanos, concluyendo que estos espacios verdes son importantes como refugios para las mariposas dentro de las ciudades. Ohwaki *et al.* (2008) realizaron un estudio para detectar el daño que provocó en las mariposas la deforestación de un área verde urbana conocida como El Parque del Castillo de Kanazawa, en Japón desde 1990 hasta el 2005 y descubrió que las mariposas generalistas no resultaron afectadas mientras que las especialistas sí disminuyeron a lo largo de ese tiempo e incluso algunas desaparecieron. Williams (2009) hizo su estudio en arbustos de la llanura costera de los cisnes, Perth, Australia, identificó a las especies que dependen del remanente de vegetación nativa para la cría y que están restringidas a los arbustos remanentes y a las especies que se crían en plantas introducidas y se dispersan fácilmente a través de la matriz urbana, pero que también visitan arbustos remanentes y

algunas veces se reproducen allí; demostró que estos arbustos son islas efectivas que las mariposas usan como hábitat. Öckinger *et al.* (2009), en Malmo, Suecia, estudiaron la importancia de los fragmentos de áreas verdes en zonas urbanas para las mariposas y encontraron que la riqueza de especies en áreas de vegetación ruderal aumentó, con respecto a parques tradicionales y seminaturales.

Williams (2011) comparó los efectos del área urbana en la ciudad de Perth, suroeste de Australia Occidental, con respecto a la presencia, la abundancia y el total de especies de mariposas y polillas diurnas en 46 fragmentos urbanos de vegetación remanente, sus resultados indican que los sitios grandes con mayor vegetación no perturbada favorecen a 16 de 20 especies nativas y sólo una (*Geitoneura minyas*) tiene beneficios sobre disturbios. Matteson y Langellotto (2012) estudiaron los parches de vegetación urbana como hábitats para las comunidades de *Pieris rapae* en la ciudad de Nueva York, entre los resultados se determinó que el tiempo de residencia de los adultos fue mayor en jardines amplios y con más flores, además observaron lo fácil que es para esta especie trasladarse a pequeños remiendos de vegetación en la calle, desde árboles hasta arbustos, incluso en camellones en busca de recursos florales.

En relación a los estudios sobre el efecto de las variables ambientales sobre las comunidades de mariposas se encuentran solo dos, Ruszczyk (1986) realizó un estudio en Porto Alegre, Brasil, donde asegura que las variables locales de las áreas urbanas (temperatura, movimiento vehicular y población humana), afectan la distribución de las mariposas. Matteson y Langellotto (2010), estudiaron los factores locales y paisajísticos que influyen en la riqueza de mariposas de los jardines comunitarios ubicados en los barrios densamente poblados del Bronx y East Harlem en Nueva York, EUA, descubrieron que la luz solar y la abundancia floral son los principales factores que limitan la diversidad de polinizadores.

Entre los trabajos enfocados en la conservación de mariposas se hallan por ejemplo, el estudio que Tilden (1956) realizó sobre la extinción de dos especies de mariposas en la Bahía de San Francisco, Estados Unidos por causas de la urbanización. Murphy y Weiss (1988) discuten la supervivencia de la mariposa *Eufydryas editha* en la Bahía de California, debido a la pérdida de hábitat por

el desarrollo urbano, y hacen hincapié que los parches de su planta hospedera son importantes para su ciclo de vida. Ruzczyk y Carvalho (1993) estudiaron la mortalidad de *Brassolis sophorae* y descubrieron que su alta mortalidad se debe a la intervención humana ya que las pupas que se encuentran en las paredes de los edificios son removidas, además de que las superficies suaves les pueden causar dificultades en la adherencia tarsal en adultos recientemente emergidos. Konvicka y Kadlec (2011) realizaron un estudio en Praga y encontraron once especies tolerantes a la urbanización, donde encontraron condiciones adecuadas incluso en parques.

Se reportan dos publicaciones que tratan sobre el efecto de la contaminación en las mariposas. Corke (1999) realizó un estudio donde observó que las especies de mariposas se ven afectadas por las partículas de contaminación que se encuentran en la miel y en la savia de la superficie de las hojas y arboles de las cuales se alimentan. Brown Jr. y Freitas (2002) hicieron un estudio en la ciudad de Campinas, Sao Paulo en Brasil donde descubren que las mariposas de la familia Pieridae y las subfamilias Charaxinae, Heliconiinae e Ithomiinae son menos afectadas por la contaminación.

Finalmente, entre los trabajos que se centran en la diversidad genética de las poblaciones de mariposas en ambientes urbanos se encuentran por ejemplo, Kronforst y Fleming (2001) quienes realizaron una investigación sobre variación genética en subpoblaciones geográficamente separadas de *Heliconius charithonia* en el condado de Miami, Florida, donde encontraron que el grado de fragmentación de hábitats que rodea a la ciudad de Miami no limitó el flujo de genes entre las subpoblaciones urbanas de dicha mariposa. En West Midlands, Reino Unido, Wood y Pullin (2002) estudiaron la distribución y estructura genética de cuatro especies de mariposas para determinar si su distribución y abundancia en el paisaje urbano se debe a la capacidad de dispersión o la disponibilidad de hábitat adecuado, los resultados sugirieron que estas especies son más limitadas por la disponibilidad de hábitat adecuado que por su habilidad para moverse entre parches de hábitat. Takami *et al.* (2004) en Japón y Corea, examinaron la diversidad genética y la estructura de *Pieris rapae* y *P. melete* y los resultados se compararon

entre especies y entre ambientes urbanos y rurales, el resultado final indica que *P. rapae* está mejor adaptada a los ambientes urbanos ya que su abundancia es más alta y conservó una diversidad genética mayor en ambientes modificados por el humano.

Con ésta revisión sobre los estudios de mariposas en ambientes urbanos, se advierte que éstas son influenciadas, ya sea de manera negativa o positiva, por la modificación que el ser humano ha provocado en el hábitat, sin embargo, más estudios similares ayudaran a comprender a los ecosistemas urbanos para así planificar ciudades que satisfagan la estancia de sus habitantes y ayuden a mitigar los procesos que afectan a la naturaleza y por consiguiente a su biota.

#### 1.2.4 Escala espacial

Todos los organismos viven y se distribuyen de manera heterogénea en el ambiente (Krebs, 1978; Turner y Gardner, 2015), no sólo la cantidad y la calidad del hábitat local es importante, sino también la composición y configuración del paisaje circundante. En el mundo real los entornos presentan discontinuidades en muchas escalas de tiempo y espacio, lo cual ejerce gran influencia sobre la distribución, interacción y adaptación de los organismos (Turner y Gardner, 2015; Wiens 1976; Steffan-Dewenter *et al.*, 2001), provocando que su respuesta a las consecuencias de la heterogeneidad espacial difiera según la escala, la cual está también relacionada con los rasgos funcionales, atributos, capacidad de movilidad o dispersión, masa y tamaño corporal de las especies (Fisher *et al.*, 2011; Turner y Gardner, 2015).

La escala es uno de los aspectos importantes de la ecología del paisaje, y se define como la dimensión espacial o temporal de un objeto o proceso que se caracteriza por tener grano y extensión (Wiens, 1989; Turner y Gardner, 2015). El grano es el tamaño de resolución espacial o temporal disponible dentro de un conjunto de datos y la extensión se refiere al tamaño del área o la duración del estudio (Wiens, 1989; Turner y Gardner, 2015). Existen diferentes escalas que se

asocian a una serie de variables, de manera jerárquica, desde un nivel continental, el cual tiene como variables a la tectónica de placas y los cambios ambientales mayores como determinantes del número de especies; un nivel regional, que se identifica con los procesos históricos y el balance entre la especiación y la extinción; un nivel de paisaje, donde las variables están relacionadas con el ambiente físico, como la topografía, el suelo y las perturbaciones; y a una escala local, los factores como microambiente e interacciones bióticas son los que se asocian más directamente (Whittaker *et al.*, 2001; Rodríguez y Vázquez-Domínguez, 2003). Por tanto, la escala más apropiada va a depender de la pregunta u objetivos del trabajo, de los criterios importantes de la investigación y por supuesto, del grupo de estudio y su historia natural (Wiens, 1989; Whittaker *et al.*, 2001; Rodríguez y Vázquez-Domínguez, 2003; Turner y Gardner, 2015).

Entre los trabajos que han analizado la respuesta que tienen los organismos a los diferentes niveles de escala espacial y/o temporal se encuentran, por ejemplo, el que realizaron Steffan-Dewenter *et al.* (2001) al sur de Alemania, donde analizaron los efectos de la polinización y la depredación en semillas de *Centaurea jacea* en 15 sitios usando 8 escalas espaciales (250-3000 m). Encontraron que los cambios en el número de polinizadores sólo se presentaron a escalas pequeñas (1000 m) mientras que la depredación de semillas sólo respondió a escalas grandes (2500 m), esto indica que los grupos reaccionan de diferente manera según la escala. Algunos estudios también aplican en zonas urbanas, por ejemplo, Clark *et al.* (2007) evaluaron los efectos de las características del paisaje asociadas con la urbanización sobre la riqueza de especies de mariposas en cuatro escalas espaciales (50-1000 m) al este de Massachusetts, EUA. Los resultados indican que la riqueza acumulada de especies de mariposas se afectó más a escalas espaciales mayores, mientras que la riqueza por visita se vio afectada de manera similar en todas las escalas espaciales, además se observó que el número de personas tuvo efecto en la riqueza de mariposas a niveles de escala pequeños.

### 1.2.5 Diversidad taxonómica

La biodiversidad, como la define el Convenio sobre la Diversidad Biológica, es “la variabilidad de organismos de cualquier fuente, incluidos entre otros los ecosistemas terrestres, marinos y acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas” (Naciones Unidas, 1992). Del mismo modo y debido a que la variedad de la vida se expresa en una multiplicidad de maneras, se incluyen al concepto, como componentes básicos, tres niveles: genético (nucleótidos, genes y cromosomas), orgánico (categorías taxonómicas) y ecológico (nichos, hábitats, biomas) (Harper y Hawksworth, 1995; Moreno, 2001; Gaston y Spicer, 2004).

Medir la biodiversidad presenta grandes desafíos para los biólogos porque su cuantificación no se puede reducir a un solo número, pues se deben tener en cuenta tres elementos, los cuales son el número de especies, la diferencia o disimilitud entre esas especies y la uniformidad numérica de una comunidad (Purvis y Hector, 2000; Gaston y Spicer, 2004). Tradicionalmente, las medidas de la biodiversidad son neutrales, es decir, que consideran a las especies que son abundantes de la misma manera que aquellas que son raras, y no incorporan información acerca de sus diferencias (Caswell, 1976; Harper y Hawksworth, 1995; Magurran, 2004; Monero, 2009; Chao *et al.*, 2010; García-de Jesús *et al.*, 2016). Así, cada vez se han propuesto medidas de la biodiversidad no neutrales que tomen en cuenta las diferencias y la variabilidad filogenética, taxonómica y funcional entre especies de una comunidad (Clarke y Warwick, 1998; Chao *et al.*, 2010; García-de Jesús *et al.*, 2016). La diversidad taxonómica es una de estas medidas no-neutrales, la cual no mide el número de especies per se, sino que considera las diferencias taxonómicas entre las especies al usar la clasificación jerárquica linneana por arriba de la categoría de especie (Pielou, 1975). Describe la relación taxonómica promedio de las especies en una muestra, incorporando sus relaciones filogenéticas, por tanto, una comunidad será más diversa si las especies que la componen pertenecen a distintos géneros y si éstos se distribuyen entre varias familias, que otra con idéntica riqueza y abundancia relativa, pero donde las especies se agrupan en un solo género o son congénicas y están relacionadas de manera cercana (Warwick & Clarke, 1995; Magurran, 2004; Pielou, 1975; García-de Jesús *et al.*, 2016).

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Con base en el aumento de zonas urbanas de manera rápida y constante, se acentúan cambios en la biodiversidad, ya sea mediante la pérdida y fragmentación de la vegetación nativa para la construcción de más áreas urbanas o por el aumento de la diversidad de hábitats con la implementación de nuevas áreas verdes que en muchos casos incluyen especies introducidas. Es por ello que la ecología urbana surge como parte de las ciencias biológicas y de manera multidisciplinaria para comprender la coexistencia de los sistemas ecológicos y los utilizados por los humanos (Marzluff *et al.*, 2008). Desde los años noventa, los investigadores se han respaldado de esta disciplina de la biología para resolver los problemas ambientales urbanos y mantener los procesos ecológicos que ocurren en los ecosistemas naturales, descubrieron que las ciudades mismas representan microcosmos de los tipos de cambios que suceden globalmente y los convierten en casos de prueba informativos para entender la dinámica del sistema socioecológico y las respuestas al cambio (Grimm *et al.*, 2008). Del mismo modo encontraron que los espacios verdes en zonas urbanas son extremadamente importantes y en consecuencia es razonable que el valor ecológico de estas áreas se incluya en la planificación y las inversiones urbanas para implementar mejores métodos para maximizar estos espacios verdes y así mantener la vida silvestre, que es un factor esencial para el futuro.

El uso de un grupo de estudio, las mariposas, no sólo permite conocer su riqueza y abundancia en la zona metropolitana de Pachuca, además, son buenos indicadores biológicos debido a que son sensibles a la variación del clima y son directamente dependientes de las plantas. También, se usan para entender el comportamiento urbano y la reacción que estos organismos tienen al cambio, asimismo, pueden servir para planificar ciudades y proponer diseños de zonas verdes donde exista sustentabilidad y comodidad para sus habitantes.

Como humanos, vivimos y dominamos la Tierra, tenemos una responsabilidad significativa de administrar los recursos del planeta, porque nuestras actividades causan cambios rápidos, novedosos y sustanciales a los ecosistemas.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 General

Conocer la diversidad de mariposas adultas y diurnas (Lepidoptera: Rhopalocera) en un gradiente de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México; además de analizar la relación que existe entre la composición del paisaje y la diversidad de mariposas para determinar la influencia que puede tener la urbanización en sus comunidades.

### 1.4.2 Particulares

Determinar las especies de mariposas que habitan en la zona metropolitana.

Evaluar la relación de riqueza y abundancia de mariposas con respecto a la urbanización.

Analizar la relación de la diversidad taxonómica de mariposas con respecto a la urbanización.

*Vanessa Annabella*

Foto: Elsi B. Pérez Jarillo.





# 2 MÉTODO

## 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

La zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, está integrada por siete municipios, Mineral del Monte, Zapotlán de Juárez, Epazoyucan, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca, Zempoala y Pachuca de Soto. Tiene una superficie de 1,196.5 km<sup>2</sup>, forma parte de la provincia del Eje Neovolcánico y su población es de 512,196 habitantes con una tasa de crecimiento promedio anual del 1.4% (CONAPO, 2010; INEGI, 2016). La vegetación consiste en agrupaciones dispersas de matorral xerófilo (como vegetación nativa remanente), pastizal inducido, pastizal con erosión, chaparral y agricultura de temporal (Gómez-Aiza y Zuria, 2010). La temperatura máxima promedio anual es de 16.7°C, la mínima promedio es de 14.4°C y la media anual es de 15.5°C. El clima oscila entre semi-seco templado y templado subhúmedo con lluvias, con una precipitación pluvial promedio de 363.0 mm anuales y la época de lluvias es de junio a septiembre (INEGI, 2014). El estudio se realizó sólo en cuatro municipios (Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca, Zempoala y Pachuca de Soto) por ser los más urbanizados y cercanos a la ciudad de Pachuca (Figura 9).



**Figura 9.** Localización del estado de Hidalgo y los municipios que conforman la zona metropolitana de Pachuca.

El municipio de Pachuca cuenta con 154.1 km<sup>2</sup> de la superficie de la zona metropolitana (CONAPO, 2010) y sus coordenadas geográficas son 20° 07' 18" N y 98° 44' 09" O a una altitud de 1382 msnm (INEGI, 2014). El clima generalmente es semi-seco templado, el verano es templado subhúmedo con lluvias y en invierno es semifrío subhúmedo (INEGI, 2009a). Tiene un rango de temperatura de 14 a 16 °C con un promedio anual de 15.5 °C, la precipitación promedio anual del municipio es de 361.5mm (INEGI, 2014). El uso del suelo es de 29.92% para la Agricultura y 44.46% para la zona urbana; la vegetación del municipio es generalmente de pastizal (8.71%) y matorral xerófilo (9.16%) (INEGI, 2009), no obstante, con la construcción de nuevos espacios urbanos se introduce vegetación al municipio. La población total para el municipio de Pachuca de Soto hasta el 2015 es 277, 375 habitantes con una tasa de crecimiento del 0.9% (INEGI 2015).

Mineral de la Reforma es el segundo municipio más importante para la zona metropolitana, ocupa una superficie de 114 km<sup>2</sup> de la misma. Se encuentra entre las coordenadas geográficas 20° 04' 21" N y 98° 41' 47" O (INEGI, 2014); presenta una altitud de 2439 msnm, el rango de temperatura del municipio es de 10 a 16 °C y de 400 a 700mm de precipitación. El clima es semiseco templado, templado subhúmedo con lluvias en verano y semifrío subhúmedo en invierno. El uso de suelo es mayor para la agricultura con 63.18% y para la zona urbana de 23.07%; la vegetación es mayormente de pastizal (6.05%) y matorral xerófilo (3.25%; INEGI, 2009b). La población al 2015 es de 150,176 habitantes con una tasa de crecimiento del 11.3% (INEGI, 2015).

El municipio de San Agustín Tlaxiaca se ubica en las coordenadas 20° 06' 52" N y 98° 53' 09" O y tiene 297.4 Km<sup>2</sup> de superficie en la zona metropolitana, 2356 msnm de altitud (INEGI, 2014). Se registra una temperatura anual entre 12 - 18 °C y una precipitación de 500 a 700mm. Su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, de menos humedad y semiseco templado en invierno. La agricultura predomina mucho más ya que cuenta con un 56.67% del uso del suelo mientras que para las zonas urbanas solo un 0.15%; la vegetación es de pastizal (21.96%) y matorral (19.38%) con algunos parches de bosque de pino (1.84%) (INEGI, 2009c). La población total de este municipio hasta el 2015 es de 36,079 habitantes con una tasa de crecimiento del 2.7% (INEGI, 2015).

Por último, Zempoala es el municipio que representa la mayor superficie de la zona metropolitana de Pachuca pues ocupa 319.9 km<sup>2</sup> de la misma. Se localiza en las coordenadas geográficas 19° 54' 56" N y 98° 40' 12" O y 2461 msnm de altitud (INEGI, 2014). La temperatura oscila entre 10 - 16 °C y una precipitación de 400 - 700 mm. El clima es semiseco templado generalmente y en verano es templado subhúmedo con lluvias. La agricultura es predominante con una extensión de 78.49% de uso de suelo y las zonas urbanas ocupan sólo el 3.29% del territorio del municipio; la vegetación es mayormente matorral (8%) y pastizal (4%; INEGI, 2009d). La población hasta el año 2015 es de 45,382 habitantes con una tasa de crecimiento del 4.6% (INEGI, 2015).

## 2.2 TRABAJO DE CAMPO

### 2.2.1 Sitios de muestreo

A lo largo de la zona metropolitana de Pachuca se seleccionaron 15 sitios con algún grado de urbanización, este parámetro se midió con base en el porcentaje de cobertura impermeable (capa superficial que cubre un área e impide la filtración de agua, como casas, edificios, calles pavimentadas, estacionamientos, etc.) en un buffer de 500 m de radio, se obtuvo un rango de 0% (el menos urbanizado) a 85.49% (el más urbanizado; Cuadro 1). La ubicación de los sitios consistió en elegir lugares con áreas verdes (lotes baldíos, parques, jardines y remanentes de matorral xerófilo) desde el centro de la ciudad, extendiéndose hacia las periferias de la misma donde las áreas con remanentes de vegetación nativa (matorral xerófilo) son predominantes (Figura 10).

Los sitios de muestreo se distribuyeron de la siguiente manera: 10 en Pachuca de Soto (San Javier, Parque Hidalgo, CUC, ISSSTE, Piracantos, Casa de la 3ra Edad, Montessori, Torres, Nopalera y Cristo Rey); tres en Mineral de la Reforma (Providencia (U), Providencia (P) y Tuzos); uno en San Agustín Tlaxiaca (ICSA) y uno en Zempoala (Cerro de Zempoala; Figura 11).

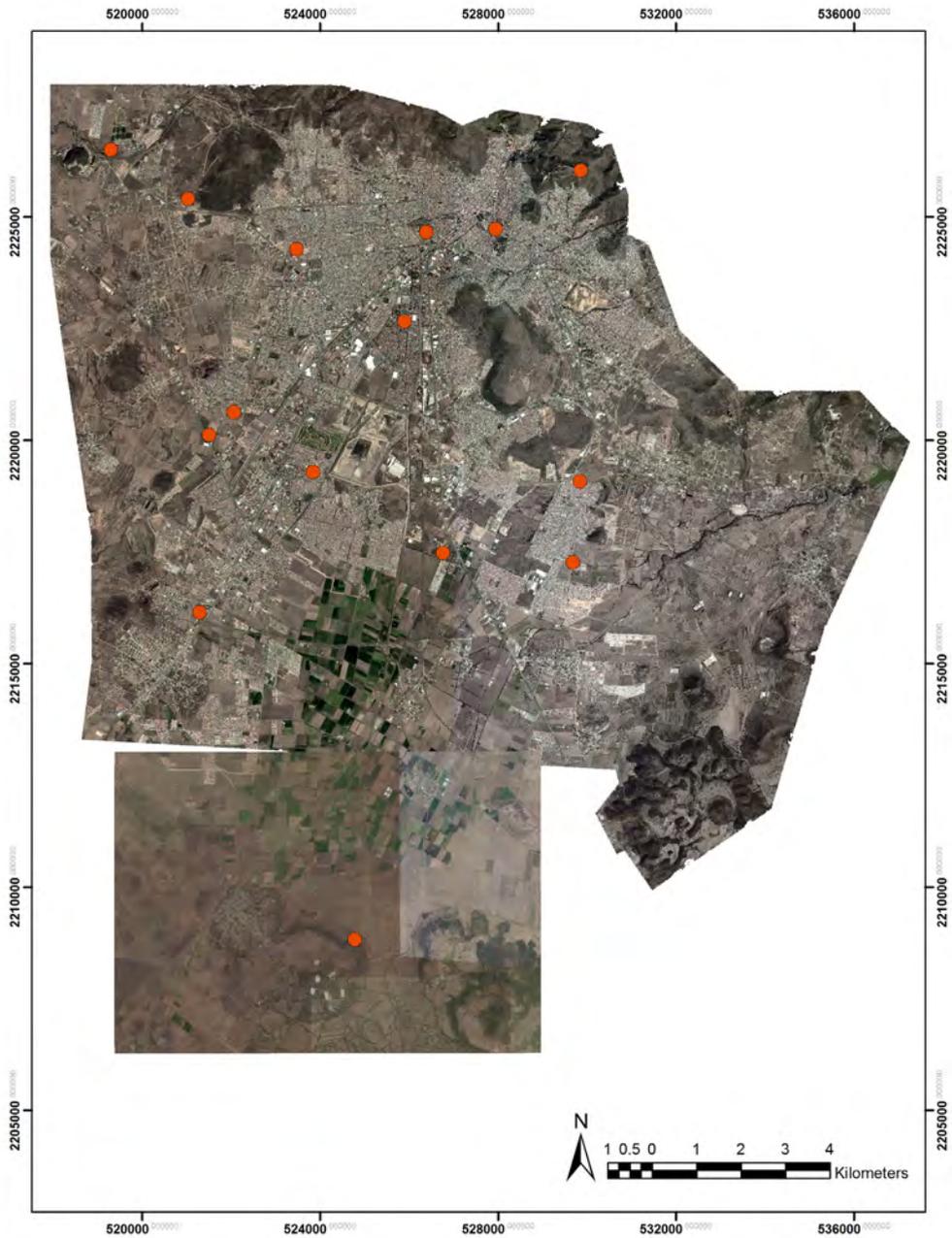
**Cuadro 1.** Sitios de muestreo durante el estudio con sus porcentajes de cobertura impermeable.

Sitio	% de superficie impermeable
San Javier	85.49
Parque Hidalgo	85.15
CUC	77.37
ISSSTE	74.10
Piracantos	68.67
Providencia (U)	54.95
Casa de la 3ra edad	41.31
Providencia (P)	37.16
Tuzos	25.31
ICSA	23.24
Montessori	20.41
Torres	14.27
Nopalera	8.42
Cristo Rey	6.38
Cerro de Zempoala	0



**Figura 10.** A. San Javier, sitio más urbanizado. B. Cerro de Zempoala, sitio menos urbanizado.





**Figura 11.** Imagen satelital de la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo. Los puntos de color naranja representan los sitios donde se realizó el muestro.

## 2.2.2 Recolecta de mariposas

Cada sitio fue visitado una vez al mes durante los meses de marzo de 2015 a marzo de 2016 entre las 10:00 y las 16:00 horas y en condiciones soleadas cuando la temperatura era mayor a los 17°C (Pollard, 1977). Se capturaron mariposas adultas con el método de transecto en banda y red entomológica (Figura 12; Pollard, 1977; Pollard y Yates, 1993) ya que proporciona estimaciones rápidas y cuantitativas además de ser un método adecuado para realizar comparaciones espaciales de la composición de especies (Walpole y Sheldon 1999). Los organismos se recolectaron bajo el permiso de colecta científica FAUT-0174 emitido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).



**Figura 12.** Colecta con red entomológica.

Se hizo un transecto de 100 m de largo x 10 m de ancho en cada sitio de muestreo, se realizó un recorrido por una hora cumpliéndose un total de 195 horas/persona. Cada mariposa se sacrificó en una cámara letal con acetato de etilo y se guardó en un sobre de papel glassine con los datos de recolecta (Figura 13A). Los ejemplares se transportaron al laboratorio de Interacciones Biológicas del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, para su identificación taxonómica y conteo.



**Figura 13.** A. Resguardo de mariposas en sobres de papel glassine. B. Montaje de mariposas para su identificación.

## 2.3 TRABAJO DE LABORATORIO

### 2.3.1 Identificación de ejemplares

Los ejemplares se montaron para su identificación taxonómica (Figura 13B). Los especímenes se pre-identificaron con guías especializadas (De la Maza, 1987; Wagner, 2005; Glassberg, 2007) y con la lista interactiva del sitio web [www.butterfliesofamerica.com](http://www.butterfliesofamerica.com). Posteriormente se confirmó y corroboró la determinación taxonómica de las especies de las familias Nymphalidae, Pieridae, Lycaenidae, Papilionidae y Riodinidae con ayuda del Dr. José Luis Salinas-Gutiérrez y el personal del Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM, y las especies de la familia HesperIIDae fueron identificadas por el Dr. Andrew D. Warren, del McGuire Center for Lepidoptera & Biodiversity, Florida Museum of Natural History, University of Florida, USA.

Los ejemplares se depositaron en la Colección de Artrópodos adjunta al Laboratorio de Interacciones Biológicas, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y en la Colección de Lepidoptera del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”, Facultad de Ciencias, UNAM.

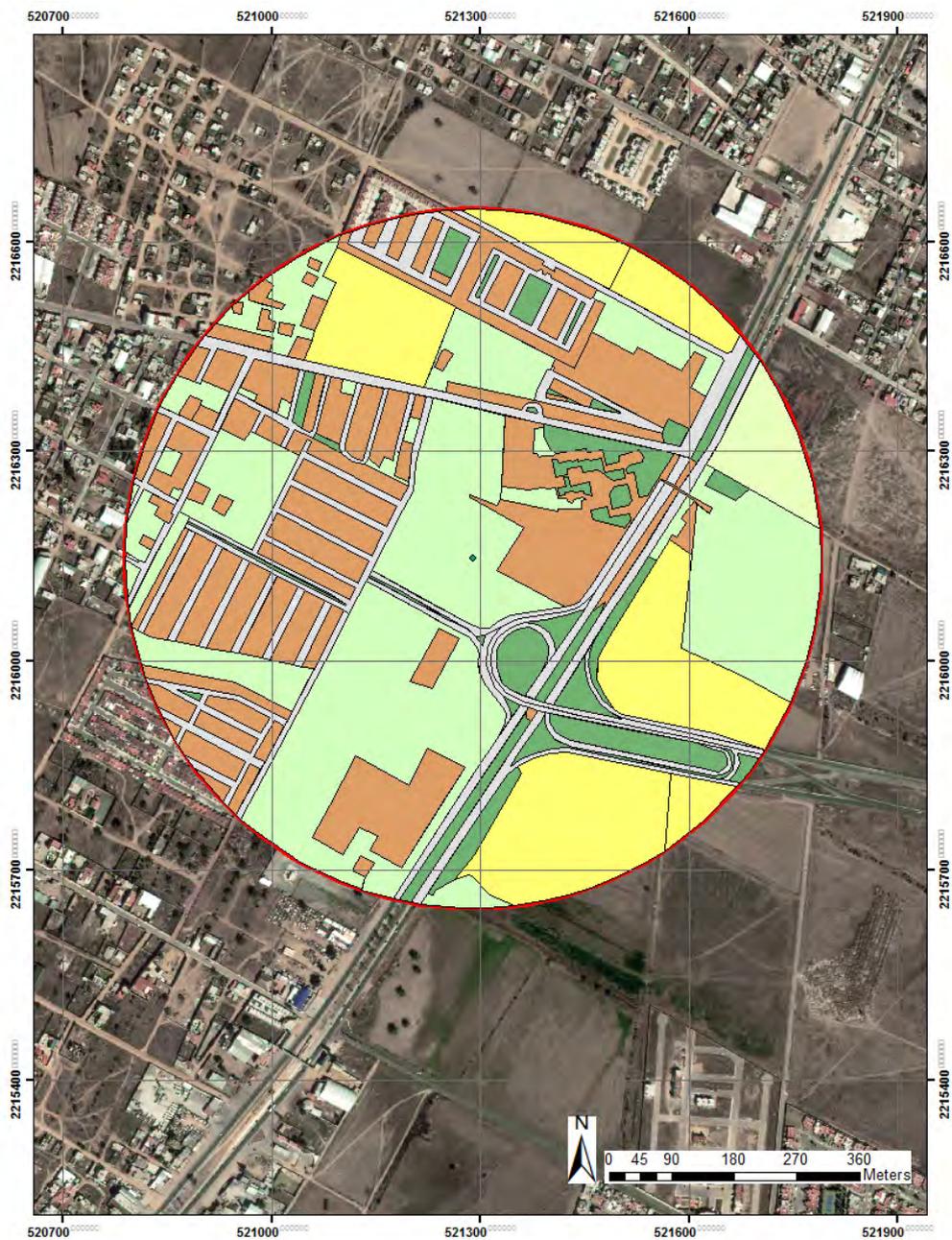
### 2.3.2 Medición de las variables a escala de paisaje

Para determinar el grado de urbanización se utilizó una imagen satelital de alta resolución (worldview-2 Standard Bundle, con 4 bandas multiespectrales) con 0.5 m de resolución detallada de la ciudad. En dicha imagen, cada sitio de muestreo fue tomado como centro para trazar un buffer de 500 m de radio a su alrededor para posteriormente digitalizar dentro (escala 1:25000 m) las siguientes categorías de uso de suelo: superficie impermeable (casas, edificios, calles, estacionamientos y áreas cubiertas por concreto), superficie de vegetación introducida (principalmente en parques, camellones, jardines), superficie de vegetación nativa (remanentes de matorral xerófilo), superficie de vegetación arvense-ruderal (principalmente en lotes baldíos o áreas en ambientes transformados donde la vegetación se restablece naturalmente) y superficie de vegetación agrícola (áreas de cultivo), con base en el programa ArcGIS 10.2.1 (Figura 14). Se delimitó el área de cada categoría y el porcentaje de cobertura para cada sitio de muestreo, al dividir la cobertura de cada variable, entre el total de la cobertura del buffer y el resultado se multiplicó por 100.

### 2.3.3 Análisis de datos

Para estimar la riqueza acumulada de mariposas en cada sitio de muestreo, se utilizó la cobertura de la muestra ( $C_n$ ), que es un estimador no paramétrico de la riqueza de especies basado en sus abundancias (Chao y Jost, 2012). Se consideraron representativos los inventarios que alcanzaron más del 85% de completitud. Esta estimación se basa en la integración de tres elementos fundamentales: el tamaño de la muestra o número total de individuos ( $n$ ), el número de singletons o especies representadas únicamente por un individuo ( $f_1$ ) y el número de doubletons o especies representadas por dos individuos en la muestra ( $f_2$ ), los cuales se representan en la siguiente fórmula (Chao y Shen, 2010; Chao y Jost, 2012):

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



**Figura 14.** Ejemplo de la medición de las variables a nivel de paisaje realizadas en cada sitio de muestreo en un buffer de 500 m de radio. Los colores representan:  calles y carreteras,  construcciones,  vegetación arvense y ruderal,  vegetación introducida,  vegetación nativa y  vegetación agrícola.

Para analizar la relación entre las variables a nivel de paisaje (porcentaje de cobertura impermeable y tipos de vegetación) y la riqueza y abundancia de mariposas se realizaron regresiones lineales simples. Cuando los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, la variable dependiente o de respuesta (abundancia y riqueza de especies) se transformó con  $\log_{10}$  o raíz cuadrada, si a pesar de lo anterior no se cumplían los supuestos, se utilizó una prueba de correlación de rangos de Spearman. Los análisis se realizaron con el programa SigmaStat 3.5 y se usó un valor de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

La diversidad taxonómica del grupo Rhopalocera se midió con el índice de distancia taxonómica promedio (average taxonomic distinctness,  $\Delta+$ ) entre pares de especies de cada sitio (Clarke y Warwick, 1998), el cual se representa con la siguiente fórmula:

$$\Delta+ = \frac{\sum \sum_{i < j} \omega_{ij}}{\left[ \frac{S(S-1)}{2} \right]}$$

Donde,  $S$  es el número de especies y  $\omega_{ij}$  es la distancia que une a las especies  $i$  y  $j$  en la clasificación taxonómica, es decir, el número de taxones superiores que separan a 2 especies hasta que se unen en un nivel jerárquico superior.

Este índice toma en cuenta la categoría taxonómica en la cual está relacionada cualquier pareja de especies y mide la separación taxonómica promedio entre dos especies seleccionadas al azar de la comunidad. Así, un valor alto de distancia taxonómica promedio, refleja una diversidad taxonómica alta (Clarke y Warwick, 1998; García-de Jesús *et al.*, 2016). Se utilizaron las categorías de familia, subfamilia, tribu, género y especie de la clasificación taxonómica del grupo Rhopalocera (Apéndice 1). La separación taxonómica promedio fue calculada a partir de 1000 aleatorizaciones del conjunto de especies de cada sitio con el programa PRIMER v5 (García-de Jesús *et al.*, 2016).

Los resultados de diversidad taxonómica para cada sitio se utilizaron en un análisis de correlación de Pearson con la riqueza de especies para evaluar la hipótesis de que existe una tendencia distinta entre éstas, lo cual indicaría que son medidas de la biodiversidad no redundantes (García-de Jesús *et al.*, 2016). Así mismo, se realizaron análisis de regresión lineal simple para determinar la relación de la diversidad taxonómica con las variables a escala de paisaje. Los análisis se realizaron con el programa SigmaStat 3.5 y se usó un valor de significancia de  $\alpha= 0.05$ .



*Pterourus multicaudata multicaudata*

Foto: Elsi B. Pérez Jarillo.



# 3 RESULTADOS

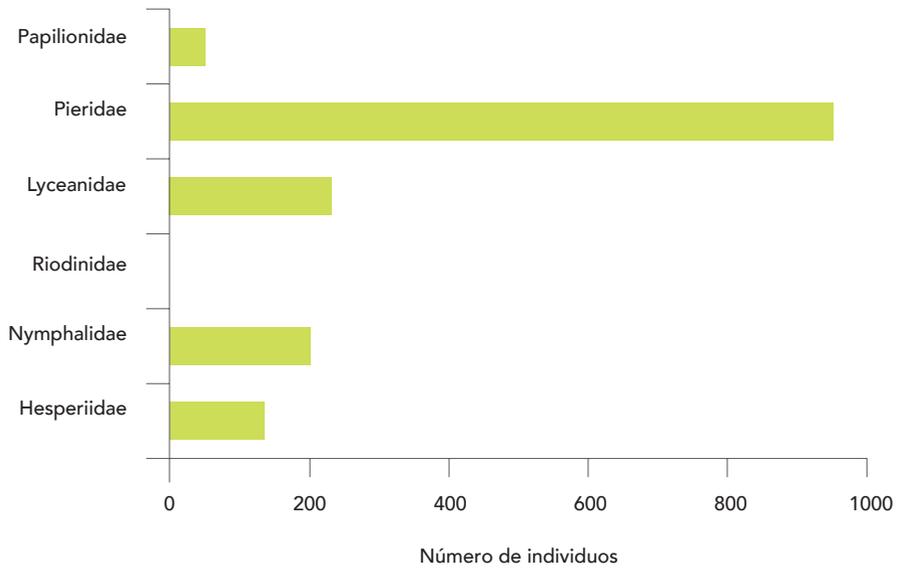
### 3.1 COMPOSICIÓN DE ESPECIES

De acuerdo a las recolectas se obtuvo un total de 1625 ejemplares y 59 especies en 6 familias, 15 subfamilias, 18 tribus y 47 géneros, con base en el arreglo taxonómico de Warren (2000) y Llorente-Bousquets *et al.* (2006; Apéndice A). La familia mejor representada es Nymphalidae con el 32%, la familia Pieridae tiene la mayor abundancia con 59% de los individuos, mientras que la familia Riodinidae representa sólo el 1% de las especies y el 0.04% de los individuos (Cuadro 2 y Figura15).

**Cuadro 2.** Número de especies de mariposas registrados por familia y subfamilia.

Familia	Géneros	Especies	Subfamilia	Géneros	Especies
Papilionidae	2	3	Papilioninae	2	3
Pieridae	12	13	Pierinae	6	6
			Coliadinae	6	7
Lycaenidae	10	10	Theclinae	4	4
			Polyommatainae	6	6
Riodinidae	1	1	Riodininae	1	1
Nymphalidae	11	19	Nymphalinae	5	10
			Danainae	1	2
			Biblidinae	1	1
			Heliconiinae	2	4
			Satyrinae	2	2
Hesperiidae	11	13	Pyrginae	2	3
			Hesperiaeinae	6	7
			Heteropteraeinae	1	1
			Eudaminae	2	2
<b>Totales</b>	<b>47</b>	<b>59</b>		<b>47</b>	<b>59</b>

La familia Pieridae cuenta con mayor número de géneros (12 de 47), por otra parte, Riodinidae es la familia con el menor número de especies e individuos, y además, de géneros (1 de 47; Cuadro 2). El género que tiene más especies es *Chlosyne* (A. Butler, 1870) con 4, seguido de *Vanessa* (Fabricius, 1807) con 3 y *Eurema* (Hübner, 1819), *Danaus* (Klук, 1780), *Euptoieta* (E. Doubleday, 1848), *Dione* (Hübner, 1819), *Papilio* (Linnaeus, 1758), *Erynnis* (Schrank, 1801) y *Amblyscirtes* (Scudder, 1872) con 2 especies cada uno.



**Figura 15.** Numero de individuos de mariposas por familia.

La especie más abundante fue *Leptophobia aripa elodia*, con un 26%, otras especies abundantes son *Nathalis iole* con 14%, *Pontia protoclide* con 11%, *Brephidium exilis exilis* con 9% y *Pyrgus communis communis* con 8%. Del total de especies, 15 estuvieron representadas por un sólo individuo.

De las 59 especies colectadas en la zona metropolitana de Pachuca, ocho son endémicas de México: *Pterourus garamas garamas*, *Anthocharis limonea*, *Chlosyne ehrenbergii*, *Amblyscirtes fluonia*, *Piruna cyclosticta*, *Thorybes mexicana mexicana*, *Autochton siermadror* y *Erynnis mercurius mercurius* (Apendice A; Luis-Martínez *et al.*, 2003), esta última con especial importancia, por que su representación de ejemplares en Colecciones Biológicas es mínima, sólo siete individuos en todo el mundo (Warren, com. pers.).

Con el esfuerzo de muestreo de cada uno de los 15 sitios se obtuvo una cobertura por arriba del 87% de completitud, por lo tanto es posible hacer comparaciones confiables de la riqueza de especies entre los sitios de muestreo (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Valores de completitud para cada sitio ( $C_n$ : cobertura de la muestra) con base en los datos de abundancia (número de individuos recolectados) y especies raras (con uno y con dos individuos).

Sitio	Abundancia	Especies con un individuo	Especies con dos individuos	Riqueza	$C_n$
San Javier	34	3	2	7	0.915
Parque Hidalgo	36	3	1	7	0.918
CUC	103	4	1	13	0.961
ISSSTE	<b>167</b>	8	1	17	0.952
Piracantos	95	7	2	15	0.927
Providencia (U)	109	4	3	15	0.964
Casa de la 3 <sup>ra</sup> edad	58	6	2	13	0.898
Providencia (P)	99	8	2	17	0.921
Tuzos	142	9	4	22	0.937
ICSA	100	7	4	19	0.931
Montessori	122	7	3	16	0.943
Torres	79	8	0	14	0.899
Nopalera	121	6	2	14	0.951
Cristo Rey	87	11	0	<b>23</b>	0.874
Zempoala	113	10	2	19	0.912

El sitio que destaca con la mayor riqueza es Cristo Rey con 39%, además es importante mencionar que es uno de los sitios con menor urbanización, porque tiene una superficie de cobertura impermeable de 6.4%. Los sitios San Javier y Parque Hidalgo presentaron la riqueza de especies más baja (12%), además de ser los sitios con mayor urbanización, 85.5% y 85.2% respectivamente, de cobertura de superficie impermeable. El sitio ISSSTE, también tiene un porcentaje alto de cobertura impermeable (74.1%) y la mayor abundancia (167 individuos), mientras que San Javier, es el sitio con mayor urbanización y menor abundancia, con 34 individuos.

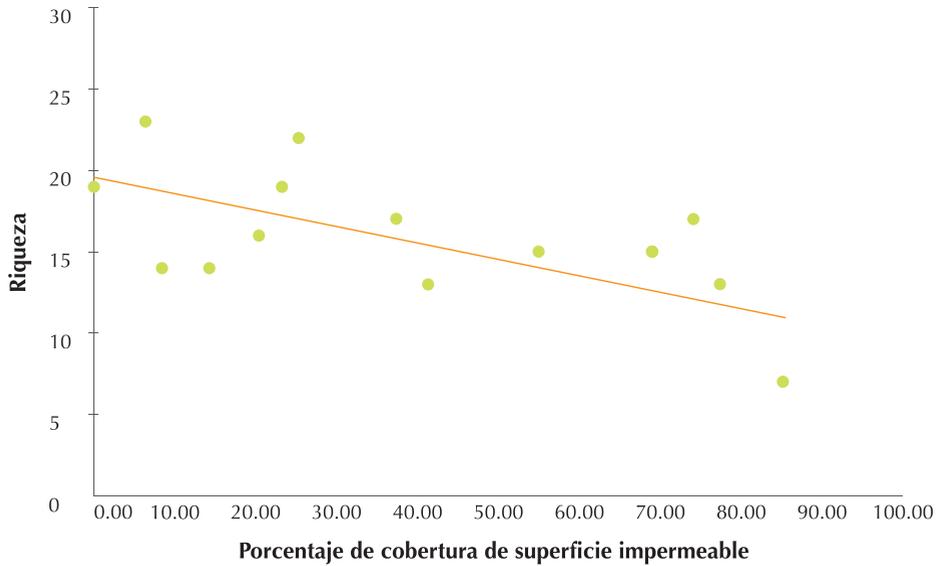
## 3.2 RELACIÓN DE LA RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE ESPECIES CON LA COMPOSICIÓN DEL PAISAJE.

Los análisis de regresión para determinar la dependencia de la abundancia y la riqueza de mariposas a las variables a escala de paisaje indican que la riqueza está relacionada de manera negativa y significativa con la cobertura de superficie impermeable y de vegetación introducida, positiva y significativa con la cobertura de matorral xerófilo (Cuadro 4, Figuras 16, 17 y 18), y sin relación significativa con la cobertura de vegetación arvense y agrícola. Por otro lado, la abundancia presentó relación negativa y significativa con la cobertura de vegetación exótica, mientras que con las demás variables no se encontró relación significativa (Cuadro 4 y Figura 19).

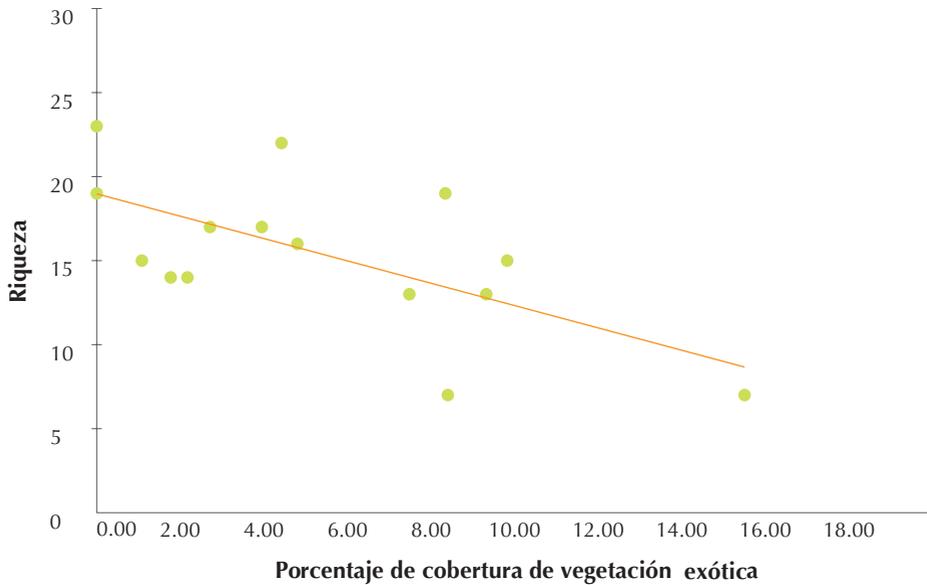
**Cuadro 4.** Valores obtenidos de los análisis de regresión lineal simple entre las variables del paisaje y la riqueza y la abundancia de mariposas. Se muestra la ecuación que describe a la recta, el nivel de significancia (P) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

	Variabes	Ecuación	P	R <sup>2</sup>
Riqueza	Superficie impermeable (Urbanización)	Riqueza = 19.593 - (0.101 * % de superficie impermeable en un buffer de 500 m de radio)	0.006	0.415
	Superficie de vegetación nativa	Riqueza = 14.010 + (0.105 * % de vegetación de matorral xerófilo en un buffer de 500 m de radio)	0.033	0.252
	Superficie de vegetación introducida	Riqueza = 18.907 - (0.660 * % de vegetación exótica en un buffer de 500 m de radio)	0.011	0.36
	Superficie de ruderal-arvense	-sin relación-	0.331	0.00132
	Superficie agrícola	-sin relación-	0.313	0.00715
Abundancia	Superficie impermeable (Urbanización)	-sin relación-	0.261	0.264
	Superficie de vegetación nativa	-sin relación-	0.989	0
	Superficie de vegetación introducida*	Abundancia = 2.093 - (0.0262 * % de vegetación exótica en un buffer de 500 m de radio)	0.023	0.289
	Superficie de arvenses	-sin relación-	0.269	0.0232
	Superficie agrícola	-sin relación-	0.236	0.0376

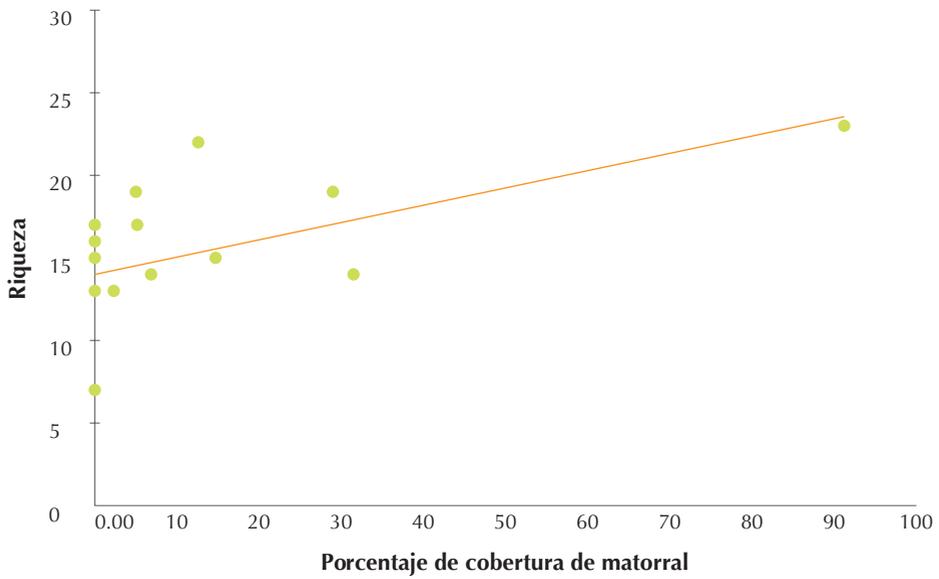
\*-Transformación con Log<sup>10</sup>



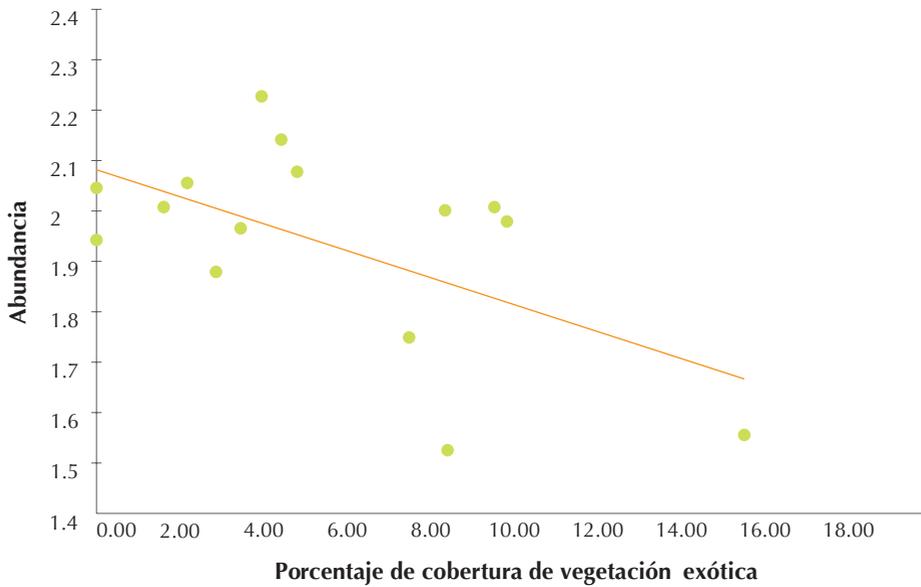
**Figura 16.** Relación entre la riqueza de mariposas y la cobertura de superficie impermeable de la zona metropolitana de Pachuca ( $P=0.006$ ,  $R^2=0.415$ ).



**Figura 17.** Relación entre la riqueza de mariposas y la cobertura de vegetación exótica de la zona metropolitana de Pachuca ( $P=0.011$ ,  $R^2=0.36$ ).



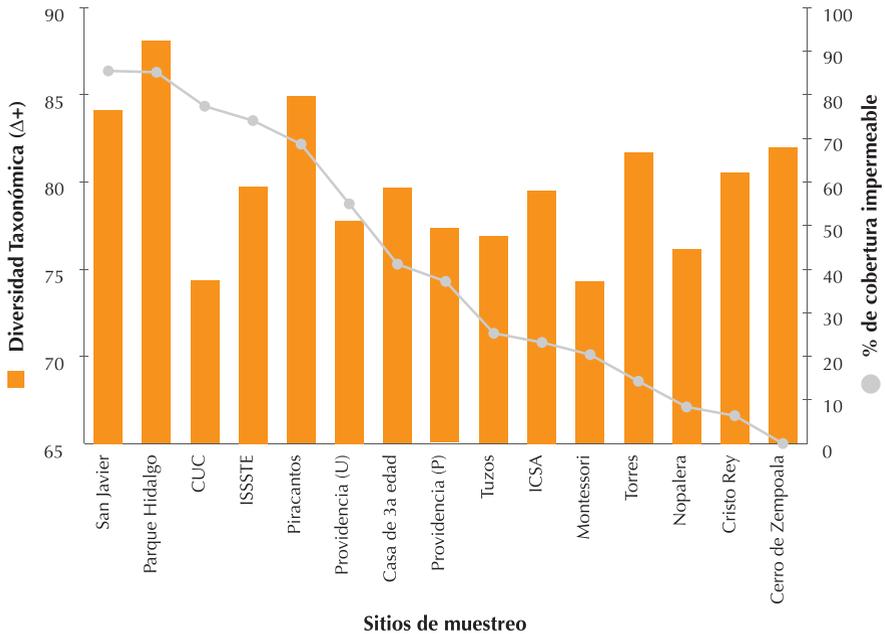
**Figura 18.** Relación entre la riqueza de mariposas y la cobertura de matorral de la zona metropolitana de Pachuca ( $P=0.033$ ,  $R^2=0.252$ ).



**Figura 19.** Relación entre la abundancia de mariposas y la cobertura de vegetación exótica de la zona metropolitana de Pachuca ( $P=0.023$ ,  $R^2=0.289$ ).

### 3.3 DIVERSIDAD TAXONÓMICA Y SU RELACIÓN CON LA COMPOSICIÓN DEL PAISAJE.

Con respecto a la diversidad taxonómica, se observó que el sitio con valor de diversidad taxonómica más alta es Parque Hidalgo ( $\Delta+=88.10$ ), y por el contrario, Montessori ( $\Delta+=74.31$ ) es el sitio que presentó la diversidad taxonómica más baja (Figura 20).



**Figura 20.** Diversidad taxonómica de mariposas en 15 sitios con diferente nivel de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca.

Asimismo, como se esperaba, la correlación entre la diversidad taxonómica y la riqueza de especies de mariposas no fue estadísticamente significativa ( $R^2=0.423$ ,  $P=0.116$ ). Además, al comparar la riqueza de especies con la diversidad taxonómica de los sitios, se observó que las comunidades con menor riqueza de especies presentaron una diversidad taxonómica alta (Parque Hidalgo), las comunidades con diversidad taxonómica baja no son las más altas con base

a la riqueza de especies y en las demás comunidades con riqueza de especies similar se observó una amplia variación de diversidad taxonómica (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Diversidad taxonómica y riqueza de especies de mariposas en 15 sitios de muestreo con diferente grado de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca.

Sitio	Riqueza	Diversidad taxonómica ( $\Delta+$ )
San Javier	7	84.13
Parque Hidalgo	7	88.10
CUC	13	74.36
ISSSTE	17	79.78
Piracantos	15	84.92
Providencia (U)	15	77.78
Casa de la 3ra edad	13	79.70
Providencia (P)	17	77.33
Tuzos	22	76.91
ICSA	19	79.53
Montessori	16	74.31
Torres	14	81.68
Nopalera	14	76.19
Cristo Rey	23	80.57
Zempoala	19	81.97

Al analizar la relación entre la diversidad taxonómica de mariposas y los componentes del paisaje de la zona metropolitana de Pachuca se encontró que no existen relaciones estadísticamente significativas (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Valores obtenidos de los análisis de regresión lineal simple entre las variables del paisaje y diversidad taxonómica de mariposas. Se muestra el nivel de significancia (P) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Variables	P	$R^2$
Superficie impermeable	0.189	0.062
Superficie de matorral xerófilo	0.763	0
Superficie de vegetación introducida	0.087	0.148
Superficie de ruderal-arveneses	0.082	0.154
Superficie de cultivo	0.195	0.0586

*Phoebis sennae marcellina*

Foto: Elsi B. Pérez Jarillo.





# 4 DISCUSIÓN

## 4.1 COMPOSICIÓN DE ESPECIES.

De acuerdo con los resultados de este trabajo, la zona metropolitana de Pachuca presenta el 17% de los Rhopalocera que están registrados para el estado de Hidalgo y tan solo el 3% de las especies registradas para el país (1,968; Llorente-Bousquets *et al.* 2014).

La familia más diversa en el gradiente de urbanización es Nymphalidae (19 especies), le siguen Hesperiiidae y Pieridae con 13 especies cada una, ésta última es también la mejor representada (963 individuos), después Lycaenidae, con 280 individuos. Bizuet-Flores *et al.* (2001), dan datos de diversidad para el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, y al comparar sus resultados con los de este trabajo se observa que la familia con mayor riqueza es Nymphalidae seguida de Pieridae. Con respecto a la abundancia Pieridae es la de mayor número de individuos (935 individuos), cantidad muy cercana a lo que se encontró en la zona metropolitana de Pachuca, lo cual puede deberse a que ésta familia tiene especies que son muy comunes. Luna-Reyes y Llorente-Bousquets (2004) reportan resultados similares para la Sierra Nevada, en cuanto a riqueza encontraron que Nymphalidae es la que predomina, seguida por Pieridae, Lycaenidae y Papilionidae, y para abundancia, también Pieridae fue la familia con más individuos (302 individuos) aunque el número fue mucho menor al reportado para El Chico y la zona metropolitana de Pachuca. Hernández-Mejía *et al.* (2008b) reportaron que para el Estado de México la familia con mayor riqueza es Nymphalidae seguida de Hesperiiidae y para la Sierra de Huautla, Luna-Reyes *et al.* (2008) presentaron a Nymphalidae como la familia más representativa. Estos resultados también coinciden con lo que se reportó para la zona metropolitana de Pachuca, lo cual se debe a que Nymphalidae tiene una distribución amplia y a su interacción con diferentes tipos de plantas (Luna-Reyes *et al.*, 2008), además de que es la familia con más especies y subespecies en México (544; Llorente-Bousquets *et al.*, 2006), dato que también se observó en este trabajo donde los ninfálidos presentaron mayor número de subespecies (15) con respecto a las otras familias. Por otro lado, Hernández-Mejía *et al.* (2008a) reportan a la familia Hesperiiidae como la más diversa en el municipio de Malinalco, Estado de México, hecho que contrasta con lo que se reporta en este

trabajo, probablemente porque en la zona metropolitana de Pachuca predomina el matorral xerófilo, lo que permite la presencia exclusiva a especies afines a esta vegetación, además de que son muy pocas las especies de hespéridos que se hallaron en la urbe, situación que quizás limita su distribución en la zona.

La familia con más géneros fue Pieridae (12 géneros) e incluye a las especies *Leptophobia aripa elodia* y *Nathalis iole*, las cuales son consideradas multivoltinas (especie que presenta varias generaciones anuales) y eurioicas (especies que toleran variaciones en el medio; Hernandez-Mejía *et al.*, 2008a), características que las convierte en especies comunes y las asocia con la alta abundancia que representan no solo en la zona metropolitana de Pachuca sino en otros sitios pues Luna-Reyes y Llorente-Bousquets (2004) reportan resultados similares. También *Pontia protocide* es un piérido abundante en la zona metropolitana de Pachuca, pero a diferencia de las dos especies mencionadas, esta mariposa no se ha reportado en otros estudios como abundante. La larva de esta especie es oligófaga y se alimenta de las plantas de la familia Brassicaceae, la cual tiene géneros que son considerados como ruderales y arvenses (Martinez-De la Cruz *et al.*, 2015), lo cual podría explicar su capacidad de explotar los recursos dentro de la zona metropolitana de Pachuca.

Otras dos especies abundantes fueron *Brephidium exilis exilis* y *Pyrgus communis communis*, lo cual coincide con otros trabajos como el de Pittaway *et al.* (2006), quienes reportan que *B. e. exilis* es abundante en lugares perturbados, por ejemplo, lotes baldíos donde se reportó su mayor abundancia en este trabajo. Otto (2014) menciona que esta especie también puede ser abundante en condiciones áridas y en temporada de invierno, dato que se confirma con el reporte de este trabajo, ya que la mayor cantidad de ejemplares se colectó en el mes de enero, uno de los meses más fríos y secos para la zona metropolitana de Pachuca.

Con respecto a *Pyrgus communis communis*, Rincón (1998) menciona que ésta especie es común en los periodos secos de zonas xerófilas. Shapiro (2002) reportó que utiliza plantas de la familia Malvaceae como hospedera y algunas de ellas se conocen por ser ruderales (Martinez-De la Cruz *et al.*, 2015), aspectos que probablemente le favorecieron para ser la especie mejor representada de los hespéridos en la zona metropolitana de Pachuca.

Los resultados del esfuerzo de muestreo indican que fue registrada una gran proporción de las especies presentes en los diferentes sitios y que son apropiados para representar la diversidad de mariposas de la zona metropolitana de Pachuca. Sin embargo, aunque la técnica de colecta utilizada fue eficaz, es necesario tener un mayor esfuerzo de muestro y hacer uso de otras técnicas complementarias de colecta como por ejemplo, trampas Van Someren-Rydon para tener una representatividad del 100%.

Al analizar el número de especies por sitio, Cristo Rey fue el lugar con mayor riqueza, ya que presentó el 39% de las mariposas registradas para la zona metropolitana de Pachuca. Este sitio presenta un nivel de urbanización bajo (6.4% de superficie impermeable), contiene sederos para el paso ocasional de personas y la carretera que esta a 150 metros, no obstante no se les puede considerar como una barrera para el flujo de mariposas (Munguira y Thomas, 1992). Incluso Saarinen *et al.* (2005), observaron un incremento en la diversidad de mariposas a lo largo de carreteras, por tanto, es posible que las plantas ruderales que crecen en los bordes de la carretera en este lugar sean utilizadas como fuentes de néctar o como hospederas. Aunque en el sitio predomina el matorral xerófilo, debe considerarse que el sitio se encuentra en el limite del municipio de Pachuca hacia Real del Monte y Mineral del Chico, donde comienza la Sierra de Pachuca y el bosque de *Pinus-Quercus* y a mayor altitud el bosque de *Abies*. Además el rango de precipitación cambia, por que la parte de Pachuca está situada en la sombra orográfica inmediata de la Sierra de Pachuca, lo cual provoca un cambio brusco de las condiciones de humedad (Rzedowski y Rzedowski, 2005) causando el cambio de vegetación y de clima, lo que permite que las especies se desplacen y se mezclen. También, se observó que cuatro especies fueron exclusivas de este sitio, *Electrostrymon joya* y *Strymon ziba*, licénidos que son considerados de amplia distribución y comunes en muchas regiones y hábitat, pero que muestran síndromes biológicos muy parecidos a los de sus parientes que habitan en bosques (New, 1993); *Piruna cyclosticta* y *Thorybes mexicana mexicana*, son hespéridos que están asociados a rangos de elevación altos, a climas húmedos y a áreas boscosas (Warren y González-Cota, 1998; Warren, 2005). Asimismo *T. m. mexicana* utiliza las plantas del género *Trifolium* como planta hospedera (Warren

y González-Cota, 1998) y tres especies, *Trifolium amabile* Kunth, *T. mexicanum* Hemsl y *T. repens* L., se encuentran en el bosque de pino-encino hacia Real del Monte, en matorral xerófilo en Pachuca y como ruderal y arvense respectivamente (Rzedowski y Rzedowski, 2005), lo que provoca que tanto estas especies como otras se desplacen entre biomas y que el sitio tenga el mayor número de especies reportadas.

En este mismo análisis, San Javier es el sitio con menor riqueza (7 especies) y menor abundancia (34 individuos). Este sitio tiene el nivel más alto de urbanización (85.5% de superficie impermeable) y además el sitio de muestreo se ubicó en un lote baldío de pocas dimensiones, con plantas ruderales como *Atriplex suberecta* Verdoorn, planta introducida que se caracteriza por desplazar a la vegetación ruderal nativa y que habita en terrenos salobres y de disturbio (Rzedowski y Rzedowski, 2005; Vibrans, 2009). Esta característica explica el bajo número de especies, porque la planta provoca que se pierda la diversidad de hospederos de mariposas; además, el 71% de individuos que se capturaron en este sitio pertenecen a la especie *Brephidium exilis exilis* la cual utiliza de hospedera a las plantas del género *Atriplex* (Shapiro 2002; Pittaway *et al.*, 2006; Otto, 2014). Este resultado concuerda con lo mencionado por Wolda (1994), quien dice que a pesar de los efectos adversos de la urbanización, como la disminución de la diversidad, ésta trae consigo un incremento en la abundancia de algunas poblaciones, beneficiándolas y manteniéndolas, como es el caso de ésta especie que se ha establecido en un sitio altamente perturbado.

El sitio ISSSTE, presentó la mayor la abundancia; es un terreno baldío que se encuentra en medio de una unidad habitacional, pero éste es mucho más amplio que el sitio de San Javier, con alta variedad de plantas tanto exóticas como nativas, ruderales y arvenses que provocan la residencia de aquellas especies que son beneficiadas por los recursos del lugar, dichas especies son típicamente de amplia distribución y comunes, como *Leptophobia aripa elodia* o *Pontia protodice*, quienes son las que predominan en número en dicho sitio. Esta observación coincide con los reportes de Magura *et al.* (2008), Kark *et al.* (2007), McGregor-Fors *et al.* (2010), Zanette *et al.* (2005) y Chace y Walsh (2006) quienes mencionan que la abundancia en las zonas urbanas se mantiene similar e incluso es mayor en ciertas

especies en comparación con lugares naturales y que regularmente estas especies suelen ser generalistas y poco sensibles a los cambios de hábitat relacionados con la urbanización.

La especie *Erynnis mercurius mercurius*, familia Hesperiiidae, además de ser endémica a México adquiere gran importancia ya que en el mundo sólo se conocen siete ejemplares depositados en colecciones biológicas (Warren, com. pers.). La especie tipo se encuentra en el Museo Nacional de Historia Natural del Instituto Smithsonian, en los Estados Unidos, con fecha de recolecta de 1925 (Warren *et al.*, 2012). En este trabajo, se recolectaron dos ejemplares de la especie, una hembra y un macho, los cuales por sugerencia del Dr. Andrew D. Warren, experto mundial de la familia, se depositaron en la Colección de Lepidoptera del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”, Facultad de Ciencias, UNAM. Es significativo destacar este descubrimiento, ya que la razón de su importancia biológica se debe a que no se había encontrado otro ejemplar en las últimas décadas, además menciona el Dr. Warren (2012) la probabilidad de que esta especie estuviera extinta. Los ejemplares se depositaron en una colección biológica de mayor tamaño, como la del Museo de Zoología, en la UNAM, la cual contribuye a la conservación, preservación y difusión de la biota en el país, además de su resguardo, los ejemplares se pueden reanalizar cuantas veces sea necesario, minimizando los costos y maximizando la eficiencia de los trabajos de campo (Luna *et al.*, 2011).

Los registros en las colecciones biológicas de museos ayudan a los investigadores a resolver dudas de diferente índole y contribuir a la ciencia y a la sociedad, por ejemplo, en salud y seguridad pública, supervisión del cambio ambiental, taxonomía y sistemática tradicionales, por mencionar algunas (Suarez y Tsutsui, 2004). Mediante la revisión de los especímenes en las colecciones, se documentan los datos, sin embargo, tienen sus limitaciones, por ello es necesario que se actualicen consecutivamente al depositar más ejemplares a las mismas, además de que cada ejemplar es único y se recolecta en un tiempo y localización geográfica específicas (Omedes, 2005),

## 4.2 RELACIÓN DE LA RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE ESPECIES CON LA COMPOSICIÓN DEL PAISAJE.

Con este trabajo se demostró que la riqueza de especies disminuye conforme aumenta la cobertura de superficie impermeable y la vegetación introducida, así mismo, a mayor vegetación nativa o matorral xerófilo la riqueza de especies aumenta. Estos resultados corroboran con lo reportado por Ruzsyczk y De Araujo (1992), Kitahara y Fuji (1997), Hardy y Dennis (1999), Stefanescu *et al.* (2004) y Clark *et al.* (2007), quienes encontraron menor riqueza de especies con mayor urbanización, este último a escala de 500 m de radio, como en este estudio. De manera similar, la tendencia coincide con Öckinger *et al.* (2009) pues encontraron que la riqueza de especies disminuye en áreas verdes urbanas ya que tienen menos plantas nativas. Por el contrario, Blair y Launer (1997) reportan que la mayor riqueza de especies se encuentra en lugares con perturbación intermedia, además, Owen (1971), Owen y Owen (1975) y Ramírez-Restrepo y Halffter (2013) registraron que la mayor riqueza y la abundancia de especies se encuentra en las zonas urbanas.

La tendencia de disminución observada para la riqueza de especies se debe probablemente a que al aumentar la superficie de cobertura impermeable, las condiciones tienden a volverse homogéneas y las áreas de vegetación son modificadas; por lo general las plantas que se utilizan en los espacios verdes en las ciudades son introducidas, por ejemplo, en los parques y camellones de las zonas metropolitanas del país es común encontrar *Pinus patula* Schlecht. & Cham., *Casuarina equisetifolia* L., *Platyclusus* sp., *Ligustrum japonicum* Thunb, *Ulmus parvifolia* Jacq., *Phoenix canariensis* hort. ex Chabaud, *Callistemon citrinus* Curtis, *Schinus molle* L., *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Populus alba* L. y en los jardines de casas *Magnolia* sp., *Prunus persica* L., plantas de la familia Passifloraceae y gran variedad de plantas ornamentales (CONABIO, 2012), por mencionar algunos, que sirven como recurso para pocos lepidópteros, como menciona Öckinger (2009). Estos sitios carecen de las características que constituyen el hábitat adecuado para las mariposas, normalmente tienen el césped corto y se poda regularmente para

evitar el crecimiento de especies de plantas nativas. Aun así, hay algunas especies que parecen tomar ventaja de los pocos recursos, tal es el caso de *Danaus plexippus*, que utilizan los árboles de eucalipto como sitios de reposo o refugio, además de que son una fuente de néctar (Westman, 1990; Graves y Shapiro, 2003). También algunas mariposas reconocen estas plantas exóticas como huéspedes larvales potenciales, por ejemplo, *Pterourus multicaudata multicaudata*, utiliza el árbol *Ligustrum japonicum* como planta hospedera, *Nymphalis antiopa* consume como larva al árbol *Ulmus parvifolia* y *Pulupus alba* (Scott, 1986), *Dione junio* y *Dione moneta* usan las plantas de la familia Passifloraceae que se llegan a encontrar en jardines de casas y *Papilio garamas garamas* se alimenta de árboles *Magnolia* sp. plantados como ornamentos en áreas urbanas. Cabe mencionar que en este trabajo, las especies de plantas y de mariposas mencionadas, se presentan en los sitios más urbanizados de la zona metropolitana de Pachuca, además de que se observó a las larvas que utilizaban como recurso dicha vegetación. Por lo tanto, si la riqueza de especies de mariposas disminuye conforme aumenta el grado de urbanización, no se anula la posibilidad de encontrar una amplia riqueza de mariposas en algunas áreas verdes de la ciudad. Williams (2009) estudió parches de vegetación en la región metropolitana de Perth, Australia Occidental, e identificó a las especies que se crían en plantas introducidas y se dispersan fácilmente a través de la matriz urbana, demostrando que estos arbustos son islas efectivas que las mariposas usan como hábitat. Konvicka y Kadlec (2011) realizaron un estudio en cuatro parques en la ciudad de Praga y encontraron once especies tolerantes a la urbanización y cinco especies que utilizan arbustos o árboles en parques urbanos.

Otras especies de plantas están en la vegetación secundaria derivadas de la destrucción de la vegetación original y de la perturbación continua, causada por las actividades humanas (Rzedowski y Rzedowski, 2005), y ocupan un espacio considerable de la zona metropolitana de Pachuca; el 65% son nativas y el 35% son exóticas (Cué-Hernández, 2014). Las conocidas como ruderales están establecidas en áreas con urbanización alta o media, las cuales se encuentran con mayor frecuencia en lotes baldíos, jardines urbanos, orillas de vías de tren o caminos, etc., y las arvenses son las que invaden los cultivos agrícolas, aunque se sabe que muchas plantas típicamente arvenses pueden comportarse

como ruderales y viceversa (Rzedowski y Rzedowski, 2005). Estas plantas no son deseadas ya que son consideradas como malezas que descomponen visualmente el panorama urbano, sin embargo, para muchas especies de mariposas son útiles tanto como fuentes de néctar como alimento para sus estadios larvarios y aunque en este estudio no se encontró relación significativa con el porcentaje de cobertura de vegetación arvense-ruderal, Kruess y Tschardtke (2002), Gutiérrez (2005) y Öckinger (2009) reportan que los espacios con plantas ruderales presentan más riqueza de especies que los parques, y Shapiro (2002) demostró que las especies de plantas exóticas, especialmente en malezas naturalizadas sirven de criadero para algunas mariposas, incluso si son nativas.

Lo que se mencionó anteriormente coincide con el resultado del aumento de la riqueza de mariposas con respecto a la vegetación nativa. En la zona metropolitana de Pachuca predomina el matorral xerófilo, el cual está comúnmente constituido por *Opuntia streptacantha* Lem., *Zaluzania augusta* (Lag.) Sch. Bip., *Mimosa aculeaticarpa biuncifera* (Benth.) Barneby, *Jartropa dioica* Sessé ex Cerv., *Gymnosperma glutinosum* Spreng. Less., *Dalea bicolor* Humb. & Bonpl., *Schinus molle* L. y *Yucca filifera* Chabaud (Rzedowski y Rzedowski, 2005), sin embargo, durante los muestreos para este trabajo se percibió que también se llegan a encontrar *Bouvardia ternifolia* Cav. Schltdl., *Haplopappus venetus* Kunth S. F. Blake, *Bidens odorata* Cav., *Amaranthus* sp., *Eruca sativa* Mill., *Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers., *Solanum elaeagnifolium* Cav., *Solanum rostratum* Dunal, *Chenopodium album* L., *Resda luteola* L., *Malva parviflora* L., *Barkleyanthus salicifolius* Kunth, *Buddleia cordata* H.B.K., *Sonchus oleraceus* L. (Vibrans, 1998; Rzedowski y Rzedowski, 2005), por mencionar algunas plantas consideradas ruderales o arvenses que se van combinando con la vegetación de matorral o con zonas de cultivo que se hacen más presentes en las periferias de la zona metropolitana de Pachuca. Esta observación coincide con lo mencionando por Rzedowski y Rzedowski (2005), quienes reportan que puede haber matorrales en los que la dominancia de especies sea de estas comunidades vegetales secundarias. La asociación de vegetación puede ser un índice de que la riqueza de especies de mariposas aumenta junto con la vegetación nativa, ya que Di Mauro *et al.*, (2007) mencionan

que los sitios heterogéneos albergan más especies que las homogéneas y Hawkins y Porter (2003) reportan que los sitios con más especies de plantas contienen más plantas hospederas para las larvas, las cuales, por lo que se observó en este trabajo, normalmente son nativas y las preferidas por las mariposas. También es importante destacar que en estas zonas además de encontrarse algunas especies de mariposas que se incorporan a los sitios perturbados, se localizan las especies que son consideradas como xerófilas, entre éstas se hallan, por ejemplo, *Chlosyne theona* la cual habita en la vegetación de matorral y en estribaciones desérticas, conjuntamente su larva se alimenta de la planta del género *Castilleja* que también se encuentra en dicha flora (Scott, 1986; Rzedowski y Rzedowski, 2005), y *Agathymus* sp., hespérico que vive en zonas de matorral y su larva se alimenta de *Yucca* y de plantas de la familia Agavaceae (Scott, 1986), lo cual las hace especies netamente xerófilas.

Por otra parte, en este trabajo se encontró que el aumento de vegetación introducida afecta de manera negativa a la abundancia de *Rhopalocera*. Este resultado concuerda con Ruzsczyk (1986), quien reportó en Porto Alegre, Brasil, que la abundancia de mariposas disminuyó debido al aumento de la urbanización, con base en ciertas variables, entre ellas, el porcentaje de cobertura de vegetación introducida, que fue una barrera para algunas especies. Lo anterior se reafirma con lo mencionado por Matteson y Langellotto (2010), que las mariposas pueden encontrarse en lugares donde la cobertura de vegetación sea superior al 10-30% en un buffer de 500 m de radio, lo cual podría explicar la causa de la disminución de la abundancia en la zona metropolitana de Pachuca, pues en los sitios más urbanizados además de que la cobertura de vegetación es limitada (entre 15-25% en un buffer de 500 m de radio), los espacios verdes están compuestos por plantas introducidas con pocos recursos florales. En el mismo orden de ideas, Matteson *et al.* (2013) encontraron baja abundancia de mariposas en la vegetación en edificios residenciales y comerciales con respecto a espacios verdes a lo largo de los vecindarios, y Ruzsczyk y Nascimento (1999) encontraron que la presencia de la planta hospedera está relacionada con la alta abundancia de mariposas en sitios urbanos. Esta observación tiene sentido con respecto a los resultados encontrados

en este trabajo, porque en la mayoría de las áreas más desarrolladas de la zona metropolitana de Pachuca se utilizan plantas ornamentales que proporcionan poco polen o néctar, y en las colonias o vecindarios, aunque las personas pueden cultivar flores, normalmente son exóticas u hortalizas que pueden o no ser atractivas para las mariposas, y si llegan a serlo, no es suficiente, o en estado de larva se eliminan de la planta al ser consideradas como plaga.

Se debe considerar que la abundancia de mariposas en la zona metropolitana de Pachuca sólo está dominada por pocas especies, *Leptophobia aripa elodia*, *Pontia protodice*, *Nathalis iole*, *Brephidium exilis exilis* y *Pyrgus communis*, lo cual coincide con lo que reportaron Ramírez-Restrepo y Halfiter en 2013, que la abundancia en las ciudades de Xalapa y Coatepec, Veracruz está dominada por unas pocas especies muy abundantes. Esta observación apoya la propuesta de Thomas (1991), que las poblaciones más grandes son más resistentes a perturbaciones ambientales debido a una mayor variedad de recursos disponibles a causa del grado de heterogeneidad espacial de las ciudades y de Luniak (2008), quien afirma que la abundancia de comunidades de invertebrados en zonas urbanas puede ser más alta e incluso superar a los hábitat rurales por la presencia de especies que aparecen en masa. Sin embargo, Ruszczyk *et al.* (2004) mencionan que la presencia de la planta hospedera está relacionada con el número de individuos en los sitios, y aunque muchas de estas especies “súper dominantes” son multivoltinas y generalistas, Di Mauro *et al.* (2007) demostraron que también pueden disminuir con la urbanización, debido a la disminución del espacio verde.

Otro aspecto que puede estar relacionado con la diversidad de las mariposas en la zona metropolitana de Pachuca, es su movilidad entre sitios o tipos de cobertura. En las mariposas se pueden distinguir tres tipos de movimientos, los rutinarios, los de dispersión y los migratorios (Stevens *et al.*, 2010; Loos *et al.*, 2014). Los movimientos de rutina corresponden al comportamiento cotidiano, como el forrajeo o la búsqueda de refugio, estos movimientos ocurren principalmente dentro del mismo parche de vegetación. Los movimientos de dispersión son los cambios de un parche de vegetación a otro para la colonización o para obtener

recursos complementarios, se ven afectados por los cambios en la dirección del viento por lo que parecen aleatorios o sin rumbo. Los movimientos migratorios, al contrario, son direccionales de media o larga distancia y estacionales, con vuelo fuerte, decidido y en masa que no se ve afectado por el viento (Dennis & Shreeve 2003; Van Dyck y Baguette, 2005; Stevens *et al.*, 2010; Loos *et al.*, 2014). Las respuestas están profundamente ligadas al hábitat real requerido por las mariposas adultas, por lo tanto, el movimiento es una respuesta que difiere entre especies y resulta de su interacción específica con las características del paisaje (Dover y Settele 2009; Loos *et al.*, 2014). Esto hace que las mariposas tengan que seleccionar micrositios para su supervivencia, por ejemplo, más cálidos en años más fríos (Davies *et al.*, 2006), o húmedos y frescos como la hierba larga o el bosque en temporada de sequía (Ehrlich *et al.*, 1980, Sutcliffe *et al.*, 1997), algunas especies toman otras alternativas como volar grandes distancias a otra ubicación en estaciones del año cuando las temperaturas son extremas. (Ruszczyk *et al.* (2004) realizaron un estudio en el área urbana de Uberlandia, Brasil, donde encontraron que los individuos urbanos viajan menos que los no urbanos. Matteson y Langelotto (2012) mostraron en un estudio sobre *Pieris rapae* que ésta tiene una alta capacidad de movilidad a través de la ciudad de Nueva York buscando recursos florales. Bergerot *et al.* (2012) encontraron lo contrario, que *Pararge aegeria* tiene una marcada reducción de su movilidad en lugares con alta perturbación. Fleming *et al.* (2005) reportaron que la mariposa cebra, *Heliconius charitonia*, tiene una gran movilidad en sitios con media perturbación en Florida. Si analizamos estas investigaciones se puede percibir que es muy probable que en la zona metropolitana de Pachuca *Leptophobia aripa elodia* se comporte de la misma manera que *Pieris rapae* y se vea mas abundante en todo el gradiente debido a su alta capacidad para volar a través de la ciudad y un poco más alejado en busca de recursos, además de como se mencionó anteriormente, es una especie resistente a las perturbaciones. Lo mismo puede suceder con *Vanessa annabella*, especie que presenta una gran vagilidad y se observó en todo el gradiente de urbanización. Esta mariposa puede desplazarse en busca del néctar de plantas de la familia Asteraceae o de plantas de la familia Malvaceae o Urticaceae para

ovipositar (Scott, 1986), estas tres familias de plantas se llegan a encontrar desde las zonas más urbanizadas hasta los sitios donde el nivel de cobertura de superficie impermeable disminuye y la vegetación nativa predomina, lo cual ofrece un amplio perímetro de elección a la especie. Estos análisis apoyan lo que Oliver *et al.* (2010) mencionan, que la heterogeneidad del hábitat en las escalas del paisaje mejora la estabilidad y persistencia de las especies, especialmente en paisajes fragmentados bajo climas cambiantes.

### **4.3 DIVERSIDAD TAXONÓMICA Y SU RELACIÓN CON LA COMPOSICIÓN DEL PAISAJE.**

No se encontró una relación significativa entre la riqueza y la diversidad taxonómica de mariposas recolectadas a lo largo del gradiente de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca, por lo que se confirma que estas medidas no son redundantes. Este resultado puede deberse a que estas medidas toman en cuenta aspectos distintos, mientras que la riqueza describe sólo el número de diferentes unidades de organismos presentes y necesita de un esfuerzo de muestreo estandarizado, la diversidad taxonómica refleja la filogenia de las comunidades y no es influenciada por el esfuerzo de muestreo (Clarke y Warwick 1998; Warwick y Clarke 1998; Magurran 2003).

En particular, los resultados muestran que el Parque Hidalgo, sitio con menor riqueza de especies (7), cuenta con una diversidad taxonómica alta, ya que las especies registradas pertenecen a una familia, subfamilia, tribu y género distintos. La alta diversidad taxonómica de mariposas en el Parque Hidalgo, puede deberse a que el sitio probablemente cuenta con una alta diversidad taxonómica de plantas, que aunque no se midió, es posible que las diferentes plantas de ornato presentes en el parque (observación personal) son utilizadas por las mariposas. Una relación entre la diversidad taxonómica de plantas y la de mariposas es posible ya que se sabe que los lepidópteros tienden a tener una estrecha relación con sus plantas hospederas, y ciertos taxones de mariposas tienden a relacionarse

con determinados taxones de plantas (Ehrlich y Raven, 1964; Janz y Nylin, 1996). También es probable que la alta diversidad taxonómica de mariposas en el Parque Hidalgo incluya especies de gran vagilidad y que sólo estén visitando el sitio, y en consecuencia hayan sido detectadas en el mismo. Por otro lado, está el sitio Montessori, que a pesar de tener un número considerable de especies registradas (16) tiene baja diversidad taxonómica, es decir, que está dominado típicamente por varios miembros de una sola familia, en este caso Pieridae. Esto podría deberse a que en este sitio la diversidad taxonómica de plantas también es baja y de igual modo, representada mayormente por miembros de una familia de plantas, tal vez Brassicaceae o Asteraceae. Aunque algunos píeridos tienden a movilizarse entre parches (Matteson y Langellotto, 2012), es probable que decidan permanecer en este sitio por los recursos alimenticios que ahí se encuentran.

Los resultados que muestran que las variables a nivel de paisaje no están relacionadas significativamente con la diversidad taxonómica de mariposas, coinciden con lo que reportaron Heino *et al.* (2005) para organismos de agua dulce y Roque *et al.* (2013) para macroinvertebrados marinos, donde indican que no hay relación entre la diversidad taxonómica y la cobertura vegetal a escala del paisaje. Del mismo modo Heino *et al.* (2007), Abellán *et al.* (2005) y Bhat y Magurran (2006) no encontraron relación entre la diversidad taxonómica y el grado de contaminación y otros impactos antropogénicos en macroinvertebrados, escarabajos acuáticos y peces respectivamente. Clarke y Warwick (1999, 2001), mencionan que la diversidad taxonómica es una medida sensible a los cambios antropogénicos y que los taxones que normalmente desaparecen primero de los sitios degradados son aquellos que están representados por pocas especies, mientras que los que perduran contienen más especies. Este fenómeno podría explicar lo que está ocurriendo en el gradiente de urbanización de la zona metropolitana de Pachuca. El número total de integrantes dentro de cada nivel taxonómico es parecido para las diferentes familias presentes en todo el gradiente. Por ejemplo, para la familia Nymphalidae hay 5 subfamilias, 7 tribus, 11 géneros y 19 especies, para Pieridae hay 2 subfamilias, 3 tribus, 11 géneros y 13 especies y para Hesperiiidae 4 subfamilias, 7 tribus, 11 géneros y 13 especies. Entonces, es posible que conforme se fue urbanizando la zona metropolitana y los recursos

alimenticios fueron disminuyendo (e.g., abundancia de plantas), se fueron perdiendo especies (e individuos) dentro de cada taxón pero no se han perdido taxones completos, lo cual explicaría que la diversidad taxonómica es similar, pero no la riqueza y la abundancia. También, es probable que los linajes evolutivos no se vieron afectados por la composición del paisaje debido a la escala en que se trabajó en este estudio, además se requiere de un estudio a una mayor escala para encontrar diferencias significativas en la diversidad taxonómica. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que existan otras causas que expliquen por qué no hay una relación entre la diversidad taxonómica y las variables a escala del paisaje planteadas en esta investigación.

*Celastrina argiolus gozora*

Foto: Elsi B. Pérez Jarillo.





# 5 CONCLUSIONES

Los Rhopalocera que se encuentran a lo largo del gradiente de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca están representados por 6 familias, 15 subfamilias, 47 géneros y 59 especies, ocho son endémicas de México y una tiene especial importancia por su escaso número de ejemplares depositados en colecciones biológicas. La familia con mayor riqueza es Nymphalidae (32%), la familia Pieridae es la que tiene mayor abundancia (59%) y número de géneros (12). De acuerdo a estos datos, la riqueza de especies en esta región urbana representa el 17% de los Rhopaloceros que están registrados para el estado de Hidalgo.

El análisis de regresión permitió conocer que la urbanización y la vegetación introducida tienen un efecto negativo y significativo sobre la riqueza de especies de mariposas, ya que ésta disminuyó con el crecimiento de ambas variables. Al contrario, la vegetación nativa tiene un efecto positivo y significativo sobre la riqueza de especies de mariposas, pues aumentó con la presencia de matorral xerófilo. Por otro lado, la abundancia de mariposas disminuyó al incrementar la vegetación exótica.

La diversidad taxonómica no presenta dependencia con la composición del paisaje, por tanto se puede sugerir que la urbanización no está afectando los linajes de las mariposas.

En las últimas dos décadas, la ciudad de Pachuca sufre un crecimiento urbano desmesurado e incontrolado, sin diseño y por necesidad. Esto se debe a que fue una ciudad minera y sus asentamientos humanos se construyeron casa tras casa sin pensar en consecuencias, sin embargo, los encargados de los planes de manejo y desarrollo urbano siguen sin tomar en cuenta estos aspectos al momento de edificar sus ciudades. Aunado a esto, la implementación de vegetación exótica ornamental perjudica a la riqueza y abundancia de las especies, por ello es importante que en la planificación urbana se amplíen áreas verdes y se incluyan principalmente especies nativas para que tengan éxito como hábitats efectivos para insectos y la fauna en general.

*Leptophobia aripa elodia*  
Foto por Elsi B. Pérez Jarillo.





# 6 LITERATURA CITADA

- Abellán P., Bilton D.T., Millán A., Sánchez-Fernández D. y Ramsay, P.M. 2006. Can taxonomic distinctness assess anthropogenic impacts in inland waters: A case study from a Mediterranean river basin. *Freshwater Biology*, 51: 1744-1756.
- Adams, L.W. 1994. Urban Wildlife Habitats: A Landscape Perspective. *University of Minnesota Press*, 175 p.
- Ackery, P.R., De Jong, R. y Vane-Wright, R.I. 1999. The butterflies: Hedyloidea, Hesperioidea and Papilionoidea, En: Kristensen, N. P. (Ed.), *Handbook of Zoology*, 4: 263-300.
- Alberti, M., Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C. y Zumbrunnen, C. 2003. Integration humans into ecology: Opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *BioScience*, 53: 1169-1179.
- Arnett, R. H. 2000. American Insects: A Handbook of the Insects of America North of Mexico. *CRC Press LLC*, 1003 p
- Bang, C. y Faeth, S.H. 2011. Variation in arthropod communities in response to urbanization: Seven years of arthropod monitoring in a desert city. *Landscape and Urban Planning*, 103: 383-399.
- Becker, V.O. 2000. Microlepidoptera. En Llorente-Bousquets, J., González, S., y Papavero, N. (eds.), Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento Vol. II. Facultad de Ciencias, UNAM, 2: 453-468.
- Bergerot, B., Merckx, T., Van Dyck, H. y Baguette, M. 2012. Habitat fragmentation impacts mobility in a common and widespread woodland butterfly: Do sexes respond differently?. *Ecology*, 5: 1-10.
- Berkowitz, A.R., Nilon, C.H. y Hollweg, K.S. 2003. Understanding Urban Ecosystems: A New Frontier for Science and Education. *Springer*, 526 p.
- Bernays, E.A. y Chapman, R.F. 1994. Host-plant Selection by Phytophagous Insects. *Chapman & Hall, Inc*, 313 p.

- Beutelspacher, B.C.R. 2013. Las Mariposas Nocturnas del Valle de México. Instituto de Biología, UNAM, 284 p.
- Bhat, A. y Magurran, A.E. 2006. Taxonomic distinctness in a linear system: A test using a tropical freshwater fish assemblage. *Ecography*, 29:104-110.
- Bhullar, S. y Majer, J. 2000. Arthropods on street trees: A food resource for wildlife. *Pacific Conservation Biology*, 6: 171-173.
- Bizuet-Flores, A., Luis-Martínez, A. y Llorente-Bousquets, J. 2001. Mariposas del Parque Nacional El Chico, Hidalgo y sus relaciones biogeográficas con cinco zonas aledañas al Valle de México, México (Lepidoptera: Papilionoidea). *Revista de Lepidopterología*, 114: 145-159.
- Blair, R.B. 1999. Birds and butterflies along an urban gradient: Surrogate taxa for assessing biodiversity?. *Ecological Applications*, 1: 164-170.
- Blair, R.B. y Launer, A.E. 1997. Butterfly diversity and human land use: Species assemblages along an urban gradient. *Biological Conservation*, 80: 113-125.
- Bolotov, I.N. 2002. Diurnal lepidopterans (Lepidoptera, Rhopalocera) of Arkhangelsk and its surroundings. *Zoologicheskii Zhurnal*, 81: 457-462.
- Brown Jr., K.S. y Freitas, V.A.L. 2002. Butterfly communities of urban forest fragments in Campinas, Sao Paulo, Brazil: Structure, instability, environmental correlates, and conservation. *Journal of Insect Conservation*, 6: 217-231.
- Brown, J.W., Real, H.G. y Faulkner, D.K. 1992. Butterflies of Baja California. Faunal survey, natural history, conservation biology. *The Lepidoptera Research Foundation*, 129 p.
- Bustos, N.E. 2008. Las especies urbanas de Rhopalocera de la Reserva Ecológica Costanera Sur, Ciudad de Buenos Aires, Argentina (Lepidoptera: Hesperioidea y Papilionoidea). *Revista de Lepidopterología*, 144: 435-447.
- Caswell, H. 1976. Community structure: A neutral model analysis. *Ecological Monographs*, 46: 327-354.

- Chace, I.F. y Wlash, J.J. 2006. Urban effect on native fauna: A review. *Landscape and Urban Planning*, 74: 46-69.
- Chao, A., Chiu, C.H. y Jost, L. 2010. Phylogenetic diversity measures based on Hill numbers. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*, 365: 3599-3609.
- Chao, A. y Jost, L. 2012. Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93: 2533-2547.
- Chao, A., y T. J. Shen. 2010. Program SPADE: Species prediction and diversity estimation. *Program and user's guide*, 69 p.
- Chudzicka, E. 1986. Structure of leafhopper (Homoptera, Auchenorrhyncha) communities in the urban green of Warsaw. *Memorabilia Zoologica*, 42: 67-99.
- Clark, P.J., Reed, J.M. y Chew, F.S. 2007. Effects of urbanization on butterfly species richness, guild structure, and rarity. *Urban Ecosystems*, 10: 321-337.
- Clarke, K.R. y Warwick, R.M. 1998. A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 35: 523-531.
- Clarke, K.R. y Warwick, R.M. 1999. The taxonomic distinctness measure of biodiversity: Weighting of step lengths between hierarchical levels. *Marine Ecology Progress Series*, 184: 21-29.
- Clarke, K.R. y Warwick, R.M. 2001. A further biodiversity index applicable to species lists: Variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216: 265-278.
- CONABIO, 2012. Árboles comunes de la ciudad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONAPO, 2010. Zona metropolitana de Pachuca. Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México. Consejo Nacional de Población. Secretaría de Gobernación. [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas\\_metropolitanas\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas_metropolitanas_2010). Fecha de consulta: 29/10/2015

- Connor, E.F., Hafernik, J., Levy, J., Moore, L.V. y Rickman, J.K. 2002. Insect conservation in an Urban Biodiversity hotspot: The San Francisco Bay area. *Journal of Insect Conservation*, 4: 247-259.
- Corke, D. 1999. Are honeydew/sap-feeding butterflies (Lepidoptera: Rhopalocera) affected by particulate air-pollution?. *Journal of Insect Conservation*, 3: 5-14.
- Cox, D.T.C. y Gaston, K.J. 2016. Urban Bird Feeding: Connecting People with Nature. *PLoS ONE*, 7: 1-13.
- Cué Hernández, K. 2014. Efecto de la urbanización sobre las comunidades de abejas y abejorros (Hymenoptera: Apoidea) en la ciudad de Pachuca, Hidalgo. *Tesis de Maestría*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Biológicas, 106 p.
- Czech, B. y Krausman, P.R. 1997. Distribution and causation of species endangerment in the United States. *Science*, 227: 1116-1117.
- Czechowski, W. 1982. Occurrence of carabids (Coleoptera, Carabidae) in the urban greenery of Warsaw according to the land utilization and cultivation. *Memorabilia Zoologica*, 39: 3-108.
- Davies, Z.G., Wilson, R.J., Coles, S. Y Thomas, C.D. 2006. Changing habitat associations of a thermally constrained species, the silver-spotted skipper butterfly, in response to climate warming. *Journal of Animal Ecology*, 75: 247-256.
- De la Maza, R.R. 1987. Mariposas mexicanas: Guía para su Colecta y Determinación. *Fondo de Cultura Económica*, 302 p.
- De la Maza, R.G. y De la Maza, J. 1993. Mariposas de Chiapas. *Espejo de Obsidiana*, 223 p.
- De la Maza, R.G. y Gutiérrez, D. 1994. Ropalóceros de Quintana Roo, su distribución, origen y evolución. *Revista de la Sociedad Mexicana de Lepidopterología*, 15: 1-43.

- Decker, E. H., Elliott, S., Smith, F. A., Blake, D. R. y Rowland, F. S. 2000. Energy and material flow through the urban ecosystem". *Annual Review of Energy and the Environment*, 25: 685-740.
- Dennis, R.L. y Hardy, P.B. 2001. Loss rates of butterfly species with urban development. A test of atlas data and sampling artefacts at a fine scale. *Biodiversity and Conservation*, 10: 1831.
- Dennis, R.L.H. y Shreeve, T.G. 2003. Towards a functional resource-based concept for habitat: A butterfly biology viewpoint. *Oikos*, 10: 417-426.
- De Jong, R., Vane-Wright, R.I. y Ackery, P.R. 1996. The higher classification of butterflies (Lepidoptera): Problems and prospects. *Entomologica scandinavica*, 27: 65-101.
- Di Mauro, D., Dietz, T. y Rockwood, L. 2007. Determining the effect of urbanization on generalist butterfly species diversity in butterfly gardens. *Urban Ecosystems*, 10: 427-439.
- Ditchkoff, S.S., Saalfeld, S.T. y Gibson, C.J. 2006. Animal Behavior in urban ecosystems: Modifications due to human-induced stress. *Urban Ecosystems*, 9: 5-12.
- Dover, J. y Settele, J. 2009. The influences of landscape structure on butterfly distribution and movement: A review. *Journal of Insect Conservation*, 13: 3-27.
- Dover, J.W., Dennis, R.L.H. y Atkins, L.J. 2009. The western jewel butterfly (*Hypochrysops halyaetus*: Lycaenidae) II: Factors affecting oviposition within native *Banksia* bushland in an urban setting. *Journal of Insect Conservation*, 13: 487-503.
- Ehrlich, P.R., Murphy, D.D., Singer, M.C., Sherwood, C.B., White, R.R. y Brown, I.L. 1980. Extinction, reduction, stability and increase: The responses of checkerspot butterfly (*Euphydryas*) populations to the California drought. *Oecologia*, 46: 101-105.
- Ehrlich, P.R. y Raven, P.H. 1964. Butterflies and plants: A study in coevolution. *Evolution*, 18: 586-608.

- Emlen, J.T. 1974. An urban bird community in Tucson, Arizona: Derivation, structure, regulation. *Condor*, 76: 184-197.
- Fattorini, S. 2011. Insect extinction by urbanization: A long term study in Rome. *Biological Conservation*, 144: 370-375.
- Fisher, J.G., Anholt, B. y Volpe, J.P. 2011. Body mass explains characteristic scales of hábitat selection in terrestrial mammals. *Ecology and Evolution*, 1: 517-528.
- Fleming, T.H., Serrano, D., y Nassar, J. 2005. Dynamics of a subtropical population of the zebra longwing butterfly *Heliconius charithonia* (Nymphalidae). *Florida Entomologist*, 88: 169-179.
- Footit, R.G. y Adler, P.H. 2009. Insect Biodiversity: Science and Society. *Blackwell Publishing Ltd.*, 642 p.
- García-de Jesús, S., Moreno, C.E., Morón, M.A., Castellanos, I. y Pavón, N.P. 2016. Integrando la estructura taxonómica en el análisis de la diversidad alfa y beta de los escarabajos Melolonthidae en la Faja Volcánica Transmexicana. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87: 1033-1044.
- García Robledo, C.A., Constantino, L.M., Heredia, M.D. y Kattan, G. 2002. Mariposas Comunes de la Cordillera Central de Colombia. *Wildlife Conservation Society*, 105 p.
- Garden, J., Mcalpine, C., Peterson, A., Jones, D. y Possingham, H. 2006. Review of the ecology of Australian urban fauna: A focus on spatially explicit processes. *Austral Ecology*, 31: 126-148.
- Gaston, K.J. y Spicer, J.I. 2004. Biodiversity: An Introduction (Second Edition). *Blackwell Publishing*, 191 p.
- Gibb, H. y Hochuli, D.F. 2002. Habitat fragmentation in an urban environment: large and small fragments support different arthropod assemblages. *Biological Conservation*, 106: 91-100.
- Girardet, H. 1996. The Gaia Atlas of Cities. New Directions for Sustainable Urban Living. *Gaia books limited*, 191 p.

- Glassberg, J. 2007. A Swift Guide of the Butterflies of Mexico and Central America. *Sunstreak Books, Inc.*, 266 p.
- Gómez Aíza, L. y Zuria, I. 2010. Aves visitantes a las flores del maguey (*Agave salmiana*) en una zona urbana del centro de México. *Ornitología Neotropical*, 21: 17-30.
- Graves, S.D. y Shapiro, A.M. 2003. Exotics as host plants of the California butterfly fauna. *Biological Conservation*, 110: 413-433.
- Gray, J.S. 1989. Effects of environmental stress on species rich assemblages. *Biological Journal of the Linnean Society*, 37: 19-32.
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J. Bai, X. y Briggs, J.M. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science*, 319: 756-760.
- Gutiérrez, D. 2005. Effectiveness of existing reserves in the long-term protection of a regionally rare butterfly. *Conservation Biology*, 5: 1585-1597.
- Hardy, P.B. y Dennis, R.L. 1999. The impact of urban development on butterflies within a city región. *Biodiversity and Conservation*, 9: 1261-1279.
- Harper, J. L. y Hawksworth, D. L. 1995. Biodiversity: Measurement and Estimation. *Chapman and Hall*, 140 p.
- Hawkins, B.A. y Porter, E.E. 2003. Does herbivore diversity depend on plant diversity? The case of California butterflies. *The American Naturalist*, 161: 40-49.
- Heino, J. 2005. The relationship between species richness and taxonomic distinctness in freshwater organisms. *Limnology Oceanography*, 50: 978-986.
- Heino, J., Mykra, H., Hamalainen, H., Aroviita, J. y Muotka, T. 2007. Response of taxonomic distinctness and species diversity indices to anthropogenic impacts and natural environmental gradients in stream macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 9: 1846-1861.

- Heppner, J.B. 1991. Faunal regions and the diversity of Lepidoptera. *Tropical Lepidoptera*, 1: 1-85.
- Heppner, J.B. 2002. Mexican Lepidoptera biodiversity. *Insecta Mundi*, 16: 171-190.
- Herrmann, D.L., Pearse, I.S. y Baty, J.H. 2012. Divers of specialist herbivore diversity across 10 cities. *Landscape and Urban Planning*, 108: 123-130.
- Hernández Baz, F. 1993. La fauna de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) de Xalapa, Veracruz, Mexico. *La Ciencia y El Hombre*, 14: 55-88.
- Hernández-Baz, F., Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, I. F. Vargas. 2010. Mariposas de Veracruz: Guía Ilustrada. *La Ciencia en Veracruz. Consejo Veracruzano de Investigación Científica*, 159 p.
- Hernández-Mejía, B.C., Llorente-Bousquets, J., Vargas-Fernández, I. y Luis-Martínez, A. 2008a. Las mariposas (Papilionoidea y Hesperioidea) de Malinalco, Estado de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79: 117-130.
- Hernández-Mejía, B.C., Vargas-Fernández, I., Luis-Martínez, A. y Llorente-Bousquets, J. 2008b. Distribución de mariposas diurnas (Lepidoptera: Hesperioidea y Papilionoidea) del Estado de México, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 3: 1309-1341.
- Hogsden, K.L., y Hutchinson, T.C. 2004. Butterfly assemblages along a human disturbance gradient in Ontario, Canada. *Canadian Journal of Zoology*, 82: 739-748.
- INEGI, 2009a. Pachuca de Soto, Hidalgo. Puntuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México.
- INEGI, 2009b. Mineral de la Reforma, Hidalgo. Puntuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México.
- INEGI, 2009c. San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo. Puntuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México.

- INEGI, 2009d. Zempoala, Hidalgo. Puntuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México.
- INEGI, 2014. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo. Secretaría de Planeación, Desarrollo Regional y Metropolitano del Gobierno del Estado de Hidalgo.
- INEGI, 2015. Tabulados de la encuesta intercensal 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI, 2016. Minimonografía: Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México. Secretaría de Desarrollo Social. Consejo Nacional de Población. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México.
- Janz, N. y Nylin, S. 1996. Butterflies and plants: A phylogenetic study. *Evolution*, 52: 486-502.
- Kark, S., Iwaniuk, A., Schalimtzek, A. y Banker, E. 2007. Living in the city: Can anyone become an urban exploiter'?. *Journal of Biogeography*, 34: 838-651.
- Kegel, B. 1990. The distribution of carabid beetles in the urban area of West Berlin. En Stork, N.E. (ed.): The Role of Ground Beetles in Ecological and Environmental Studies. *Intercept Ltd, Andover*, 325-329.
- King, T.G., y Green, S.C. 1995. Factors affecting the distribution of pavement ants (Hymenoptera: Formicidae) in Atlantic coast urban fields. *Entomological News*, 106: 224-228.
- Kitahara, M., y Fujii, K. 1997. An island biogeographical approach to the analysis of butterfly community patterns in newly designed parks. *Researches on Population Ecology*, 39: 23-35.
- Konvicka, M. y Kadlec, T. 2011. How to increase the value of urban areas for butterfly conservation? A lesson from Prague nature reserves and parks. *European Journal of Entomology*, 108: 219-229.
- Krebs, J.R. 1978. Optimal foraging: Decision rules for predator. En Krebs, J.R., y Davies, N.B. (Eds.). *Behavioural Ecology, an Evolutionary Approach. Blackwell's*, 23-63.

- Kristensen, N.P. 1998. *Lepidoptera, Moths and Butterflies Volume 1. Evolution, Systematics and Biogeography. Walter de Gruyter GmbH & Co., 493 p.*
- Kronforst, M. R., y Fleming, T. H. 2001. Lack of genetic differentiation among widely spaced subpopulations of a butterfly with home range behaviour. *Heredity*, 86: 243-250.
- Kruess, A. y Tscharrntke, T. 2002. Grazing intensity and the diversity of grasshoppers, butterflies, and trap-nesting bees and wasps. *Conservation Biology*, 6: 1570-1580.
- Kunte, K. 2000. Butterfly diversity of Pune City along the human impact gradient. *Journal of Ecological Society*, 14: 40-45.
- Lamas, G. 2008. La sistemática sobre mariposas (Lepidoptera: Hesperioidea y Papilionoidea) en el mundo: estado actual y perspectivas futuras. En Llorente-Bousquets, J. y Lanteri, A. (Eds.). *Contribuciones Taxonómicas en Órdenes de Insectos Hiperdiversos. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, 57-70.*
- Linnaeus, C. 1758. *Systema Naturae Per Regna Tria Naturae, Secundum Classes, Ordines Genera, Species, Cum Characteribus, Differentiis, Synonymis, Locis.* 10th ed. *Holmiae*, 534 p.
- Llorente-Bousquets, J. y Luis-Martínez, A. 1993. A conservation oriented analysis of Mexican butterflies: the Papilionidae (Lepidoptera: Papilionoidea). En Ramammorthy, T.P., Fa, J., Bye, R. y Lot, A. (Eds.). *The Biological Diversity of Mexico: Origins and Distributions. Oxford University Press, 147-177.*
- Llorente-Bousquets, J. y Luis-Martínez A. 1998. Análisis conservacionista de las mariposas mexicanas: Papilionidae (Lepidoptera: Papilionoidea). En T. Ramammorthy, T. Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (Eds.). *Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución, Instituto de Biología, UNAM, 149-178.*
- Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A, Vargas I.F. y Soberón J.M. 1996a. Papilionoidea (Lepidoptera). En Llorente-Bousquets, J., García A.N. y González E.S. (Eds.). *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento. Instituto de Biología, UNAM, 531-548.*

- Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A., y Vargas, I.F. 1990. Catálogo sistemático de los Hesperioidea de México. *Publicaciones Especiales del Museo de Zoología*, UNAM 1: 1-70.
- Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A. y Vargas, I.F. 2006. Apéndice general de Papilionoidea: Lista sistemática, distribución estatal y provincias biogeográficas. En Morrone, J.J. y Llorente-Bousquets, J. (Eds.). Componentes Bióticos Principales de la Entomofauna Mexicana. *Las prensas de Ciencias*, UNAM, 733-797.
- 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.
- Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A. Vargas, I.F. y Warren, A.D. 1996b. Butterflies of the state of Jalisco. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 50: 97-138.
- Llorente-Bousquets, J., Warren, A.D., Vargas, I.F. y Luis-Martínez, A. 1996c. Mariposas diurnas de Colima. *Dugesiana*, 3: 1-18.
- Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A., Vargas, I.F., y Warren, A.D. 2004. Butterflies of the state of Nayarit, Mexico. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 58: 203-222.
- Loos, J., Kuussaari, M., Ekroos, J., Hanspach, J., Fust, P., Jackson, L. Y Fischer, J. 2014. Changes in butterfly movements along a gradient of land use in farmlands of Transylvania (Romania). *Landscape Ecology*, 30: 625.
- Luis-Martínez, A., Llorente-Bousquets, J., Vargas I.F. y Gutiérrez, A.L. 2000. Síntesis preliminar del conocimiento de los Papilionoidea (Lepidoptera: Insecta) de México. En Martín, F., Morrone, J.J. y Melic, A. (Eds.). m3m, Monografías Tercer Milenio. *Sociedad Entomológica Aragonesa*, 1: 275-285.
- Luis-Martínez, A., Llorente-Bousquets, J. y Vargas-Fernandez, I. 2005. Una megabase de datos de mariposas y la regionalización biogeográfica de México. En Llorente, J y Morrone J.J. (Eds.). Regionalización Geográfica en Iberoamérica y Tópicos Afines: Primeras Jornadas Biogeográficas de la Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática (RIBES XII.I-CYTED) UNAM, 269-294.

- Luis-Martínez, A., Llorente-Bousquets, J., Vargas-Fernandez, I y Hernández-Baz, F. 2011a. Mariposas diurnas Papilionoidea y Hesperioidea (Insecta: Lepidoptera), En Cruz, A.A., Lorea, F.G., Hernández, V.O. y Morales, J.E.M. (Eds.). La biodiversidad de Veracruz. Estudio de estado, vol.II. Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología. 339-354.
- Luis-Martínez, A., Llorente-Bousquets, J., Vargas, I.F. y Warren, A.D. 2003. Biodiversity and biogeography of Mexican butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 105: 209-224.
- Luis-Martínez, A., Llorente-Bousquets, J., Warren, A.D y Vargas, I.F. 2004. Los lepidópteros: papilionoideos y hesperioideos. En García-Mendoza, A. J., Ordóñez M. J. y Briones-Salas M. A (Eds.). Biodiversidad de Oaxaca, Instituto de Biología, UNAM. *Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza*. WWF, 331-356.
- Luis-Martínez, A., Salinas-Gutiérrez J.L. y Llorente-Bousquets, J.. 2011b. Papilionoidea y Hesperioidea (Lepidoptera: Rhopalocera). En Álvarez F. (Ed.). Chiapas: Estudios Sobre su Diversidad Biológica. Instituto de Biología, UNAM, 363-392.
- Luis-Martínez, A., Vargas, I.F. y Llorente-Bousquets, J., 1996. Síntesis de los Papilionoidea (Rhopalocera: Lepidoptera) del estado de Veracruz. *Folia Entomológica Mexicana*, 93: 91-133.
- Luna, M.R., Luis-Martínez, A., Vargas, I.F. y Llorente-Bousquets, J. 2012. Mariposas del estado de Morelos, México (Lepidoptera: Papilionoidea). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83: 623-666.
- Luna, P.R., Castañon, B.A., Raz-Guzmán, A. 2011. La biodiversidad en México, su conservación y las colecciones biológicas. *Ciencias*, 101: 36-43.
- Luna-Reyes, M. y Llorente-Bousquets, J. 2004. Papilionoidea (Lepidoptera: Rhopalocera) de la Sierra Nevada, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 20: 79-102.

- Luna-Reyes, M., Llorente-Bousquets, J. y Luis-Martínez, A. 2008. Papilionoidea de la Sierra de Huautla, Morelos y Puebla, México (Insecta: Lepidoptera). *Revista de Biología Tropical*, 56: 1677-1716.
- Luniak, M. 2008. Fauna of the Big City – Estimating species richness and abundance in Warsaw, Poland. En Marzluff J.M, Bowman, R. y Donnelly R. (Eds.). *Urban Ecology*. Springer, 349-354.
- MacIvor, J.S. y Lundholm, J. 2011. Insect species composition and diversity on intensive green roofs and adjacent level-ground habitats. *Urban Ecosystems*, 14: 225-241.
- MacGregor-Fors, I. 2016. Ecología Urbana: Patrones generales y direcciones futuras. En Ramirez-Bautista, A. y Pineda-López, R. (Eds.). *Fauna Nativa en Ambientes Antropizados. Red Temática, Biología, Manejo y Conservación de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados (REFAMA), CONACYT-UAQ*, 15-21.
- MacGregor-Fors, I., Avendaño-Reyes, S., Bandala, V.M. et al. 2014. Multi-taxonomic diversity patterns in a neotropical green city: a rapid biological assessment. *Urban Ecosystems*, 18: 633-647.
- MacGregor-Fors, I., Morales-Pérez, L. y Schondube, J.E. 2010. Relationship between the presence of House Sparrows (*Passer domesticus*) and neotropical bird community structure and diversity. *Biological Invasions*, 12: 87-96.
- Magura, T., Hornung, E. y Tóthmérész, B. 2008. Abundance patterns of terrestrial isopods along an urbanization gradient. *Community Ecology*, 9: 115-120.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, 264 p.
- Martínez-De La Cruz, I., Vibrans, H., Lozada-Pérez, L., Romero-Manzanales, A., Aguilera-Gómez, L.I. y Rivas-Manzano, I.V. 2015. Plantas ruderales del area urbana de Malinalco, Estado de México, México. *Botanical Sciences*. 4: 907-919.
- Marzluff, J.M., McGowan, K.J., Donnelly, R. y Knight, R.L. 2001. Causes and consequences of expanding American Crow populations. En Marzluff J.M, Bowman, R. y Donnelly R. (Eds.) *Avian Ecology and Conservation in an Urbanizing World*. Kluwer Academic Press, 322-363.

- Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Endlicher, W., Alberti, M., Bradley, G., Ryan, C., ZumBrunnen, C. y Simon, U. (Eds.). 2008. *Urban Ecology: An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*. Springer Science+Business Media, LLC, 807 p.
- Matteson, K.C. y Langellotto, G.A. 2010. Determinates of inner city butterfly and bee species richness. *Urban Ecosystems*, 13: 333-347.
- Matteson, K.C., y Langellotto, G. 2012. Evaluating community gardens as habitat for an urban butterfly evaluating community gardens as habitat for an urban butterfly. *Cities and the Environment*, 1: 1-12.
- Matteson, K.C., Grace, J.B., y Minor, E.S. 2013. Direct and indirect effects of land use on floral resources and flower-visiting insects across an urban landscape. *Oikos*, 122: 682-694.
- McKinney, M.L. 2002. Urbanization, biodiversity, and conservation. *BioScience* 52: 883-890
- McKinney, M.L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127: 247-260.
- McKinney, M.L. 2008. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 11: 161-176.
- Miller, J.C. y Hammond, P.C. 2003. *Lepidoptera of the Pacific Northwest: Caterpillars and Adults*. Forest Health Technology Enterprise Team (FHTET). Department of Agriculture, 334 p.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de UNESCO. *Sociedad Entomológica Aragonesa*. Serie Manuales y Tesis SEA, 1: 84 p.
- Moreno, C.E., Castillo-Campos, G. y Verdú, J.R. 2009. Taxonomic diversity as complementary information to assess plant species diversity in secondary vegetation and primary tropical deciduous forest. *Journal of Vegetation Science*, 20: 935-943.

- Mulieri, P.R. y Mariluis, J.C. 2011. Description of a new species of *Macronychia Rondani* (Diptera: Sarcophagidae: Miltogramminae), with a key to the New World species of the genus. *Zootaxa*, 2832: 51-55.
- Munguira, M.L. y Thomas, J.A. 1992. Use of road verges by butterfly and burnet populations, and the effect of roads on adult dispersal and mortality. *Journal of Applied Ecology*, 29: 316-329.
- Murphy, D.D., y Weiss, S.B. 1988. Ecological studies and the conservation of the bay checkerspot butterfly, *Euphydryas editha bayensis*. *Biological conservation*, 46: 183-200.
- Mutanen, M., Wahlberg, N. y Kaila, L. 2010. Comprehensive gene and taxon coverage elucidates radiation patterns in moths and butterflies. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277: 2839-2848.
- Naciones Unidas. 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>. Fecha de consulta: 20/05/2017.
- Nelson, G.S., y Nelson, S.M. 2001. Bird and butterfly communities associated with two types of urban riparian areas. *Urban Ecosystems*, 5: 95-108.
- New, T.R. 1993. Conservation Biology of Lycaenidae (Butterflies). International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), 173 p.
- Niemelä, J. 1999. Ecology and urban planning. *Biodiversity and Conservation*, 8: 119-131.
- Nishida, K., Nakamura, I., y Morales, C.O. 2009. Plants and butterflies of a small urban preserve in the Central Valley of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57: 31-67.
- Öckinger, E., Dannestam, Å., y Smith, H.G. 2009. The importance of fragmentation and habitat quality of urban grasslands for butterfly diversity. *Landscape and Urban Planning*, 93: 31-37.
- Ohwaki, A., Nakamura, K., y Tanabe, S.I. 2008. Effects of anthropogenic disturbances on the butterfly assemblage in an urban green area: The changes from 1990 to 2005. *Ecological Research*, 23: 697-708.

- Oliver, T., Roy, D.B., Hill, K., Brereton, T. y Thomas, D. 2010. Heterogeneous landscapes promote populations stability. *Ecology Letters*, 4: 473-484.
- Omedes, A. 2005. Los Museos de Ciencias Naturales piezas clave para la consevación de la biodiversidad. *Quark*, 1: 72-78.
- Otto, H.H.H. 2014. A new locality and larval host plant recorded for *Brephidium exilis exilis* (Boisduval, 1852) on the Arabian Peninsula. *Lepidopterists Society of Africa*, 25: 97-99.
- Owen, D.F. 1971. Species diversity in butterflies in a tropical garden. *Biological Conservation*, 3: 191-198.
- Owen, J., y Owen, D.F. 1975. Suburban gardens: England's most important nature reserve?. *Environmental Conservation*, 2: 53-59.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological Diversity. *Wiley*, 174 p.
- Pittaway, A.R., Larsen, T.B., Legrain, A., Majer, J., Weidenhoffer, Z. y Gillet, M. 2006. The establishment of an American butterfly in the Arabian Gulf: *Brephidium exilis* (Boisduval, 1852) (Lycaenidae). *Nota lepidopterologica*, 29: 5-16.
- Pogue, M.G. 2009. Biodiversity of Lepidoptera. En Foottit, R.G. y Adler, P.H. (Eds.) Insect Biodiversity: Science and Society. *Blackwell Publishing Ltd*, 325-355.
- Pollard, E. 1977. A method for assessing changes in the abundance of butterflies. *Biological conservation*, 12: 115-134,
- Pollard, E., y Yates, T.J. 1993. Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation. Conservation Biology Series. *Chapman and Hall*, 274 p.
- Posa, C.M.R., y Sodhi, N.S. 2006. Effects of anthropogenic land use on forest birds and butterflies in Subic Bay, Philippines. *Biological Conservation*, 129: 256-270.
- Powel, J.A. y Opler, P.A. 2009. Moths of Western North America. *University of California Press*, 369 p.

- Purvis, A. y Hector, A. 2000. Getting the measure of biodiversity. *Nature*, 405: 212-219.
- Ramírez-Restrepo, L., Chacón de Ulloa, P. y Constantino, L.M. 2007. Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea) en Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 33: 54-63.
- Ramírez-Restrepo, L., Cultid-Medina, A.A. 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 Halffter G. 2013. Butterfly diversity in a regional urbanization mosaic in two Mexican cities. *Landscape and Urban Planning*, 115: 39-48.
- Ramírez-Restrepo, L. y MacGregor-Fors, I. 2016. Butterflies in the city: A review of urban diurnal Lepidoptera. *Urban Ecosystems*, 20: 171-182.
- Rees, W.E. 1997. Urban ecosystems: The human dimension. *Urban Ecosystems*, 1:63-75.
- Regier, J.C., Zwick, A., Cummings, M.P., Kawahara, A.Y., Cho, S., Weller, S., Roe, A., Baixeras, J., Brown, J.W., Parr, C., Davis, D.R., Epstein, M., Hallwachs, W., Hausmann, A., Janzen, D.H., Kitching, I.J., Solis, M.A., Yen, S.-H., Bazinet, A.L. y Mitter, C. 2009. Toward reconstructing the evolution of advanced moths and butterflies (Lepidoptera: Ditrysia): An initial molecular study. *Evolutionary Biology*, 9: 280.
- Rickman, J.K. y Connor, E.F. 2003. The effect of urbanization on the quality of remnant habitats for leaf-mining Lepidoptera on *Quercus agrifolia*. *Ecography*, 6: 777-787.
- Rincón, R.A.D. 1998. Lepidópteros Ropaloceros de la isla de Toas, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. Universidad del Zulia, 2: 125-138.
- Rodríguez, P. y Vásquez-Domínguez, E. 2003. Escalas y diversidad de especies. En: Morrone, J.J. y Llorente-Bousquets, J.E. (Eds.). Una Perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía. Facultad de Ciencias, UNAM, 109-114.

- Roque, F.O., Guimaraes, E.A., Ribeiro, M.C., Escarpinati, S.C., Suriano, M.T. y Siqueira, T. 2013. The taxonomic distinctness of macroinvertebrate communities of Atlantic Forest streams cannot be predicted by landscape and climate variables, but traditional biodiversity indices can. *Brazilian Journal Biology*, 4: 991-999.
- Ruszczyk, A. 1986. Distribution and abundance of butterflies in the urbanization zones of Porto Alegre, Brazil. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 25: 157-178.
- Ruszczyk, A., y Carvalho, J.M.C. 1993. Malfunction of ecdysis and female biased mortality in urban *Brassolis sophorae* (Nymphalidae: Brassolinae). *Journal of the Lepidopterists Society*, 47: 134-139.
- Ruszczyk, A., y De Araujo, M.A. 1992. Gradients in butterfly species diversity in an urban area in Brazil. *Journal of the Lepidopterists Society*, 46: 255-264.
- Ruszczyk, A., y Nascimento, E.S. 1999. Biología dos adultos de *Methona themisto* (Hübner, 1818) (Lepidoptera, Nymphalidae, Ithomiinae) en pracas públicas de Uberlandia, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Biología*, 59: 577-583.
- Ruszczyk, A., Motta, P.C., Barros, R.L., y Araújo, A.M. 2004. Ecological correlates of polyphenism and gregarious roosting in the grass yellow butterfly *Eurema elathea* (Pieridae). *Brazilian Journal of Biology*, 64:151-64.
- Rzedowski, G.C. de y Rzedowski, J. 2005. Flora Fanerogámica del Valle de México. 2ª. ed. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 1406 p.
- Saarinen, K., Valtonen, A., Jantunen, J. y Saarnio, S. 2005. Butterflies and diurnal moths along road verges: Does road type affect diversity and abundance?. *Biological Conservation*, 123: 403-412.
- Salinas-Gutiérrez, J.L. 1999. Análisis de la diversidad de los Papilionoidea (Lepidoptera, Rhopalocera) de los bosques tropicales de la vertiente Atlántica de México. *Tesis de Biólogo*, Facultad de Ciencias, UNAM, 74 p.
- Salinas-Gutiérrez, J.L, Luis-Martínez, A. y Llorente-Bousquets, J. 2004. Papilionoidea of the evergreen tropical forests of Mexico. *Journal of the Lepidopterists Society*, 58: 125-142.

- Salinas-Gutiérrez, J.L., Warren, A.D. y Luis-Martínez, A. 2005. Hesperioidea (Lepidoptera: Rhopalocera) del Occidente de México. *Folia Entomológica Mexicana*. 44: 30-320.
- Salinas-Gutiérrez, J.L., Warren, A.D., Luis-Martínez, A. y Hernández-Mejía, C. 2015. Diversity and distribution of skippers (Lepidoptera: Hesperioidea: HesperIIDae) in Michoacán, México. Society of Southwestern Entomologists, *BioOne*, 40: 789-816.
- Schoonhoven, L.M., Van Loon, J.J.A. y Dicke M. 2005. Insect-Plant Biology. *Oxford University Press*, 421 p.
- Scoble, M.J. 1990. Moth-like butterflies (Hedylidae: Lepidoptera): A summary, with comments on the egg. *Journal of Natural History*, 24: 159-164.
- Scott, J.A. 1985. The phylogeny of butterflies (Papilionoidea and Hesperioidea). *Journal of Research on the Lepidoptera*, 23:241-281.
- Scott, J.A. 1986. The Butterflies of North America: A Natural History and Field Guide. *Stanford University Press*, 583 p.
- Shapiro, A.M. 2002. The Californian urban butterfly fauna is dependent on alien plants. *Diversity and Distributions*, 8: 31-40.
- Shapiro A.M. 2007. *Poanes melane* (HesperIIDae) ovipositing on an Australian grass naturalized in California. *Journal of Lepidopterists Society*, 60: 175.
- Silva, A.R.M., Landa, G.G., y Vitalino, R.F. 2007. Borboletas (Lepidoptera) de um fragmento de mata urbano em Minas Gerais, Brasil. *Lundiana*, 8: 137-142.
- Soares, G.R., Oliveira, A.A.P. y Silva, A.R.M. 2012. Butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) from an urban park in Belo Horizonte, Minas Gerais State, Brazil. *Biota Neotropica*, 4: 209-217.
- Spence, M., Clarke A.P. y Buckley R.M. 2009. Urbanization and Growth: Commission on Growth and Development. *World Bank*, 255 p.
- Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U y Tschardtke, T. 2001. Pollination, seed set and seed predation on a landscape scale. *Proceedings of the Royal Society London. Biological Sciences*, 268: 1685-1690.

- Stefanescu, C., Herrando, S. Y Páramo, F. 2004. Butterfly species richness in the north-west Mediterranean Basin: The role of natural and human-induced factors. *Journal of Biogeography*, 31: 905-915.
- Stevens, V.M., Turlure, C. y Baguette, M. 2010. A meta-analysis of dispersal in butterflies. *Biological Reviews*, 85, 625-642.
- Suarez, V.A. y Tsutsui, N.D. 2004. The value of museum collections for research and society. *BioScience*. 1: 66-74.
- Sutcliffe, O., Thomas, C.D., Yates, T.J. y Greatorex-Davies, J.N. 1997. Correlated extinctions, colonisations and population fluctuations in a highly connected ringlet butterfly metapopulation. *Oecologia*, 109: 235-241.
- Takami, Y., Koshio, C., Ishii, M., Fujii, H., Hidaka, T., y Shimizu, I. 2004. Genetic diversity and structure of urban populations of *Pieris* butterflies assessed using amplified fragment length polymorphism. *Molecular Ecology*, 13: 245-258.
- Thomas, C.D. 1991. Spatial and temporal variability in a butterfly population. *Oecologia*, 87: 577-580.
- Tilden, J. W. 1956. San Francisco's vanishing butterflies. *Lepidoptera News*, 10: 3-4.
- Triplehorn, C.A. y Johnson, N.F. 2005. Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects. *Thomson Brooks/Cole*, 864 p.
- Turner, M.G. y Gardner, R.H. 2015. Landscape Ecology in Theory and Practice. *Springer-verlag*, 482 p.
- United Nations, 2015. World Population Prospects: The 2015 Revision. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- United Nations Population Division. 2014. Urban and rural areas. Department of Economic and Social Affairs.
- Valtonen, A., Saarinen, K., y Jantunen, J. 2006. Effect of different mowing regimes on butterflies and diurnal moths on road verges. *Animal Biodiversity and Conservation*, 29: 133-148.

- Van Dyck, H. y Baguette, M. 2005. Dispersal behaviour in fragmented landscapes: Routine or special movements?. *Basic Applied Ecology*, 6: 535-545 .
- Van Nieuwerkerken, E.J., Kaila, L., Kitching, I.J., Kristensen, N.P., Lees, D.C., Minet, J., Mitter, C., Mutanen, M., Regier, J.C., Simonsen, T.J., Wahlberg, N., Yen, S-H., Zahiri, R., Adamski, D., Baixeras, J., Bartsch, D., Bengtsson, B.A., Brown, J.W., Bucheli, S.R., Davis, D.R., De Prins, J., De Prins, W., Epstein, M.E., Gentilipool, P., Hättenschwiler, C.G.P., Hausmann, A., Holloway, J.D., Kallies, A., Karsholt, O., Kawahara, A. Y., Koster, S.(J.C.), Kozlov, M.V., Lafontaine, J.D., Lamas, G., Landry, J.F., Lee, S., Nuss, M., Park, K-T., Penz, C., Rota, J., Schintlmeister, A., Schmidt, B.C., Sohn, J-C., Solis, M.A., Tarmann, G.M., Warren, A.D., Weller, S., Yakovlev, R.V., Zolotuhin, V.V. y Zwick, A. 2011. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758. En Zhang, Z-Q. (ed.). *Animal Biodiversity: An Outline of Higher-Level Classification and Survey of Taxonomic Richness. Magnolia press*, 3148: 212-221.
- Vargas, I.F., Luis-Martínez, A, Llorente-Bousquets, J. y Warren, A.D. 1996. Butterflies of the state of Jalisco. *Journal of the Lepidopterists Society*, 50: 97-138.
- Vibrans, H.L. 2009. Malezas de México, *Atriplex semibaccata* R.Br. Ficha informativa. CONABIO.
- Wagner, D.L. 2005. Caterpillars of Eastern North America. *Princeton University Press*, 512 p.
- Walker, J.S., Grimm, N.B., Briggs, J.M., Gries, C., y Dugan, L. 2009. Effects of urbanization on plant species diversity in central Arizona. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9: 465-470.
- Walpole, M.J. y Sheldon, I.R. 1999. Sampling butterflies in tropical rainforest: An evaluation of a transect walk method. *Biological Conservation*, 87: 85-91.
- Warren, A.D. 2000. Hesperioidea (Lepidoptera). En Llorente-Bousquets, J., González, E.S. y Papavero, N. (Eds.). *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento*, vol. II. *Las prensas de Ciencias*, Facultad de Ciencias, UNAM, 535-580 p.

- Warren, A.D. 2005. Lepidoptera of North America 6. Butterflies of Oregon. Their Taxonomy, Distribution, and Biology. Department of Zoology. Oregon State University, 408 p.
- Warren, A.D. y González-Cota, L. 1998. Notes on the genus *Piruna* in western Mexico, with description of a new species (Lepidoptera: HesperIIDae). *Tropical Lepidoptera*, 9: 1-7.
- Warren, A.D., Davis, K.J. Grishin, N.V., Pelham, J.P., Stangeland, E.M. 2012. Interactive Listing of American Butterflies. <http://www.butterfliesofamerica.com/> Fecha de consulta: 11/07/2017
- Warren, A.D., Ogawa, J.R. y Brower, A.V.Z. 2008. Phylogenetic relationships of subfamilies and circumscription of tribes in the family HesperIIDae (Lepidoptera: Hesperioidea). *Cladistics*, 24:1-35.
- Warren, A.D., Ogawa J.R. y Brower, A.V.Z. 2009. Revised classification of the family HesperIIDae (Lepidoptera: Hesperioidea) based on combined molecular and morphological data. *Systematic Entomology*, 34: 467-523.
- Warren, A.D., Vargas, I.F., Luis-Martínez, A. y Llorente-Bousquets, J. 1996. Mariposas diurnas de Jalisco. *Dugesiana*, 3: 1-20.
- Warren, A.D., Vargas, I.F., Luis-Martínez, A. y Llorente-Bousquets, J. 1998. Butterflies of the state of Colima, México. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 52: 40-72.
- Warwick, R.M. y Clarke, K.R. 1995. New "Biodiversity" measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series*, 129: 301-305.
- Warwick, R.M. y Clarke, K.R. 1998. Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology*, 35: 532-543.
- Westman, W.E. 1990. Managing for biodiversity: Unresolved science and policy questions. *BioScience*, 40: 26-33.
- Wiens, J.A. 1976. Population responses to patchy environments. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 7: 81-120.

- Wiens, J.A. 1989. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology*, 3:385-397.
- Williams, M.R. 2009. Butterflies and day-flying moths in a fragmented urban landscape, South-West Western Australia: Patterns of species richness. *Pacific Conservation Biology*, 15: 32-46.
- Williams, M.R. 2011. Habitat resources, remnant vegetation condition and area determine distribution patterns and abundance of butterflies and day-flying moths in a fragmented urban landscape, south-west Western Australia. *Journal of Insect Conservation*, 1: 37-54.
- Whittaker, R.J., Willis, K.J. y Field, R. 2001. Scale and species richness: Towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*, 28: 453-470.
- Wood, B.C. y Pullin, A. 2002. Persistence of species in a fragmented urban landscape: The importance of dispersal ability and habitat availability for grassland butterflies. *Biodiversity and Conservation*, 8: 1451-1468.
- Wolda, H., Marek, J., Spitzer, K. y Novák, I. 1994. Diversity and variability of Lepidoptera populations in urban Brno, Czech Republic. *European Journal of Entomology*, 91: 213-226.
- Yamamoto, M. 1977. A comparison of butterfly assemblages in and near Sapporo City, Northern Japan. *Journal of the Faculty of Science Hokkaido University, Series VI Zoology*, 20: 621-646.
- Yamamoto, K., y Natuhara, Y. 2005. The change of butterfly assemblages after artificial gap formation in an urban park. *Journal of The Japanese Institute of Landscape Architecture*, 68: 585-588.
- Zanette, L.R.S., Martins, R.P. y Ribeiro, S.P. 2005. Effects of urbanization on neotropical wasp and bee assemblages in Brazilian metropolis. *Landscape and Urban Planning*, 71: 105-121.
- Zhang, Z.Q. (ed.). 2011. Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness. *Magnolia press*, 237p.

*Aricia Acmon*

Foto por Elsi B. Pérez Jarillo.





# 6 APÉNDICES

## A. LISTA DE ESPECIES.

Mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) de la zona metropolitana de Pachuca. La lista sigue el arreglo taxonómico de Warren (2002) y Llorente-Bousquets *et al.* (2006). Se cita el nombre de la especie, incluyendo familia, subfamilia y tribu, las localidades de recolecta y el tipo de vegetación. Las especies marcadas en negrita son endémicas de México a nivel de especie (Luis-Martínez *et al.*, 2003).

### PAPILIONIDAE

#### Papilioninae

#### Papilionini

*Papilio polyxenes asterius* (Stoll, 1782)

Pachuca, Mineral de la Reforma.

Ruderal-arvense, matorral xerófilo, exótica.

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

Pachuca, Mineral de la Reforma.

Ruderal-arvense, exótica.

***Pterourus garamas garamas*** (Geyer, 1829)

Pachuca, Mineral de la Reforma.

Ruderal-arvense, matorral xerófilo, exótica.

### PIERIDAE

#### Coliadinae

*Nathalis iole* (Boisduval, 1836)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.

Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo, exótica.

*Eurema mexicana mexicana* (Boisduval, 1836)

Pachuca.

Ruderal-arvense.

*Eurema salome jamapa* (Reakirt, 1866)

Pachuca, Mineral de la Reforma.

Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo, exótica.

*Abaeis nicippe* (Cramer, 1779)

Pachuca, Mineral de la Reforma.

Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo.

*Colias eurytheme* (Boisduval, 1852)

Pachuca, Mineral de la Reforma, Zempoala.

Matorral xerófilo, agrícola.

*Zerene cesonia cesonia* (Stoll, 1790)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.

Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo, exótica.

*Phoebis sennae marcellina* (Cramer, 1777)

Pachuca, San Agustín Tlaxiaca.

Ruderal-arvense, matorral xerófilo, exótica.

## Pierinae

### Anthocharidini

***Anthocharis limonea*** (Butler, 1871)

Pachuca, San Agustín Tlaxiaca, Mineral de la Reforma.

Matorral xerófilo.

## Pierini

*Catasticta nimbice nimbice* (Boisduval, 1836)

Pachuca, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Matorral xerófilo, ruderal-arvense, exótica.

*Leptophobia aripa elodia* (Boisduval, 1836)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo, exótica.

*Pieris rapae rapae* (Linnaeus, 1758)

Pachuca, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, exótica, agrícola.

*Pontia protocide* (Boisduval & Le Conte, 1830)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo, exótica.

*Ascia monuste monuste* (Linnaeus, 1764)

Pachuca, Mineral de la Reforma y San Agustín Tlaxiaca.  
Matorral xerófilo, ruderal-arvense.

## LYCAENIDAE

### Theclinae

#### Eumaeini

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

Pachuca.  
Ruderal-arvense.

*Callophrys xami* (Reakirt, 1867)

Pachuca.

Ruderal-arvense.

*Electrostrymon joya* (Dognin, 1895)

Pachuca.

Matorral xerófilo.

*Strymon ziba* (Hewitson, 1868)

Pachuca.

Matorral xerófilo.

### Polymmatinae

*Leptotes marina* (Reakirt, 1868)

Pachuca, Zempoala.

Tipo de vegetación: Ruderal-arvense, exótica, matorral xerófilo.

*Brephidium exilis exilis* (Boisduval, 1852)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.

Ruderal-arvense, matorral xerófilo, agrícola, exótica.

*Cupido comyntas* (Godart, 1824)

Zempoala.

Matorral xerófilo.

*Celastrina argiolus gozora* (Boisduval, 1870)

Pachuca, Mineral de la Reforma.

Matorral xerófilo, exótica.

*Echinargus isola* (Reakirt, 1867)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, matorral xerófilo.

*Aricia acmon* (Westwood, 1851)

Pachuca, Mineral de la Reforma.  
Ruderal-arvense, matorral xerófilo.

## RIODINIDAE

### Riodininae

*Emesis zeal zela* (Butler, 1870)

Localidad: Mineral de la Reforma.  
Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo.

## NYMPHALIDAE

### Danainae

#### Danaini

*Danaus plexippus plexippus* (Linnaeus, 1758)

Pachuca, Mineral de la Reforma.  
Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo.

*Danaus gilippus thersippus* (H. W. Bates, 1863)

Mineral de la Reforma.  
Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo.

### Satyrinae

#### Satyrini

*Cyllopsis pyracmon pyracmon* (Butler, 1867)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo.

*Megisto rubricata anabelae* (LD. Miller, 1976)

Pachuca.

Matorral xerófilo.

## Biblidinae

### Biblidini

*Mestra dorcas amymone* (Ménétriés, 1857)

Pachuca.

Ruderal-arvense, matorral xerófilo.

## Nymphalinae

### Melitaeini

***Chlosyne ehrenbergii*** (Geyer, 1833)

Pachuca, Mineral de la Reforma.

Ruderal-arvense, matorral xerófilo.

*Chlosyne theona theona* (Ménétriés, 1855)

Pachuca, Zempoala.

Matorral xerófilo.

*Chlosyne cyneas cyneas* (Godman & Salvin, 1878)

Pachuca, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.

Matorral xerófilo.

*Chlosyne lacinia lacinia* (Geyer, 1837)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma.

Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo.

*Anthanassa texana texana* (W.H. Edwards, 1863)

Mineral de la Reforma.

Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo.

*Phyciodes graphica vesta* (W.H. Edwards, 1869)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Matorral xerófilo.

### Nymphalini

*Vanessa virginiensis* (Drury, 1773)

Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, matorral xerófilo.

*Vanessa cardui* (Linnaeus, 1758)

Pachuca.  
Exótica.

*Vanessa annabella* (Field, 1971)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo, exótica.

*Nymphalis antiopa antiopa* (Linnaeus, 1758)

Pachuca, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, matorral xerófilo, exótica.

### Heliconlinae

#### Heliconiini

*Dione moneta poeyii* (Butler, 1873)

Pachuca, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo, exótica.

*Dione junio huascuma* (Reakirt, 1866)

Pachuca, Mineral de la Reforma.  
Ruderal-arvense, exótica, agrícola, matorral xerófilo.

## Argynnini

*Euptoieta claudia* (Cramer, 1775)

Pachuca, Mineral de la Reforma.

Ruderal-arvense, exótica, agrícola, matorral xerófilo.

*Euptoieta hegesia meridiana* (Stichel, 1938)

Pachuca.

Ruderal-arvense, exótica.

## HESPERIIDAE

### Eudaminae

***Autochton siernador*** (Burns, 1984)

Zempoala.

Matorral xerófilo.

***Thorybes mexicana mexicana*** (Herrich-Schäffer, 1869)

Pachuca.

Matorral xerófilo.

### Pyrginae

#### Erynnini

***Erynnis mercurius mercurius*** (Dyar, 1926)

Mineral de la Reforma.

Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo.

*Erynnis funeralis* (Scudder & Burgess, 1870)

Pachuca, Mineral de la Reforma.

Agrícola, matorral xerófilo.

## Pyrgini

*Pyrgus communis communis* (Grote, 1872)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo, exótica.

## Heteropterinae

***Piruna cyclosticta*** (Dyar, 1920)

Pachuca, Mineral de la Reforma.  
Ruderal-arvense, matorral xerófilo.

## Hesperiinae

### Megathymini

*Agathymus* sp.

Mineral de la Reforma.  
Matorral xerófilo.

## Thymelicini

*Copaeodes minima* (W. H. Edwards, 1870)

Pachuca, Zempoala, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.  
Ruderal-arvense, matorral xerófilo.

## Calpodini

*Panoquina hecebolus* (Scudder, 1872)

Pachuca.  
Exótica.

Moncini

***Amblyscirtes fluonia*** (Godman, 1900)

Zempoala.

Matorral xerófilo.

*Amblyscirtes phylace* (W. H. Edwards, 1878)

Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.

Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo.

Hesperiini

*Hylephila phyleus phyleus* (Drury, 1773)

Pachuca.

Ruderal-arvense.

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

Pachuca, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca.

Ruderal-arvense, agrícola, matorral xerófilo.

## B. EJEMPLARES DE *ERYNNIS MERCURIUS MERCURIUS*.

Los especímenes fueron depositados en la Colección de Lepidoptera del Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera" en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se encuentran en proceso de ser catalogados (Figuras 21 y 22).



**Figura 21.** *Erynnis mercurius mercurius* hembra. A. Vista dorsal. B. Vista ventral.



**Figura 22.** *Erynnis mercurius mercurius* macho. A. Vista dorsal. B. Vista ventral.