



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**DIVERSIDAD DE PAPILIONOIDEA (INSECTA: LEPIDOPTERA) DEL ÁREA DE
PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA BOQUERÓN DE TONALÁ, OAXACA,
MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA:

Julio César Fajardo Orduña

Directora de tesis: Dra. Marysol Trujano Ortega

Asesora interna: M. en C. María de las Mercedes Luna Reyes

Ciudad de México, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos académicos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y la Carrera de Biología, así como al Dr. Adrián Nieto Montes de Oca y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) por el proyecto PJ016 mediante el cual fue posible la realización de este proyecto. De igual modo, agradecemos a la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y a la Unión de Propietarios y Poseedores de tierras del Boquerón de Tonalá, A. C por su apoyo constante durante el desarrollo del proyecto. Finalmente agradezco al Dr. Jorge Enrique Llorente Bousquets y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT 284966) por la beca otorgada con la que fue posible concluir esta tesis.

A mi directora de tesis, la Dra. Marysol Trujano Ortega, mi asesora interna la M. en C. Maria de las Mercedes Luna Reyes y a los sinodales de mi proyecto, el M. en C. Uri Omar García Vázquez, el profesor Roberto Cristóbal Guzmán y el Dr. Geovanni Miguel Rodríguez Mirón por sus comentarios valiosos a este trabajo.

Al Dr. Jorge Enrique Llorente Bousquets y el M. en C. Armando Luis Martínez por permitirme trabajar en la Colección Lepidopterológica del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” y a la M. en C. Isabel Vargas Fernández por su apoyo con literatura esencial para el proyecto.

Agradecimientos personales

A mis padres Julia Orduña Salinas y Jesús Fajardo Vega, por apoyarme en todos mis proyectos siempre, hacer posible para mí la oportunidad de llevar a cabo esta empresa y darme todas las herramientas necesarias para hacerlo. A mis hermanos, Fabiola, Olivia, Guadalupe y Jesús por ayudarme todos los días y ser también pilares en mi crecimiento. A toda mi familia por ser ejemplos a seguir.

A Zuleima, por estar a mi lado, ser mi compañera en esta batalla interminable y ayudarme a ser mejor a cada momento. Por ser la puerta a una nueva familia, de la cual me alegro de formar parte.

A Rurick, César y Marlene, amigos que siguen conmigo y con los que puedo contar sin importar los años o de la distancia, por haber compartido tantos momentos conmigo.

A Marysol por enseñarme tanto y ser tan paciente conmigo, a Uri por darme una oportunidad, a Arturo por toda la ayuda y al Dr. Llorente y al profesor Armando por darme un lugar. A todos, por todo el apoyo moral sin el cual no habría podido llegar a este punto y por permitirme sentir que pertenezco a un grupo.

A todas las personas que creen en mí.

ÍNDICE

Resumen -----	6
Introducción-----	8
Antecedentes-----	10
Orden Lepidoptera-----	10
Lepidoptera en México-----	11
Papilionoidea de la selva baja caducifolia-----	11
La selva baja caducifolia en Oaxaca-----	12
Papilionoidea en Oaxaca-----	13
Justificación-----	14
Objetivos-----	16
Materiales y Métodos-----	17
Zona de estudio-----	17
Trabajo de campo-----	19
Trabajo de gabinete-----	22
Tratamiento de los datos-----	22
Estimación-----	23
Resultados-----	25
Lista de especies-----	25
Estimación de la riqueza y completitud del muestreo-----	37
Abundancia relativa-----	39
Abundancia relativa por familia-----	45
Diversidad por unidades taxonómicas y ecológicas-----	48
Distribución altitudinal-----	49
Distribución temporal-----	57
Discusión-----	63
Riqueza y endemismo-----	63
Abundancia-----	64
Distribución temporal-----	65
Distribución altitudinal-----	66
Conclusión-----	68
Referencias-----	69

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Polígono del APFF Boquerón de Tonalá en el municipio de Santo Domingo Tonalá, Oaxaca.....	20
2. Riqueza estimada de cada unidad de análisis con el modelo no paramétrico Chao 1.....	39
3. Número de especies de cada categoría por familia.....	40
4. Diversidad de cada unidad de análisis.....	48
5. Riqueza y abundancia ajustada por rango altitudinal.....	49
6. Distribución de la riqueza específica de cada familia por rango altitudinal.....	50
7. Distribución de la abundancia por familia en los rangos altitudinales.....	51
8. Abundancia relativa de las especies que se distribuyen en todo el gradiente altitudinal.....	57
9. Riqueza específica de cada familia por temporada.....	58
10. Abundancia ajustada de cada familia por temporada.....	59
11 Patrón fenológico de Papilionoidea en el APFF Boquerón de Tonalá.....	60
12. Proporción de las especies más abundantes que permanecen en ambas temporadas.....	62

ÍNDICE DE CUADROS

1. Sitios de recolecta definidos en el APFF Boquerón de Tonalá.....	21
2. Lista de especies de Papilionoidea del APFF Boquerón de Tonalá, Oaxaca.....	25
3. Valores de abundancia y riqueza observada de cada unidad de análisis.....	37
4. Número de individuos recolectados y abundancia relativa por especie.....	41
5. Abundancia de cada especie relativa a la familia a la que pertenece.....	45
6. Matriz de presencia/ausencia de las especies del APFFBT en cada rango altitudinal.....	52
7. Especies exclusivas de la temporada de lluvia.....	60

RESUMEN

El estado de Oaxaca ocupa el primer lugar en riqueza y endemismo de Papilionoidea *sensu lato* del país; sin embargo, aún existen zonas del estado donde es necesario el estudio de este grupo o donde los estudios solo son esporádicos. El presente trabajo representa el primer estudio sistemático en el Área de Protección de Flora y Fauna Boquerón de Tonalá (APFFBT) en el noroeste del estado, donde se presenta un tipo de vegetación amenazado y de gran importancia, la selva baja caducifolia.

La diversidad de Papilionoidea en el APFFBT se estudió a lo largo de un año con muestreos que abarcaron la temporada de lluvia y seca en un gradiente altitudinal de los 1330 a 2235 msnm, mediante redes aéreas y trampas Van Someren-Rydon. Se calculó la riqueza específica del área y por cada familia, con un modelo paramétrico y uno no paramétrico. También se estimó la riqueza y abundancia relativa de las especies en las diferentes unidades ecológicas (temporadas y gradiente altitudinal).

Se recolectaron 3684 individuos pertenecientes a cinco familias, 91 géneros y 136 taxones a nivel específico de Papilionoidea, los cuales representan registros nuevos para el APFFBT. El 14% de ellas (19) son endémicas al país, entre las que destaca *Baronia brevicornis brevicornis* Salvin (1893), por ser paleoendémica. Los valores más altos de riqueza y abundancia se encontraron durante la temporada de lluvia y entre los 1400 y 1600 m; estos valores disminuyen al aumentar la altitud. Tanto la distribución altitudinal como temporal del APFFBT coinciden con los patrones ecológicos reportados en estudios similares para este grupo de insectos. La abundancia relativa de las especies revela una tendencia a la dominancia en el área, donde un número reducido de especies son extremadamente abundantes y muchas especies tienen pocos individuos.

La riqueza específica estimada fue de 158 especies con el modelo de Clench y 151 con Chao 1, lo que corresponde a una completitud del inventario de 86% y 90% respectivamente, por lo que el inventario faunístico de la APFFBT es aceptable. Si se considera la riqueza estimada con el modelo de Clench, el área cuenta con el 13% de la riqueza del país y el 19% de la riqueza de Oaxaca. Al compararlo con otras zonas con el mismo tipo de vegetación en otros estados de México, el APFFBT Boquerón de Tonalá representa una de las zonas con mayor riqueza de mariposas diurnas.

Aunque la completitud del inventario que se obtuvo se considera aceptable, se recomiendan muestreos con distintos enfoques para aumentar el conocimiento de la lepidopteroфаuna en la zona. Las estimaciones de la riqueza de la temporada seca, así como de las partes más altas del área (>1600 m) sugieren que existen especies aun por registrarse; en especial de la familia Lycaenidae, la cual presenta una completitud baja, por lo que se recomienda una búsqueda dirigida a esta familia y un mayor trabajo taxonómico.

El material recolectado fue curado y una muestra representativa se montó en alfileres entomológicos y se ingresó a la Colección Lepidopterológica del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias, lo que incrementa el conocimiento de este grupo de insectos en un tipo de vegetación amenazado en el país.

INTRODUCCIÓN

La biodiversidad en México es altamente reconocida. La presencia de la Zona de Transición Mexicana, que representa la convergencia de las biotas de las regiones Neártica y Neotropical (Morrone, 2015), una fisiografía heterogénea y la presencia de una gran variedad de climas (Luis-Martínez *et al.*, 2016) son factores que resultan en una biodiversidad alta. Sin embargo, actualmente las actividades humanas generan una pérdida importante de biodiversidad en distintos grupos taxonómicos (Feria-Arroyo *et al.*, 2011; Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019), ya que la expansión urbana, la deforestación y el cambio de uso de suelo para fines agrícolas disminuyen rápidamente sus hábitats (Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019).

El 80% de todas las especies de animales corresponden a artrópodos, dentro de los cuales los insectos son los más diversos. Lepidoptera es el segundo orden de insectos con mayor número de especies con cerca de 155 000 especies descritas y 255 000 a 500 000 estimadas, solo lo supera el orden Coleoptera (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014). Además, Lepidoptera es el grupo más diverso de organismos fitófagos (Grimaldi y Engel, 2005; Resh y Cardé, 2009) y su característica más sobresaliente son las alas cubiertas con escamas (García-Barrios, 1999), las cuales dan nombre al orden. Las larvas de este orden presentan una relación estrecha con las plantas, ya que se alimentan de ellas y como adultos, liban su néctar, por lo que proporcionan servicios ecológicos como la conversión de materia vegetal y la polinización. Su relación estrecha con las plantas huésped y su sensibilidad a los cambios del hábitat, hacen de este grupo un bioindicador del estado de conservación del ecosistema que habitan (Grimaldi y Engel, 2005; Kawahara y Breinholt, 2014).

Dentro de los lepidópteros, las mariposas diurnas (Papilionoidea *sensu lato*) se consideran un grupo bien conocido taxonómicamente y de fácil manejo en campo. En México existen 1201 especies de Papilionoidea *sensu lato* y en el estado de Oaxaca se pueden encontrar 815 de ellas, por lo que es el primer estado en riqueza específica y endemismo; sin embargo, aún existen zonas donde no hay estudios faunísticos o bien son esporádicos (Luis-Martínez *et al.*, 2016). Al noroeste del estado de Oaxaca se encuentra el Área de Protección de Flora y Fauna Boquerón de Tonalá en Santo Domingo Tonalá, que carecía de un estudio previo enfocado a papilionoideos.

En el APFFBT predomina la selva baja caducifolia, la cual se encuentra amenazada por la deforestación, el pastoreo y el cambio de uso de suelo (CONANP, 2013). Este tipo de vegetación es de gran importancia en México, ya que alberga el 20% de la flora mexicana y 60% de todas sus especies vegetales son endémicas al país (Trejo y Dirzo, 2000). Se trata de un tipo de vegetación que presenta cambios extremos que se manifiestan en sus temporadas de lluvia y seca marcadas; durante la época seca, los árboles pierden las hojas casi completamente (Miranda y Hernández-X, 1963).

La selva baja caducifolia, en su mayoría, se presenta en México a lo largo de la vertiente del Pacífico mexicano. En la cuenca del Río Balsas se concentra un nivel alto de endemismo y en menor medida en el Golfo de México y la península de Yucatán. La distribución espacial que ocupa tiene una gran heterogeneidad de condiciones topográficas, edáficas y climáticas, por lo que exhibe diferencias en su estructura y composición específica en distintas regiones (Trejo y Dirzo, 2000; Challenger y Soberón, 2008).

Este trabajo tiene como intención presentar una lista de especies, así como describir la diversidad, abundancia relativa y riqueza de los Papilionoidea del APFF Boquerón de Tonalá, además de su distribución temporal y altitudinal. La recolección directa e indirecta de los individuos a lo largo de un año y el tratamiento de sus datos permitieron generar estimaciones de la riqueza en distintas unidades de trabajo: taxonómicas y ecológicas. Dichas estimaciones permiten conocer las unidades que requieren de trabajo adicional en el área, además de establecer un punto confiable de comparación con otros estudios faunísticos de mariposas en áreas con el mismo tipo de vegetación en el país.

ANTECEDENTES

Orden Lepidoptera

Los artrópodos componen aproximadamente el 80% de las especies animales, las cuales se estiman en cerca de 1 550 000 en todo el mundo. Existen cuatro órdenes hiperdiversos de la clase Insecta: Coleoptera, Lepidoptera, Diptera e Hymenoptera, los cuales suman un número de especies mayor a los 650 000. Se han descrito y nombrado cerca de 155 000 especies de Lepidoptera equivalentes al 10% del total de las especies animales a nivel mundial, aunque se estima que existen entre 255 000 y medio millón de especies (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014). Lepidoptera y Trichoptera forman Amphiesmenoptera que, a su vez, se relaciona con los Antliophora (Mecoptera, Siphonaptera y Diptera) (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014).

Los lepidópteros constituyen el linaje más diverso de organismos fitófagos (Grimaldi y Engel, 2005; Resh y Cardé, 2009) y las alas con escamas son el carácter más conspicuo del orden (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014); mientras que los lepidópteros más basales presentan escamas macizas, el resto presenta escamas huecas que probablemente fungen como aislante térmico (García-Barrios, 1999). Éstas constituyen el patrón de coloración y ayudan a reflejar o concentrar la radiación solar; además, cumplen papeles evolutivos relacionados con cripsis, aposematismo y mimetismo (García-Barrios, 1999). Otros caracteres morfológicos que caracterizan al orden en los adultos son dos ocelos laterales en la cabeza, el órgano de Rath en los palpos labiales, una epífisis en la cara interna de las tibias anteriores y un apodema tergo pleural (García-Barrios, 1999).

Lepidoptera se consideran un grupo bioindicador al ser sensibles a factores ambientales como luz, temperatura y humedad, ya que los cambios en estos parámetros los afecta directamente (Pozo *et al.*, 2014), son principalmente herbívoros en su etapa larval y polinizadores en su estado adulto; se postula su participación en la radiación de las angiospermas (Grimaldi y Engel, 2005; Kawahara y Breinholt, 2014). Su asociación con las plantas huésped es un ejemplo clásico de coevolución, su aparato de alimentación cambió de mandíbulas a una probóscide, capaz de obtener néctar de flores (Kawahara y Breinholt, 2014). Ditrysia comprende el 98% de los lepidópteros; dentro de este grupo se encuentra Obtectomera que presenta pupas con segmentos abdominales inmóviles (I-IV) e incluye a la superfamilia Papilionoidea (Grimaldi y Engel, 2005; Kawahara y Breinholt, 2014).

Papilionoidea *sensu stricto* se originó hace 119 millones de años en el Cretácico tardío, aunque la mayoría de los linajes existentes divergieron después de la extinción masiva del Cretácico - Paleógeno hace 65 millones de años, e incluye siete familias: Papilionidae, Hesperidae, Hedylidae, Pieridae, Nymphalidae, Lycaenidae y Riodinidae (Espeland *et al.*, 2018). Esta superfamilia constituye un grupo monofilético considerado como mariposas verdaderas donde las pupas se fijan al sustrato con ayuda de sedas, los huevos colocados permanecen erguidos, los adultos presentan vuelo diurno y las antenas tienen forma de maza

(con terminación en forma de gancho en el caso de Hesperidae) (Grimaldi y Engel, 2005), aunque las últimas dos características revirtieron en Hedyliidae debido a su readaptación a hábitos nocturnos (Espeland *et al.*, 2018).

En este trabajo se referirá en adelante como Papilionoidea a las familias: Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae, Lycaenidae y Riodinidae, cuyas pupas están expuestas, las alas anteriores y posteriores se superponen para acoplarse y la maza antenal es redonda (Grimaldi y Engel, 2005). Aproximadamente el 40% de las especies de Papilionoidea en el mundo se encuentran en la región Neotropical (Grimaldi y Engel, 2005).

Lepidoptera en México

El país posee una riqueza mayor a la de toda la región Neártica (11 532 especies); a pesar de que su conocimiento es escaso en aquellas especies de distribución restringida, hasta ahora hay 14 500 especies descritas, de las cuales 1201 especies y subespecies corresponden a Papilionoidea, 80 de Papilionidae, 110 de Pieridae, 256 de Lycaenidae, 208 de Riodinidae y 547 de Nymphalidae (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014). El 7.66% de ellas son endémicas al país y la proporción por familia es la siguiente: Riodinidae (16.29%), Pieridae (12.98%), Nymphalidae (11.86%), Papilionidae (6.3%), Lycaenidae (5.27%) (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014).

Papilionoidea de la selva baja caducifolia

La selva baja caducifolia (SBC) es un tipo de vegetación donde las temporadas de lluvia y de secas son marcadas, con árboles que normalmente no superan los 15 m de altura y que pierden sus hojas casi completamente durante la época seca. Se desarrolla en climas semisecos y cálidos con temperatura superior a los 20°C (Miranda y Hernández-X, 1963).

Este tipo de vegetación presenta una diversidad alta de flora y fauna de afinidad neotropical (Luna-Reyes *et al.*, 2010), así como un endemismo alto concentrado en la cuenca del río Balsas, la península de Yucatán y el noreste del país (García-Vázquez *et al.*, 2006; Luna-Reyes *et al.*, 2010). Las especies presentes en la SBC conforman aproximadamente el 20% de la flora mexicana y cerca del 60% de ellas son endémicas al país (Trejo y Dirzo, 2000).

La distribución espacial que ocupa tiene una gran heterogeneidad de condiciones topográficas, edáficas y climáticas, por lo que exhibe diferencias en su estructura y composición específica en distintas regiones (Trejo y Dirzo, 2000; Challenger y Soberón, 2008).

En la Sierra de Manantlán en Jalisco, hace dos décadas se estudiaron dos localidades con SBC con distinto grado de conservación. Zenzontla en el municipio de Tuscacuesco se reportó con un buen estado de conservación y se encuentra a 800 m; en contraste, Ahuacapan en el municipio de Autlán, con una altitud de 900 m, presenta un grado alto de perturbación

(Vargas-Fernández *et al.*, 1999). La riqueza específica teórica de Papilionoidea fue de 162 y 215 especies con una completitud de 95.06% y 91.62% respectivamente (Vargas-Fernández *et al.*, 1999).

En el territorio del municipio de Malinalco en el Estado de México predomina la SBC, aunque también se encuentran zacatonales y bosques de galería restringidos. Este municipio forma parte de la Sierra Madre del Sur, la Faja Volcánica Transmexicana y la Cuenca del Balsas y tiene una riqueza de papilionoideos de 139 especies y subespecies. Una estimación con el modelo de Clench indica que la completitud del inventario es del 81%; sin embargo, esta estimación incluye a la familia HesperIIDae, por lo que considera 240 especies observadas y 265 estimadas (Hernández-Mejía *et al.*, 2008).

La Sierra de Huautla en el estado de Morelos se ubica mayormente en la Cuenca del Balsas, donde se presenta una comunidad homogénea de SBC y se encuentran 18 especies endémicas al país, cuenta con una riqueza de 142 especies observadas y 194 estimadas (ecuación de Clench), lo cual indica que se registró el 73.19% de las especies de la región (Luna-Reyes *et al.*, 2008).

El Cañón de Lobos en Morelos forma parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, hidrológicamente se encuentra en la cuenca del río Balsas, con un rango altitudinal que va desde los 1200 a los 1840 m y cuenta con vegetación de SBC. Se calcula que existen en total 174 especies de mariposas (ecuación de Clench), con una completitud de 83.3%. En dicho estudio, se registró el mayor número de individuos y de especies entre los meses de junio y noviembre, aunque se puntualiza el hecho de que existen especies exclusivas de cada temporada y estación (Luna-Reyes *et al.*, 2010).

La selva baja caducifolia en Oaxaca

Oaxaca pertenece al dominio biogeográfico de Mesoamérica, el cual se caracteriza por tener una variedad amplia de ecosistemas, biodiversidad alta y patrones complejos de distribución de especies (Montaño-Arias *et al.*, 2018). Dentro de este dominio, el estado alberga centros de endemismo para la provincia de la Sierra Madre del Sur (Arellano-Covarrubias *et al.*, 2018) localizados en las áreas montañas de la Sierra de Juárez, Sierra Mixe, los Loxichas y la zona semidesértica de la reserva natural de Cuicatlán (Luis-Martínez *et al.*, 2016).

El estado alberga doce subprovincias fisiográficas con rasgos geomorfológicos, topográficos e hidrográficos propios (Ortiz-Pérez, 2004). Tal variedad de condiciones físicas permite la existencia de una gama amplia de ecosistemas (CONABIO y SEMAEDSO, 2018) y 26 tipos diferentes de vegetación (Monroy-Gamboa *et al.* 2015) cuya distribución heterogénea (Meave *et al.*, 2012) permite un endemismo alto a nivel de especie para distintos grupos de mariposas; además, la selva baja caducifolia (Miranda y Hernández-X., 1963) constituye una barrera que limita la distribución altitudinal y dispersión continua del grupo

(Luis-Martínez *et al.*, 2004) y se caracteriza por la presencia de especies neotropicales antiguas (Luna-Reyes *et al.*, 2010).

En Oaxaca, la SBC ocupa una distribución concentrada en núcleos en distintas partes del estado. Se encuentra en la cuenca del río Tehuantepec, en los valles centrales del estado (Meave *et al.*, 2012), en la región de la Cañada en el norte, donde se localiza la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán y al suroeste del estado en la frontera con Guerrero (Miranda y Hernández-X, 1936). La mayor extensión de la SBC se localiza en la vertiente pacífica del Istmo de Tehuantepec y una franja que se extiende al oeste por la costa de Oaxaca, donde es el tipo de vegetación principal (Challenger y Soberón, 2008); en ella predomina el cuachalalate (*Amphipterygium adstringens* Schiede *ex* Schlecht) (Miranda y Hernández-X, 1963). Al noroeste del estado, la SBC se encuentra en la Cuenca del Balsas, donde también constituye el principal tipo de vegetación (Challenger y Soberón, 2008), dominado por *Bursera* Jacq. *ex* L., *Ceiba aesculifolia* subsp. *parvifolia* Rose, *Cyrtocarpa procera* Kunth, *Haematoxylon brasiletto* Karst. e *Ipomoea* L. (Miranda y Hernández-X, 1936). De acuerdo con Bezaury (2010), esta zona tiene la máxima prioridad de conservación por su biodiversidad y estado de amenaza.

La mayoría de la población de Oaxaca se concentra en zonas donde está presente este tipo de vegetación, modificando o eliminando la selva para su uso como zona de actividad agrícola y ganadera; así mismo, la extracción de madera con fines de construcción, artesanía o su uso como leña también amenaza este tipo de vegetación (Meave *et al.*, 2012). Esta modificación resulta en la aparición de matorrales o comunidades secundarias estables que limitan la restauración de la selva original (Trejo y Dirzo, 2000).

La falta de estudios en este ambiente provoca que los primeros beneficios económicos tangibles que se obtienen de él provengan de su modificación, en lugar de su aprovechamiento, lo que pone en peligro su conservación y consecuentemente su diversidad y los servicios ecosistémicos que provee (Meave *et al.*, 2012).

Papilionoidea en Oaxaca

Oaxaca es el estado más rico de mariposas diurnas en México con 815 taxones a nivel específico, 53 papiliónidos, 68 piéridos, 384 ninfálidos, 180 licénidos y 130 riodínidos, además posee la proporción de endemismo más alta con 175 especies y subespecies de Papilionoidea, esto significa que 21.47% de los taxones que se encuentran en el estado son endémicos al país (Luis-Martínez *et al.*, 2016).

JUSTIFICACIÓN

La actividad antrópica provoca una pérdida de biodiversidad a través de la destrucción o modificación de hábitats para distintos grupos de organismos (Feria-Arroyo *et al.* 2011; Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019). La expansión urbana y agrícola llevan a la deforestación y modificación del paisaje; además, el uso de pesticidas provoca descensos en las poblaciones y disminución de la distribución geográfica de distintos taxones (Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019).

Las mariposas son un grupo bioindicador importante, ya que reflejan la historia, el estado de conservación de su hábitat y se conoce relativamente bien su taxonomía. Estas características aunadas a su conspicuidad e identificación fácil (Gerlach *et al.*, 2013), las convierte en un grupo importante a considerar cuando se hace una evaluación ambiental, en propuestas de áreas naturales y en materia de conservación (Pozo *et al.*, 2014), ya que las perturbaciones antrópicas que modifican la estructura vegetal también alteran notoriamente su diversidad y la composición de sus comunidades (Barranco-León, 2016). Además, requieren condiciones específicas de temperatura para su reproducción y alimentación, por lo que son sensibles a las fluctuaciones ambientales (Pozo *et al.*, 2014; Barranco-León, 2016).

Los ecosistemas tropicales, particularmente la SBC, se encuentran amenazados como consecuencia de actividades humanas (Moreno, 2018), pues presentan un ritmo de deforestación igual o más rápido que los bosques húmedos y un esfuerzo de conservación menor o nulo (Trejo y Dirzo, 2000). En México la conservación se enfoca en los servicios ecosistémicos (Chavarría-Olmedo *et al.*, 2019), por lo que se decretan Áreas Naturales Protegidas para la conservación de recursos naturales como la SBC; sin embargo, el área que ocupa este tipo de vegetación actualmente es menor al 50% de su extensión original (Silva-Aparicio *et al.*, 2018). Se calcula que es necesario incrementar el área del país destinada a la conservación de dos a seis veces más (Chavarría-Olmedo *et al.*, 2019), por lo que es crucial realizar inventarios bióticos para identificar zonas con gran diversidad y endemismo alto (Arellano-Covarrubias *et al.*, 2018).

La preservación de la SBC es indispensable desde un punto de vista evolutivo ya que alberga especies nuevas para la ciencia de otros grupos, como plantas y moscas (Trujano-Ortega *et al.*, 2019). Además, su extensión en la parte oeste y sur del país, desde Jalisco hasta Chiapas, constituye el área de distribución de varios paleoendemismos, como *Bolboneura sylphis beatrix* Maza, *Microtia elva elva* Bates (Luna-Reyes *et al.*, 2010) y *Baronia brevicornis* Salvin un taxón basal clave para el entendimiento sistemático de las mariposas y que se encuentra restringido a este ambiente amenazado por la fragmentación y el cambio de uso de suelo (Vargas-Fernández *et al.*, 2016; Puttick *et al.*, 2018).

En el caso de aquellas áreas que ya se encuentran protegidas bajo un programa de conservación, deben contar con conocimiento sistemático actualizado para el monitoreo

continuo y a largo plazo de la fauna del área (CONANP, 2013). Este conocimiento permitirá crear estrategias de protección y aprovechamiento de los recursos del área (Barranco-León, 2016).

Actualmente no existe una lista de especies de Papilionoidea del APFFBT; sin embargo, es posible predecir aspectos de su composición específica al conocer las características del área (tipo de vegetación, posición biogeográfica, historia geológica, fisiografía).

El APFFBT podría presentar una riqueza de Papilionoidea similar a la reportada en otros trabajos con localidades de vegetación similar (Vargas-Fernández *et al.*, 1999; Hernández-Mejía *et al.*, 2008) y que además pertenezcan a la misma provincia biogeográfica (Luna-Reyes *et al.*, 2008; Luna-Reyes *et al.*, 2010). Existe una vasta posibilidad que el grado de endemismo del área sea alto si se considera su vegetación (Luna-Reyes *et al.*, 2010), su posición biogeográfica en Mesoamérica (Montaño-Arias *et al.*, 2018) y su altitud (Monteagudo-Sabaté *et al.*, 2013).

Este trabajo forma parte de un estudio multitaxonómico que incluye plantas y vertebrados, así como otros grupos de insectos en el Área de Protección de Flora y Fauna Boquerón de Tonalá en Oaxaca; el presente trabajo constituye el primer estudio sobre la diversidad de los papilionoideos del área, un grupo bioindicador en un tipo de vegetación de gran importancia que se encuentra amenazado, la selva baja caducifolia. El área representa una zona poco recolectada del estado.

OBJETIVOS

Objetivo general

Describir y analizar la diversidad de Papilionoidea en el Área de Protección de Flora y Fauna Boquerón de Tonalá, Oaxaca.

Objetivos particulares

- Generar una lista de especies de cinco familias de Papilionoidea del APFF Boquerón de Tonalá.
- Determinar las especies endémicas presentes en el área.
- Estimar la diversidad y la riqueza de mariposas en distintas unidades de análisis taxonómicas y ecológicas para evaluar la completitud del inventario.
- Describir la abundancia relativa de las especies en cada unidad e identificar aquellas especies dominantes.
- Describir la distribución altitudinal de las mariposas en el área.
- Describir la distribución temporal de las mariposas en el área.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de estudio

Área de Protección de Flora y Fauna Boquerón de Tonalá

En Oaxaca, el municipio de Santo Domingo Tonalá se sitúa dentro de la provincia biogeográfica de la Cuenca del Balsas, localizada entre las provincias de la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre del Sur (Morrone, 2014), se encuentra bajo la sombra orográfica de la Sierra Madre Occidental y es una zona de conservación de prioridad alta a escala regional (Oviedo, 2002).

Dentro del municipio se ubica el APFFBT (Fig. 1), entre las coordenadas 17°37' 45'' a 17°43' 46'' de latitud norte y 97°55' 18'' a 97°59' 50'' de longitud oeste con una superficie de 3912 hectáreas y con un rango altitudinal de 1300 a 2400 msnm (CONANP, 2013).

La superficie del área se caracteriza por zonas de montaña y zonas de planicies, las cuales ocupan 81.5% y 18.5% del total del área respectivamente. Cinco formaciones componen la zona de montaña y presentan una composición de la vegetación propia: el Cerro Yucununi (SBC), laderas suaves (SBC + matorral espinoso), laderas moderadas (SBC + encinar), laderas pronunciadas (SBC) y lomeríos (SBC + matorral espinoso) (CONANP, 2013). En las zonas de planicies se encuentran dos formaciones, la planicie aluvial que se localiza en la parte central del área (bosque de galería) y las planicies intermontanas en las áreas más altas (encinar y pastizal) (CONANP, 2013).

Hidrología

El área pertenece a la vertiente del Pacífico, a la región hidrológica del Balsas y a la cuenca del río Mixteco. Este se origina de la combinación del caudal de los ríos Tlaxiaco, Juxtlahuaca, Silacayoapam, Huajuapam y el río del Oro de Tamazulapam del Progreso. Este río, conocido localmente como El Salado, constituye el único cuerpo de agua superficial del área, además de arroyos pequeños y manantiales que sirven de abrevadero para la fauna del área (CONANP, 2013).

Clima

El relieve, altitud y exposición del área, propician el clima semiárido semicálido (BS1hw) que se presenta desde la parte más baja del área hasta la zona media. Hacia las partes más altas se presenta el clima templado subhúmedo (C[wo]), que permite la existencia de un ecotono de encinar entremezclado con SBC. La precipitación es escasa y se limita a lluvias de verano en ambos tipos de clima, lo cual provoca que los ecosistemas pierdan su follaje la mayor parte del año (CONANP, 2013).

Vegetación

De acuerdo con CONANP (2013) el área cuenta con 285 especies de plantas en 190 géneros y 76 familias, de las cuales la familia Fabaceae es la más rica con 49 especies y los tipos de vegetación que ocupan el territorio son:

Selva baja caducifolia (65.68%): árboles y arbustos caducifolios menores a 15m de alto con una vegetación densa y exuberante durante la época de lluvias (meses de junio a octubre). Constituye el tipo de vegetación más abundante del área.

- Especies dominantes: *Bursera morelensis* Ramírez, *B. aptera* Ramírez, *B. bipinnata* (Moc. y Sessé ex DC.) Engl., *B. bolivarii* Rzed. y *B. submoniliformis* Engl.
- Especies asociadas: *Cyrtocarpa procera*, *Actinocheita filicina* (DC.) F.A.Barkley, *Plumeria rubra* L., *Randia thurberi* S. Watson, *Cnidocolus tubulosus* (Müll.Arg.) I.M.Johnst., *Ipomoea* sp., *Mammillaria tonalensis* D.R. Hunt y *M. dixanthocentron* Backeb.

Encinar (16.92%): se encuentra en las zonas más altas con árboles de dos a 60m de alto perennifolios o caducifolios, a ellos se encuentran asociados palmares (*Brahea dulcis* (Kunth) Mart.) y distintas especies de *Agave* L.

- Especies dominantes: *Quercus acutifolia* Née, *Q. glaucoides* M.Martens y Galeotti y *Q. liebmanni* Oerst. ex Trel.
- Especies asociadas: *Dasyllirion serratifolium* (Karw. ex Schult. y Schult.f.) Zucc., *Agave angustifolia* Haw, *A. kerchovei* Lem., *A. petrophila* A.García-Mend. y E. Martínez, *A. potatorum* Zucc., *A. seemanniana* Jacobi y *Tillandsia* L. spp.

Matorral espinoso (11.09%): compuesto mayormente por *Neobuxbaumia mezcalaensis* Bravo asociado con rosetas de *Agave kerchovei*, *A. angustifolia*, *A. potatorum* o *Hechtia Klotzsch* spp.; además de algunos arbustos de *Fouquieria ochoterenae* Miranda y *Mammillaria dixanthocentron*, *M. albilanata* Backeb., *M. tonalensis* y *Choryphanta* (Engelm.) spp.

Pastizal inducido (1.95%): se encuentra en todos los tipos de vegetación como consecuencia de la actividad humana como actividades agropecuarias y se compone de gramíneas.

La modificación de la cobertura vegetal se da naturalmente por efecto de incendios forestales; sin embargo, el mayor impacto se debe a actividades antrópicas como agricultura, extracción de leña y pastoreo, debido a las cuales existe un impacto importante en las zonas más altas del área (CONANP, 2013).

Trabajo de campo

Los muestreos se realizaron a lo largo de un año en los meses de junio de 2017 y octubre de 2018 para cubrir la temporada de lluvias y en febrero, abril y mayo para cubrir la temporada seca, con 30 días de recolecta en total. Se recolectó por periodos de 9:00 am a 16:00 pm. con un equipo de cuatro recolectores de distinta experiencia. Se definieron doce sitios dentro del APFFBT para realizar las recolectas (Fig. 1). Puntos radio: Los Caracoles, La Colonia Industrial, El Pozo Jabalín, El Jabalín y la Poza la Ceniza. Transectos: La Ciénega, La Cañada, El Boquerón, Yuvihaza, Las Bombas, Yucununi y El Pueblo (Cuadro 1). Estos sitios abarcan el rango altitudinal del área y los principales tipos de vegetación presentes en ella y sus distintos estados de conservación. Algunos sitios representan lugares característicos del área como el río que atraviesa el boquerón y el cerro del Yucununi, unidad que se encuentra aislada del resto de superficie montañosa del área.

Las técnicas de recolecta que se emplearon fueron directas e indirectas. En la, directa, la recolecta de los individuos se realizó con redes entomológicas y las búsquedas se dirigieron a los microhábitats que habitan con el fin de abarcar las diferentes actividades que realizan los adultos. Los microhábitats explorados fueron los bordes de la vegetación, márgenes de cuerpos de agua, arena húmeda, lugares sombreados, claros de luz, caminos, en las copas de los árboles o sobre arbustos, así como posados en el haz o el envés de hojas o alimentándose en inflorescencias. La técnica indirecta se hizo mediante trampas Van Someren-Rydon, que se colocaron cada día en transectos de cinco trampas con una distancia de 50 metros entre ellas. Las trampas se cebaron con una mezcla macerada de plátano macho (*Musa balbisiana* Colla) y piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) maduros con agua.

Los ejemplares recolectados se colocaron en bolsas de papel glassine y en cajas de cartón para su almacenamiento y transporte. Además, se tomaron los datos de etiquetado que incluyen el país, estado, municipio, localidad, la fecha y el método de recolecta.

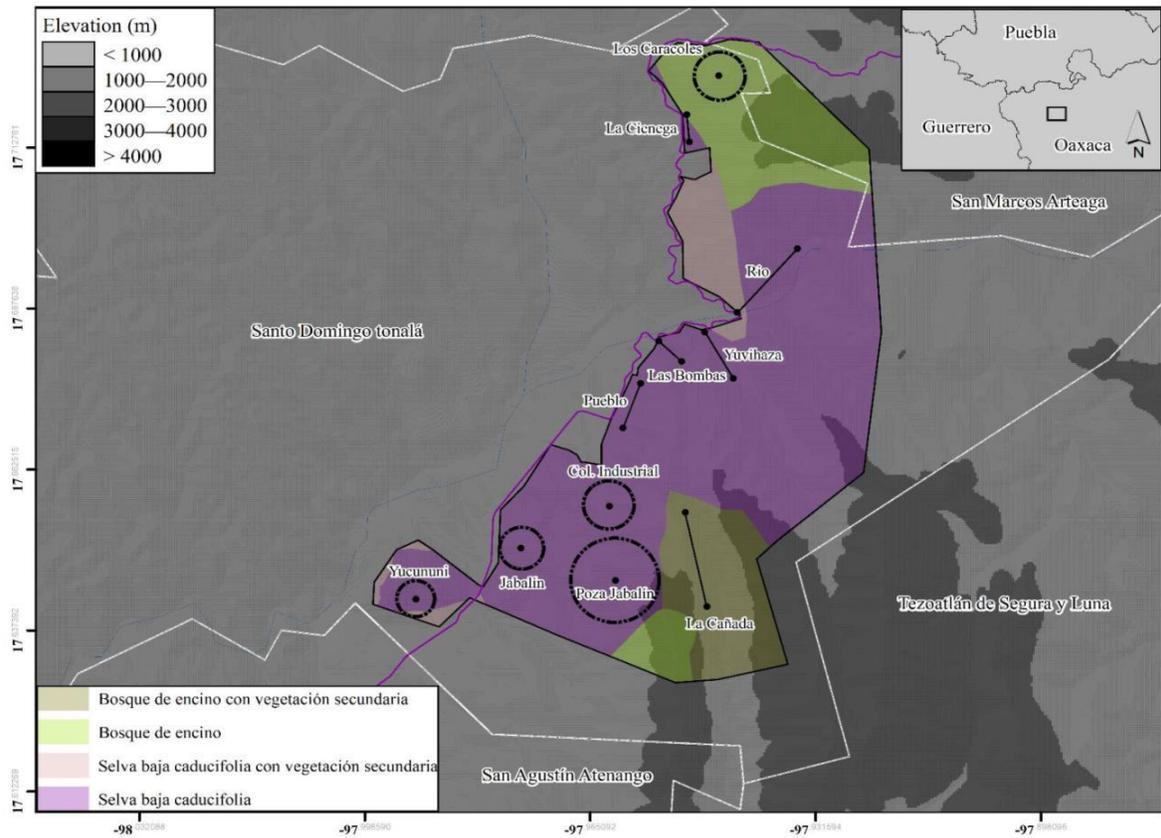


Figura 1. Polígono del APFF Boquerón de Tonalá en el municipio de Santo Domingo Tonalá, Oaxaca. Se muestran los tipos de vegetación presentes y los 12 sitios de recolecta elegidos para el estudio. Imagen modificada de CONANP (2013).

Cuadro 2. Sitios de recolecta definidos en el APFF Boquerón de Tonalá. Se presentan las características de cada sitio (vegetación, conservación, altitud).

Sitio	Rango altitudinal (m.s.n.m.)	Descripción	Vegetación
Los Caracoles	1920-2100	Zona de bosque conservado al norte de área, sobre una pendiente pronunciada, sin cuerpos de agua	Encinar
La Ciénega	1630-1700	Extensión de vegetación en buen estado de conservación	Selva baja caducifolia
La Cañada	1620-2400	Presenta vegetación secundaria debido a actividades de ganadería y tala de árboles	Encinar
El Boquerón	1300-1400	Cañón que da nombre al área, por donde corre el río Mixteco	Selva baja caducifolia
Yuvihaza	1380-1500	Sitio que sigue el cauce de un riachuelo temporal	Selva baja caducifolia
Las Bombas	1386-1740	Se encuentra a un lado de la carretera y presenta un cuerpo de agua	Selva baja caducifolia
Yucununi	1300-1520	El cerro del Yucununi es una unidad del área separada del resto, a través del cual corre un río	Selva baja caducifolia
El Pueblo	1300-1600	Cerca del municipio de Santo Domingo Tonalá, donde la vegetación esta modificada en gran medida por actividades antrópicas	Selva baja caducifolia
La Colonia Industrial	1525-1830	Zona con grandes parches de vegetación original, que se encuentra afectada en sus partes altas a causa del ganado	Encinar
El Jabalín	1500-1900	Parte del Rancho el Jabalín con vegetación en buen estado de conservación con un cuerpo de agua en su parte más alta	Selva baja caducifolia
Pozo El Jabalín	1600-1940	Parte del Rancho El Jabalín con vegetación en buen estado de conservación con un cuerpo de agua en su parte más alta	Selva baja caducifolia

Poza La Ceniza	1460-1560	Parte del Rancho El Jabalín con vegetación en buen estado de conservación con un cuerpo de agua en su parte más alta	Selva baja caducifolia
-----------------------	-----------	--	------------------------

Trabajo de gabinete

La determinación taxonómica se realizó por comparación del patrón alar con los ejemplares de la colección Lepidopterológica del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias (MZFC), UNAM; así como de fuentes alternativas como la guía ilustrada de Glassberg (2007) y la lista interactiva de la página Butterflies of America (Warren *et al.*, 2013). Para la determinación de los endemismos se consultó la lista de especies del estado de Oaxaca de Luis-Martínez *et al.* (2016). Se construyó una base que incluye los datos tomados en campo además del taxón, el número de caja donde se almacenan y el número identificador del MZFC. Todo el material se depositó en la colección del MZFC y una parte representativa de los ejemplares se seleccionó para su montaje e ingreso a la colección.

Tratamiento de los datos

A partir de la base de datos se obtuvieron archivos de entrada para los programas Statistica 7.0 (Statsoft, 2004) y EstimateS 9.1.0 (Colwell, 2013) para las estimaciones paramétricas y no paramétricas. Los archivos de entrada presentan número de individuos recolectados como la unidad de esfuerzo y los 30 días de recolecta como los muestreos.

Unidades de análisis

Se ordenó la información en unidades taxonómicas y ecológicas para el análisis comprensivo de los datos. Para las unidades taxonómicas se usaron superfamilia y las cinco familias. Para las unidades ecológicas se usaron rango altitudinal (rangos 1-5) y temporada (lluviosa y seca).

Para el análisis de la distribución altitudinal y para observar con detalle la distribución altitudinal, se establecieron cinco rangos de altitud de 200 metros (1: 1200-1399 m, 2: 1400-1599 m, 3: 1600-1799 m, 4: 1800-1999 m, 5: >2000 m) de la misma manera que Carrero-S. *et al.* (2013). En el caso de las estimaciones de riqueza se consideraron dos de los pisos altitudinales reportados por Monteagudo-Sabaté *et al.* (2013), el piso intermedio (<1800 m) y el piso superior (\geq 1800 m) para comparar con la literatura.

En el análisis de la distribución temporal se ajustó la abundancia (abundancia / esfuerzo de recolecta) (Vargas-Fernández *et al.*, 1999; Ávalos-Hernández, 2007) con el propósito de estandarizar los datos y hacer posible su comparación. Se consideraron las

temporadas de lluvia y seca, que abarcan los meses de junio a octubre y de noviembre a mayo, respectivamente (Meave *et al.*, 2012).

Estimación

Riqueza

La riqueza o número de especies en una muestra es la medida más intuitiva, simple y frecuentemente usada para caracterizar la diversidad de una comunidad (Chao y Chiu, 2016; Moreno *et al.*, 2018). Ya que resulta difícil completar un inventario, es necesario hacer una estimación de la riqueza (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003; Chao y Chiu, 2016). En este trabajo se utilizó un acercamiento paramétrico (ecuación de Clench) y uno no paramétrico (Chao 1) y se utilizó el programa EstimateS para ambos modelos.

Estimador paramétrico - Ecuación de Clench. Las funciones de acumulación dan confiabilidad al muestreo, predicen la completitud del inventario, permiten la comparación con otros estudios y es posible calcular el esfuerzo necesario para obtener un porcentaje determinado de la riqueza teórica; sin embargo, es importante especificar el área y periodo de tiempo del muestreo para dicho cálculo ya que la estimación es válida solo para esa área y esas condiciones (Soberón y Llorente, 1993; Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

Se construyó una curva de acumulación de especies y se consideró que el orden en que se agregan los datos a la curva afecta su forma y produce curvas distintas a partir del mismo conjunto de datos, para lo cual se aleatorizaron las unidades de esfuerzo 500 veces (Ávalos-Hernández, 2007) con el programa EstimateS para eliminar la arbitrariedad (Moreno, 2001; Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

En la ecuación de Clench la probabilidad de encontrar una especie nueva disminuye con el tiempo, pero aumenta con la experiencia (Soberón y Llorente, 1993). Es un modelo asintótico, al igual que el modelo exponencial, a diferencia del modelo logarítmico que no presenta. El modelo exponencial, tiende a subestimar la riqueza teórica (Moreno, 2001; Jiménez-Valverde y Hortal, 2003; Ávalos-Hernández, 2007). A pesar de estas características, no es posible obtener la varianza de este modelo, lo cual representa una desventaja (Soberón y Llorente, 1993). Finalmente, se hizo un ajuste con el algoritmo de Simplex y Quasi-Newton para minimizar el error en el ajuste del modelo a los datos con el programa Statistica 7.0 (Ávalos-Hernández, 2007).

Estimador no paramétrico - Chao 1. Los modelos no paramétricos evitan asumir las características subyacentes del taxón a estudiar, por lo que son válidas para cualquiera de ellos (Chao y Chiu, 2016). El modelo Chao 1 calcula con precisión el límite inferior de la riqueza real basado en el número de especies raras en la muestra, representadas por uno o dos individuos (*singletons* y *doubletons*) y es posible construir un intervalo de confianza

donde el límite inferior de la estimación es mayor a la riqueza observada (Moreno, 2001; Chao y Chiu, 2016).

Diversidad

La diversidad de una comunidad es la relación del número de especies y su representatividad en un área determinada, y se puede medir en función de la dominancia o la equidad de dicha comunidad; es importante conocer este valor, pues su medición a lo largo del tiempo informa acerca de cambios en la estructura de la comunidad y como esta reacciona a perturbaciones en el medio (Moreno, 2001). Para este cálculo se utilizó el índice de Shannon-Wiener, uno de los más significativos y útiles (Jost, 2006), que cuantifica la entropía dentro de un sistema o en este caso una comunidad, se calcula con la siguiente fórmula:

$$H' = \sum_{i=1}^s (p_i)(\ln p_i)$$

Debido a que se trata de una entropía, fue necesario transformar el resultado del índice en un valor que realmente refleje diversidad, el número efectivo de especies (NES), que se obtuvo a través de la función exponencial del valor del índice (Jost, 2006).

Abundancia relativa

Es una proporción usada para detectar la dominancia de una comunidad (Barjau-González, 2012) y se calculó mediante la siguiente expresión:

$$AR = n/NT * 100$$

Donde: n = número de individuos de cada especie, NT = número total de individuos, el cociente es multiplicado por 100 para obtener el valor porcentual.

Las especies registradas se ordenaron en las siguientes categorías definidas de acuerdo con su abundancia relativa al total de individuos recolectados: A (>6.41%), B (1.61-6.4%), C (0.41-1.6%), D (0.11-0.40%) o E (<0.1%). Estas categorías siguen una escala geométrica similar a Luna-Reyes *et al.* (2010).

Así mismo se calculó la abundancia de las especies relativas a cada unidad de análisis para identificar aquellas especies dominantes en cada unidad.

RESULTADOS

Lista de especies

Se presenta una lista con 91 géneros y 136 taxones a nivel específico en el APFF Boquerón de Tonalá, los cuales constituyen registros nuevos para la zona. El 91.7% de los individuos recolectados se determinaron a nivel específico y el 8.3% restante a nivel genérico, en particular los géneros *Anthanassa* Scudder, *Calephelis* Grote y Robinson (2 spp.), *Cyllopsis* R. Felder y *Electrostrymon* Clench. Los taxones a nivel específico de este trabajo representan el 11.32% de la riqueza total observada de Papilionoidea del país y el 16.7% de las especies y subespecies que ocurren en Oaxaca (815). Todas las especies encontradas se han reportado para el estado (Luis-Martínez *et al.*, 2016) (Cuadro 2).

El endemismo en el APFFBT es bajo respecto al estado, ya que hay 19 taxones que representan el 12.17% de las endémicas al país que ocurren en Oaxaca y el 6.76% de las especies endémicas de México. Nymphalidae es la familia con más taxones endémicos al país (11), seguida de Riodinidae (3), Papilionidae (3), Lycaenidae (1) y Pieridae (1) (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 2. Lista de especies de Papilionoidea del APFF Boquerón de Tonalá, Oaxaca. Los nombres subrayados indican las especies endémicas al país. Esta lista sigue el orden y la nomenclatura utilizada en Luis-Martínez *et al.* (2016) para el estado de Oaxaca.

PAPILIONIDAE Latreille, [1802]

Subfamilia Baroniinae Bryk, 1913

Baronia Salvin, 1893

1. *Baronia brevicornis brevicornis* (Salvin, 1893)

Subfamilia Papilioninae Latreille, [1802]

Tribu Leptocircini Kirby, 1896

Protographium Munroe, [1961]

2. *Protographium epidaus fenoehionis* (Salvin y Godman, 1868)

Tribu Troidini Talbot, 1939

Battus Scopoli, 1777

3. *Battus polydamas polydamas* (Linnaeus, 1758)

Parides Hübner, [1819]

4. *Parides erithalion trichopus* (Rothschild y Jordan, 1906)

5. *Parides montezuma* (Westwood, 1842)

6. *Parides photinus* (Doubleday, 1844)

Tribu Papilionini Latreille, [1802]

Heraclides Hübner, [1819]

7. *Heraclides rumiko* Shiraiwa, Cong y Grishin, 2014

8. *Heraclides astyalus pallas* (Gray, [1853])

9. *Heraclides rogeri pharnaces* (Doubleday, 1846)

10. *Heraclides thoas autocles* (Rothschild y Jordan, 1906)

Papilio Linnaeus, 1758

11. *Papilio polyxenes asterius* Stoll, 1782

Pterourus Scopoli, 1777

12. *Pterourus menatius victorinus* (Doubleday, 1844)

13. *Pterourus multicaudata multicaudata* (Kirby, 1884)

PIERIDAE Swainson, 1820

Subfamilia Coliadinae Swainson, 1821

Zerene Hübner, [1819]

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

Anteos Hübner, [1819]

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

16. *Anteos maerula* (Fabricius, 1775)

Phoebis Hübner, [1819]

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

18. *Phoebis neocypris virgo* (Butler, 1870)

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

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

Aphrissa Butler, 1873

21. *Aphrissa statira statira* (Cramer, 1777)

Abaeis Hübner, [1819]

22. *Abaeis nicippe* (Cramer, 1779)

Pyrisitia Butler, 1870

23. *Pyrisitia lisa centralis* (Herrich-Schäffer, 1865)

24. *Pyrisitia nise nelphe* (Felder, 1869)

25. *Pyrisitia proterpia* (Fabricius, 1775)

Eurema Hübner, [1819]

26. *Eurema arbela boisduvaliana* (Felder y Felder, 1865)

27. *Eurema दौरa sidonia* (Felder, 1869)

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

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

Nathalis Boisduval, 1836

30. *Nathalis iole iole* Boisduval, 1836

Subfamilia Pierinae Swainson, 1820

Tribu Anthocharidini Scudder, 1889

Hesperocharis Felder, 1862

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

Tribu Pierini Swainson, 1820

Catasticta Butler, 1870

32. *Catasticta nimbice nimbice* (Boisduval, 1836)

Pontia Fabricius, 1807

33. *Pontia protodice* (Boisduval y Leconte, [1830])

Leptophobia A. Butler, 1870

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

Ascia Scopoli, 1777

35. *Ascia monuste monuste* (Linnaeus, 1764)

Ganyra Billberg, 1820

36. *Ganyra josephina josepha* (Salvin y Godman, 1868)

LYCAENIDAE [LEACH], [1815]

Subfamilia Theclinae Swainson, 1831

Tribu Eumaeini Doubleday, 1847

Ipidecla Dyar, 1916

37. *Ipidecla miadora* Dyar, 1916

Cyanophrys Clench, 1961

38. *Cyanophrys miserabilis* (Clench, 1946)

Rekoa Kaye, 1904

39. *Rekoa palegon* (Cramer, 1780)

40. *Rekoa zebina* (Hewitson, 1869)

Arawacus Kaye, 1904

41. *Arawacus jada* (Hewitson, 1867)

Contrafacia K. Johnson, 1989

42. *Contrafacia bassania* (Hewitson, 1868)

Satyrium Scudder, 1876

43. *Satyrium favonius autolytus* (Edwards, 1871)

Chlorostrymon Clench, 1961

44. *Chlorostrymon simaethis* (Drury, 1773)

Calycopis Scudder, 1876

45. *Calycopis isobea* (Butler y Druce, 1872)

Strymon Hübner, 1818

46. *Strymon cestri* (Reakirt, [1867])
 47. *Strymon istapa* (Reakirt, [1867])
 48. *Strymon bazochii* (Godart, [1824])
 49. *Strymon megarus* (Godart, [1824])
 50. *Strymon alea* (Godman y Salvin, 1887)

Ministrymon Clench, 1961

51. *Ministrymon clytie* (Edwards, 1877)
 52. *Ministrymon azia* (Hewitson, 1873)

Ostrinotes Johnson, Austin, Le Crom y Salazar, 1997

53. *Ostrinotes keila* (Hewitson, 1869)

Parrhasius Hübner, [1819]

54. *Parrhasius polibetes* (Stoll, 1781)

Michaelus Nicolay, 1979

55. *Michaelus ira* (Hewitson, 1867)

Electrostrymon Clench, 1961

56. *Electrostrymon* sp.

Tribu Theclini Swainson, 1831

Hypaurotis (Scudder, 1876)

57. *Hypaurotis crysalus* (Edwards, 1873)

Subfamilia Polyommatae Swainson, 1827

Leptotes Scudder, 1876

58. *Leptotes cassius cassidula* (Boisduval, 1870)

59. *Leptotes marina* (Reakirt, 1868)

Zizula Chapman, 1910

60. *Zizula cyna* (Edwards, 1881)

Celastrina Tutt, 1906

61. *Celastrina echo gozora* (Boisduval, 1870)

Hemiargus Hübner, 1818

62. *Hemiargus ceraunus astenidas* (Lucas, 1857)

RIODINIDAE Grote, 1895

Subfamilia Riodininae Grote, 1895

Tribu Riodinini Grote, 1895

Calephelis Grote y Robinson, 1869

63. *Calephelis* sp.1

64. *Calephelis* sp.2

Caria Hübner, 1823

65. *Caria ino ino* Godman y Salvin, 1886

66. *Caria stillaticia* Dyar, 1912

Baeotis Hübner, [1819]

67. *Baeotis zonata zonata* Felder, 1869

Lasaia Bates, 1868

68. *Lasaia maria maria* Clench, 1972

Melanis Hübner, [1819]

69. *Melanis cephise cephise* (Ménétriés, 1855)

Tribu Helicopini Stichel, 1928

Anteros Hübner, [1819]

70. *Anteros carausius carausius* Westwood, 1851

Tribu *Incertae Sedis*

Calydna Doubleday, 1847

71. *Calydna sturnula* (Geyer, 1837)

Emesis Fabricius, 1807

72. *Emesis mandana furor* Butler y Druce, 1872

73. *Emesis vulpina* Godman y Salvin, 1886

74. *Emesis zela zela* Butler, 1870

75. *Emesis emesia* (Hewitson, 1867)

76. *Emesis tegula* Godman y Salvin, 1886

77. *Emesis* sp.

Apodemia Felder y Felder, 1865

78. *Apodemia multiplaga* Schaus, 1902

79. *Apodemia hypoglauca hypoglauca* (Godman y Salvin, 1878)

80. *Apodemia walkeri* Godman y Salvin, 1886

Tribu *Lemoniadini* Kirby, 1871

Thisbe Hübner, [1819]

81. *Thisbe lycorias* (Hewitson, [1853])

NYMPHALIDAE Rafinesque, 1815

Subfamilia *Libytheinae* Boisduval, 1833

Libytheana Michener, 1943

82. *Libytheana carinenta mexicana* Michener, 1943

Subfamilia *Danainae* Boisduval, 1833

Tribu Euploeini Herrich-Schäffer, 1849

Lycorea Doubleday, [1847]

83. *Lycorea halia atergatis* Doubleday, [1847]

Tribu Danaini Boisduval, 1833

Danaus Kluk, 1780

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

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

Subfamilia Ithomiinae Godman y Salvin, 1879

Tribu Godyridini D'Almeida, 1941

Greta Hemming, 1934

86. *Greta morgane oto* (Hewitson, [1855])

Subfamilia Morphinae Newman, 1834

Tribu Morphini Newman, 1834

Morpho Fabricius, 1807

87. *Morpho polyphemus polyphemus* Westwood, [1850]

Tribu Brassolini Boisduval, 1836

Opsiphanes Doubleday, [1849]

88. *Opsiphanes boisduvallii* Doubleday, [1849]

Subfamilia Satyrinae Boisduval, 1833

Tribu Parargini Tutt, 1896

Manataria Kirby, [1902]

89. *Manataria hercyna maculata* (Hopffer, 1874)

Tribu Satyrini Boisduval, 1833

Cissia Doubleday, 1848

90. *Cissia similis* (Butler, 1867)

Cyllopsis Felder, 1869

91. *Cyllopsis* sp.

Euptychia Hübner, 1818

92. *Euptychia fetna* Butler, 1870

Hermeuptychia Forster, 1964

93. *Hermeuptychia hermes* (Fabricius, 1775)

Megisto Hübner, [1819]

94. *Megisto rubricata pseudocleophes* Miller, 1976

Pindis R. Felder, 1869

95. *Pindis squamistriga* Felder, 1869

Taygetis Hübner, [1819]

96. *Taygetis weymeri* Draudt, 1912

Subfamilia Charaxinae Guenée, 1865

Anaea Hübner, [1819]

97. *Anaea troglodyta aidea* (Guérin-Ménéville, [1844])

Memphis Hübner, [1819]

98. *Memphis pithyusa pithyusa* (Felder, 1869)

Subfamilia Biblidinae Boisduval, 1833

Tribu Cyrestini Guenée, 1865

Marpesia Hübner, 1818

99. *Marpesia petreus* (Cramer, 1776)

Tribu Biblidini Boisduval, 1833

Biblis Fabricius, 1807

100. *Biblis hyperia aganisa* Boisduval, 1836

Mestra Hübner, [1825]

101. *Mestra dorcas amymone* (Ménétriés, 1857)

Myscelia Doubleday, [1845]

102. *Myscelia cyananthe cyananthe* Felder y Felder, 1867

103. *Myscelia ethusa ethusa* (Doyère, [1840])

Hamadryas Hübner, [1806]

104. *Hamadryas atlantis lelaps* (Godman y Salvin, 1883)

Bolboneura Godman y Salvin, 1877

105. *Bolboneura sylphis beatrix* Maza, 1985

Cyclogramma (Doubleday, [1848])

106. *Cyclogramma bacchis* (Doubleday, 1849)

Adelpha Hübner, [1819]

107. *Adelpha eulalia* (Doubleday, [1848])

Subfamilia Apaturinae Boisduval, 1840

Asterocampa Röber, 1916

108. *Asterocampa idyja argus* (Bates, 1864)

Doxocopa Hübner, [1819]

109. *Doxocopa laure laure* (Drury, 1773)

Subfamilia Nymphalinae Rafinesque, 1815

Tribu Coeini Scudder, 1893

Smyrna Hübner, [1823]

110. *Smyrna blomfieldia datis* Fruhstorfer, 1908

Tribu Nymphalini Rafinesque, 1815

Vanessa Fabricius, 1807

111. *Vanessa virginiensis* (Drury, 1773)

112. *Vanessa cardui* (Linnaeus, 1758)

Tribu Kallimini Doherty, 1886

Anartia Hübner, [1819]113. *Anartia fatima fatima* (Fabricius, 1793)114. *Anartia jatrophae luteipicta* Fruhstorfer, 1907*Junonia* Hübner, [1819]115. *Junonia coenia* Hübner, [1822]116. *Junonia evarete* (Cramer, 1779)*Siproeta* Hübner, [1823]117. *Siproeta epaphus epaphus* (Latreille, [1813])118. *Siproeta stelenes biplagiata* (Fruhstorfer, 1907)

Tribu Melitaeini Herrich-Schäffer, 1843

Chlosyne Butler, 1870119. *Chlosyne hippodrome hippodrome* (Geyer, 1837)120. *Chlosyne janais janais* (Drury, 1782)121. *Chlosyne lacinia lacinia* (Geyer, 1837)122. *Chlosyne marina marina* (Geyer, 1837)123. *Chlosyne theona theona* (Ménétriés, 1855)*Microtia* Bates, 1864124. *Microtia elva elva* Bates, 1864*Texola* Higgins, 1959125. *Texola anomalus coracara* (Dyar, 1912)126. *Texola elada elada* (Hewitson, 1868)*Anthanassa* Scudder, 1875127. *Anthanassa texana texana* (Edwards, 1863)128. *Anthanassa* sp.

Phyciodes Hübner, [1819]

129. *Phyciodes graphica graphica* (Felder, 1869)

Subfamilia Heliconiinae Swainson, 1822

Tribu Argynnini Swainson, 1833

Euptoieta Doubleday, 1848

130. *Euptoieta claudia daunius* (Herbst, 1798)

131. *Euptoieta hegesia meridiania* Stichel, 1938

Tribu Heliconiini Swainson, 1822

Agraulis Boisduval y Le Conte, [1835]

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

Dione Hübner, [1819]

133. *Dione juno huascuma* (Reakirt, 1866)

134. *Dione moneta poeyii* Butler, 1873

Dryas Hübner, [1807]

135. *Dryas iulia moderata* (Riley, 1926)

Heliconius Kluk, 1780

136. *Heliconius charithonia vazquezae* Comstock y Brown, 1950

Estimación de la riqueza y completitud del muestreo

Unidades taxonómicas. Las estimaciones de riqueza para cada unidad taxonómica de análisis tuvieron un ajuste alto del 99% al modelo de Clench en comparación con el modelo logarítmico y exponencial, excepto Riodinidae que tuvo 98.6%; por lo que en adelante se utilizará dicha estimación para representar la riqueza estimada de las unidades por modelos paramétricos (Cuadro 3). El APFFBT presenta 136 especies y subespecies observadas con 3684 individuos recolectados; mientras que la riqueza teórica estimada es de 158 especies; por lo tanto, se registró el 86% de las especies esperadas para el área. Para obtener una completitud de 90% sería necesario recolectar 2438 individuos adicionales, por lo que este inventario faunístico presenta un buen nivel de completitud (Cuadro 3). Por otro lado, dentro de los estimadores no paramétricos, el estimador Chao 1 indica que la riqueza es de 151 especies, lo que representa el 90% de completitud, aunque el intervalo de confianza es amplio, por lo que dicho porcentaje de completitud no es confiable (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de abundancia y riqueza observada de cada unidad de análisis. El cuadro sintetiza las estimaciones del modelo de Clench (ajuste al modelo y completitud) y Chao 1 (límites del intervalo de confianza y completitud).

Unidad	Abundancia	Riqueza obs.	Estimación	Clench		Chao 1			
				Ajuste r ² (%)	Completitud	Estimación	Límite inferior	Límite superior	Completitud
Papilionoidea	3684	136	158	99.62	86.07%	151	141.76	179.38	90.06%
Familia									
Nymphalidae	2127	55	61	99.83	90.16%	57	55.29	68.96	96.49%
Lycaenidae	308	26	38	99.3	68.42%	34	28.12	63.91	76.47%
Pieridae	729	23	25	99.75	92%	23	23.01	27.79	100%
Riodinidae	383	19	22	98.62	86.36%	20	19.25	34.97	95%
Papilionidae	137	13	16	99.92	81.25%	13	13.02	18.93	100%
Piso altitudinal									
Intermedio	3161	123	145	99.84	84.82%	133	126.53	156.78	92.48%
Superior	523	67	109	99.81	61.46%	99	79.23	153.02	67.67%
Temporada									
Lluvias	3280	133	157	99.62	84.71%	152	140.36	182.65	87.50%
Seca	404	60	90	99.99	66.66%	67	62.18	85.69	89.55%

La familia más rica y abundante es Nymphalidae con 61 especies (40%) y 2127 individuos (58%); mientras que Papilionidae presenta la menor riqueza y abundancia con 16 especies (10%) y 137 individuos (4%). Cabe destacar que el resto de las familias están por debajo del 24% de la riqueza específica y del 20% de la abundancia (Cuadro 3).

La completitud del inventario por familia difiere en función del modelo paramétrico y no paramétrico. La familia con el mejor muestreo es Pieridae, ya que su completitud es la más alta de acuerdo con ambos modelos, a pesar de que existe una diferencia notable entre la completitud que estima el modelo de Clench (92%) y la que estima modelo Chao 1 (100%). Papilionidae muestra una gran diferencia en los valores de completitud de Clench (81.25%) y Chao 1 (100%). Papilionidae y Pieridae presentan los intervalos de confianza más reducidos en las estimaciones de Chao 1 y en ambos casos el valor de la media estimada es muy cercano el límite inferior, por lo que son confiables (Cuadro 3).

En el caso de Nymphalidae, la completitud estimada por Clench es de 90.16% y Chao 1 de 96.49%. Esta familia presenta el intervalo confianza más ajustado, lo que indica que presenta el mejor muestreo en la zona. Riodinidae muestra una completitud alta con el modelo Chao 1 (95%) y aceptable con el de Clench (86.36%); sin embargo, los límites de la riqueza estimada con el primer modelo son amplios y el ajuste al segundo modelo es menor que en las otras familias, por lo que es necesario continuar su muestreo. Por último, Lycaenidae exhibe el muestreo más incompleto, pues presenta la completitud más baja de las familias con ambos modelos (76.47% con Chao 1 y 68.42% con Clench), además de que presenta el intervalo de confianza más amplio (Chao 1) de todas las familias (Cuadro 3).

En cada unidad de análisis, la riqueza estimada con Chao 1 es más cercana a la observada que la que se estima con Clench (Cuadro 3); sin embargo, la idea de que el valor de la riqueza real sea más cercano al valor de Chao 1 podría ser cierto únicamente en Pieridae y Papilionidae, donde el intervalo de confianza es más reducido, en contraste con Lycaenidae, donde el intervalo es amplio (Fig. 2).

Unidades ecológicas. Temporadas. La riqueza teórica de la temporada de lluvia es de 157 con el modelo de Clench y 152 con Chao 1, ambos valores son muy similares a las estimaciones de Papilionoidea como unidad, por otro lado, en la temporada seca los modelos estiman 90 y 67 especies respectivamente, por lo que es necesario continuar el muestreo en esta temporada. Las estimaciones de las temporadas son contrastantes, ya que la temporada de lluvia es la unidad que demuestra más congruencia entre las estimaciones de Clench y Chao 1, ya que estos valores son muy similares (84.71% y 87.5% respectivamente); mientras que la temporada seca muestra el comportamiento opuesto, pues la diferencia entre los valores estimados de completitud (66.66% con Clench y 89.55% con Chao 1) son los mayores de todo el estudio (Cuadro 3; Fig. 2).

Pisos altitudinales. En los pisos altitudinales las estimaciones de ambos modelos son más congruentes entre sí. El piso intermedio presenta 145 y 133 especies teóricas, por lo que la completitud es aceptable (84.82% con Clench y 92.48% con Chao 1). En contraste, el piso superior es la unidad ecológica más incompleta de todo el estudio, pues presenta 109 y 99 especies teóricas, por lo que ninguna de las estimaciones alcanza el 70% de completitud (61.46% con Clench y 67.67% con Chao 1) (Cuadro 3). Además, el piso altitudinal superior

muestra la estimación más variable en los límites de Chao 1, pues el rango entre estos es el mayor de todas las unidades del estudio (Fig. 2). A pesar de que la completitud varía, las estimaciones de los dos modelos fueron similares entre sí en ambos pisos.

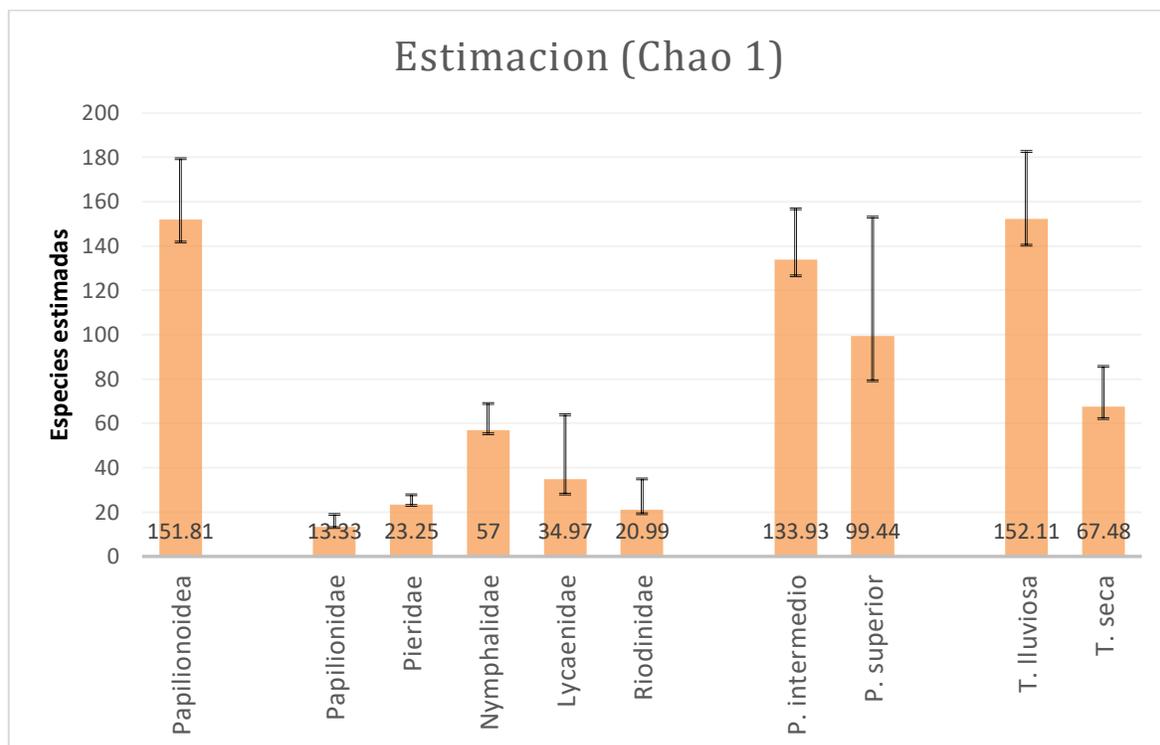


Figura 2. Riqueza estimada de cada unidad de análisis con el modelo no paramétrico Chao 1. Los rangos representan los límites inferiores y superiores de la estimación con 95% de confianza.

Abundancia relativa

Se clasificaron las especies en cinco categorías de acuerdo con su abundancia relativa (AR) considerando los 3684 individuos recolectados en total. La categoría con mayor abundancia es (A) que agrupa dos especies con AR mayor a 6.41%, la segunda (B) agrupa 16 especies con AR en el rango de 1.61-6.4%, la tercera (C) contiene 30 especies con AR en el rango de 0.41-1.6%, la cuarta categoría (D) contiene 43 especies con AR en el rango de 0.11-0.4% y la última categoría (E), con la menor abundancia, incluye 45 especies con AR menor que 0.1%. Por lo tanto, se observó un patrón ecológico típico de abundancia relativa, en el que pocas especies son muy abundantes y muchas especies presentan abundancias menores.

La familia Nymphalidae se representa en todas las categorías y es la única familia con especies muy abundantes en la categoría A (Fig. 3). Todas las especies de Papilionidae están en la categoría E, en menor medida en D y C y ninguna en A ni B. Las especies de Pieridae se distribuyen casi uniformemente en todas las categorías en las que se presenta. Riodinidae exhibe el mismo número de especies en C-E y una sola especie en B. En Lycaenidae las

especies presentan una muy baja abundancia por lo que se categorizan principalmente en E y en menor medida en D; las categorías B y C solo tienen una especie cada una.

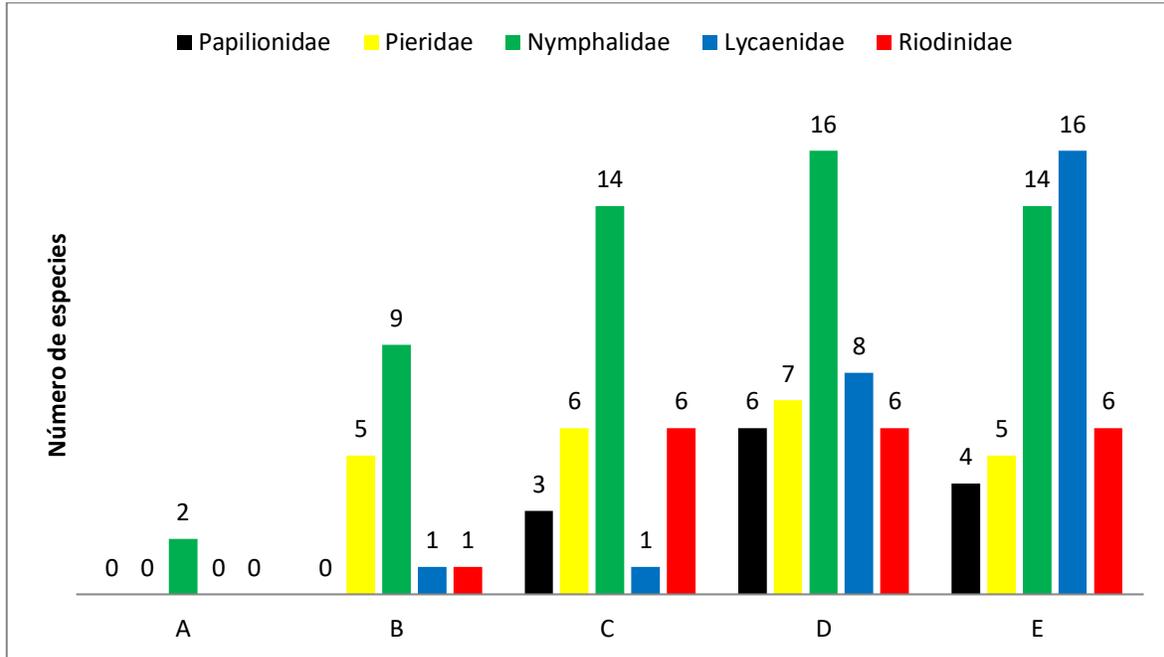


Figura 3. Número de especies de cada categoría por familia. La categoría A es la más abundante y la E la de menor abundancia relativa.

Categoría A

Las especies de Nymphalidae *Pindis squamistriga* Felder (Satyrinae) y *Myscelia cyananthe cyananthe* Felder y Felder (Biblidinae) cuentan con 368 y 263 individuos respectivamente y componen el 17.13% de la abundancia total registrada (9.99% y 7.14% respectivamente), por lo que se consideran las especies dominantes del área (Cuadro 4).

Categoría B

En esta categoría se encuentran 16 especies, Nymphalidae representa la mayor parte de esta categoría con nueve especies y posteriormente Pieridae con cinco, además de un riodínido y un licénido. Papilionidae no se representa en esta categoría. En este grupo se encuentran las especies más abundantes de Lycaenidae, Riodinidae y Pieridae: *H. ceraunus astenidas* con 173 individuos (4.7%), *Calephelis* sp. 1 con 167 individuos (4.53%) y *Eurema mexicana mexicana* (Boisduval) con 144 individuos (3.91%).

Categoría C

Se encuentran 30 especies, donde la familia mejor representada es Nymphalidae con 14 especies, Riodinidae y Pieridae cuentan ambas con seis especies. Esta categoría contiene tres especies de Papilionidae, las más abundantes de la familia: *B. b. brevicornis* con 37 individuos (1%), *Parides montezuma* (Westwood) con 34 individuos (0.92%) y *Heraclides rumiko* Shiraiwa, Cong y Grishin con 17 individuos (0.46%). La única especie en esta categoría de Lycaenidae es *L. marina* con 46 individuos (1.25%).

Categoría D

En esta categoría se presentan 43 especies, 16 de Nymphalidae, ocho de Lycaenidae, siete de Pieridae, seis de Papilionidae (la mitad de las especies de esta familia) y seis de Riodinidae. Es la categoría donde se presentan más especies de Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae. Todas las especies presentes aquí cuentan con menos de 15 individuos.

Categoría E

Esta es la categoría que agrupa el mayor número de especies (45), la cual en conjunto con la categoría D (43 spp.), contienen dos tercios (64.7%) de la riqueza total, esto implica que la mayoría de las especies tienden a ser poco abundantes e incluso raras. La familia Lycaenidae es la mejor representada en esta categoría, pues aquí se presentan 17 de las 26 especies totales del estudio, diez de las cuales con un solo individuo. Se presentan 13 especies de Nymphalidae, seis de Riodinidae, cinco de Pieridae y cuatro de Papilionidae, de las cuales 13 presentaron un solo individuo: cinco Nymphalidae, cuatro Riodinidae, dos Pieridae y dos Papilionidae (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de individuos recolectados y abundancia relativa por especie. Se presentan las especies en orden de abundancia (mayor a menor) y la categoría (A, B, C, D o E) y familia a la que pertenecen (Pap: Papilionidae, Pie: Pieridae, Nym: Nymphalidae, Lyc: Lycaenidae, Rio: Riodinidae).

Categorías (Especies)	Individuos	Abundancia relativa	Familia
A			
<i>Pindis squamistriga</i>	368	9.99	Nym
<i>Myscelia cyananthe cyananthe</i>	263	7.14	Nym
B			
<i>Hemiargus ceraunus astenidas</i>	173	4.70	Lyc
<i>Calephelis</i> sp. 1	167	4.53	Rio
<i>Eurema mexicana mexicana</i>	144	3.91	Pie
<i>Texola elada elada</i>	140	3.80	Nym
<i>Anaea troglodyta aidea</i>	126	3.42	Nym

<i>Zerene cesonia cesonia</i>	122	3.31	Pie
<i>Microtia elva elva</i>	105	2.85	Nym
<i>Chlosyne lacinia lacinia</i>	93	2.52	Nym
<i>Pyrisitia nise nelphe</i>	87	2.36	Pie
<i>Nathalis iole</i>	85	2.31	Pie
<i>Megisto rubricata</i>	81	2.20	Nym
<i>Mestra dorcas anymone</i>	66	1.79	Nym
<i>Pyrisitia proterpia</i>	65	1.76	Pie
<i>Chlosyne theona theona</i>	63	1.71	Nym
<i>Anthanassa</i> sp.	62	1.68	Nym
<i>Heliconius charithonia vazquezae</i>	62	1.68	Nym
C			
<i>Anthanassa texana texana</i>	60	1.63	Nym
<i>Eurema दौरा</i>	59	1.60	Pie
<i>Cyllopsis</i> sp.	57	1.55	Nym
<i>Chlosyne marina</i>	56	1.52	Nym
<i>Bolboneura sylphis beatrix</i>	47	1.28	Nym
<i>Leptotes marina</i>	46	1.25	Lyc
<i>Danaus gilippus thersippus</i>	42	1.14	Nym
<i>Baronia brevicornis brevicornis</i>	37	1.00	Pap
<i>Calydna sturnula</i>	37	1.00	Rio
<i>Chlosyne hippodrome hippodrome</i>	37	1.00	Nym
<i>Lasaia maria maria</i>	37	1.00	Rio
<i>Eurema salome jamapa</i>	35	0.95	Pie
<i>Chlosyne janais</i>	34	0.92	Nym
<i>Junonia evarete</i>	34	0.92	Nym
<i>Parides montezuma</i>	34	0.92	Pap
<i>Hermeuptychia hermes</i>	33	0.90	Nym
<i>Baeotis zonata zonata</i>	29	0.79	Rio
<i>Apodemia walkeri</i>	28	0.76	Rio
<i>Memphis pithyusa pithyusa</i>	26	0.71	Nym
<i>Myscelia ethusa ethusa</i>	26	0.71	Nym
<i>Siproeta stelenes biplagiata</i>	26	0.71	Nym
<i>Apodemia multiplaga</i>	24	0.65	Rio
<i>Phoebis sennae marcellina</i>	23	0.62	Pie
<i>Euptoieta claudia daunius</i>	17	0.46	Nym
<i>Heraclides rumiko</i>	17	0.46	Pap
<i>Caria ino ino</i>	16	0.43	Rio
<i>Catasticta nimbice nimbice</i>	15	0.41	Pie
<i>Junonia coenia</i>	15	0.41	Nym
<i>Phoebis agarithe agarithe</i>	15	0.41	Pie

<i>Texola anomalus coracara</i>	15	0.41	Pie
D			
<i>Agraulis vanillae incarnata</i>	14	0.38	Nym
<i>Anartia fatima fatima</i>	14	0.38	Nym
<i>Hesperocharis costaricensis pasion</i>	14	0.38	Pie
<i>Phoebis neocypris virgo</i>	14	0.38	Pie
<i>Euptoieta hegesia meridiania</i>	13	0.35	Nym
<i>Calycopis isobea</i>	12	0.33	Lyc
<i>Eurema arbela boisduvaliana</i>	12	0.33	Pie
<i>Biblis hyperia aganisa</i>	11	0.30	Nym
<i>Euptychia fetna</i>	11	0.30	Nym
<i>Hamadryas atlantis lelaps</i>	11	0.30	Nym
<i>Libytheana carinenta mexicana</i>	11	0.30	Nym
<i>Dryas iulia moderata</i>	10	0.27	Nym
<i>Electrostrymon</i> sp.	10	0.27	Lyc
<i>Morpho polyphemus polyphemus</i>	10	0.27	Nym
<i>Phyciodes graphica graphica</i>	10	0.27	Nym
<i>Protographium epidaus fenochionis</i>	10	0.27	Pap
<i>Calephelis</i> sp. 2	9	0.24	Rio
<i>Doxocopa laura laura</i>	9	0.24	Nym
<i>Parides photinus</i>	9	0.24	Pap
<i>Anteos maerula</i>	8	0.22	Pie
<i>Ascia monuste monuste</i>	8	0.22	Pie
<i>Celastrina echo gozora</i>	8	0.22	Lyc
<i>Ministrymon azia</i>	8	0.22	Lyc
<i>Pyrisitia lisa centralis</i>	8	0.22	Pie
<i>Emesis zela</i>	7	0.19	Rio
<i>Heraclides astyalus pallas</i>	7	0.19	Pap
<i>Leptotes cassius cassidula</i>	7	0.19	Lyc
<i>Parides erithalion trichopus</i>	7	0.19	Pap
<i>Strymon cestri</i>	7	0.19	Lyc
<i>Taygetis weymeri</i>	7	0.19	Nym
<i>Zizula cyna</i>	7	0.19	Lyc
<i>Emesis tegula</i>	6	0.16	Rio
<i>Heraclides thoas autocles</i>	6	0.16	Pap
<i>Strymon bazochii</i>	6	0.16	Lyc
<i>Caria stillaticia</i>	5	0.14	Rio
<i>Emesis emesia</i>	5	0.14	Rio
<i>Emesis</i> sp.	5	0.14	Rio
<i>Opsiphanes boisduvalii</i>	5	0.14	Nym
<i>Anartia jatrophae luteipicta</i>	4	0.11	Nym

<i>Cissia similis</i>	4	0.11	Nym
<i>Leptophobia aripa elodia</i>	4	0.11	Pie
<i>Pterourus multicaudata multicaudata</i>	4	0.11	Pap
<i>Smyrna blomfieldia datis</i>	4	0.11	Nym
E			
<i>Abaeis nicippe</i>	3	0.08	Pie
<i>Danaus plexippus plexippus</i>	3	0.08	Nym
<i>Dione junio huascuma</i>	3	0.08	Nym
<i>Dione moneta poeyii</i>	3	0.08	Nym
<i>Ministrymon clytie</i>	3	0.08	Lyc
<i>Rekoa zebina</i>	3	0.08	Lyc
<i>Siproeta epaphus epaphus</i>	3	0.08	Nym
<i>Anteos clorinde</i>	2	0.05	Pie
<i>Anteros carausius carausius</i>	2	0.05	Rio
<i>Asterocampa idyja argus</i>	2	0.05	Nym
<i>Battus polydamas polydamas</i>	2	0.05	Pap
<i>Chlorostrymon simaethis</i>	2	0.05	Lyc
<i>Cyanophrys miserabilis</i>	2	0.05	Lyc
<i>Ganyra josephina josepha</i>	2	0.05	Nym
<i>Greta morgane oto</i>	2	0.05	Nym
<i>Hypaurotis crysalus</i>	2	0.05	Lyc
<i>Manataria hercyna maculata</i>	2	0.05	Nym
<i>Marpesia petreus</i>	2	0.05	Nym
<i>Melanis cephise</i>	2	0.05	Rio
<i>Papilio polyxenes asterius</i>	2	0.05	Pap
<i>Phoebis philea philea</i>	2	0.05	Pie
<i>Strymon alea</i>	2	0.05	Lyc
<i>Adelpha eulalia</i>	1	0.03	Nym
<i>Aphrissa statira</i>	1	0.03	Pie
<i>Apodemia hypoglauca</i>	1	0.03	Rio
<i>Arawacus jada</i>	1	0.03	Lyc
<i>Contrafacia bassania</i>	1	0.03	Lyc
<i>Cyclogramma bacchis</i>	1	0.03	Lyc
<i>Emesis mandana furor</i>	1	0.03	Rio
<i>Emesis vulpina</i>	1	0.03	Rio
<i>Heraclides pharnaces rogeri</i>	1	0.03	Pap
<i>Ipidecla miadora</i>	1	0.03	Lyc
<i>Lycorea halia atergatis</i>	1	0.03	Nym
<i>Michaelus ira</i>	1	0.03	Lyc
<i>Ostrinotes keila</i>	1	0.03	Lyc
<i>Parrhasius polibetes</i>	1	0.03	Lyc

<i>Pontia protodice</i>	1	0.03	Pie
<i>Pterourus menatius victorinus</i>	1	0.03	Pap
<i>Rekoa palegon</i>	1	0.03	Lyc
<i>Satyrium favonius autolytus</i>	1	0.03	Lyc
<i>Strymon istapa</i>	1	0.03	Lyc
<i>Strymon megarus</i>	1	0.03	Lyc
<i>Thisbe lycorias</i>	1	0.03	Rio
<i>Vanessa cardui</i>	1	0.03	Nym
<i>Vanessa virginiensis</i>	1	0.03	Nym

Abundancia relativa por familia

Dentro de cada familia los patrones de distribución de la abundancia son distintos; a pesar de que las especies más abundantes del estudio corresponden a Nymphalidae, en cada familia se presentan especies con abundancias relativas mayores (Cuadro 5).

Cuadro 5. Abundancia de cada especie relativa a la familia a la que pertenece. Se presenta el número de individuos recolectados de cada familia y la abundancia relativa que representan las especies.

Nymphalidae (2127)	Abundancia relativa	Pieridae (729)	Abundancia relativa
<i>Pindis squamistriga</i>	17.30	<i>Eurema mexicana mexicana</i>	19.75
<i>Myscelia cyananthe cyananthe</i>	12.36	<i>Zerene cesonia cesonia</i>	16.74
<i>Texola elada elada</i>	6.58	<i>Pyrisitia nise nelphe</i>	11.93
<i>Anaea troglodyta aidea</i>	5.92	<i>Nathalis iole</i>	11.66
<i>Microtia elva elva</i>	4.94	<i>Pyrisitia proterpia</i>	8.92
<i>Chlosyne lacinia lacinia</i>	4.37	<i>Eurema daira</i>	8.09
<i>Megisto rubricata</i>	3.81	<i>Eurema salome jamapa</i>	4.80
<i>Mestra dorcas amymone</i>	3.10	<i>Phoebis sennae marcellina</i>	3.16
<i>Chlosyne theona theona</i>	2.96	<i>Catasticta nimbice nimbice</i>	2.06
<i>Anthanassa sp.</i>	2.91	<i>Phoebis agarithe agarithe</i>	2.06
<i>Heliconius charithonia vazquezae</i>	2.91	<i>Hesperocharis costaricensis pasion</i>	1.92
<i>Anthanassa texana texana</i>	2.82	<i>Phoebis neocypris virgo</i>	1.92
<i>Cyllopsis sp.</i>	2.68	<i>Eurema arbela boisduvaliana</i>	1.65
<i>Chlosyne marina</i>	2.63	<i>Anteos maerula</i>	1.10
<i>Bolboneura sylphis beatrix</i>	2.21	<i>Ascia monuste monuste</i>	1.10
<i>Danaus gilippus thersippus</i>	1.97	<i>Pyrisitia lisa centralis</i>	1.10
<i>Chlosyne hippodrome hippodrome</i>	1.74	<i>Leptophobia aripa elodia</i>	0.55
<i>Chlosyne janais</i>	1.60	<i>Abaeis nicippe</i>	0.41
<i>Junonia evarete</i>	1.60	<i>Anteos clorinde</i>	0.27

<i>Hermeuptychia hermes</i>	1.55	<i>Ganyra josephina josepha</i>	0.27
<i>Memphis pithyusa pithyusa</i>	1.22	<i>Phoebis philea philea</i>	0.27
<i>Myscelia ethusa ethusa</i>	1.22	<i>Aphrissa statira</i>	0.14
<i>Siproeta stelenes biplagiata</i>	1.22	<i>Pontia protodice</i>	0.14
<i>Euptoieta claudia daunius</i>	0.80		
<i>Junonia coenia</i>	0.71	Riodinidae (383)	Abundancia relativa
<i>Texola anomalus coracara</i>	0.71	<i>Calephelis</i> sp. 1	43.60
<i>Agraulis vanillae incarnata</i>	0.66	<i>Calydna sturnula</i>	9.66
<i>Anartia fatima fatima</i>	0.66	<i>Lasaia maria maria</i>	9.66
<i>Euptoieta hegesia meridiana</i>	0.61	<i>Baeotis zonata zonata</i>	7.57
<i>Biblis hyperia aganisa</i>	0.52	<i>Apodemia walkeri</i>	7.31
<i>Euptychia fetna</i>	0.52	<i>Apodemia multiplaga</i>	6.27
<i>Hamadryas atlantis lelaps</i>	0.52	<i>Caria ino ino</i>	4.18
<i>Libytheana carinenta mexicana</i>	0.52	<i>Calephelis</i> sp. 2	2.35
<i>Dryas iulia moderata</i>	0.47	<i>Emesis zela</i>	1.83
<i>Morpho polyphemus polyphemus</i>	0.47	<i>Emesis tegula</i>	1.57
<i>Phyciodes graphica graphica</i>	0.47	<i>Caria stillaticia</i>	1.31
<i>Doxocopa laure laure</i>	0.42	<i>Emesis emesia</i>	1.31
<i>Taygetis weymeri</i>	0.33	<i>Emesis</i> sp.	1.31
<i>Opsiphanes boisduvalii</i>	0.24	<i>Anteros carausius carausius</i>	0.52
<i>Anartia jatrophae luteipicta</i>	0.19	<i>Melanis cephise</i>	0.52
<i>Cissia similis</i>	0.19	<i>Apodemia hypoglauca</i>	0.26
<i>Smyrna blomfieldia datis</i>	0.19	<i>Emesis mandana furor</i>	0.26
<i>Danaus plexippus plexippus</i>	0.14	<i>Emesis vulpina</i>	0.26
<i>Dione junio huascuma</i>	0.14	<i>Thisbe lycorias</i>	0.26
<i>Dione moneta poeyii</i>	0.14		
<i>Siproeta epaphus epaphus</i>	0.14	Lycaenidae (308)	Abundancia relativa
<i>Asterocampa idyja argus</i>	0.09	<i>Hemiargus ceraunus astenidas</i>	56.17
<i>Greta morgane oto</i>	0.09	<i>Leptotes marina</i>	14.94
<i>Manataria hercyna maculata</i>	0.09	<i>Calycopis isobea</i>	3.90
<i>Marpesia petreus</i>	0.09	<i>Electrostrymon</i> sp.	3.25
<i>Adelpha eulalia</i>	0.05	<i>Celastrina echo gozora</i>	2.60
<i>Cyclogramma bacchis</i>	0.05	<i>Ministrymon azia</i>	2.60
<i>Lycorea halia atergatis</i>	0.05	<i>Leptotes cassius cassidula</i>	2.27
<i>Vanessa cardui</i>	0.05	<i>Strymon cestri</i>	2.27
<i>Vanessa virginiensis</i>	0.05	<i>Zizula cyna</i>	2.27
		<i>Strymon bazochii</i>	1.95
Papilionidae (137)	Abundancia relativa	<i>Ministrymon clytie</i>	0.97

<i>Baronia brevicornis brevicornis</i>	27.01	<i>Rekoa zebina</i>	0.97
<i>Parides montezuma</i>	24.82	<i>Chlorostrymon simaethis</i>	0.65
<i>Heraclides rumiko</i>	12.41	<i>Cyanophrys miserabilis</i>	0.65
<i>Protographium epidaus fenochionis</i>	7.30	<i>Hypaurotis crysalus</i>	0.65
<i>Parides photinus</i>	6.57	<i>Strymon alea</i>	0.65
<i>Heraclides astyalus pallas</i>	5.11	<i>Arawacus jada</i>	0.32
<i>Parides erithalion trichopus</i>	5.11	<i>Contrafacia bassania</i>	0.32
<i>Heraclides thoas autocles</i>	4.38	<i>Ipidecla miadora</i>	0.32
<i>Pterourus multicaudata multicaudata</i>	2.92	<i>Michaelus ira</i>	0.32
<i>Battus polydamas polydamas</i>	1.46	<i>Ostrinotes keila</i>	0.32
<i>Papilio polyxenes asterius</i>	1.46	<i>Parrhasius polibetes</i>	0.32
<i>Heraclides pharnaces rogeri</i>	0.73	<i>Rekoa palegon</i>	0.32
<i>Pterourus menatius victorinus</i>	0.73	<i>Satyrium favonius autolytus</i>	0.32
		<i>Strymon istapa</i>	0.32
		<i>Strymon megarus</i>	0.32

En el caso de Papilionidae, dos especies reúnen poco más de la mitad (52%) de la abundancia de la familia: *Baronia b. brevicornis* (27%) y *Parides montezuma* (24.8%). En Pieridae la especie más abundante es *Eurema m. mexicana* con 19.75% de la abundancia de la familia, le siguen *Zerene c. cesonia* (Stoll) (16.74%) y *Pyrisitia nise nelphe* (Felder) (11.93%). Estas tres especies representan 13% de la riqueza de Pieridae y aportan 48.42% de la abundancia de la familia.

Nymphalidae es la familia más rica y abundante del estudio. Hay seis especies que reúnen 51.48% de la abundancia de la familia: *Pindis squamistriga* (17.3%), *Myscelia c. cyananthe* (12.36%), *Texola e. elada* (Hewitson) (6.58%), *Anaea troglodyta aidea* (Guérin-Ménéville) (5.92%), *Microtia e. elva* (4.94%) y *Chlosyne l. lacinia* (Geyer) (4.37%). En esta familia la abundancia relativa es más uniforme entre las especies; es decir, Nymphalidae es la familia con la menor dominancia dentro de Papilionoidea en la zona.

En Riodinidae, más de la mitad de la abundancia (53.26%) la conforman únicamente las especies *Calephelis* sp. 1 (43.6%) y *Calydna sturnula* (Geyer) (9.66%); sin embargo, la diferencia de abundancias entre ellas es notable, ya que *Calephelis* sp 1. presenta cuatro veces más individuos que *C. sturnula*.

Hemiargus ceraunus astenidas registró más de la mitad de la abundancia de Lycaenidae con 56.17% y contribuye más que las otras 25 especies juntas. En contraste, 16 especies contribuyen cada una con menos de 1% de la abundancia de la familia.

Diversidad por unidades taxonómicas y ecológicas

La diversidad de Papilionoidea en el APFF Boquerón de Tonalá es de 52 expresado en número efectivo de especies. La familia más diversa es Nymphalidae con 24 especies efectivas y posteriormente Pieridae con once especies efectivas, mientras que Lycaenidae es la menos diversa con seis especies efectivas, a pesar de que es la segunda familia más rica, lo que se atribuye a la presencia de dos especies dominantes: *Hemiargus ceraunus astenidas* (Lucas) y *Leptotes marina* (Reakirt), las cuales por sí solas componen el 71% del total de individuos de esta familia. Papilionidae y Riodinidae presentan una diversidad similar con ocho especies efectivas (Fig. 4).

El número efectivo de especies que expresa la diversidad para el piso altitudinal intermedio es de 49 especies y para la temporada de lluvias es de 51; cabe señalar que ambos son cercanos al valor calculado para el área en su totalidad (52) (Fig. 4). El valor de diversidad descende considerablemente en el piso superior (27) y en la temporada seca (32), que registran aproximadamente la mitad del número efectivo de especies de las unidades mencionadas anteriormente, lo que indica dominancia de especies en estas unidades ecológicas.

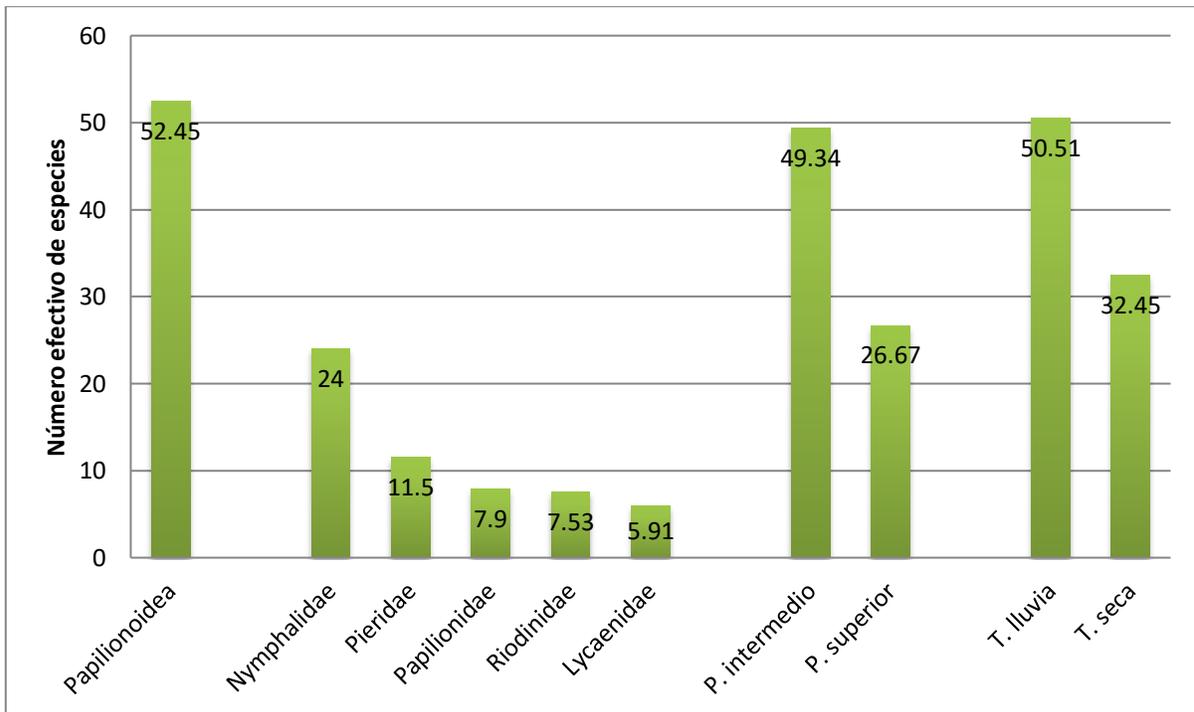


Figura 4. Diversidad de cada unidad de análisis. El número en cada columna corresponde al número efectivo de especies que expresa la diversidad de cada unidad.

Distribución altitudinal

Los Papilionoidea del APFFBT se distribuyen desde los 1330 hasta los 2235 m. Los valores más altos de riqueza observada (102 spp.) y abundancia ajustada (91.3 individuos por muestreo) se presentan entre los 1400 y 1599 m. A pesar de que ambos valores disminuyen conforme aumenta la altitud, la relación entre éstos cambia a lo largo del gradiente (Fig. 5).

Entre los 1200 y 1399 m se encuentra el segundo valor más alto de riqueza (93 spp.) y el segundo valor más bajo de abundancia (40.25). Entre el primer rango (1200-1399 m) y el segundo (1400-1599 m) el valor de la abundancia aumenta más del doble (2.25 veces), mientras que el de la riqueza aumenta en menor medida (1.09 veces). En los rangos posteriores ambos valores disminuyen; sin embargo, la abundancia disminuye de forma constante, mientras que la riqueza no, ya que entre los 1800 y los 1999 m aumenta respecto al rango anterior. Al llegar a los 2000 m, ambos valores disminuyen drásticamente.

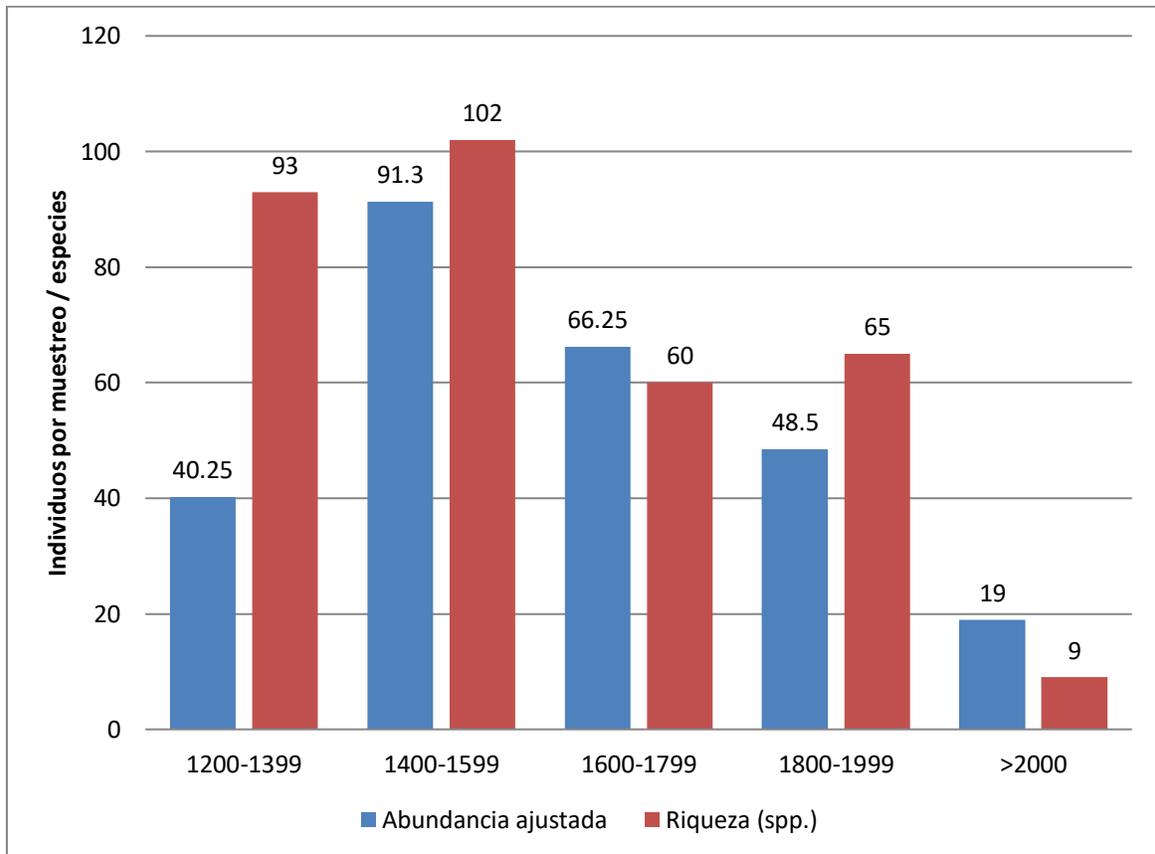


Figura 5. Riqueza y abundancia ajustada por rango altitudinal.

Distribución altitudinal por familia. La distribución altitudinal de Papilionoidea varía entre familias. La familia más rica es Nymphalidae en los primeros cuatro rangos altitudinales (1200-1399 m, 1400-1599, 1600-1799 m y 1800-1999 m). La segunda familia más rica varía de acuerdo con el rango altitudinal; en el primer rango fueron Pieridae y Lycaenidae con 15 especies cada una, en el segundo y tercer rango es Pieridae y en el cuarto Lycaenidae con 18 especies cuya diferencia con Nymphalidae es solo de tres especies (Fig. 6).

En el rango altitudinal más alto (más de 2000 m) la familia más rica es Pieridae con cinco especies. Las familias restantes apenas se representan con dos o una especie. No se encontraron individuos de Papilionidae arriba de los 2000 m.

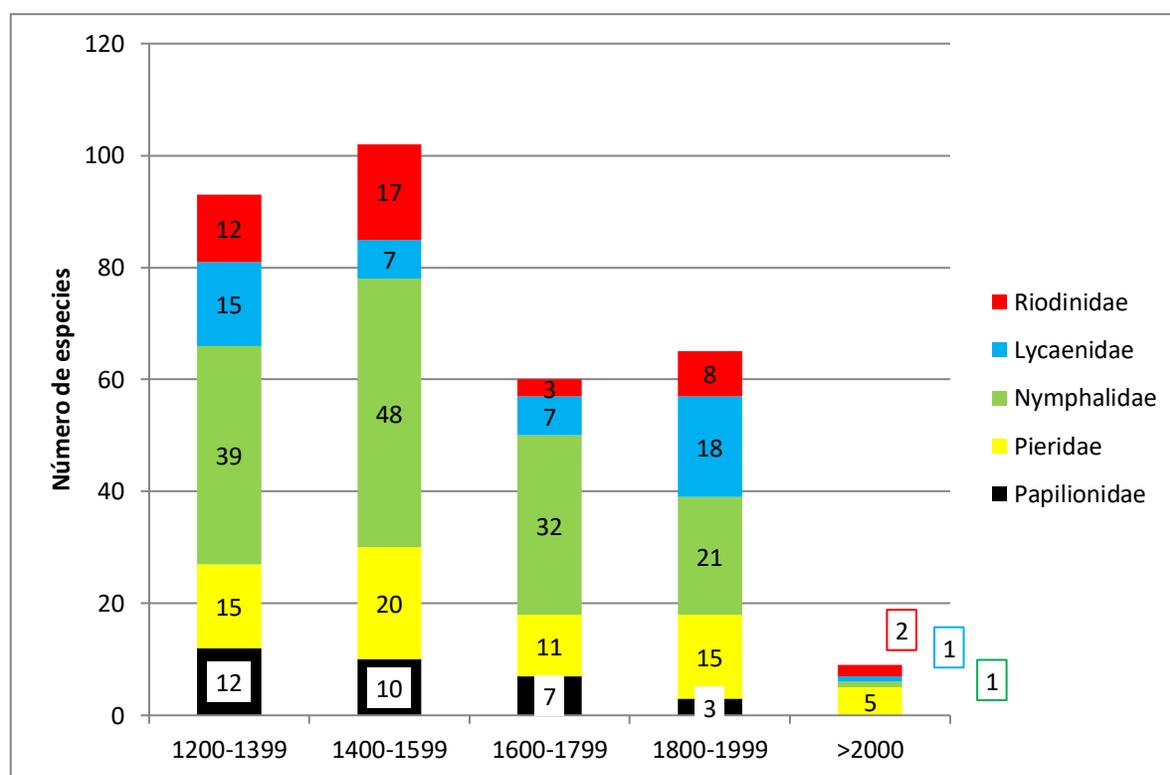


Figura 6. Distribución de la riqueza específica de cada familia por rango altitudinal.

Por debajo de los 2000 m se sigue un patrón de abundancia común entre rangos; la familia más abundante es Nymphalidae, seguida por Pieridae y la menos abundante es Papilionidae (Fig. 7). Riodinidae y Lycaenidae presentan un número de individuos similar en la mayoría de los rangos altitudinales, excepto en el segundo y cuarto rangos. En el segundo, Riodinidae (215) es dos y media veces más abundante que Lycaenidae (80); en contraste con el cuarto rango donde Lycaenidae (105) es cinco veces más abundante que Riodinidae (19) (Fig. 7), lo que indica que esta familia es más abundante a altitudes mucho mayores (1800-2000m) en el APFFBT.

El patrón altitudinal cambia a altitudes mayores (>1999 m), ya que la riqueza y abundancia decrecen radicalmente. Pieridae es la familia más abundante con 31 individuos, 22 de los cuales corresponden a *Eurema. m. mexicana*; en contraste con la ausencia de individuos de Papilionidae. Por su parte, Nymphalidae y Riodinidae muestran tres individuos cada una y Lycaenidae un solo individuo.

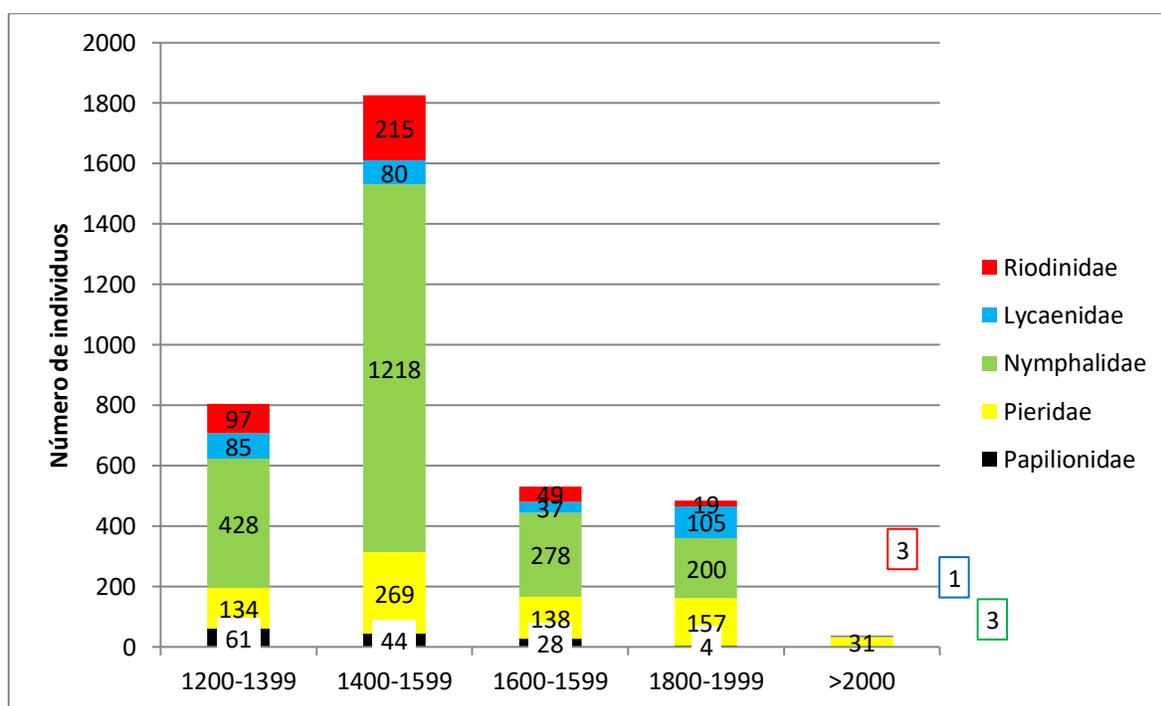


Figura 7. Distribución de la abundancia por familia en los rangos altitudinales.

Composición específica por rango altitudinal. Cada rango altitudinal presenta un orden particular de especies en función de su abundancia relativa (de mayor a menor), por lo que la dominancia en la estructura de la comunidad varía a lo largo del mismo (Fig. 8).

La mayoría de las especies (43) se restringen a uno de los rangos altitudinales, con excepción del rango más alto, en el que no hay especies exclusivas a él. El resto de las especies se distribuyen en dos (31 spp.), tres (30 spp.) o cuatro rangos (27 spp.), donde la mayor concentración de especies se da entre los 1400 y 1599 msnm. (Cuadro 6). Se observó que existe una relación positiva entre el incremento de la altitud y la dominancia (Fig. 8).

Las 43 especies exclusivas a un rango altitudinal se distribuyen: 11 en el rango más bajo (1200-1399 m), 19 en el segundo rango (1400-1599 m), una en el tercer rango (1600-1799 m) y 12 en el cuarto rango (1800-1999 m). Éstas corresponden a 16 de Lycaenidae, 11 de Nymphalidae, seis de Pieridae, ocho de Riodinidae y dos de Papilionidae. Todas las

especies exclusivas, a excepción de *Adelpha eulalia* (Nymphalidae), se encuentran por debajo de los 1600 m o bien entre los 1800 y 1999 m (Cuadro 6).

Únicamente dos especies de Papilionidae son exclusivas a un rango, ambas por debajo de los 1600 m. La mayoría de las especies exclusivas de Pieridae, Nymphalidae y Riodinidae se concentran en el segundo rango. En el caso de Lycaenidae seis especies son exclusivas del primer rango, diez lo son al cuarto rango y no hay ninguna especie exclusiva de esta familia en los rangos intermedios.

Hay cinco especies de cuatro géneros y sólo dos familias que se distribuyen ampliamente a lo largo de todo el gradiente altitudinal del área: *Pindis squamistriga* (Nymphalidae), *Eurema m. mexicana*, *Phoebis sennae marcellina* (Cramer), *Pyrisitia nise nelphe* y *Pyrisitia proterpia* (Fabricius) (Pieridae). Las dos primeras destacan por su abundancia.

Por otra parte, las especies cuya distribución alcanzan los primeros cuatro rangos (1200-1999 m) son las siguientes: dos especies en un género de Papilionidae, *Parides montezuma* y *P. photinus* (Doubleday). Cuatro especies en dos géneros de Pieridae, *Zerene c. cesonia*, *Eurema daira* (Felder), *E. salome jamapa* (Reakirt) y *E. arbela boisduvaliana* (Felder y Felder). Doce especies en 11 géneros de Nymphalidae, *Myscelia c. cyananthe*, *Texola e. elada*, *Microtia e. elva*, *Megisto rubricata pseudocleophes* Miller, *Chlosyne t. theona* (Ménétriés), *Anthanassa* sp., *C. m. marina* (Geyer), *Danaus gilippus thersippus* (Linnaeus), *Junonia coenia* Hübner, *Agraulis vanillae incarnata* (Riley), *Euptoieta hegesia meridiana* Stichel y *Phyciodes g. graphica* (Felder). Cuatro especies en tres géneros de Lycaenidae: Polyommatainae, *Hemiargus ceraunus astenidas*, *Leptotes marina*, *L. cassius cassidula* (Boisduval) y *Zizula cyna* (Edwards). *Calydna sturnula* (Geyer) es el único Riodinidae con esta distribución altitudinal (Cuadro 6, Fig. 8).

Cuadro 6. Matriz de presencia/ausencia de las especies del APFFBT en cada rango altitudinal. Los totales indican el número de especies de cada familia en cada rango altitudinal

Taxón	1200-1399	1400-1599	1600-1799	1800-1999	>2000
Papilionidae					
<i>Parides photinus</i>	x	x	x	x	
<i>Parides montezuma</i>	x	x	x	x	
<i>Heraclides rumiko</i>	x	x	x		
<i>Parides erithalion trichopus</i>	x	x	x		
<i>Protographium epidaus fenochionis</i>	x	x	x		
<i>Pterourus multicaudata multicaudata</i>	x	x	x		
<i>Heraclides thoas autocles</i>	x	x			
<i>Papilio polyxenes asterius</i>	x			x	
<i>Battus polydamas polydamas</i>	x		x		

<i>Baronia brevicornis brevicornis</i>	x	x			
<i>Heraclides astyalus pallas</i>	x	x			
<i>Pterourus menatius victorinus</i>	x				
<i>Heraclides pharnaces rogeri</i>		x			
Total Papilionidae	12	10	7	3	0
Pieridae					
<i>Abaeis nicippe</i>		x			
<i>Anteos clorinde</i>	x				
<i>Anteos maerula</i>		x			
<i>Aphrissa statira</i>		x			
<i>Ascia monuste monuste</i>	x	x			
<i>Catasticta nimbice nimbice</i>		x	x	x	
<i>Eurema arbela boisduvaliana</i>	x	x	x	x	
<i>Eurema daira</i>	x	x	x	x	
<i>Eurema mexicana mexicana</i>	x	x	x	x	x
<i>Eurema salome jamapa</i>	x	x	x	x	
<i>Ganyra josephina josepha</i>		x			
<i>Hesperocharis costaricensis pasion</i>	x	x	x		
<i>Leptophobia aripa elodia</i>		x		x	
<i>Nathalis iole</i>	x	x		x	
<i>Phoebis agarithe agarithe</i>	x	x			
<i>Phoebis neocypris virgo</i>	x	x		x	x
<i>Phoebis philea philea</i>	x			x	
<i>Phoebis sennae marcellina</i>	x	x	x	x	x
<i>Pontia protodice</i>				x	
<i>Pyrisitia lisa centralis</i>		x	x	x	
<i>Pyrisitia nise nelphe</i>	x	x	x	x	x
<i>Pyrisitia proterpia</i>	x	x	x	x	x
<i>Zerene cesonia cesonia</i>	x	x	x	x	
Total Pieridae	15	20	11	15	5
Nymphalidae					
<i>Adelpha eulalia</i>			x		
<i>Agraulis vanillae incarnata</i>	x	x	x	x	
<i>Anaea troglodyta aidea</i>	x	x	x		
<i>Anartia fatima fatima</i>		x			
<i>Anartia jatrophae luteipicta</i>		x			
<i>Anthanassa sp.</i>	x	x	x	x	
<i>Anthanassa texana texana</i>	x	x		x	
<i>Asterocampa idyja argus</i>	x	x			
<i>Biblis hyperia aganisa</i>	x	x	x		
<i>Bolboneura sylphis beatrix</i>	x	x			

<i>Chlosyne hippodrome hippodrome</i>		x	x	x	
<i>Chlosyne janais</i>	x	x	x		
<i>Chlosyne lacinia lacinia</i>	x	x	x		
<i>Chlosyne marina</i>	x	x	x	x	
<i>Chlosyne theona theona</i>	x	x	x	x	
<i>Cissia similis</i>		x	x		
<i>Cyclogramma bacchis</i>	x				
<i>Cyllopsis sp.</i>	x	x	x		
<i>Danaus gilippus thersippus</i>	x	x	x	x	
<i>Danaus plexippus plexippus</i>		x			
<i>Dione juno huascuma</i>	x				
<i>Dione moneta poeyii</i>			x	x	
<i>Doxocopa laure laure</i>		x	x		
<i>Dryas iulia moderata</i>	x	x			
<i>Euptoieta claudia daunius</i>		x	x	x	
<i>Euptoieta hegesia meridiania</i>	x	x	x	x	
<i>Euptychia fetna</i>	x	x			
<i>Greta morgane oto</i>		x	x		
<i>Hamadryas atlantis lelaps</i>	x	x	x		
<i>Heliconius charithonia vazquezae</i>	x	x	x		
<i>Hermeuptychia hermes</i>	x	x	x		
<i>Junonia coenia</i>	x	x	x	x	
<i>Junonia evarete</i>		x	x	x	
<i>Libytheana carinenta mexicana</i>	x	x			
<i>Lycorea halia atergatis</i>		x			
<i>Manataria hercyna maculata</i>	x		x		
<i>Marpesia petreus</i>		x			
<i>Megisto rubricata</i>	x	x	x	x	
<i>Memphis pithyusa pithyusa</i>	x	x			
<i>Mestra dorcas amymone</i>	x	x	x		
<i>Microtia elva elva</i>	x	x	x	x	
<i>Morpho polyphemus polyphemus</i>	x	x			
<i>Myscelia cyananthe cyananthe</i>	x	x	x	x	
<i>Myscelia ethusa ethusa</i>	x	x			
<i>Opsiphanes boisduvalii</i>	x		x	x	
<i>Phyciodes graphica graphica</i>	x	x	x	x	
<i>Pindis squamistriga</i>	x	x	x	x	x
<i>Siproeta epaphus epaphus</i>	x	x			
<i>Siproeta stelenes biplagiata</i>	x	x			
<i>Smyrna blomfieldia datis</i>		x			
<i>Taygetis weymeri</i>	x	x		x	
<i>Texola anomalus coracara</i>	x	x			
<i>Texola elada elada</i>	x	x	x	x	
<i>Vanessa cardui</i>		x			
<i>Vanessa virginiensis</i>				x	

Total Nymphalidae	39	48	32	21	1
Lycaenidae					
<i>Arawacus jada</i>				x	
<i>Calycopis isobea</i>	x	x		x	
<i>Celastrina echo gozora</i>	x	x	x		x
<i>Chlorostrymon simaethis</i>	x				
<i>Contrafacia bassania</i>				x	
<i>Cyanophrys miserabilis</i>		x		x	
<i>Electrostrymon</i> sp.				x	
<i>Hemiargus ceraunus astenidas</i>	x	x	x	x	
<i>Hypaurotis crysalus</i>				x	
<i>Ipidecla miadora</i>	x				
<i>Leptotes cassius cassidula</i>	x	x	x	x	
<i>Leptotes marina</i>	x	x	x	x	
<i>Michaelus ira</i>	x				
<i>Ministrymon azia</i>				x	
<i>Ministrymon clytie</i>	x		x		
<i>Ostrinotes keila</i>	x				
<i>Parrhasius polibetes</i>				x	
<i>Rekoa palegon</i>	x				
<i>Rekoa zebina</i>	x		x	x	
<i>Satyrium favonius autolytus</i>				x	
<i>Strymon alea</i>				x	
<i>Strymon bazochii</i>	x			x	
<i>Strymon cestri</i>	x				
<i>Strymon istapa</i>				x	
<i>Strymon megarus</i>				x	
<i>Zizula cyna</i>	x	x	x	x	
Total Lycaenidae	15	7	7	18	1
Riodinidae					
<i>Anteros carausius carausius</i>		x			
<i>Apodemia hypoglaucia</i>		x			
<i>Apodemia multiplaga</i>	x	x		x	
<i>Apodemia walkeri</i>	x	x		x	
<i>Baeotis zonata zonata</i>	x	x		x	
<i>Calephelis</i> sp. 1	x	x	x		x
<i>Calephelis</i> sp. 2	x	x	x		
<i>Calydna sturnula</i>	x	x	x	x	
<i>Caria ino ino</i>	x	x			
<i>Caria stillaticta</i>	x	x			
<i>Emesis emesia</i>	x	x		x	

<i>Emesis mandana furor</i>				x	
<i>Emesis sp.</i>	x				
<i>Emesis tegula</i>		x			
<i>Emesis vulpina</i>		x			
<i>Emesis zela</i>	x	x		x	x
<i>Lasaia maria maria</i>	x	x		x	
<i>Melanis cephise</i>		x			
<i>Thisbe lycorias</i>		x			
Total Riordinidae	12	17	3	8	2

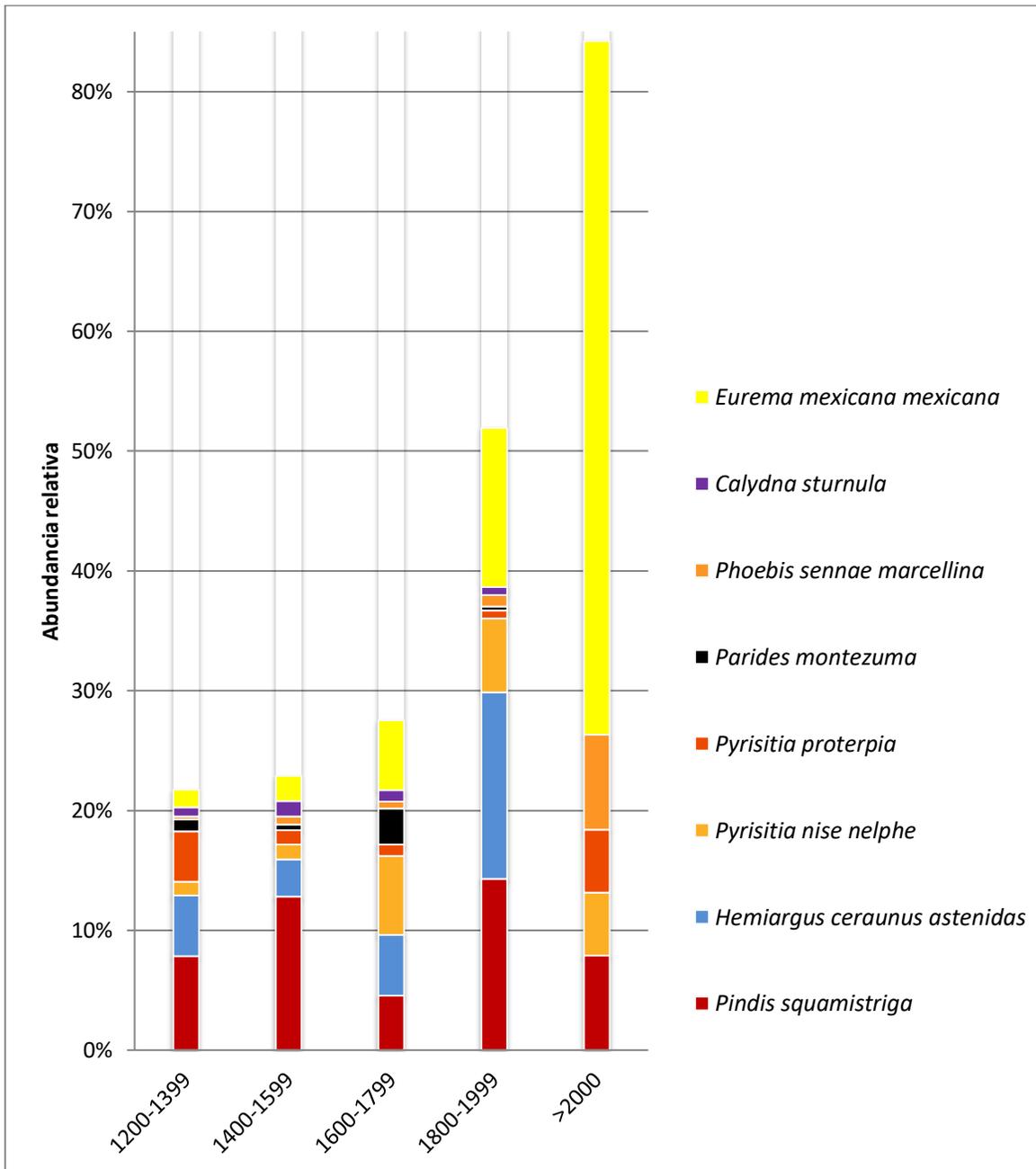


Figura 8. Abundancia relativa de las especies que se distribuyen en todo el gradiente altitudinal (1200 a más de 2000 m) *Pindis squamistriga* (Nymphalidae), *Eurema m. mexicana*, *Pyrisitia nise nelphe*, *P. proterpia* y *Phoebis sennae marcellina* (Pieridae). También se representa *Hemiargus ceraunus astenidas* (Lycaenidae), *Calydna sturnula* (Riodinidae) y *Parides montezuma* (Papilionidae), que se distribuyen en todos los rangos altitudinales a excepción del último.

Distribución temporal

En el caso de la distribución temporal se observa un patrón donde los valores tanto de riqueza como de abundancia tienen su valor más alto en la temporada de lluvia y posteriormente disminuyen al llegar la temporada seca, la riqueza disminuye aproximadamente a la mitad, pero en la abundancia esta disminución es más marcada.

En la temporada de lluvia se presentan 133 especies y en la temporada seca este valor disminuye a 60, las cuales representan 97.7% y 44% respectivamente de la riqueza observada. En Pieridae la riqueza disminuye de 21 a 13 especies, es decir que el valor baja a 62%. La disminución en Nymphalidae es de 55 a 29 especies, en Riodinidae de 18 a 9 y en Papilionidae de 13 a 6, por lo que la riqueza disminuye a la mitad (52.7%, 50% y 46% respectivamente). En el caso de Lycaenidae la disminución de la riqueza es de 26 a tres especies, por lo que solo se mantiene el 11.5% de ellas (Fig. 9).

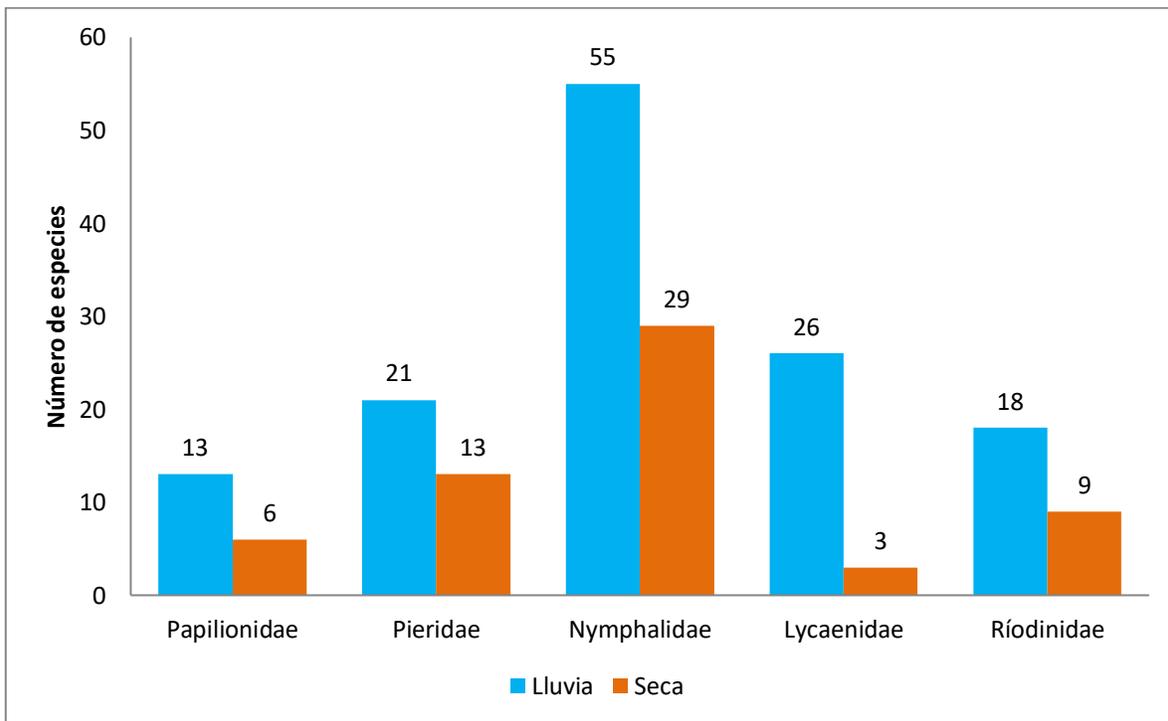


Figura 9. Riqueza específica de cada familia por temporada.

Al igual que la riqueza, la abundancia ajustada presenta sus valores más altos en la temporada de lluvia. En Papilionidae este valor baja al 85%, por lo que en esta familia la disminución es discreta. En el caso de Riodinidae este valor disminuye al 46% y en

Lycaenidae baja al 25.6%. En las últimas dos familias la disminución es marcada, ya que se reduce al 18.5% en Nymphalidae y al 17% en Pieridae (Fig. 10).

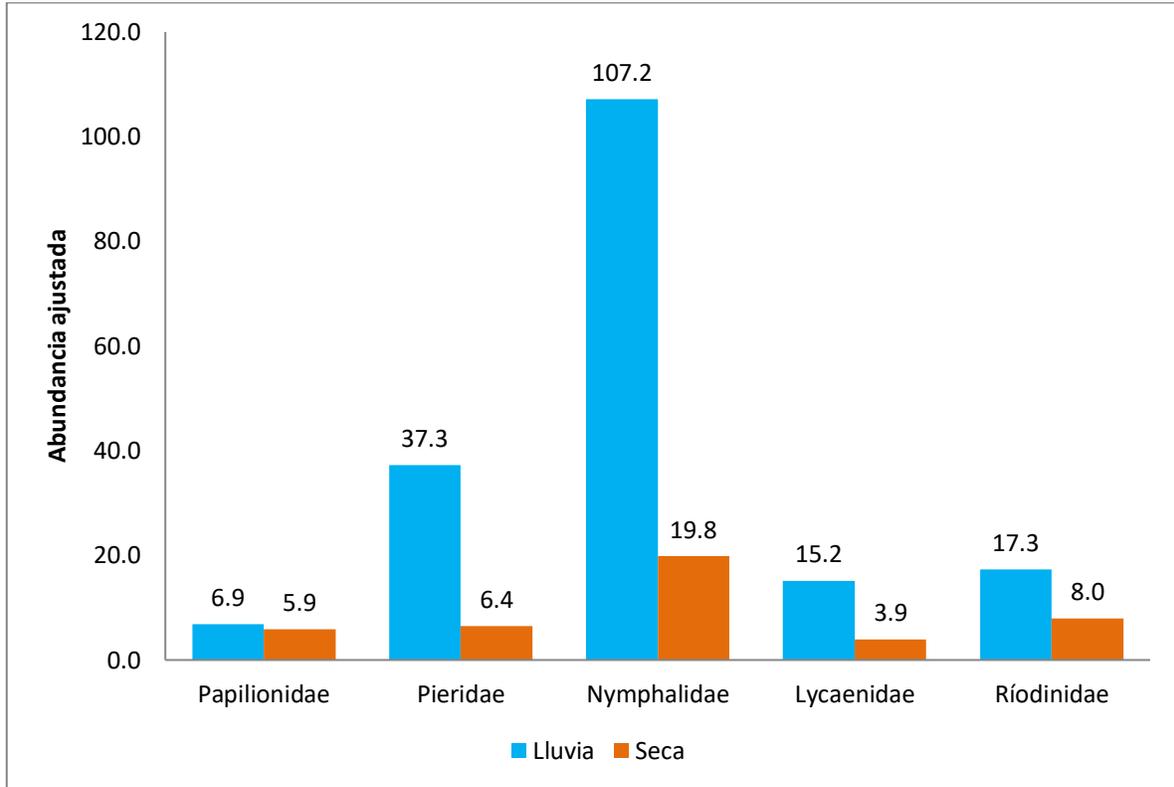


Figura 10. Abundancia ajustada de cada familia por temporada.

Los resultados a mayor detalle por cada mes muestran que la abundancia ajustada y la riqueza presentan una relación variable. En los meses de la temporada seca la relación es negativa, pues la abundancia aumenta mientras la riqueza disminuye (febrero a abril) y viceversa (abril a mayo). En la temporada de lluvia la relación es positiva, ambos valores aumentan respecto a la temporada seca y de un mes a otro (Fig. 11). En la temporada seca el pico de riqueza se presenta en febrero y el pico de abundancia en abril; por otro lado, en la temporada de lluvia ambos picos se presentan en el mes de octubre.

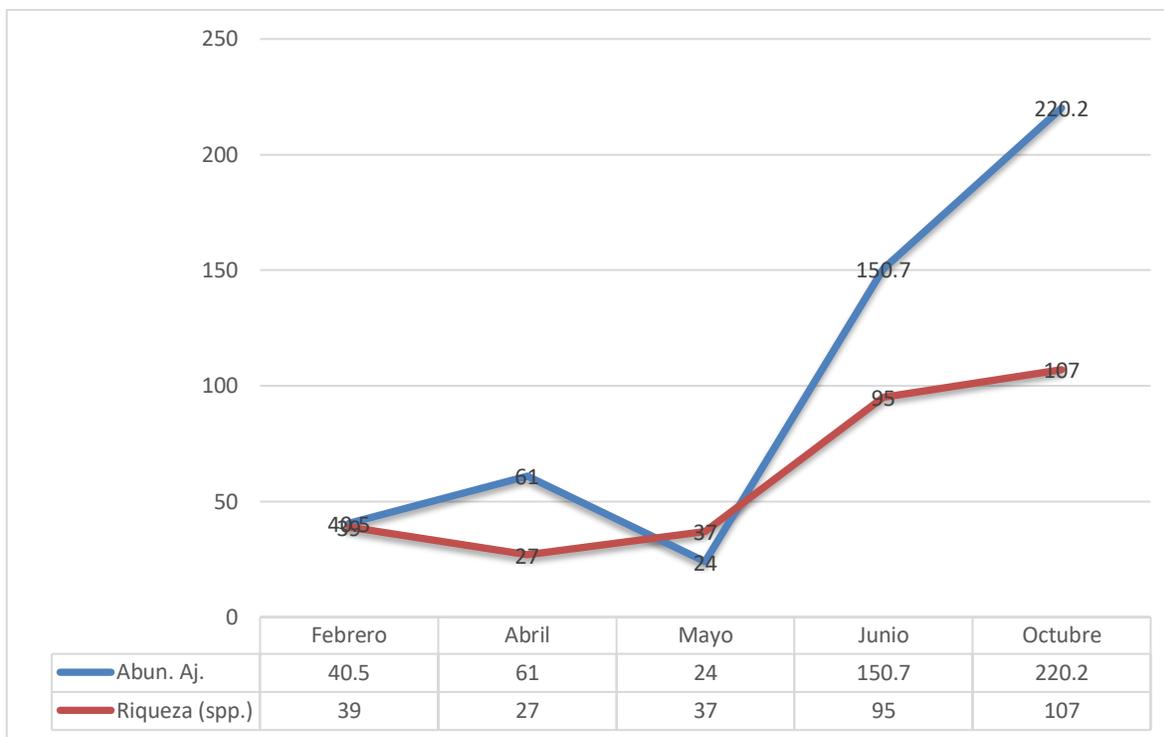


Figura 11 Patrón fenológico de Papilionoidea en el APFF Boquerón de Tonalá.

El 55.88% de las especies (73) se presentan exclusivamente en la temporada de lluvia: 26 Nymphalidae, 23 Lycaenidae, 10 Pieridae, 10 Riodinidae y siete Papilionidae (Cuadro 7); en contraste, únicamente tres especies son exclusivas de la temporada seca *Abaeis nicippe* (Cramer), *Aphrissa statira* (Cramer) (Pieridae) y *Emesis* sp. (Fabricius) (Riodinidae). Las 57 especies restantes se presentan en ambas temporadas con cambios en su abundancia relativa, presentan sus valores de abundancia más altos en la temporada de lluvia, a excepción de cinco taxones: *Chlosyne j. janais* (Drury), *Cissia similis* (Butler), *Morpho p. polyphemus* Westwood, *Taygetis weymeri* Draudt y *Baronia b. brevicornis* (Fig. 12).

Cuadro 7: Especies exclusivas de la temporada de lluvia.

Nymphalidae	Lycaenidae
<i>Adelpha eulalia</i>	<i>Arawacus jada</i>
<i>Anartia jatrophae luteipicta</i>	<i>Calycopis isobea</i>
<i>Anthanassa</i> sp.	<i>Celastrina echo gozora</i>
<i>Asterocampa idyja argus</i>	<i>Chlorostymon simaethis</i>
<i>Biblis hyperia aganisa</i>	<i>Contrafacia bassania</i>
<i>Chlosyne hippodrome hippodrome</i>	<i>Cyanophrys miserabilis</i>
<i>Chlosyne marina</i>	<i>Electrostrymon</i> sp.
<i>Cyclogramma bacchis</i>	<i>Hypaurotis crysalus</i>
<i>Dione junio huascuma</i>	<i>Ipidecla miadora</i>
<i>Dione moneta poeyii</i>	<i>Leptotes cassius cassidula</i>
<i>Dryas iulia moderata</i>	<i>Michaelus ira</i>
<i>Euptoieta claudia daunius</i>	<i>Ministrymon azia</i>

Euptoieta hegesia meridiana
Euptychia fetna
Greta morgane oto
Junonia coenia
Lycorea halia atergatis
Manataria hercyna maculata
Marpesia petreus
Microtia elva elva
Myscelia ethusa ethusa
Opsiphanes boisduvalii
Phyciodes graphica graphica
Texola anomalus coracara
Vanessa cardui
Vanessa virginiensis

Pieridae

Anteos maerula
Catasticta nimbice nimbice
Eurema mexicana mexicana
Eurema salome jamapa
Hesperocharis costaricensis pasion
Leptophobia aripa elodia
Phoebis neocypris virgo
Phoebis philea philea
Pontia protodice
Pyrisitia lisa centralis

Ministrymon clytie
Ostrinotes keila
Parrhasius polibetes
Rekoa pagon
Rekoa zebina
Satyrrium favonius autolytus
Strymon alea
Strymon bazochii
Strymon cestri
Strymon istapa
Strymon megarus

Riodinidae

Anteros carausius carausius
Apodemia hypoglauca
Baeotis zonata zonata
Caria stillaticia
Emesis mandana furor
Emesis tegula
Emesis vulpina
Emesis zela
Melanis cephise
Thisbe lycorias

Papilionidae

Heraclides pharnaces rogeri
Heraclides thoas autocles
Papilio polyxenes asterius
Parides erithalion trichopus
Parides photinus
Pterourus menatius victorinus
Pterourus multicaudata multicaudata

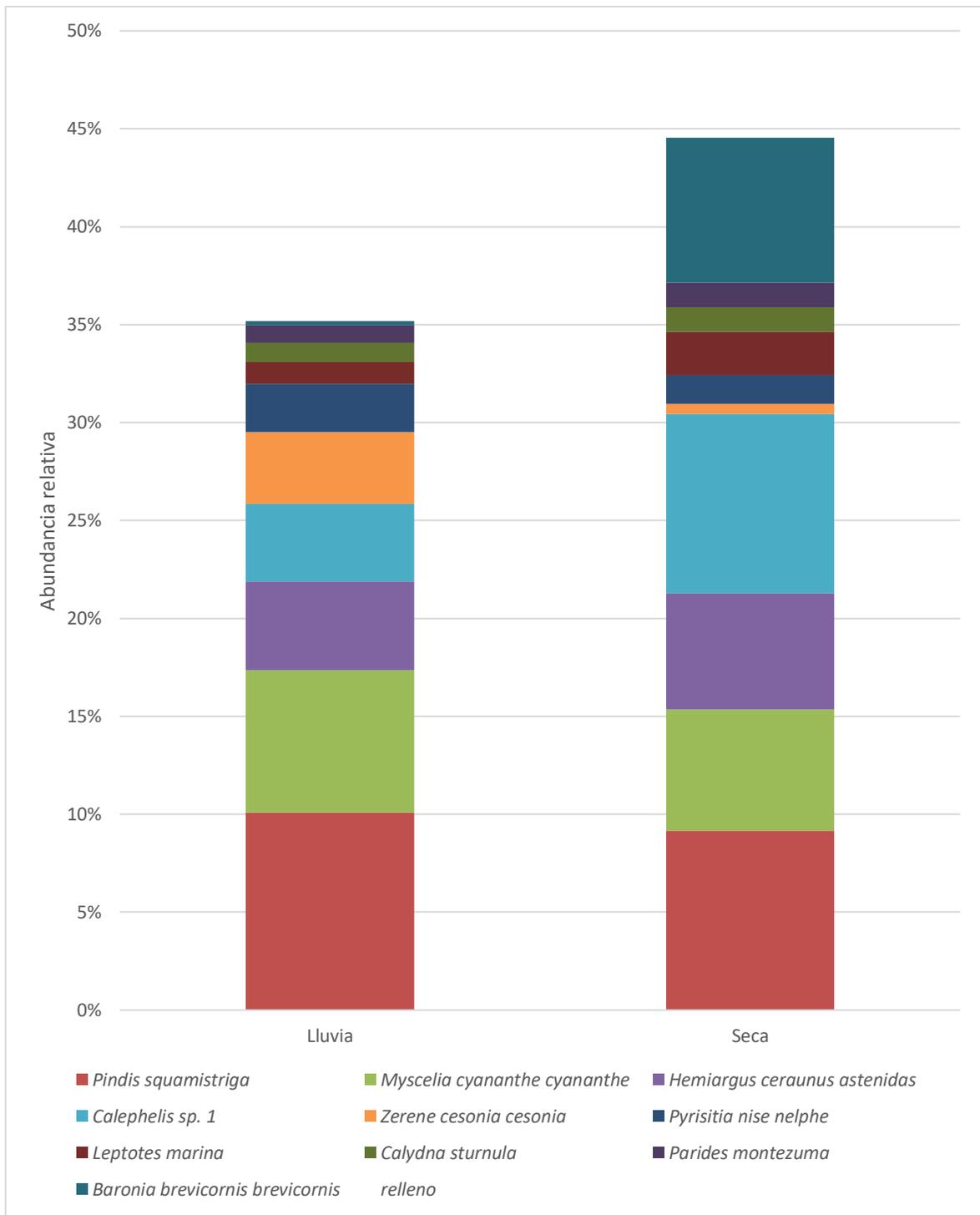


Figura 12. Proporción de las especies más abundantes que permanecen en ambas temporadas.

DISCUSIÓN

La lista de especies que se presenta en este trabajo representa el primer registro de 136 taxones a nivel específico y 91 géneros de Papilionoidea en el APFF Boquerón de Tonalá, producto de un estudio faunístico sistemático con buen estado del conocimiento (86% completitud). La fauna de lepidópteros diurnos del APFFBT representa el 16.68% de la riqueza de Oaxaca.

Riqueza y endemismo

Al comparar la riqueza estimada del APFFBT con otras de zonas con el mismo tipo de vegetación, se observa que la riqueza del Boquerón de Tonalá es similar a la de Zenzontla (162 spp.) pero menor en comparación a Ahuacapan (215 spp.), ambas en la Sierra de Manantlán en Jalisco y Colima, lo cual puede deberse a que Ahuacapan presenta un grado de perturbación alto (Vargas-Fernández *et al.*, 1999), por lo que es probable que incluya especies que no sean residentes de la SBC debido a los cambios en la vegetación. También presenta una riqueza menor que las selvas bajas estudiadas en Morelos, la Sierra de Huautla (194 spp.) y el Cañón de Lobos (174 spp.) (Luna-Reyes *et al.*, 2018; Luna-Reyes *et al.*, 2010). Hernández-Mejía *et al.* (2008) presentan una estimación de riqueza que incluye a la familia Hesperiiidae, por lo que no es posible su comparación.

Nymphalidae es la familia más rica de México, así como para la región Neotropical, seguida de Lycaenidae, Riodinidae, Pieridae y Papilionidae (Luna-Reyes *et al.*, 2010; Llorente-Bousquets *et al.*, 2014). En este trabajo y en otros citados anteriormente se conserva este patrón de riqueza por familia, con la excepción de que en este trabajo Pieridae es la tercera familia más rica. De acuerdo con los resultados, es probable que las especies faltantes en este estudio pertenezcan a Lycaenidae y Riodinidae, como lo sugieren las estimaciones de estas familias, debido a que su muestreo requiere una mayor inversión de búsqueda debido a su restricción en el tiempo y el espacio, ya que su distribución se limita a microhábitats y a ciertos periodos durante el día o el año (Arellano-Covarrubias *et al.*, 2018). A pesar de que Pieridae se considera bien muestreada en el APFFBT, esta familia podría bajar al cuarto puesto en riqueza, como sucede en el patrón de riqueza a nivel nacional.

La proporción de especies endémicas al país que se presentan en el APFF Boquerón de Tonalá (13.97%) es similar al que se encuentra en Sierra de Huautla (12.6%) y Cañón de Lobos (14.4%) en Morelos, con las que también comparte la presencia de algunas especies: *Baronia b. brevicornis*, *Parides erithalion trichopus* (Rothschild y Jordan, 1906), *Protographium epidaus fenochionis* (Salvin y Godman), *Bolboneura sylphis beatrix*, *Hamadryas atlantis lelaps* (Godman y Salvin), *Taygetis weymeri*, *Texola e. elada* y *T. anomalus coracara* (Dyar) en el caso de Sierra de Huautla y *B. b. brevicornis*, *P. erithalion trichopus*, *P. epidaus fenochionis*, *Caria stillaticia* Dyar, *B. sylphis beatrix*, *H. atlantis lelaps*, *Chlosyne m. marina* y *T. anomalus coracara* en el caso de Cañón de Lobos, similitud que se

puede atribuir al hecho de que ambas zonas pertenecen desde el punto de vista hidrológico a la Cuenca del Balsas (Luna-Reyes *et al.*, 2018; Luna-Reyes *et al.*, 2010). Por otro lado, el endemismo del Boquerón de Tonalá es mayor comparado con el de Laguna Potosí en Guerrero, zona que se encuentra en la costa del Pacífico (Figueroa-Fernández *et al.*, 2014), donde únicamente se encuentran siete especies endémicas (6%) y sólo comparte a *Bolboneura sylphis beatrix*.

Entre los taxones endémicos destaca *Baronia b. brevicornis*, que se distribuye únicamente en la Cuenca de Balsas y la Faja Volcánica Transmexicana y fue la especie de Papilionidae más abundante. Es posible que la presencia de esta especie se relacione con la actividad humana, ya que su planta huésped, *Acacia cochliacantha* (Willd), coloniza áreas impactadas por el hombre (Legal *et al.*, 2014); lo que se cumple en el APFFBT (Trujano-Ortega *et al.*, 2019). Legal *et al.* (2014) reportan que la mayoría de sus individuos emergen durante la temporada seca, a principios de junio y otros durante la temporada de lluvia. En este trabajo se encontró el mismo patrón, aunque con un desfase en los meses, ya que la mayoría de los ejemplares se recolectó al inicio de mayo durante la temporada seca y el resto a finales de junio en la temporada de lluvia. De acuerdo con Machkour-M'Rabet *et al.* (2014) al presentar poblaciones aisladas entre sí a lo largo de su distribución y exhibir densidades altas de individuos, la especie presenta una diversidad genética alta, por lo que es importante continuar muestreando sus poblaciones, en especial en áreas no estudiadas previamente para estudiar su variabilidad genética. Machkour-M'Rabet *et al.* (2014) presentan un análisis de dicha diversidad en poblaciones de Morelos, Guerrero y Chiapas, por lo que la población de *Baronia b. brevicornis* reportada en el presente trabajo, constituye un aporte importante para su estudio y conservación de dicha variabilidad.

Abundancia

Las especies más abundantes de Nymphalidae fueron *Pindis squamistriga*, *Myscelia c. cyananthe* y *Anaea troglodyta aidea*, lo cual se puede atribuir que el 56%, 62% y 78% de sus individuos fueron recolectados con trampas que los atraen activamente a través del cebo, debido a sus hábitos acimófagos (Baez-Szekepeka, 1996; Pozo *et al.*, 2008). La tercera especie más abundante de la familia fue *Texola e. elada*, la cual únicamente se recolectó con red aérea y presenta un número de individuos similar a los que se recolectaron con el mismo método de *P. squamistriga* y superior al de *A. t. aidea* y de *M. cyananthe*. Esto enfatiza la necesidad de usar diferentes métodos de recolecta que se enfoquen en distintos grupos con el fin de aumentar la eficacia de la recolección.

En la familia Lycaenidae, dos especies reunieron la mayor abundancia, *H. ceraunus astenidas*, que corresponde a más de la mitad de todos los individuos de la familia, seguido de *Leptotes marina*. Estas especies son conspicuas en el campo, en el caso de *H. ceraunus*

astenidas se encuentran en flores cercanas al suelo. De acuerdo con Beccaloni *et al.* (2008) *L. marina* se puede alimentar de más de un género de plantas, entre los cuales destacan *Prosopis*, *Galactia* y *Phaseolus* (Leguminosae), que se encuentran en el APFFBT (CONANP, 2013). Brown (1990) reporta que *L. marina* en ambientes urbanos se presenta en poblaciones sustanciales en un solo arbusto de su planta de alimentación, por lo que la disponibilidad de este recurso en el APFFBT puede explicar su abundancia alta; así como sus múltiples generaciones al año.

En Riodinidae, *Calephelis* sp. 1 es el taxón más abundante. Este género presenta una gran diversidad de especies y requiere de una revisión taxonómica integral por lo que podría implicar que represente más de una especie, lo que explicaría su gran abundancia respecto al resto de las especies de la familia.

Distribución temporal

En el APFFBT la temporada de lluvia alberga mayor riqueza y abundancia respecto a la temporada seca, se trata de un patrón característico de la SBC que predomina en el Boquerón de Tonalá y que coincide con los estudios reportados para este grupo de insectos y este tipo de vegetación en otras zonas del país (Vargas-Fernández *et al.*, 1999; Luna-Reyes *et al.*, 2008; Luna-Reyes *et al.*, 2010; Figueroa-Fernández *et al.*, 2014).

La precipitación determina la disponibilidad de recursos y microhábitats para muchos insectos que dependen del reverdecimiento de las plantas, como es el caso de la familia Cantharidae (Coleoptera) (Pérez-Hernández y Zaragoza-Caballero, 2016), ya que cuando inicia la temporada de lluvia la vegetación se vuelve más densa, en el caso de las mariposas esto facilita su oviposición, protección y alimentación (Luna-Reyes *et al.*, 2010). Por esta razón, en ambientes con temporadas tan marcadas como la selva baja caducifolia, un gran número de especies no aparecen como adultos durante la época seca, entran en diapausa durante la fase de pupa y emergen durante la temporada de lluvia (De la Maza, 2010).

En el APFFBT algunas de las especies más abundantes como *Pindis squamistriga* o *Hemiargus ceraunus astenidas* se pueden encontrar en ambas temporadas; sin embargo, la mayoría de las especies tienden a ser exclusivas de la época de lluvias, caso contrario a lo que se reporta en Luna-Reyes *et al.*, (2010) quienes analizaron la distribución temporal por estaciones y mencionan que la mayoría de las especies se presentaron en tres o cuatro estaciones, mientras que únicamente el 6.2% de las especies eran exclusivas de la mitad húmeda del año.

En el Boquerón de Tonalá las únicas especies exclusivas de la temporada seca son *Aphrissa statira* y *Abaeis nicippe*. Esta última especie hiberna como adulto (Rubinoff *et al.*, 2015), lo que explica que se encuentre en los meses de la temporada seca; además, se alimenta

de plantas de la familia Leguminosae, las cuales presentan su floración durante la temporada seca (Beccaloni *et al.*, 2008).

Distribución altitudinal

En el APFFBT se confirma un patrón altitudinal reportado anteriormente en mariposas diurnas (Vargas-Fernández *et al.*, 1999; Hernández-Mejía *et al.*, 2008; Monteagudo-Sabaté *et al.*, 2013), en el que la mayor riqueza y abundancia de Papilionoidea se presenta aproximadamente en la media del gradiente altitudinal, seguida de una disminución de estos valores conforme aumenta la altitud (Carrero-S. *et al.*, 2013; Molina-Martínez y León-Cortés *et al.*, 2013), con un decremento drástico al superar los 1800 m.

Dicho fenómeno se debe a que procesos como la oviposición, alimentación y la búsqueda de pareja están directamente ligados a cambios en la elevación (Molina-Martínez y León-Cortés *et al.*, 2013). El ambiente se modifica, la temperatura desciende y las condiciones de hábitat de las mariposas se deterioran conforme aumenta la altitud. Las mariposas dependen del ambiente para regular su temperatura, las bajas temperaturas dificultan su vuelo y actividades; además de que la vegetación de la que dependen tiene limitaciones altitudinales, como es el caso de la SBC, la cual generalmente se desarrolla entre los 0 y 1500 m, en ocasiones hasta los 1900 (Rzedowski, 2006; Monteagudo-Sabaté *et al.*, 2013; Álvarez-García *et al.*, 2016).

Monteagudo-Sabaté *et al.* (2013) mencionan que existen tres pisos altitudinales en los que se distribuyen las familias Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae en las vertientes del Pacífico y del Atlántico; sin embargo, los pisos se delimitan más claramente en la vertiente del Pacífico, donde la precipitación es irregular y causa una asociación de la vegetación y la lepidopterofauna en pisos más definidos: altitudes por debajo de los 1200 m, de los 1200 a los 1800 m y por encima de los 1800 m. Según los autores, en el piso inferior la afinidad de los taxones es neotropical, en el piso superior es neártica y en el piso intermedio se presentan taxones propios del dominio mesoamericano que se han diferenciado en las zonas montañosas del país, además de una mezcla de especies de los otros dos pisos. También señalan que, en transectos altitudinales cortos, los pisos tienden a compactarse o predomina la influencia de las características de cada localidad. Esto último ocurre en el APFF Boquerón de Tonalá, pues el gradiente altitudinal no presenta tres pisos compactos donde existan taxones con afinidades distintas.

Las especies de Papilionidae que se encuentran en el APFFBT se consideran de afinidad neotropical, con la excepción de *Papilio polyxenes asterius* Stoll (Oñate-Ocaña *et al.*, 2006). La mayoría de las especies encontradas de Pieridae tienen una distribución amplia en el país y Llorente *et al.* (2006) señalan que los elementos neárticos de esta familia se encuentran únicamente en Baja California, por lo que es probable que ninguna especie

registrada para el APFFBT tengan esta afinidad (Llorente-Bousquets *et al.*, 2006 apéndice) (Oñate-Ocaña *et al.*, 2006). En el caso de Nymphalidae se encuentra principalmente un patrón neotropical (Luis-Martínez *et al.*, 2006; Vargas-Fernández *et al.*, 2006). De este modo, la fauna de Papilionoidea que se encuentra en el APFF Boquerón de Tonalá, presenta y predomina una afinidad neotropical, probablemente dada por la influencia de las características de la SBC, que también es de afinidad neotropical.

En el área la mayoría de las especies tienden a presentar una distribución altitudinal restringida, más de la mitad de ellas solo se encuentran en uno o dos de los rangos propuestos, aunque la comparación de esta distribución respecto a otros estudios de Papilionoidea en la selva baja caducifolia resulta complicada, ya sea porque los estudios citados no analizan la distribución altitudinal del grupo o porque la SBC del estudio solo se presenta en una parte puntual del gradiente.

En general al APFF Boquerón de Tonalá presenta patrones de riqueza y abundancia espaciales y temporales comunes a otros estudios de Papilionoidea en la SBC, como son los valores máximos de riqueza y abundancia en altitudes medias y durante la temporada de lluvia; sin embargo, sus especies tienden a restringirse a una temporada y a algún rango altitudinal. En comparación con otras áreas de México con SBC, El APFFBT tiene una riqueza menor y un nivel relativamente alto de endemismo. Este trabajo constituye una referencia para estudios posteriores sobre el grupo en el área. Se recomienda que el diseño de proyecto incluya sitios y meses de recolecta alternativos a los estudiados en este trabajo, con el objetivo de cubrir zonas inexploradas y condiciones microambientales diferentes, particularmente enfocados a las familias Lycaenidae y Riodinidae.

CONCLUSIONES

- La lista de especies alcanzada constituye el primer registro de la superfamilia Papilionoidea en el Área de Protección de Flora y Fauna Boquerón de Tonalá que incluye cinco familias, 91 géneros y 136 taxones a nivel específico.
- La riqueza estimada del área es de 158 especies que representa el 86% de completitud, lo que indica que este estudio faunístico es representativo de la fauna de mariposas en el área. Además, es un estudio base útil para el desarrollo de proyectos futuros y desarrollo de estrategias para la conservación de la zona.

La riqueza estimada de mariposas en el APFFBT (158 spp.) fue menor al de otras áreas de selva baja caducifolia del país, aunque muy similar a zonas que se ubican en Morelos, debido a su ubicación geográfica en la Cuenca del Balsas. La proporción de especies endémicas al país que se presentan en el APFF Boquerón de Tonalá (13.97%) es similar al que se encuentra en Sierra de Huautla (12.6%) y Cañón de Lobos (14.4%) en Morelos, con las que comparte la presencia de algunas especies. Además, el endemismo es mayor que otras áreas de SBC de la vertiente del Pacífico.

- El APFFBT presenta un patrón típico de abundancia donde muchas especies presentan baja abundancia y pocas son las dominantes, y otro en el que la riqueza y abundancia se distribuyen en la temporada de lluvia y en un rango intermedio del intervalo altitudinal del área (1400-1599 m).
- Se detectó que la fauna de mariposas del área presenta mayormente afinidad Neotropical.
- Se destaca la necesidad de continuar la exploración de zonas, tiempos y condiciones del área alternativas a las desarrolladas en este trabajo, con especial énfasis en las familias Lycaenidae y Riodinidae para maximizar la eficacia del esfuerzo de recolecta.

REFERENCIAS

- Álvarez-García, H., A. Ibarra-Vázquez y P. Escalante. 2016. Riqueza y distribución altitudinal de las mariposas de la Sierra Mazateca, Oaxaca (Lepidoptera: Papilionoidea). *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.). 32(3): 323-347.
- Arellano-Covarrubias, A., J. Llorente-Bousquets y A. Luis-Martínez. 2018. Distribución y fenología de la familia Riodinidae (Lepidoptera: Papilionoidea) en el bosque tropical subcaducifolio de Oaxaca, México. *Rev. Biol. Trop.* 66 (2): 503-558.
- Ávalos-Hernández, O. 2007. Bombyliidae (Insecta: Diptera) de Quilamula en el área de reserva Sierra de Huautla, Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.). 23 (1): 139-169.
- Baez-Szekepekka, 1996. Mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea) del volcán de Tequila, Jalisco. México. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco.
- Barjau-González, E. 2012. Estructura comunitaria y diversidad taxonómica de los peces en la bahía de La Paz y la isla San José, Golfo de California (Tesis de doctorado). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California Sur. 149 pp.
- Barranco-León, M. V. 2016. Factores que influyen en la diversidad y distribución de lepidópteros en el Parque Estatal Flor del Bosque, Puebla, México. Tesis de doctorado. San Luis Potosí. México.
- Beccaloni, G. W., A. L. Vilorio, S. K. Hall y G. S. Robinson. 2008. Catalogue of the hostplants of the neotropical butterflies. Primera edición. Monografías Tercer Milenio, Vol. 8. Sociedad Entomológica Aragonesa. Zaragoza, España.
- Bezaury, J. 2010. Las selvas secas del Pacífico mexicano en el contexto mundial. 21-31. En: Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury y R. Dirzo (eds.). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- Brown, J. W. 1990. Urban biology of *Leptotes marina* (Reakirt) (Lycaenidae). *Journal of the lepidopterists' Society*. 44(3): 200-201.
- Carrero-S., D. A., L. R. Sánchez-Montaña y D. E. Tobar-L. 2013. Diversidad y distribución de mariposas diurnas en un gradiente altitudinal en la región nororiental andina de Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.* 17(1): 168-188.
- Challenger, A. y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres. 87-108. En: *Capital natural de México*, vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México.

- Chao, A. y C. Chiu. 2016. Species richness: estimation and comparison. WileyStatsRef: Statistics Reference Online. 1-26.
- Chavarría-Olmedo, Y., A. L. Martínez-García, E. Ortíz-Caballero y I. Goyonechea. 2019. Evolución en la selección de áreas protegidas en el continente americano: el caso de Estados Unidos, México y Costa Rica. *Boletín Científico del Instituto de Ciencias Básicas e ingeniería* 13: 47-53.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría del Medio Ambiente, Energías y Desarrollo Sustentable (SEMAEDES). 2018. Estrategia para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad del estado de Oaxaca (ECUSBEO). CONABIO, México.
- CONANP. 2013. Programa de manejo área de protección de flora y fauna boquerón de Tonalá. Secretaría de medio ambiente y recursos Naturales. México D.F. 19-27.
- De la Maza, R. 2010. Lepidópteros diurnos. 179-194. En: Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury y R. Dirzo (eds.). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- Espeland, M., J. Breinholt, K. R. Willmott, A. D. Warren, R. Vila, E. A. Toussaint, S. C. Maunsell, K. Aduse-Poku, G. Talavera, R. Eastwood, M. A. Jarzyna, R. Guralnick, D. j. Lohman, N. E. Pierce y A. Y. Kawahara. 2018. A comprehensive and dated phylogenomic analysis of butterflies. *Current Biology*. 28: 1-9.
- Figuroa-Fernández, A. L., A. Meléndez-Herrada, A. Luis-Martínez e I. Vargas-Fernández. 2014. Diversity of diurnal butterflies (Lepidoptera: Hesperioidea and Papilionoidea) of Laguna Potosí and surrounding area, Guerrero, Mexico. *Southwestern Entomologist*. 39 (1): 57-75.
- García-Barrios, E. 1999. Filogenia y evolución de Lepidoptera. *Bol. S.E.A.* 26: 475-483.
- Gerlach, J., M. Samways y J. Pryke. 2013. Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *J Insect Conserv.* 17: 831-850.
- Glassberg, J. 2007. *A swift guide to the butterflies of America and Central America*. Morristown: Sunstreak Books.
- Hernández-Mejía, C., J. Llorente-Bousquets, I. Vargas-Fernández y A. Luis-Martínez. 2008. Las mariposas (Hesperioidea y Papilionoidea) de Malinalco, Estado de México. *Rev. Mex. Bio.* 79: 117-130.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Rev. Iber. Aracnol.* 8: 151-161.

- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. OIKOS. 113: 2. 263-375.
- Kawahara, A. Y. y J. W. Breinholt. 2014. Phylogenomics provides strong evidence for relationships of butterflies and moths. Proc. R. Soc. B. 281: 8 pp.
- Legal, L., O. Dorado, S. Machkour-M Rabet, R. Leberger, J. Albre, N. A. Mariano y C. Gers. 2014. Ecological constraints and distribution of the primitive and enigmatic endemic mexican butterfly *Baronia brevicornis* (Lepidoptera: Papilionidae). Can. Entomol. 147: 71-88.
- León-Cortés, J. L., A. Luis-Martínez, M. Blas y A. Rodríguez. 2013. Mariposas. 213-218. En: La biodiversidad de Chiapas: Estudio de Estado. CONABIO. Gobierno del Estado de Chiapas, México.
- Llorente-Bousquets, J., A. Luis-Martínez e I. Vargas-Fernández. 2006. Apéndice general de Papilionoidea: lista sistemática, distribución estatal y provincias biogeográficas. 733-797. En: Morrone, J. J. y J. Llorente-Bousquets (Eds.). Componentes bióticos principales de la entomofauna mexicana. México, D. F. Las Prensas de Ciencias, UNAM.
- Llorente-Bousquets, J., I. Vargas-Fernández, A. Luis-Martínez, M. Trujano-Ortega, B. C. Hernández-Mejía y A. D. Warren. 2014. Biodiversidad de Lepidoptera en México. Rev. Mex. Bio. 85: 353-371.
- Llorente-Bousquets, J., M. Trujano-Ortega, A. Luis-Martínez, J. Castro e I. Vargas-Fernández. 2006. Patrones de distribución de la familia Pieridae (Lepidoptera). 715-770. En: Morrone, J. J. y J. Llorente-Bousquets (Eds.). Componentes bióticos principales de la entomofauna mexicana. México, D. F. Las Prensas de Ciencias, UNAM.
- Luis-Martínez, A., B. Hernández-Mejía, M. Trujano-Ortega, A. Warren, J. Salinas-Gutiérrez, O. Ávalos-Hernández, I. Vargas-Fernández y J. Llorente-Bousquets. 2016. Avances faunísticos en los Papilionoidea (Lepidoptera) sensu lato de Oaxaca, México. Southwestern Entomologist. 41 (1): 171-224.
- Luis-Martínez, A., J. Llorente-Bousquets, A. D. Warren e I. Vargas-Fernández. 2004. Los lepidópteros: papilionoideos y hesperioideos. 331-356. En: A. J. García Mendoza, M. J. Ordóñez y M. A. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. México: Instituto de Biología, UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wild Life Found.
- Luis-Martínez, A., M. Trujano-Ortega, J. Llorente-Bousquets e I. Vargas-Fernández. 2006. Patrones de distribución de las subfamilias Danainae, Apaturinae, Biblidinae y Heliconiinae (Lepidoptera: Nymphalidae). 771-866. En: Morrone, J. J. y J. Llorente-Bousquets (Eds.). Componentes bióticos principales de la entomofauna mexicana. México, D. F. Las Prensas de Ciencias, UNAM.

- Luna-Reyes, M., J. Llorente-Bousquets y A. Luis-Martínez. 2008. Papilionoidea de la Sierra de Huautla, Morelos y Puebla, México (Insecta: Lepidoptera). *Rev. Biol. Trop.* 56 (4): 1677-1716.
- Luna-Reyes, M., J. Llorente-Bousquets, A. Luis-Martínez e I. Vargas-Fernández, 2010. Composición faunística y fenología de las mariposas (Rhopalocera: Papilionoidea) de Cañón de Lobos Yautepec, Morelos, México. *Rev. Mex. Bio.* 81: 315-342.
- Meave, J. A., M. A. Romero-Romero, S. H. Salas-Morales, E. A. Pérez-García y J. A. Gallardo-Cruz. 2012. Diversidad, amenazas y oportunidades para la conservación de bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca, México. *Ecosistemas.* 21 (1-2): 85-100.
- Miranda, F. y E. Hernández-X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 28: 291–279.
- Molina-Martínez, A. y J. L. León-Cortés. 2013. Climatic and geometric constraints as driving factors of butterfly species richness along a neotropical elevational gradient. *J. Insect. Conserv.* 17: 1169-1180.
- Monroy-Gamboa, A. G., V. Sánchez-Cordero, M. Briones-Salas, R. Lira-Saade y J. M. Maass-Moreno. 2015. Representatividad de los tipos de vegetación en distintas iniciativas de conservación en Oaxaca, México. *BOSQUE.* 36(2): 199-210.
- Montaño-Arias, G., I. Luna-Vega, J. J. Morrone y D. Espinosa. 2018. Biogeographical identity of the Mesoamerican dominion with emphasis on seasonally dry tropical forests. *Phytotaxa*, 376(6), 277-290.
- Monteagudo-Sabaté, D. y M. A. Luis-Martínez. 2013. Patrones de riqueza altitudinal de Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae (Lepidoptera: Rhopalocera) en áreas montañosas de México. *Rev. Biol. Trop.* 61 (3): 1509-1520.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. MyT–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza. 84 pp.
- Moreno, E. C., J. M. Calderón-Patrón, N. Martín-Regalado, A. P. Martínez-Falcón, I. J. Ortega-Martínez, C. L. Ríos-Díaz y F. Rosas. 2018. Measuring species diversity in the tropics: a review of methodological approaches and framework for future studies. *Biotropica.* 50 (6): 929-941.
- Morrone, J. J. 2014. Biogeographical regionalization of the Neotropical region. *Zootaxa*, 3782, 1-100.
- Morrone, J. J. 2015. Halffter's Mexican transition zone (1962-2014), cenocrons and evolutionary biogeography. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* 53: 249-257.

- Oñate-Ocaña, L., M. Trujano-Ortega, J. Llorente-Bousquets, A. Luis-Martínez e I. Vargas-Fernández. 2006. Patrones de distribución de la familia Papilionidae (Lepidoptera). 661-714. En: Morrone, J. J. y J. Llorente-Bousquets (Eds.). Componentes bióticos principales de la entomofauna mexicana. México, D. F. Las Prensas de Ciencias, UNAM.
- Ortiz-Pérez, M. A., J. R. Hernández-Santana y J. M. Figueroa Mah-Eng. 2004. Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. 43-54. En: A. J. García Mendoza, M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-WorldWildlifeFund. México.
- Pérez-Hernández, C. X. y S. Zaragoza-Caballero. 2016. Temporal variation in the diversity of Cantharidae (Coleoptera), in seven assemblages in tropical dry forest in Mexico. *Tropical Conservation Science*. 9 (1): 439-464.
- Pozo, C., A. Luis-Martínez, J. Llorente-Bousquets, N. Salas-Suárez, A. Maya-Martínez, I. Vargas-Fernández y A. D. Warren. 2008. Seasonality and phenology of the butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) of Mexico's Calakmul region. *Florida Entomologist*, 91 (3): 407-422.
- Pozo, C., A. Luis-Martínez, N. Salas-Suárez, M. Trujano-Ortega y J. Llorente-Bousquets. 2014. Mariposas diurnas: bioindicadoras de eventos actuales e históricos. 327-348. En: González-Zuarth, C. A., Vallarino, A., Pérez-Jiménez, J. C. y Low-Pfeng, A. M. (eds.) Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental. ECOSUR. INECC.
- Puttick, A., J. León-Cortés y J. Legal. 2018. *Baronia brevicornis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018. e.T2594A119581233. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T2594A119581233.en>
- Rubinoff, D., J. Matsunaga, F. Starr, K. Starr y W. Haines. 2015. The sleepy orange transits the Pacific: a new butterfly species for Hawaii. *News of The Lepidopterists'society*. 57(2): 72-73.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento de Uso de la Biodiversidad, México. 504 pp.
- Sánchez-Bayo, F. y K. A. G. Wyckhuys. 2019. Worldwide decline of entomofauna: a review of its drivers. *Biological Conservation* 232: 8-27.
- Silva-Aparicio, M. A. E. Castro-Ramírez, G. Castillo-Campos y H. Perales-Rivera. 2018. Estructura de la vegetación leñosa en tres áreas con selva baja caducifolia en el istmo-costa de Oaxaca, México. *Rev. Biol. Trop.* 66(2): 863-879.
- Soberón, J. y J. Llorente. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conserv. Biol.* 7: 480-488.

- Trejo, I. y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94: 133-142.
- Trujano-Ortega, M., U. O. García-Vázquez, O. Ávalos-Hernández y A. Nieto-Montes de Oca. 2019. Diversidad de grupos selectos de flora (Magnoliopsida: Malvales, Sapindales, Fabales, Laurales, Solanales y Caryophyllales) y fauna (Lepidoptera, Diptera, Odonata, Amphibia, Reptilia, Aves y Mammalia) del APFF Boquerón de Tonalá, Oaxaca, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. PJ016. Ciudad de México.
- Vargas-Fernández, I., A.D. Warren, A. Luis-Martínez y J.E. Llorente-Bousquets. 2016. Mariposas diurnas (Rhopalocera). 366-375. En: *La Biodiversidad en Colima. Estudio de Estado*. CONABIO. México.
- Vargas-Fernández, I., J. Llorente-Bousquets y A. Luis-Martínez. 1999. Distribución de los Papilionoidea de la Sierra de Manantlán (250-1650 m) en los estados de Jalisco y Colima. *Publ. Espec. Mus. Zool.* 11: 1-153.
- Vargas-Fernández, I., M. Trujano-Ortega, J. Llorente-Bousquets y A. Luis-Martínez. 2006. Patrones de distribución de las subfamilias Ithomiinae, Morphinae y Charaxinae (Lepidoptera: Nymphalidae). 867-944. En: Morrone, J. J. y J. Llorente-Bousquets (Eds.). *Componentes bióticos principales de la entomofauna mexicana*. México, D. F. Las Prensas de Ciencias, UNAM.
- Warren, A. D., K. J. Davis, E. M. Stangeland, J. P. Pelham y N. V. Grishin. 2013. Illustrated Lists of American Butterflies. <http://www.butterfliesofamerica.com>.