

Artículo original

Mariposas bioindicadoras ecológicas en México. Artículo de revisión

Ecological bioindicator butterflies in Mexico. Review article

 ^{1*}CAROLINA ORTA S.,  ²JUAN ANTONIO REYES-AGÜERO,
 ³MOISÉS ARMANDO LUIS-MARTÍNEZ,  ²CARLOS ALFONSO MUÑOZ-ROBLES,  ⁴HERIBERTO MÉNDEZ C.

¹Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Av. Manuel Nava 201, 2º Piso, Zona universitaria, C.P. 78000, San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

²Instituto de Investigación en Zonas Desérticas, UASLP. Altair núm. 200, Col. Del Llano, C.P. 78377, San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

³Facultad de Ciencias, UNAM. Av. Universidad 3000, Circuito Exterior s/n Alcaldía Coyoacán, C.P.04510 Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

⁴Facultad de Agronomía y Veterinaria, UASLP. Km.14.5 carretera San Luis Potosí-Matehuala, Ejido Palma de la Cruz, Apdo. Postal 32, C.P. 78321, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.



OPEN ACCESS

***Autor corresponsal:**



Carolina Orta S.
caroorta@gmail.com

Cita:

Orta, S. C., Reyes-Agüero, J. A., Luis-Martínez, M. A., Muñoz-Robles, C. A., Méndez, C. H. (2022)

Las mariposas bioindicadoras ecológicas de México. Artículo de revisión. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 38, 1–33.

10.21829/azm.2022.3812488
elocation-id: e3812488

Recibido: 18 febrero 2022

Aceptado: 14 junio 2022

Publicado: 30 junio 2022

Editor responsable: Magdalena Cruz Rosales

RESUMEN. En México se han descrito cerca de 1,900 especies de la superfamilia Papilionoidea (*sensu lato*), que incluye a todos los lepidópteros diurnos en el país (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014). Las mariposas diurnas se reconocen como un taxón ampliamente estudiado y se pueden utilizar como bioindicadoras ecológicas. Este artículo de revisión compila la información al respecto en México, identificando 58 artículos y documentos de investigación que mencionan especies indicadoras, aunque solo en 16 de ellos utilizan métodos estadísticos, en su mayoría multivariados para identificarlas como bioindicadoras ecológicas. La información de 179 especies bioindicadoras fue compilada en dos anexos, destacando las principales características que facilitan su búsqueda en campo, como tipo de vegetación, hábitos alimentarios, fenología y grado de especialización. De las 179 especies, 55 se caracterizaron para áreas conservadas, 99 en áreas con disturbio y 25 en ambas condiciones. Se anexa una



CC BY-NC-SA

Atribución-NoComercial-CompartirIgual

Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)

e-ISSN 2448-8445

lista de plantas huésped en el país para 116 especies de mariposas diurnas de las 179 identificadas, con la finalidad de facilitar su asociación con la comunidad vegetal y sus interacciones. Por último, se emiten recomendaciones para el diseño de un muestreo que permita utilizar a estas especies bioindicadoras como objeto de estudio en proyectos de monitoreo ambiental a mediano plazo.

Palabras clave: Papilionoidea; lepidópteros; plantas huésped; especies indicadoras

ABSTRACT. About 1,900 species of the superfamily Papilionoidea have been described in Mexico (*sensu lato*), which includes all diurnal lepidoptera in the country (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014). Diurnal butterflies are recognized as a widely studied taxon and can be used as ecological bioindicators. This review article compiles information on this subject in Mexico, identifying 58 articles and research papers that mention indicator species, although only 16 of them use statistical methods, mostly multivariate, to identify them as ecological bioindicators. Information on 179 bioindicator butterfly's species was compiled in annexes, highlighting the main characteristics that facilitate their research in the field, such as vegetation type, feeding habits, phenology, and specialization degree. Of the 179 bioindicator species, 55 were recorded in conserved areas, 99 in disturbed areas and 25 in both conditions, although from different studies and in different habitats. In addition, a list of host plants in the country is annexed for 116 species of the 179 identified to facilitate their association with the respective plant community and their interactions. Finally, recommendations are made for a sampling design that would allow the use of these bioindicator species as an object of study in medium-term environmental monitoring projects.

Key words: Papilionoidea; lepidoptera; host plants; indicator species

INTRODUCCIÓN

El orden Lepidoptera habita la Tierra desde hace más de 110 millones de años (Heikkila *et al.*, 2012; Kawahara *et al.*, 2019) y se han descrito 157,424 especies distribuidas en 45 superfamilias (van Niekerken *et al.*, 2011). Su sobrevivencia se debe a una serie de adaptaciones miméticas, sistemas de defensa químicos y físicos, y patrones conductuales, entre otros (Badger & Kenney, 2006). Las mariposas diurnas se agrupan en la superfamilia Papilionoidea, con 18,768 especies en el mundo (van Niekerken *et al.*, 2011; Llorente-Bousquets *et al.*, 2014), y más de 1,900 en México (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014), lo que representa un poco más del 10 % de la diversidad mundial.

Actualmente, el uso de especies bioindicadoras se perfila como un método prometedor que puede permitir la detección temprana de disturbios ambientales que pongan en peligro a la biodiversidad de los ecosistemas (Heink & Kowarik, 2010; González & Vallarino, 2014). Hay estudios que utilizan a las mariposas diurnas como bioindicadoras (Erhardt, 1985; Andrade, 1998; Brown & Freitas, 2000; Cleary, 2009; Abrol, 2012), y estudios que los cuestionan (Gerlach *et al.*, 2013; Whitworth *et al.*, 2018; Forsberg *et al.*, 2020) en parte porque las mariposas no reaccionan de manera homogénea a los cambios estacionales (DeVries & Walla, 2001; Legal *et al.*, 2020), o físicos del ambiente, dependiendo si el efecto de borde es un ecotono natural o consecuencia de alteraciones antropogénicas (Lourenço *et al.*, 2019).

Las especies bioindicadoras son aquellas que pueden usarse como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas para medir directamente (González & Vallarino, 2014). Para McGeoch (2007), la esencia de la bioindicación es la predictibilidad de la relación entre una especie bioindicadora y el parámetro ambiental de interés. Heink y Kowarik (2010) sugieren que ante la ambigüedad del término "bioindicador" es preciso especificarlo en los estudios respectivos y propone la utilización de la clasificación de McGeoch (2007), la cual ocupa tres categorías de bioindicadores: ambientales, ecológicos y de biodiversidad (McGeoch, 2007; Holt & Miller, 2011). Cada una de estas categorías tiene su objetivo de indicación y varían en la precisión con la que pueden ser cuantificadas, así como su grado de predictibilidad.

Las especies bioindicadoras ambientales reaccionan de manera predecible a cambios en los parámetros ambientales físicos y químicos (Holt & Miller, 2011), y se utilizan una vez ya probados los efectos (McGeoch, 2007; Pozo *et al.*, 2014), por lo que normalmente se relacionan con alguna sustancia contaminante (Corke, 1999; Siddig *et al.*, 2016, Shephard *et al.*, 2020, Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2021). El uso de insecticidas (Braak *et al.*, 2018; Peterson *et al.*, 2019) y otras técnicas, *v. gr.* control biológico contra comunidades de mariposas (Urretabizcaya *et al.*, 2010; Malpartida-Zeballos *et al.*, 2013; Ibarra & Rincón-Castro, 2015), las afectan de manera importante, teniendo como consecuencia la reducción de su riqueza y abundancia; además, el uso de herbicidas (Pekin, 2013) afecta indirectamente a las mariposas, al dañar a sus especies vegetales hospederas, consideradas arvenses o malezas.

Los bioindicadores de diversidad son especies o un grupo funcional cuya variación refleja la diversidad (riqueza) de otros taxones en determinado hábitat o conjunto de hábitats (McGeoch, 2007; Pozo *et al.*, 2014). A esta clasificación pertenecen las especies que tienen relaciones muy estrechas con otras, ya sean vegetales o animales; por ejemplo, la existente entre algunas mariposas riódinidas y licénidas que están asociadas con hormigas para su desarrollo larval (Flores-Contreras & Luna-Reyes, 2017; Arellano-Covarrubias *et al.*, 2018). En México, dos estudios señalan especies bioindicadoras de diversidad, uno que determina especies indicadoras del tipo de vegetación selva alta subperennifolia húmeda en la península de Yucatán (Maya-Martínez *et al.*, 2005), y otro que identifica 218 especies indicadoras de selvas altas perennifolias y subperennifolias en la provincia biogeográfica del Golfo de México (Flores-Contreras & Luna-Reyes, 2017).

Las bioindicadoras ecológicas son especies o poblaciones cuya presencia o ausencia refleja los efectos de una alteración del hábitat y sus correspondientes estados sucesionales, problemas derivados de su fragmentación, afectaciones por el cambio climático, o cambios de la biota asociada a una comunidad o a un ecosistema. Su presencia se relaciona con aspectos de grados de conservación biológica (McGeoch, 2007). En este sentido, varias investigaciones relacionan la estructura y composición de las mariposas con la diversidad existente en el resto de la comunidad y el estado de conservación del ecosistema (Andrade, 1998; Brown & Freitas, 2000; Fraija & Fajardo, 2006; Molina-Martínez & León-Cortés, 2006; Sant'Anna *et al.*, 2014; Meléndez-Jaramillo, 2017).

A nivel nacional, existen estudios de lepidópteros como indicadores ecológicos por su sensibilidad a los disturbios y a los cambios en su ecosistema (Pozo & Galindo-Leal, 2006; Maya-Martínez *et al.*, 2009; Balam-Ballote & León-Cortés, 2010; González-Valdivia *et al.*, 2016; Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2018). Otros estudios (v. gr. De la Maza & White, 1990; De la Maza & Soberón, 1998; González-Valdivia *et al.*, 2016) proponen a las especies frugívoras de la familia Nymphalidae como bioindicadoras de calidad del hábitat e incorporan la variable de la coloración de las mariposas como una característica que se asocia con las alteraciones del paisaje.

Diversos autores (Brown, 1991; Andrade, 1998; Holt & Miller, 2011; Sánchez, 2012; Pozo *et al.*, 2014) han descrito las características que deben cumplir las especies bioindicadoras de acuerdo con el ámbito y la finalidad con que se pretendan utilizar. Así, las especies bioindicadoras más adecuadas para cualquier categoría son las que cumplen con la mayoría de los siguientes criterios: a) individuos fácilmente observables y reconocibles, manipulables en campo y en laboratorio; b) biología e historia natural conocida; c) taxonomía estable y bien conocida; d) distribución geográfica amplia; e) ecológicamente bien diversificados; f) patrón de riqueza fuertemente correlacionado con otros taxones, animales o vegetales; g) sensibilidad alta y fidelidad ecológica; h) abundantes, no furtivas, fáciles de encontrar en campo; i) con ciclos de vida cortos, entre otros.

Algunas especies como *Danaus plexippus plexippus* (Linnaeus, 1758), pueden cumplir con todos estos criterios; sin embargo, la alteración natural como artificial del hábitat provoca diferentes respuestas en dependencia de las características particulares de cada especie, desde su tamaño, capacidad de dispersión, historia de vida, fenología, el tamaño de la población, ciclos de vida, hábitos alimentarios, entre otras (Andrade, 1998; Orozco, 2006; Pozo & Galindo-Leal, 2006; Bouyer *et al.*, 2007; McGeoch, 2007; Balam-Ballote & León-Cortés, 2010).

El objetivo de este artículo es establecer el estado del arte sobre las mariposas como bioindicadoras ecológicas en México y responder las siguientes preguntas: ¿Cuántas publicaciones abordan el tema de mariposas como bioindicadoras ecológicas en México? ¿Cuáles son las especies identificadas como bioindicadoras ecológicas y en respuesta a qué estado de conservación? ¿Qué métodos estadísticos fueron utilizados para establecer la relación entre la especie bioindicadora y el estado de conservación de un área? ¿Cuáles son los aportes bibliográficos que permiten identificar en campo a las especies bioindicadoras de México? y ¿Cómo contribuiría esta información para el diseño de un monitoreo ambiental eficiente? Para lograrlo se revisó la bibliografía disponible y se subdividió en temas de interés. Finalmente se destacan los vacíos de información y se sugieren recomendaciones para estudios posteriores y el uso prudente del concepto de bioindicador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda de información enfocada principalmente a las especies de mariposas como bioindicadoras en México, Latinoamérica y en el mundo. Se comenzó con el análisis y revisión de artículos referentes a especies bioindicadoras en México, para ello fueron muy útiles las revisiones bibliográficas de tres documentos compilatorios para este país (Gutiérrez, 2002; Warren, 2005; Vargas-Fernández *et al.*, 2016) y para la zona neotropical (Lamas, 2008; 2021). Para

obtener la mayor cantidad de publicaciones, se exploraron diversas bases de datos académicas como Google Scholar (www.scholar.google.com), Academia (www.academia.edu), SciELO (www.scielo.org), Redalyc (www.redalyc.org), ScienceDirect (www.sciencedirect.com), TesiUNAM (www.tesis.unam.mx), utilizando las palabras clave en combinación "bioindicadoras", "bioindicators", "Lepidoptera", "Papilionoidea", "mariposas", "butterflies", "Mexico", "México". La búsqueda no tuvo un límite temporal y se consideraron las publicaciones en español, inglés y portugués. De igual forma, se revisaron las citas bibliográficas relevantes de los artículos obtenidos y así se identificaron y localizaron artículos que no fueron registrados por ningún motor de búsqueda.

La base de datos se clasificó con el gestor de referencias Mendeley; primero se identificaron los estudios nacionales; posteriormente los documentos se clasificaron por temas: 1) catálogo de especies, cuando el objetivo principal del estudio era realizar un registro de las especies de mariposas en determinada área; 2) ecología de mariposas, estudios que abarcaron patrones de distribución y su relación con otras especies o variables ambientales, de ellos se seleccionaron todos los que mencionaron especies indicadoras y; 3) mariposas como bioindicadoras, estudios cuyo objetivo era fundamentar y documentar las correlaciones entre mariposas y sus variables ambientales, empleando métodos estadísticos y proponiendo especies indicadoras.

Para la compilación de especies bioindicadoras, se corroboró la nomenclatura taxonómica y se actualizó acorde a las listas taxonómicas de referencia publicadas por Vargas *et al.* (2016) para Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae, exceptuando la subfamilia Satyrinae; Llorente *et al.* (2006) para Lycaenidae y Riodinidae, y Warren *et al.* (2016) para Hesperiidae. Para el cotejo de los nombres de las especies vegetales y su pertenencia a familias botánicas se utilizó la página World Flora Online (WFO, 2022).

RESULTADOS

Se revisaron 219 documentos, 58 estudios mencionan mariposas indicadoras de hábitat y de alteraciones del ambiente en México; de ellos 37 son empíricos, ya que infieren la indicación con base en los resultados de la presencia o ausencia de las especies encontradas, sin un análisis estadístico que relacione las características ambientales con las especies identificadas como indicadoras. Los otros 21 estudios sustentan sus propuestas con base en análisis estadísticos, en su mayoría multivariados. De estos últimos, solo uno se desarrolló con enfoque de indicadoras ambientales relacionando mariposas con el gradiente de contaminación en áreas urbanas y suburbanas (Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2021), cuatro son estudios con enfoque de indicadoras de diversidad; los dos primeros identifican especies exclusivas de selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias del Golfo de México y la península de Yucatán (Maya-Martínez *et al.*, 2005; Flores-Contreras & Luna-Reyes, 2017); el tercero relaciona especies indicadoras y su fenología con cambios climáticos (Pozo *et al.*, 2008), y el cuarto identifica especies indicadoras de cambios en los gradientes altitudinales desde el matorral submontano y bosque de encino hasta el bosque mesófilo de montaña (Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2019). Los 16 estudios restantes tienen enfoque de bioindicadoras ecológicas, realizados en su mayoría en el sur de México donde destacan los

estados de Campeche y Chiapas. En contraste, 31 % de los estados carece de estudios sobre el tema (Fig. 1).

En el Anexo 1 se presenta la lista con 179 especies de mariposas bioindicadoras en México, en 16 estudios identifican especies indicadoras de hábitats con disturbio y conservados con base en análisis estadísticos, realizados en los estados de Campeche (Pozo & Galindo-Leal, 2006; Vester *et al.*, 2007; Pozo *et al.*, 2014; Cavanzón-Medrano *et al.*, 2018), Chiapas (Molina-Martínez & León-Cortés, 2006; Balam-Ballote & León-Cortés, 2010; León-Cortés *et al.*, 2019), Morelos (Legal *et al.*, 2020), Nuevo León (Friesen, 2019), Quintana Roo, Yucatán (Maya-Martínez *et al.*, 2009), San Luis Potosí (Rodríguez, 2021), Tabasco (González-Valdivia *et al.*, 2011b; González-Valdivia *et al.*, 2016), Tamaulipas (Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2017; Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2018) y Veracruz (Raguso & Llorente-Bousquets, 1990). El 65 % de las especies registran alguna información sobre su planta huésped, fitofagia, voltinismo, grado de especialización, tipo de hábitat y ubicación geográfica estatal. El 31 % son especies consideradas únicamente como bioindicadoras de áreas conservadas, 55 % son bioindicadoras de áreas con disturbio y 14 % fueron identificadas en ambas categorías, aunque en diferentes estudios y hábitats (Cuadro 1).

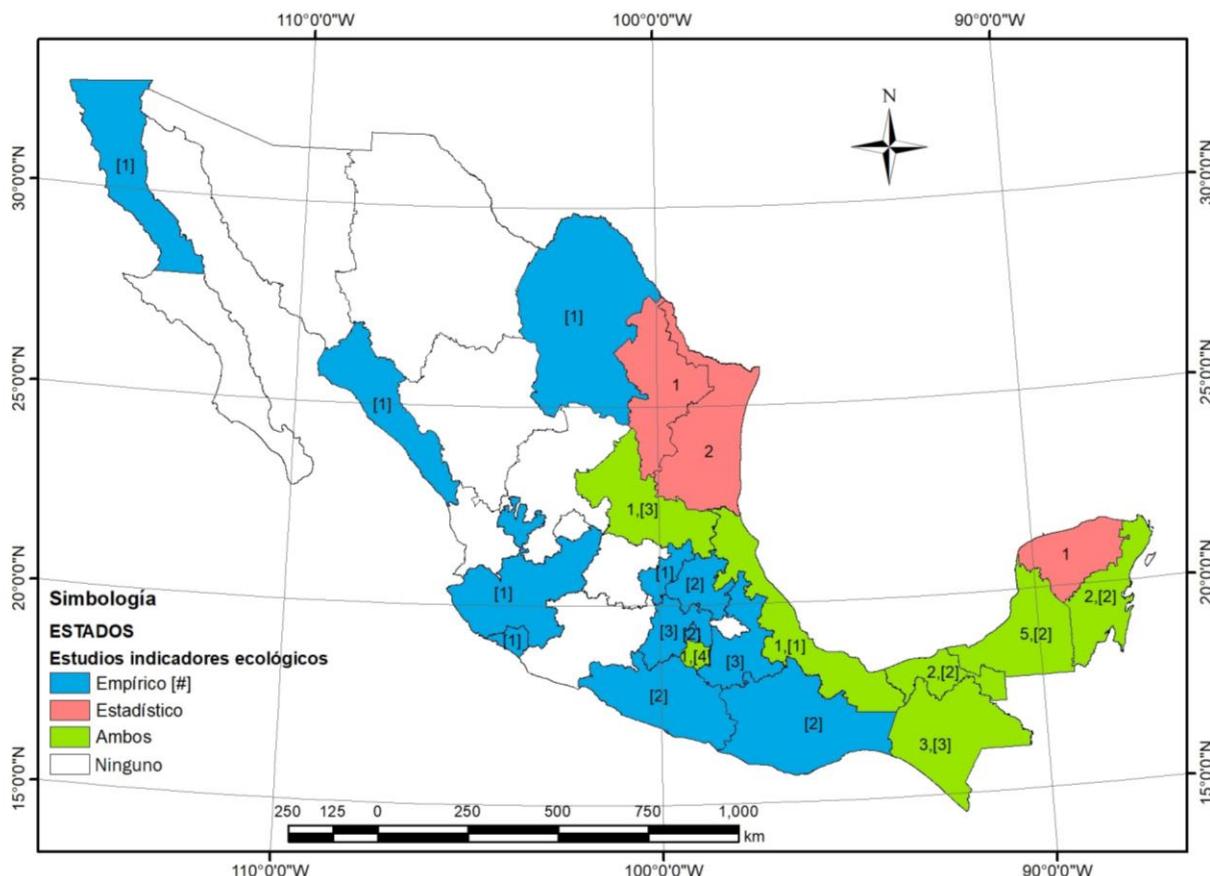


Figura 1. Número de estudios con mariposas indicadoras realizados en la república mexicana.

Algunas especies de Nymphalidae, Papilionidae y Pieridae fueron mencionadas como bioindicadoras ecológicas en más de un estudio; las más frecuentes se muestran en la figura 2. En el caso de las especies de las familias Hesperiidae, Lycaenidae y Riodinidae, se propusieron una sola vez, a excepción del licénido *Eumaeus toxea* (Godart, [1824]), registrado como indicador de disturbio en dos estudios (Anexo 1).

Cuadro 1. Número de especies bioindicadoras ecológicas de la superfamilia Papilioidea en México. *En diferentes estudios y/o hábitats.

Familia	Bioindicadoras de conservación	Bioindicadoras de áreas con disturbio	De ambas condiciones*	Total
Nymphalidae	26	59	20	105
Pieridae	8	19	4	31
Hesperiidae	10	6	1	17
Papilionidae	7	7		14
Lycaenidae	3	6		9
Riodinidae	1	2		3
Total	55	99	25	179

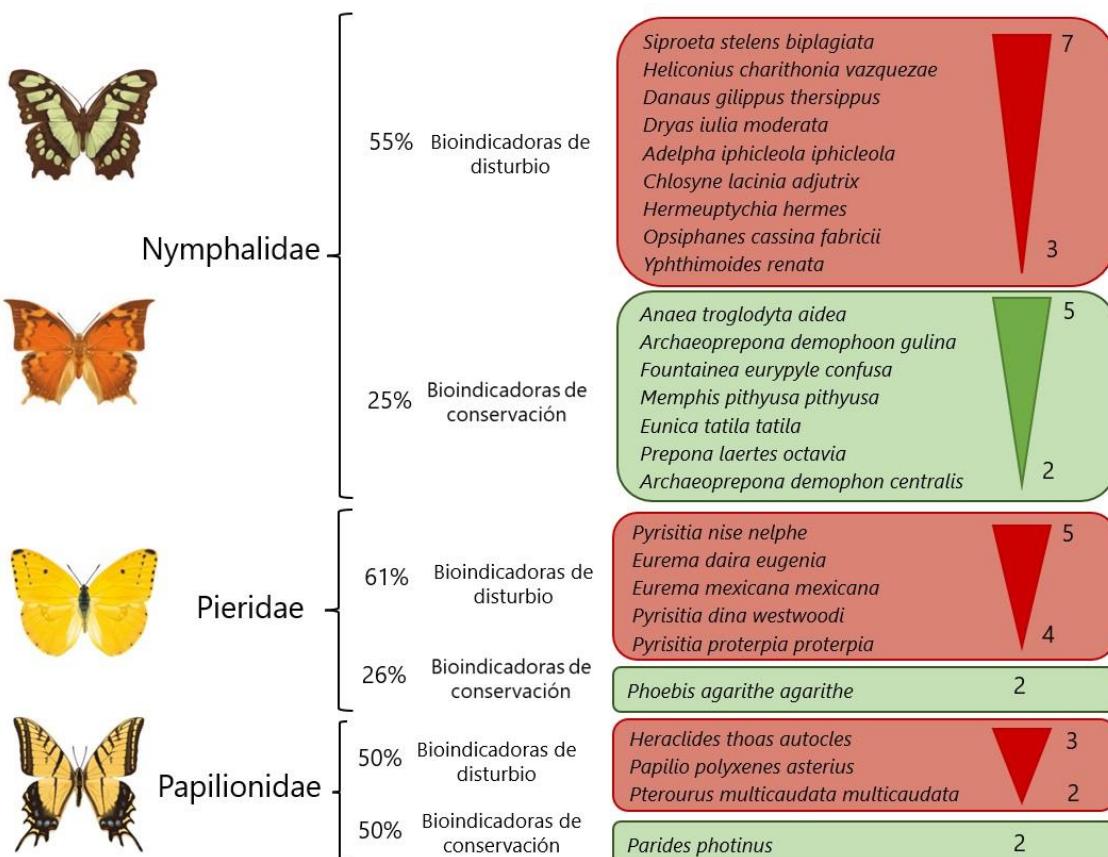


Figura 2. Especies de mariposas mencionadas con mayor frecuencia en la literatura y porcentajes por familia de mariposas bioindicadoras (área roja= de disturbio; área verde= de conservación).

El 19 % de la familia Nymphalidae, el 13 % de Pieridae y el 6 % de Hesperiidae fueron especies identificadas como indicadoras de ambas categorías ambientales (Cuadro 1). En algunos casos podrían haber respondido a preferencias de condiciones de hábitat abierto y no como respuesta al disturbio, por ejemplo *Nathalis iole* Boisduval, 1836, *Danaus plexippus plexippus* (Linnaeus, 1758), *Phoebis philea philea* (Linnaeus, 1763) y *Phoebis sennae marcellina* (Cramer, 1777), consideradas bioindicadoras de conservación en un área abierta, un humedal en una reserva ecológica en Chiapas (León-Cortés *et al.*, 2019); pero bioindicadoras de disturbio en áreas de selvas bajas (Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2017, Legal *et al.*, 2020). Otro caso es *Morpho helenor montezuma* Guenée, 1859 que se consideró indicadora de disturbio en el bosque mesófilo de montaña (Balam-Ballote & León-Cortés, 2010) pero indicadora de conservación en la selva baja subcaducifolia (Pozo & Galindo-Leal, 2006).

Identificar una especie en ambas condiciones sugiere que, aunque puede ser bioindicadora de buen estado de conservación para un hábitat en particular, no la excluye de encontrarse en otro tipo de hábitat con disturbio, siempre que comparta algunas variables ambientales parecidas a las del hábitat conservado o viceversa, como pueden ser condiciones climáticas similares (temperatura y humedad), presencia de plantas huésped, y cercanía a las islas o remanentes de hábitat conservado o de disturbio. Por lo tanto, para seleccionar mariposas bioindicadoras, lo primero es reconocer en cuál hábitat o tipos de vegetación fueron identificadas como tales (Fig. 3) y a partir de ahí, considerar aquellas encontradas en áreas similares a las de interés.

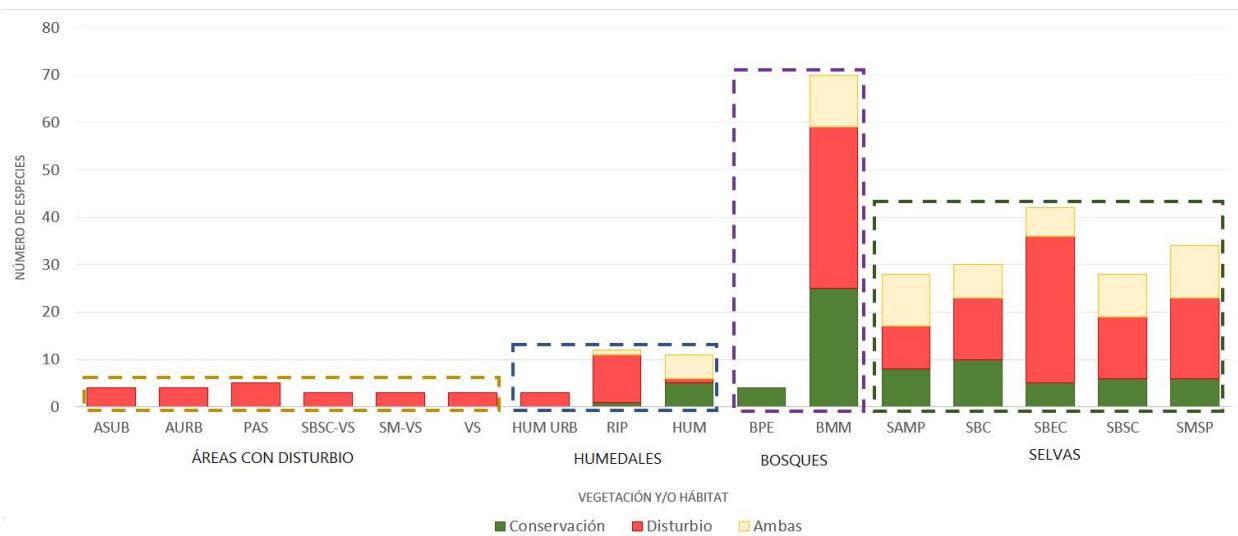


Figura 3. Riqueza de especies bioindicadoras ecológicas registradas por tipo de hábitat en México. ASUB= Área suburbana, AURB= Área urbana, BMM= Bosque mesófilo de montaña, BPE= Bosque de pino encino, HUM= Humedal, HUM URB= Humedal urbano, PAS= Pastizal, RIP= Vegetación riparia, SAMP= Selvas altas y medianas perennifolias, SBC= Selva baja caducifolia, SBEC= Selva baja espinosa caducifolia, SBSC= Selva baja subcaducifolia, SBSC-VS= Selva baja subcaducifolia vegetación secundaria, SMSP= Selva mediana subperennifolia, SM-VS= Selva mediana vegetación secundaria, VS= Vegetación sabanoide.

Las mariposas bioindicadoras de disturbio son las que predominan en casi todos los tipos de vegetación y hábitats; áreas urbanas, pastizales, vegetación sabanoide y secundaria solo registran de disturbio (Fig. 3). Para el bosque de pino-encino (Rzedowski, 2006) sólo hay registro de cuatro especies indicadoras de áreas conservadas, *Pterourus pilumnus* (Boisduval, 1836), *Electrostrymon guzanta* (Schaus, 1902), *Anaea troglodyta aidea* (Guérin-Méneville, [1844]) y *Phyciodes graphica graphica* (R. Felder, 1869). Para humedales, bosque mesófilo (Rzedowski, 2006) y el resto de los tipos de selvas (Miranda & Hernández, 1963) se registraron mariposas indicadoras de conservación, de disturbio o en ambas categorías (Anexo 1).

Tanto el tipo de vegetación como los hábitats en los que ocurren son el componente principal e indicador de las especies bioindicadoras que se pueden encontrar en un ecosistema; sin embargo, existen factores ecológicos, climáticos y temporales ajenos a las especies (como fenómenos meteorológicos, la estación seca o de lluvias) que determinan su presencia. Otras características fundamentales propias de cada especie son el voltinismo, grado de especialización y presencia de plantas huésped.

En las especies bioindicadoras, el voltinismo es una característica relevante ya que asegura que su presencia o ausencia se deba a los parámetros ecológicos con las que se están relacionando y no a una diapausa obligatoria consecuente a su voltinismo. Sin embargo, de las 179 especies bioindicadoras (Anexo 1), solo 26 presentan información de voltinismo, 20 especies se registran multivoltinas, es decir, que es frecuente encontrarlas en cualquier época del año, y seis univoltinas *v. gr. Baronia brevicornis brevicornis* Salvin, 1893, *Danaus gilippus thersippus* (H. W. Bates, 1863), *Dryas iulia moderata* (Riley, 1926), *Marpesia chiron marius* (Cramer, 1779), *Siproeta stelens biplagiata* (Fruhstorfer, 1907) y *Parides photinus* (Doubleday, 1844), que solo se encuentran en una estación o periodo. De las 153 especies restantes no se encontró registro de esta característica.

El grado de especialización se reportó en el 39 % de las especies encontradas como bioindicadoras. De las 179 especies que se reportan, 38 son generalistas (nueve en ambientes conservados, 24 de disturbio, cinco en ambas), 28 especialistas (siete en ambientes conservados, 18 de disturbio y tres en ambos), cuatro se clasificaron como generalistas y en otros estudios como especialistas (dos en ambientes conservados: *Astraptes fulgerator azul* (Reakirt, [1867]) y *Anaea troglodyta aidea*, y dos de disturbio: *Euptoieta claudia daunius* (Herbst, 1798) y *Agraulis vanillae incarnata* [Riley, 1926]), y en 109 especies no se encontró registro de esta característica (Anexo 1).

Otra característica relevante es el conocimiento de las plantas huéspedes que permite asociar la presencia-ausencia de determinadas especies bioindicadoras a un tipo de hábitat o vegetación. Con base en el Anexo 1, se elaboró un catálogo con las plantas huésped registradas para México, encontrando información solo para 116 especies (Anexo 2). Considerando que las orugas pueden ser polífagas (cuando se alimentan de varias especies de plantas de diferentes familias botánicas), oligófagas (se alimentan de un grupo restringido de especies, usualmente de la misma familia botánica) o monófagas (que dependen de un solo género) (Hernández, 2010; Mulanovich, 2007), se clasificó a 25 especies como monófagas, 48 oligófagas y 43 polífagas (Fig. 4).

Por último, una característica que se es de gran utilidad conocer en las especies bioindicadoras es su tipo de alimentación en estadio imago, ya que permite determinar la técnica de recolecta y muestreo. De las 179 especies citadas en el Anexo 1, 77 son nectarívoras, 51 acimófagas y 16 fueron reportadas para ambos hábitos (Fig. 4). Las técnicas de recolecta están directamente vinculadas con los hábitos alimentarios y con el gradiente altitudinal del sitio de muestreo. De esta forma, si el estudio se realiza en una elevación menor a 1,500 m en ambientes tropicales, lo ideal es la combinación de la red entomológica para especies nectarívoras y las trampas Van Someren-Rydon para especies acimófagas. Además de la red entomológica, es necesario desarrollar métodos que permitan el muestreo en el dosel, ya que existen predominancias para este estrato en este tipo de hábitats, especialmente mariposas riódinidas. Al incrementar la elevación, prevalecen los subtipos templados en los sitios de muestreo; en ellos, el uso de las trampas pierde relevancia (Vargas-Fernández *et al.*, 1992; 1999; DeVries & Walla, 2001; Pozo *et al.*, 2005; Arellano-Covarrubias *et al.*, 2018). En la figura 5, se presenta una propuesta para el muestreo de la fauna, poniendo más énfasis en el registro y estudio de las especies bioindicadoras y las técnicas adecuadas en las diferentes condiciones ambientales y sus pisos altitudinales.

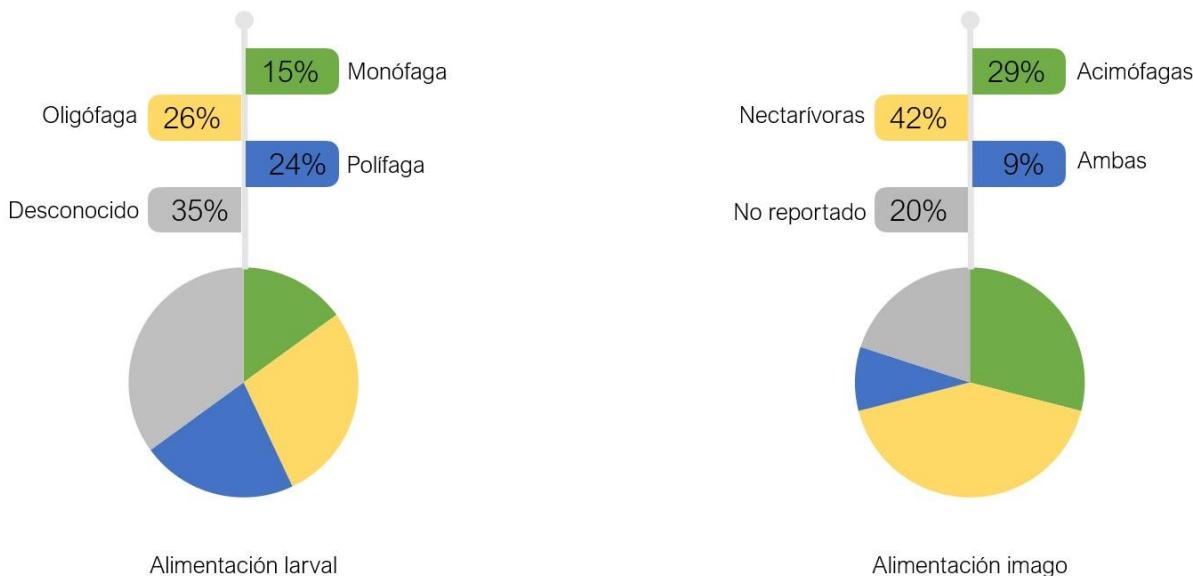


Figura 4. Porcentajes del registro del tipo de alimentación reportada para mariposas en sus estadios larval e imago.

Uso de métodos estadísticos para designar especies bioindicadoras

Se identificaron 16 estudios sobre especies bioindicadoras con base en análisis estadísticos. Los métodos estadísticos no multivariados utilizados fueron la ecuación de modelos enzimáticos de Michaelis-Menten (Raguso & Llorente-Bousquets, 1990), análisis de regresiones lineales simples (Molina-Martínez & León-Cortés, 2006) y pruebas de chi-cuadrada χ^2 (Balam-Ballote & León-Cortés, 2010). El 81 % restante utilizó métodos multivariados de ordenación y clasificación para analizar la relación entre los parámetros ecológicos de sitios conservados o con disturbio contra

los datos de presencia-ausencia de las especies; se han usado principalmente de ordenación. El análisis canónico de correspondencia (ACC) fue el más utilizado (siete estudios), le sigue el índice de valor de indicador (IndVal) (cuatro estudios) y el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) (tres estudios). Solo dos utilizaron análisis de clasificación, como el método de grupos de pares no ponderados con media aritmética (UPGMA), en combinación con otros tipos de análisis de clasificación, como el NMDS o el ACC (Cuadro 2).

Se debe mencionar que el término "especies indicadoras" ha sido utilizado desde antes del auge de los análisis multivariados, aunque de manera empírica, señalando especies exclusivas a un tipo de vegetación o condición del hábitat. Este conocimiento es un importante antecedente en este campo de investigación. Los 37 estudios empíricos con base en observaciones de presencia/ausencia, sin relacionarlas con parámetros ambientales a través de un análisis estadístico se realizaron en los estados de: Baja California (Brown *et al.*, 1992), Campeche (Pozo & Galindo-Leal 2000; Pozo *et al.*, 2003), Chiapas (Marín *et al.*, 2009; De la Maza, 2010; De la Maza & De la Maza, 2015), Ciudad de México (Luis-Martínez & Llorente-Bousquets, 1990; Guzmán, 2014), Coahuila (Hernández-Jerónimo *et al.*, 2019), Estado de México (Hernández-Mejía *et al.*, 2008; Hernández-Mejía, 2009; Sánchez-Jasso *et al.*, 2019), Guerrero (Vargas-Fernández *et al.*, 1992; Sánchez, 2012; Figueroa-Fernández *et al.*, 2014), Hidalgo (Pérez, 2017; Martínez-Sánchez *et al.*, 2020), Jalisco (Vargas-Fernández *et al.*, 1999), Morelos (De la Maza, 1975; Luna-Reyes *et al.*, 2010, 2012; Legal *et al.*, 2017; De la Maza & De la Maza, 2021b), Oaxaca (Arellano-Covarrubias *et al.*, 2018; Luis-Martínez *et al.*, 2020), Puebla (Barranco, 2016; De la Maza, 2021), Querétaro (Ramírez-Segura & Wallace-Jones, 2017), Quintana Roo (De la Maza & Soberón, 1998; León-Cortés *et al.*, 2003), San Luis Potosí (De la Maza, 1988; De la Maza & White, 1990; Hernández, 2019), Sinaloa (Cárdenas-Lugo *et al.*, 2015), Tabasco (Dénommée, 2010; González-Valdivia *et al.*, 2011a) y Veracruz (Ross, 1967).

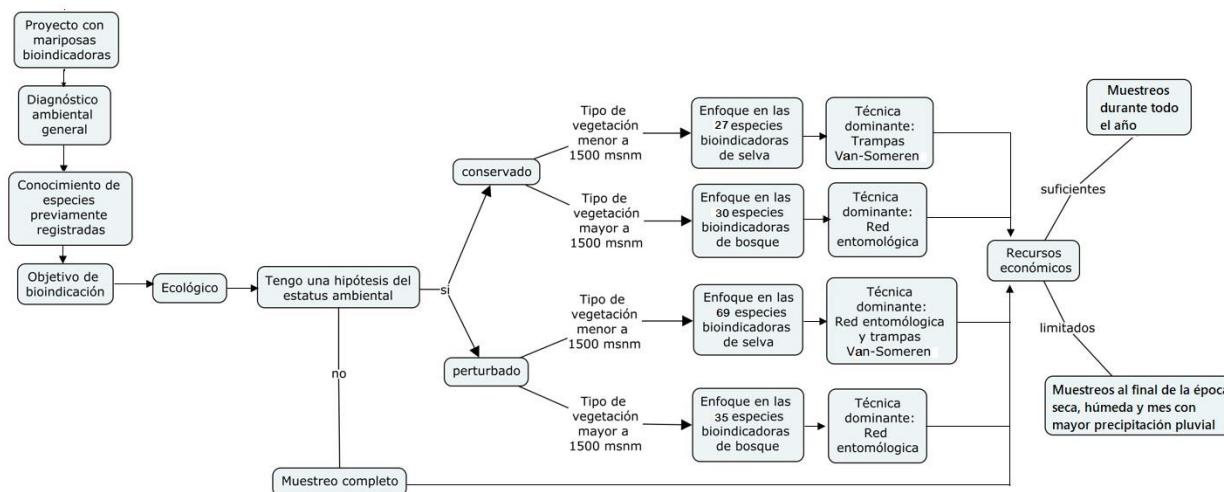


Figura 5. Secuencia sugerida para trabajar con el catálogo de mariposas bioindicadoras del Anexo 1.

Cuadro 2. Análisis estadísticos utilizados para la definición de especies bioindicadoras.

Estudio	Método estadístico utilizado	Especies
Raguso & Llorente-Bousquets (1990)	Pruebas de independencia 2 x 2 G.	51
Molina-Martínez & León-Cortés (2006)	Transformaciones logarítmicas y regresiones lineales simples.	6
Pozo & Galindo-Leal (2006)	Ánálisis de un escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), análisis canónico de coordenadas principales (CAP) y análisis de correspondencia canónica (ACC).	39
Vester <i>et al.</i> (2007)	Ánálisis multivariados de permutaciones no paramétricas (ANOVA), análisis permutacional de dispersiones multivariadas (PERMDISP), análisis permutacional de varianzas multivariadas (PERMANOVA) y análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS).	7
Maya-Martínez <i>et al.</i> (2009)	Ánálisis de correspondencia sin tendencia (DCA), análisis de correspondencia canónica (ACC) y diagramas de ordenación.	7
Balam-Ballonte & León-Cortés (2010)	Pruebas de χ^2 , ANOVA y análisis de correlación.	63
González-Valdivia <i>et al.</i> (2011b)	Ánálisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), análisis de apareamiento de medias aritméticas no ponderadas (UPGMA), método de asignación del Valor de indicador o (IndVal) y correlaciones de Pearson.	14
Pozo <i>et al.</i> (2014)	Ánálisis canónico de coordenadas principales (CAP) y análisis canónico de correspondencia (ACC).	16
González-Valdivia <i>et al.</i> (2016)	Ánálisis de apareamiento de medias aritméticas no ponderadas (UPGMA), análisis de correspondencia canónica (ACC), análisis de similitud (ANOSIM) y análisis de similitud porcentual (SIMPER).	26
Meléndez-Jaramillo <i>et al.</i> (2017)	Índice de similitud Bray-Curtis y análisis de correspondencia AC.	9
Cavanzón-Medrano <i>et al.</i> (2018)	Ánálisis de escalamiento multidimensional (MDS), análisis con coeficientes de correlación de Spearman y pruebas de Kruskall-Wallis.	1
Meléndez-Jaramillo <i>et al.</i> (2018)	Índice de similitud Bray-Curtis e índice de valor indicador (IndVal).	21
Friesen (2019)	Ánálisis de correspondencia canónica (ACC).	2
León-Cortés <i>et al.</i> (2019)	Regresiones logísticas múltiples, análisis de correspondencia canónica (ACC) y análisis de especies indicadoras, valor de indicador o (IndVal).	39
Legal <i>et al.</i> (2020)	Redes neuronales artificiales, mapas de algoritmos autoorganizados (SOM) y análisis cladísticos.	30
Rodríguez (2021)	Ánálisis de componentes principales (PCA) e índice de valor indicador (IndVal).	15

DISCUSIÓN

Mariposas bioindicadoras en México

La bibliografía sobre mariposas en México es amplia, solo hasta el año 2014, había aproximadamente 2,300 artículos y otros tipos de documentos, como tesis y reportes (Gutiérrez, 2002; Lamas, 2008; Pozo *et al.*, 2014). Para este artículo de revisión se compiló la mayor cantidad de información disponible acerca de mariposas bioindicadoras con un enfoque ecológico, así como acerca de sus hábitos alimentarios y aspectos ecológicos y fenológicos, ya que de acuerdo con los criterios de selección para especies bioindicadoras, es indispensable el conocimiento que permita establecer claramente cuáles son sus relaciones ecológicas con los demás elementos del ecosistema que habitan (Paoletti, 1999). Sin embargo, tal como se menciona en los resultados, faltan estudios rigurosos, ya que la mayoría (63.8 %) son empíricos, y en muchos casos la definición de especies indicadoras fue circunstancial y no era el objetivo principal del estudio. Las zonas áridas y semiáridas del país son las que más carecen de estudios lepidoptero-faunísticos, especialmente con enfoque de bioindicadoras.

En cuanto a los estudios que sí tenían como objetivo identificar especies bioindicadoras, la mayoría utilizó el ACC, el cual se considera una variación del análisis de componente principales (PCA) y es uno de los primeros análisis multivariados utilizados en ecología. La desventaja del uso de PCA es que responde mejor a las relaciones lineales entre variables, pero en los ecosistemas hay muchas variables que se interconectan, que son discontinuas, no normales y que tienen influencia en el desarrollo de los seres vivos, por lo que los análisis NMDS, se consideran más adecuados en los estudios de ecología de comunidades (McCune & Grace, 2002). Sin embargo, de los análisis estadísticos registrados, el único que tiene por objeto central identificar especies indicadoras es el IndVal propuesto por Dufrene y Legendre (1997), y que de acuerdo con McGeoch (2007), identifica especies "especializadas" con alta especificidad y fidelidad a una circunstancia o condición; o a especies "generalistas" que abarcan una mayor gama de estudios ecológicos y tienen un nivel intermedio de especificidad (McGeoch, 2007). La finalidad del IndVal, es calcular el valor de asociación de cada especie con un tipo de hábitat particular; cuatro estudios en México lo utilizan y consideran el criterio de grado de conservación para relacionarlas (González-Valdivia *et al.*, 2011b; Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2018; 2019; Whitworth *et al.*, 2018; León-Cortés *et al.*, 2019; Sharma *et al.*, 2020; Rodríguez, 2021).

El 86 % de especies bioindicadoras con más estudios se agruparon en las familias Nymphalidae, Pieridae y Papilionidae, y el 14 % en las familias Hesperiidae, Lycaenidae y Riodinidae (Anexo 1). La mayoría de las especies de la familia Hesperiidae incumplen con las características que definen a las especies bioindicadoras, como sugieren Andrade (1998), Brown (1991), Holt y Miller (2011), Sánchez (2012) y Pozo *et al.* (2014); esto debido a que presentan una taxonomía muy compleja y sus individuos son difíciles de capturar e identificar en campo, a pesar de ser la familia con mayor riqueza biológica (Warren, 2000); lo anterior las coloca en desventaja al ser poco estudiadas. No obstante, se registraron 18 especies en 13 artículos, siendo *Astraptes fulgerator azul*, *Cogia calchas* (Herrich-Schäffer, 1869) y *Achlyodes pallida* (R. Felder, 1869) las más citadas, en cinco artículos cada una. De igual forma, por localizarse en microhábitats muy específicos y volar en el dosel, la recolecta y observación de muchas especies de la familia Riodinidae, sea difícil, y por ello muchas de las investigaciones faunísticas las registran como poco

abundantes (Arellano-Covarrubias *et al.*, 2018), lo que también descartaría a la mayoría de ellas como bioindicadoras, aun cuando fueron identificadas tres en la presente recopilación (*Calephelis yauktequensis* R. G. Maza & Turrent, 1977, *Emesis emesia* (Hewitson, 1867), *Emesis tenedia* C. Felder & R. Felder, 1861). Con respecto a la familia Lycaenidae, se identificaron nueve especies, pero al igual de Hesperiidae, la mayoría incumple con el criterio de fácil identificación.

Otra explicación de los porcentajes de representatividad de cada familia podría estar relacionado con su tamaño. Pozo (2006) encontró una tendencia en Calakmul, Campeche, en donde las especies pequeñas suelen ser univoltinas, y las de mayor tamaño multivoltinas. Respecto a esto, algunos autores (Gilbert & Singer, 1975; Kitahara & Fuji, 1994; 2005; Nylin, 2009) sugieren una relación directa entre las especies multivoltinas y generalistas vs. univoltinas y especialistas, debido a que las multivoltinas, al ser generalista tiene recursos a lo largo de todo el año, y las univoltinas son especialistas temporales, pues los recursos de los que depende son efímeros y muy estacionales (Kitahara & Fujii, 1994). Por lo tanto, se podría inferir que el hallazgo de especies univoltinas se presentará cuando existan las condiciones óptimas para su desarrollo, lo que corresponde generalmente en la época de lluvias o al final de ésta. Esta característica resulta relevante para el monitoreo de especies bioindicadoras con la finalidad de identificar los períodos de muestreo, aunque este tipo de información aún es desconocida para el 83 % de las especies de mariposas registradas como bioindicadoras en el Anexo 1.

Las especies bioindicadoras pueden ser especialistas o generalistas en función de los patrones de utilización de recursos en dos aspectos del nicho ecológico (tiempo y alimento). Las mariposas son fitófagas obligadas en su fase larvaria, lo que provoca una relación forzosa con su planta huésped. Pueden ser polífagas, oligófagas o monófagas en función de cuantas especies de plantas utilizan para su desarrollo (Mulanovich, 2007; Hernández, 2010). En los resultados se observó un desconocimiento de la fitofagia larvaria en el 35 % de las especies encontradas. Sin embargo, en algunos casos se reconocen algunas generalidades para incrementar el conocimiento de éstas, por ejemplo, una mariposa polífaga suele ser considerada generalista (Friesen, 2019) y multivoltina (Shapiro, 1974; Vargas-Fernández *et al.*, 1999); y una monófaga especialista (Montero-A. & Ortiz-P., 2013) y univoltina (Shapiro, 1974; Vargas-Fernández *et al.*, 1999).

El conocimiento de la relación larva-planta huésped permite comprender mejor la dinámica entre comunidades e inferir cómo los cambios en la composición vegetal afectan a las mariposas, y viceversa. El estatus de una comunidad de mariposas refleja, en parte, el de la comunidad vegetal, de forma que la presencia de las especies bioindicadoras está indudablemente influenciada por la presencia, distribución espacial y abundancia de su planta huésped (Montero-A. & Ortiz-P., 2013), aunque existen excepciones como: *Anaea troglodyta aidea*, *Asterocampa leilia* (W. H. Edwards, 1874), *Danaus gilippus thersippus* (H. Bates, 1863), *Eunica tatila tatila* (Herrich-Schäffer, [1855]), *Euptoieta claudia daunius*, *Euptoieta hegesia meridiana* Stichel, 1938, *Memphis pithyusa pithyusa* (R. Felder, 1869), *Phoebis sennae marcellina* y *Zerene cesonia cesonia* (Stoll, 1790), que presentan hábitos migratorios (Pozo *et al.*, 2008; Hobson *et al.*, 2021).

Los imagos presentan dos hábitos alimentarios (nectarívoros y acimófagos), hábito relevante si se pretenden utilizar con fines de monitoreo y con ello realizar diseños de muestreo

eficientes. El hábito hidrófilo es una conducta que se da principalmente en machos que requieren alcanzar la madurez sexual (Vásquez *et al.*, 2017), y se presenta tanto en especies nectarívoras como acimófagas. Las especies acimófagas pertenecen a la familia Nymphalidae: subfamilias Satyrinae, Biblidinae, Charaxinae y algunas especies de Nymphalinae (Shapiro, 1974; Vargas-Fernández *et al.*, 1992; Sirua, 2006; Freitas *et al.*, 2014; Martínez-Noble *et al.*, 2015). Este gremio, otorga una ventaja para su estudio, pues al recolectarse con la técnica de la trampa Van Someren-Rydon con base en frutos fermentados, son fácil de censar. La estandarización del uso de esta técnica disminuye el sesgo atribuible al recolector y su pericia con el uso de la red entomológica, y garantiza la representación de su riqueza y abundancia de los especímenes obtenidos. En México, esta técnica de trámpeo ha reportado mayor eficiencia en el bosque tropical subcaducifolio y disminuye conforme al ascenso altitudinal, principalmente hacia los tipos de vegetación templados, en parte debido a una mayor presencia de especies nectarívoras que acimófagas (Shapiro, 1974; Vargas-Fernández *et al.*, 1992).

Más del 50 % de las especies bioindicadoras presentan hábitos acimófagos que facilita su uso en un monitoreo biológico. En el 20 % de las especies que no se observó de manera explícita su tipo de alimentación; algunas generalidades muestran que las familias Hesperiidae, Lycaenidae, Papilionidae, Pieridae, Riodinidae y un 50 % de las especies de Nymphalidae son nectarívoras (Vargas-Fernández *et al.*, 1992; Freitas *et al.*, 2014). La mayoría de las especies que viven en hábitats templados y de alta montaña son nectarívoras, y el hábito acimófago es típico en mariposas de hábitats tropicales y subtropicales, como sucede del 50 al 75 % de las especies tropicales de Nymphalidae (Hernández-Mejía *et al.*, 2008; Hernández-Mejía, 2009; Freitas *et al.*, 2014; Martínez-Noble *et al.*, 2015).

Uso de especies bioindicadoras: diseño de muestreo

Hay dos posibilidades que determinan el tipo de muestreo. *A priori*, cuando se cuenta con un catálogo previo de mariposas del sitio, y *a posteriori*, cuando se carece de dicha lista. Para realizar un estudio de especies bioindicadoras con conocimiento *a priori*, el primer paso es identificar el o los tipos de vegetación del área de estudio (Brown, 1991; Schulze *et al.*, 2001), posteriormente seleccionar y definir cuáles especies serán el objeto de búsqueda, así como sus plantas huésped (Anexo 2) y hábitos alimentarios de los imágos, esto permitirá identificar los sitios con mayor probabilidad de encontrarlas (Waltz & Covington, 2004). De esta forma, es importante tomar en cuenta la distribución geográfica, los gremios alimentarios y la fenología al momento de diseñar el muestreo. El conocimiento de su fenología facilitará la identificación de la mejor temporada para su recolecta, y los hábitos de vuelo permitirán identificar el estrato de vegetación en el que se debe realizar la búsqueda (Montero, 2014); es decir, conocer el objeto y propósito de búsqueda eficientiza el potencial uso de las especies bioindicadoras (Fleishman & Murphy, 2009). Así, es posible probar una hipótesis asociando los parámetros ambientales con la presencia o ausencia de las especies bioindicadoras.

En la posibilidad *a posteriori*, la opción es realizar el estudio del hábitat que considere a la comunidad de mariposas y los parámetros ambientales con los que se pretende asociar su presencia para determinar si son bioindicadoras de un ambiente conservado o perturbado. Pozo *et al.* (2005) mencionan que para realizar un estudio de especies bioindicadoras sin conocimiento

previo (tipo *a posteriori*), se sugiere que los sitios de muestreo se definan mediante el método de búsqueda dirigida, con el cual los transectos o puntos de muestreo se deberán establecer donde esté la mayor cantidad de plantas en floración, claros con suficiente radiación solar y fuentes naturales o artificiales de humedad. Diversos estudios coinciden en dos épocas para la mejor recolecta de mariposas: a) al final de la época seca y b) al final del periodo de lluvias, lo cual ocurre para la mayor parte de México en los meses de abril-mayo en la época seca, y a los meses de septiembre-noviembre para la época húmeda (Balcázar, 1993; Vargas-Fernández *et al.*, 1999; Pozo *et al.*, 2005; Lourenço *et al.*, 2020), debido a que la mayoría de las especies univoltinas emergen uniéndose a las multivoltinas, generando un aumento de riqueza en la temporada, aunado a una mayor floración (Luis-Martínez & Llorente-Bosquets, 1990; Vargas-Fernández *et al.*, 1992).

Un muestreo adicional en las semanas más húmedas permitirá identificar los picos poblacionales de determinadas especies de una comunidad. En los estudios sobre riqueza de mariposas se estima que un 20-30 % corresponde a especies con registro único o especies raras, con cinco o menos ejemplares (Pozo & Galindo-Leal, 2006; Pozo *et al.*, 2008), las cuales son omitidas en los análisis estadísticos para la identificación de especies bioindicadoras, debido a su alta probabilidad de variación mensual o anual; aunque sí son consideradas para los cálculos de índices de diversidad generales (Lang & Bühler, 2012). Los registros históricos permiten identificar patrones anómalos, como ausencias, explosiones de poblaciones o presencias intermitentes anuales (Nowicki *et al.*, 2008; Dennis *et al.*, 2013; De la Maza, 2021b), derivados de algún fenómeno natural o disturbio atribuible al cambio climático o al cambio de uso de suelo; aunque en muchos casos, estas variaciones poblacionales suceden por razones aún desconocidas (Lang & Bühler, 2012). Por lo tanto, es recomendable realizar estudios de especies bioindicadoras de mediano y/o largo plazo (Grøtan *et al.*, 2012), para lo que es recomendable optimizar los recursos económicos y al menos realizar tres muestreos anuales (Graça *et al.*, 2017).

Dependiendo el objetivo de estudio, los parámetros ambientales de asociación que deberán estar incluidos en el muestreo son: a) condiciones del hábitat (cobertura vegetal, especies exóticas, cercanía a área urbanizadas, etc.), aquellas que correspondan a describir un sitio como conservado o con disturbio, b) niveles de contaminación o, c) especies (animales o vegetales) asociadas, que deben estar dentro o muy cercanos al sitio de muestreo (Siddig *et al.*, 2016). En el 25 % de los estudios revisados determinaron empíricamente la magnitud de alteración del ambiente (Raguso & Llorente-Bousquets, 1990; Balam-Ballote & León-Cortés, 2010; Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2018; León-Cortés *et al.*, 2019). Esta situación evidencia otra debilidad en el uso de especies bioindicadoras, que es el planteamiento por parte de los autores, el gradiente de disturbio del sitio. Debido a que algunos estudios pueden reportar hábitat alterados o modificados sin especificar en qué magnitud, al comparar resultados de la biodiversidad de mariposas encontradas en diferentes sitios con características de conservación aparentemente similares, podrían diferir cuando la alteración no es en la misma magnitud, ni tiene el mismo origen o causa.

Los estudios de Brown (1991), Sant'Anna *et al.* (2014) y Lourenço *et al.* (2019) demuestran que las comunidades de mariposas varían gradualmente conforme se amplía el ecotono, y su respuesta es diferente si el cambio de estructura de la vegetación es por causas naturales o antropógenas. El cambio en la composición de la comunidad de mariposas no es estricto con los

cambios de hábitat, pero sí se refleja en los cambios de abundancia en dependencia de los requerimientos para su desarrollo (Balam-Ballote & León-Cortés, 2010); lo anterior es otra posible explicación de porqué algunas especies identificadas como indicadoras de sitios conservados, en otros lugares son indicadoras de disturbio. Por lo tanto, para ambos diseños de muestreo *a priori* y *a posteriori*, se sugiere usar una metodología para cuantificar la cantidad o intensidad de disturbio (Martorell & Peters, 2005; Rodríguez, 2021), con el que se pretenda realizar la asociación de bioindicación, y de esta forma tener una mayor claridad de la magnitud del disturbio al momento de comparar hábitats similares.

Pozo *et al.* (2014) proponen una metodología para realizar un monitoreo con mariposas bioindicadoras donde se detalla el proceso de selección para este grupo, así como métodos estadísticos para el análisis de los resultados; sin embargo, no profundiza en la necesidad de determinar el grado de disturbio, lo cual es necesario si se desea que la información resultante sea replicable y se pueda utilizar en otras condiciones ambientales similares en cualquier otro sitio.

Bioindicadoras ecológicas: ¿Conservación, disturbio o ambas?

Definir el grado de disturbio al que se hace referencia puede aclarar situaciones como las que se presentan en los resultados, donde 26 especies se identifican como bioindicadoras de conservación y de disturbio al mismo tiempo. Una primera explicación es que sus registros suceden en condiciones contrastantes de tiempo (estación del año) o condición de la vegetación; la explicación se puede deber a que no se establecieron los mismos criterios para definir el tipo y grado de disturbio que afectaba a cada uno de los hábitats considerados; por ejemplo, donde el sitio de muestreo fue un área de reserva ecológica conservada pero cerca de ambientes urbanos (León-Cortés *et al.*, 2019), esto pudo haber influido los resultados del muestreo.

Algunos autores consideran que el incremento de la fragmentación del hábitat beneficia a las especies generalistas o euritópicas al registrar el aumento de su población a medida que el hábitat se altera (Waltz & Covington, 2004; Kitahara & Fujii, 2005; Bobo *et al.*, 2006; Molina-Martínez & León-Cortés, 2006), debido a que ocupan una mayor amplitud en uno o varios factores del ambiente, como mayor cantidad de plantas hospederas y/o multivoltinismo (Kitahara & Fujii, 2005; Pérez, 2017), así como zonas de forrajeo de los imágines en lugares abiertos. En los resultados se observó que un 62 % de las especies generalistas identificadas eran bioindicadoras de áreas con disturbio, pero un 25 % fue indicadora de ambientes conservados, y el 13 % restante fueron relacionadas con ambas condiciones de conservación.

Por el contrario, una especie especialista o estenotópica tiene una amplitud limitada en los factores ambientales en los que vive, como una dieta especializada en su estado larval, o son generalmente univoltinas, con densidades de población bajas y una distribución geográfica reducida. Suelen ser especies de localización difícil y extremadamente sensibles a los cambios ambientales, lo que las hace muy vulnerables a la extinción (Kitahara & Fujii, 2005). Sin embargo, en los resultados se encontró que un 64 % de las especies especialistas identificadas eran bioindicadoras de áreas con disturbio, y solo un 25 % de ambientes conservados.

Aunque en los resultados 109 especies carecen de asignación de especies generalistas o especialistas, las que sí la tienen impiden confirmar con absoluta certeza que una especie generalista corresponda a sitios con disturbio o una especialista a sitios conservados. Holt y Miller (2011) sugieren que las especies bioindicadoras tengan una adaptación moderada a la variabilidad ambiental, pero que su respuesta sea perceptible a los cambios; es decir, que mientras se identifiquen claramente los parámetros de variación y su respuesta, especies especialistas y generalistas pueden funcionar como bioindicadoras ecológicas indistintamente.

Por otro lado, algunas mariposas suelen tener distribución amplia e inclusive ser migratorias, esto hace factible que en hábitats conservados se encuentren individuos característicos de áreas con disturbio, o viceversa, siendo esta una de las razones de la importancia de hacer muestreos anuales y descartar con certeza a las especies migratorias que podrían haberse presentado de manera esporádica o circunstancial en determinado año. Los muestreos anuales también permiten robustecer los índices de bioindicación como el IndVal, y así establecer una hipótesis de bioindicación a mediano o largo plazo.

Prospectiva del uso de bioindicadoras en México

La relevancia de considerar todos los aspectos que permitan explicar la presencia de mariposas bioindicadoras, es para diseñar un sistema de monitoreo que ayude a definir el nivel de alteración o conservación de un hábitat; algunos sistemas de monitoreo en algunos países ya son utilizados con esta finalidad, *v. gr.* Alemania, Bélgica, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Países Bajos, Reino Unido, Suecia y Suiza (Dennis *et al.*, 2013; van Swaay *et al.*, 2015; 2019; Schmucki *et al.*, 2020). Un ejemplo de cómo trabajan estos sistemas es el esquema de monitoreo de mariposas del Museo de Ciencias Naturales de Granollers, Cataluña, España: Catalan Butterfly Monitoring Scheme (CBMS: www.catalanbms.org), el cual funciona con apoyo de la sociedad civil y que mantiene monitoreada una selección de especies de mariposas relevantes caracterizadas por su fácil identificación.

Aun cuando no exista un índice estandarizado de bioindicación con mariposas en México, con programas estadísticos libres como R, se pueden utilizar técnicas de análisis multivariable como el SOM Self-Organizing Maps (Legal *et al.*, 2020), que se basan en el uso de modelos de sistemas conexionistas (conocidos como redes neuronales artificiales), donde a través de la autoorganización se reconocen patrones, y se identifican las relaciones intrínsecas entre éstos y otros estímulos o respuestas, lo que permite el aislamiento de influencias externas potencialmente sesgadas o subjetivas (Yin, 2008). En Europa, se han desarrollado otros paquetes estadísticos como BRCindicadores, que funciona con estimaciones anuales de abundancia o presencia de especies, y las agregan a un valor indicador escalado con intervalos de confianza (Dennis *et al.*, 2019; van Swaay *et al.*, 2019). Existe también el paquete RBMS R Butterfly Monitoring Schemes, cuyo objetivo es facilitar la implementación de métodos estadísticos y matemáticos para calcular índices de abundancia relativa a partir de series de tiempo anuales de conteos de mariposas, considerando los patrones temporales relacionados con su fenología (Comay *et al.*, 2020; Schmucki *et al.*, 2020; 2021).

En México se requiere trabajar en el diseño de un índice que permita analizar e interpretar las tendencias poblacionales de las mariposas bioindicadoras. El uso de este tipo de índices, aplicado a proyectos de monitoreo a mediano y largo plazo, fortalecen las hipótesis de cambio positivo o negativo en un entorno. En este sentido y conociendo su alta sensibilidad a las condiciones meteorológicas, el conocimiento profundo acerca de la fenología de las mariposas puede ser una herramienta que permita identificar otras afectaciones sutiles del cambio climático, además de las evidentes por la pérdida y transformación del hábitat.

Actualmente en el país, es posible avanzar en el desarrollo de herramientas para monitoreo y conservación, utilizando el conocimiento que se tiene de este taxón e identificación de las especies bioindicadoras aquí presentadas, aunado al uso de las megabases de datos disponibles como las del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), y otras plataformas promovidas por organizaciones no gubernamentales como Naturalista (<https://www.naturalista.mx/>), permitiendo avanzar hacia una estandarización de la información y de sus resultados. Lo anterior es una oportunidad para un área de investigación que proponga y estandarice esquemas de monitoreo y se acompañen con índices que permitan entender las tendencias poblacionales de las especies bioindicadoras.

CONCLUSIONES

A pesar de que México contiene aproximadamente el 10 % de la riqueza de Papilionoidea (*sensu lato*) del mundo, son pocos los trabajos en los que se han citado o utilizado sus especies como bioindicadores del estado de conservación de un ambiente, y en general, existe una carencia de investigaciones sobre lepidopterofauna con este enfoque, especialmente en las regiones áridas y semiáridas del país, las cuales se destacan por sus endemismos.

La información recopilada en este artículo es un valioso insumo para el diseño de un sistema monitoreo ambiental con fines de conservación, ya que brinda una orientación sobre cuáles mariposas son bioindicadoras de conservación y cuáles de disturbio, y en qué hábitats.

La mayoría de las especies bioindicadoras ecológicas encontradas (86 %) se agruparon en las familias Nymphalidae, Pieridae y Papilionidae, que incluyen las especies de mayor tamaño y notoriedad. Los hábitats más estudiados han sido las selvas bajas, medianas y altas, destacando las especies de la familia Nymphalidae, probablemente por la facilidad de la técnica de muestreo utilizada, la trampa Van Someren-Rydon, la cual es altamente efectiva en estos tipos de vegetación

AGRADECIMIENTOS. Agradecemos a la Dra. María del Carmen Pozo por sus comentarios y sugerencias que permitieron mejorar este manuscrito. Al CONACYT por la beca doctoral (no. 774086) brindada para la elaboración de este artículo. Así como a los revisores anónimos de la revista AZM, ya que la realización de su cuidadosa tarea mejoró sustancialmente este texto.

LITERATURA CITADA

- Abrol, D. P.** (2012) Pollinators as bioindicators of ecosystem functioning. Pp. 509–544. En: *Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production*. Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-1942-2_16
- Andrade, C. M. G.** (1998) Utilización de las mariposas como bioindicadoras del tipo de hábitat y su biodiversidad. *Revista Académica Colombiana Ciencias*, 22 (84) 407–421. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/265594873> (consultado 18 enero 2021).
- Arellano-Covarrubias, A., Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A.** (2018) Distribución y fenología de la familia Riodinidae (Lepidoptera: Papilionoidea) en el bosque tropical subcaducifolio de Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 66 (2), 503–558.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33378>
- Badger, D., Kenney, B.** (2006) *Butterflies*. Crestline press. New York, USA, 160 pp.
- Balam-Ballote, Y. R., León-Cortés, J. L.** (2010) Forest management and biodiversity: A study of an indicator insect group in Southern Mexico. *Interciencia*, 35 (7), 526–533. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33914381010> (consultado 07 diciembre 2020).
- Balcázar, L. M. A.** (1993) Butterflies of Pedernales, Michoacán, Mexico, with notes on seasonality and faunistic affinities (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidae). *Tropical Lepidoptera Research*, 4 (2), 93–105. Disponible en: <https://journals.flvc.org/troplep/article/view/89924> (consultado 7 enero 2021).
- Barranco, L. M. N.** (2016) Factores que influyen en la diversidad y distribución de lepidópteros en el parque estatal Flor del bosque, Puebla, México. Tesis de Doctorado. IPICYT. San Luis Potosí. Disponible en: <http://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1010/1793> (consultado 17 junio 2021).
- Beccaloni, G. W., Viloria, Á. L., Hall, S. K., Robinson, G. S.** (2008) *Catalogue of the hostplants of the Neotropical butterflies/Catálogo de las plantas huésped de las mariposas neotropicales* (S.E.A, N. H. Museum, and IVIC (Eds.); 1a. Edición. Gorfi, S.A. Zaragoza, España, 536 pp.
- Bobo, K. S., Waltert, M., Fermon, H., Njokagbor, J., Mühlenberg, M.** (2006) From forest to farmland: Butterfly diversity and habitat associations along a gradient of forest conversion in Southwestern Cameroon. *Journal of Insect Conservation*, 10 (1), 29–42.
<https://doi.org/10.1007/s10841-005-8564-x>
- Bouyer, J., Sana, Y., Samandoulgou, Y., Cesar, J., Guerrini, L., Kabore-Zoungrana, C., Dulieu, D.** (2007) Identification of ecological indicators for monitoring ecosystem health in the trans-boundary W Regional Park: A pilot study. *Biological Conservation*, 138 (1–2), 73–88.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.04.001>
- Braak, N., Neve, R., Jones, A. K., Gibbs, M., Breuker, C. J.** (2018) The effects of insecticides on butterflies – A review. *Environmental Pollution*, 242, 507–518.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.100>
- Brito, M. M., Ribeiro, D. B., Raniero, M., Hasui, É., Ramos, F. N., Arab, A.** (2014) Functional composition and phenology of fruit-feeding butterflies in a fragmented landscape: Variation of seasonality between habitat specialists. *Journal of Insect Conservation*, 18 (4), 547–560.
<https://doi.org/10.1007/s10841-014-9650-8>

- Brown, J. W., Faulkner, D. K., Real, H. G.** (1992) *Butterflies of Baja California: faunal survey, natural history, conservation biology*. Lepidoptera Research Foundation, California, USA, 129 pp.
- Brown, K. S., Freitas, A. V. L.** (2000) Atlantic Forest Butterflies: Indicators for Landscape Conservation. *Biotropica*, 32 (4b), 934–956.
<https://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00631.x>
- Brown, J. K. S.** (1991) Conservation of neotropical Environments: Insects as indicators. Pp. 350–401. En: N. M. Collins, J. A. Thomas (Eds.). *The Conservation of insects and their habitats*. Academic Press Limited, London.
- Bryant, S. R., Thomas, C. D., Bale, J. S.** (2002) The influence of thermal ecology on the distribution of three nymphalid butterflies. *Journal of Applied Ecology*, 39 (1), 43–5.
<https://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00688.x>
- Cárdenas-Lugo, C. P., León-Cortés, J. L., Angulo-Audeves, J. T.** (2015) Diversidad, distribución y abundancia de mariposas en hábitats costeros de Sinaloa, México (Insecta: Lepidoptera). *SHILAP Revista de Lepidopterología*, 43 (169), 15–26. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45538652002> (consultado 27 abril 2021).
- Cavanzón-Medrano, L. E., Machkour-M'Rabet, S., Chablé-luit, L. R., Pozo, C., Hénaut, Y., Legal, L.** (2018) Effect of climatic conditions and land cover on genetic structure and diversity of *Eunica tatila* (Lepidoptera) in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Diversity*, 10 (79), 1–18.
<https://doi.org/10.1023/A:1023039921916>
- Cleary, D. F. R.** (2009) Assessing the use of butterflies as indicators of logging in Borneo at three taxonomic levels. *Journal of Economic Entomology*, 97 (2), 429–435.
<https://doi.org/10.1603/0022-0493-97.2.429>
- Comay, O., ben Yehuda, O., Benyamin, D., Schwartz-Tzachor, R., Pe'er, I., Melochna, T., Pe'er, G.** (2020) Analysis of monitoring data where butterflies fly year-round. *Ecological Applications*, 30 (8), 1–17.
<https://doi.org/10.1002/eap.2196>
- Corke, D.** (1999) Are honeydew/sap-feeding butterflies (Lepidoptera: Rhopalocera) affected by particulate air-pollution? *Journal of Insect Conservation*, 3 (1), 5–14.
<https://doi.org/10.1023/A:1009670404398>
- Costa, J. T., Pierce, N. E.** (1997) Social evolution in the Lepidoptera: ecological context and communication in larval societies. Pp. 407–442. En: J. C. Choe, B. J. Crespi (Eds.). *The evolution of social behavior in insects and arachnids*. Cambridge University Press. United Kingdom.
- De la Maza, E. J., De la Maza, E. R.** (2015) La fauna de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) del río Lacantún. Pp. 187–191. En: J. Carabias, J. de la Maza, R. Cadena (Coords.). *Conservación y desarrollo sustentable en la Selva Lacandona, 25 años de actividades y experiencias*. Natura y Ecosistemas mexicanos A.C., México, D.F.
- De la Maza, E. R.** (1975) Notas sobre los lepidópteros de Rancho Viejo y Tepoztlán, Morelos, México. Primera parte: Papilionoidea. *Revista de la Sociedad Mexicana de Lepidopterología*, 1 (2), 42–61.
- De la Maza, E. R.** (1988) Notas sobre los Rhopalocera de la Sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México (Lepidoptera). *Revista de la Sociedad Mexicana de Lepidopterología*, 11 (2), 33–59.

- De la Maza, E. R.** (2010) Lepidópteros diurnos. Pp. 179–194. En: G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury, R. Dirzo (Eds.). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*. EcoCiencia A.C., CONANP, Fondo de Cultura Económica, CONABIO, Telmex y Telcel, México, D.F.
- De la Maza, E. R.** (2021) Lepidópteros diurnos del área destinada voluntariamente a la conservación (ADVC) Kolijke, Zihuatéutla, Puebla, México. *Publicaciones especiales Sociedad Mexicana de Lepidopterología*, (3), 78 pp.
- De la Maza, E. R., De la Maza E. J.** (2021a) Identificación de *Dircenna klugii* (Geyer, [1837]) y descripción de dos nuevas especies del neotrópico septentrional (Nymphalidae, Danainae, Ithomiini). *Revista de la Sociedad Mexicana de Lepidopterología (Nueva Serie)*, 8 (2), 36–60.
- De la Maza, E. R., De la Maza, E. J.** (2021b) Las mariposas diurnas de la vertiente norte del cerro frío en Tilzapotla, Morelos, México y su fenómeno de estivación (Lepidoptera-Papilionoidea y Hesperioidea). *Publicaciones especiales Sociedad Mexicana de Lepidopterología (Nueva Serie)*, (5), 3–52.
- De la Maza, E. R., Soberón, J.** (1998) Morphological grouping of Mexican butterflies in relation to habitat association. *Biodiversity and Conservation*, 7 (7), 927–944.
<https://doi.org/10.1023/A:1008877304630>
- De la Maza, E. R., White L. A.** (1990) Rhopalocera de la huasteca potosina, su distribución, composición, origen y evolución. *Revista de la Sociedad Mexicana de Lepidopterología*, 13 (2), 31–89.
- Dennis, E. B., Freeman, S. N., Brereton, T., Roy, D. B.** (2013) Indexing butterfly abundance whilst accounting for missing counts and variability in seasonal pattern. *Methods in Ecology and Evolution*, 4 (7), 637–645.
<https://doi.org/10.1111/2041-210X.12053>
- Dennis, E. B., Brereton, T. M., Morgan, B. J. T., Fox, R., Shortall, C. R., Prescott, T., Foster, S.** (2019) Trends and indicators for quantifying moth abundance and occupancy in Scotland. *Journal of Insect Conservation*, 23, 369–380.
<https://doi.org/10.1007/s10841-019-00135-z>
- Dénommée, P. L.** (2010) La cría de mariposas diurnas y su gestión para la producción de artesanías en la comunidad «Niños Héroes de Chapultepec» Tenosique, estado de Tabasco, México. Tesis de Maestría. Faculté Des Sciences Université De Sherbrooke, Quebec, Canadá.
- DeVries, P. J., Walla, T. R.** (2001) Species diversity and community structure in neotropical fruit-feeding butterflies. *Biological Journal of the Linnean Society*, 74 (1), 1–15.
<https://doi.org/10.1006/bijl.2001.0571>
- Dufrene, M., Legendre P.** (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67 (3), 345–366.
<https://dx.doi.org/10.2307/2963459>
- Erhardt, A.** (1985) Diurnal Lepidoptera: sensitive indicators of cultivated and abandoned grassland. *Journal of Applied Ecology*, 22 (3), 849–861.
<https://doi.org/10.2307/2403234>
- Figueroa-Fernández, A. L., Meléndez-Herrada, A., Luis-Martínez, A., Vargas-Fernández, I.** (2014) Diversity of Diurnal Butterflies (Lepidoptera: Hesperoidea and Papilionoidea) of Laguna Potosí and Surrounding Area, Guerrero, Mexico. *Southwestern Entomologist*, 39 (1), 57–75.

<https://doi.org/10.3958/059.039.0107>

Fleishman, E., Murphy, D. D. (2009) A realistic assessment of the indicator potential of butterflies and other charismatic taxonomic groups. *Conservation Biology*, 23 (5), 1109–1116.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01246.x>

Flores-Contreras, I., Luna-Reyes, M. (2017) Diversidad y distribución de cinco familias de Papilionoidea (Lepidoptera) de las selvas altas en la provincia biogeográfica del Golfo de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 33 (2), 211–230.
<https://doi.org/10.21829/azm.2017.3321062>

Forsberg, F., Barfod, A. S., Francisco, A. J., Ribeiro, M. C. (2020) Fruit feeding butterflies as indicator taxon, pitfalls and concerns demonstrated in the Atlantic Forest. *Ecological Indicators*, 111, 105986.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105986>

Frajia, F. N., Fajardo, M. G. E. (2006) Caracterización de la fauna del Orden Lepidoptera (Rhopalocera) en cinco diferentes localidades de los Llanos orientales colombianos. *Acta Biológica Colombiana*, 11 (1), 55–68. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/27144> (consultado 17 febrero 2022).

Freitas, A. V. L., Agra, I. C., Pereira, S. J., Oliveira, C. J. Y., Bandini, R. D., Alves, M. D. H., Batista, R. A. H., Marini-Filho, O. J., Mattos, A. G., Uehara-Prado, M. (2014) Studies with butterfly bait traps: an overview. *Revista Colombiana de Entomología*, 40 (2), 203–212.

Friesen, R. J. (2019) Post-fire successional response of Lepidoptera communities in the Sierra Madre Oriental Mountain range. Tesis de Maestría. UANL, Nuevo León, México. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/18021/> (consultado 17 febrero 2022).

Gerlach, J., Samways, M., Pryke, J. (2013) Terrestrial invertebrates as bioindicators: An overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation*, 17 (4), 831–850.
<https://doi.org/10.1007/s10841-013-9565-9>

Gilbert, L. E, Singer M. C. (1975) Butterfly Ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 6 (1), 365–397. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2096836> (consultado 17 febrero 2022).

González, Z. C., Vallarino, A. (2014) Los bioindicadores ¿una alternativa real para la protección del medio ambiente? Pp. 21–40. En: C. A. González Z., A. Vallarino, J. C. Pérez J., A. M. Low P. (Eds.). *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC. Disponible en: <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=22c4f86b89e35a54c9da8a7c090d8650> (consultado 17 febrero 2022).

González-Valdivia, N. A., Pozo, C., Ochoa, G. S., Dénommée, P. L. (2011a) *Catálogo de mariposas Rhopalocera diurnas en el ejido Niños Héroes de Chapultepec, Tenosique, Tabasco, México, con potencial de exploración, cría y comercialización*. El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR- CONACYT, Tabasco, México, 137 pp.

González-Valdivia, N., Ochoa-Gaona, S., Pozo, C., Ferguson, B. G., Rangel-Ruiz, L. J., Arriaga-Weiss, S. L., Ponce-Mendoza, A., Kampichler, C. (2011b) Indicadores ecológicos de hábitat y biodiversidad en un paisaje neotropical: perspectiva multitanomónica. *Revista de Biología Tropical*, 59 (3), 1433–1451. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22017143> (consultado 08 noviembre 2020).

- González-Valdivia, N. A., Pozo, C., Ochoa-Gaona, S., Ferguson, B. G., Cambranis, E., Lara, O., Pérez-Hernández, I., Ponce-Mendoza, A., Kampichler, C.** (2016) Nymphalidae frugívoras (Lepidoptera: Papilionoidea) asociadas a un ecosistema agropecuario y de bosque tropical lluvioso en un paisaje del sureste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87 (2), 451–464.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.04.003>
- Graça, M. B., Souza, J. L. P., Franklin, E., Morais, J. W., Pequeño, P. A. C. L.** (2017) Sampling effort and common species: Optimizing surveys of understory fruit-feeding butterflies in the Central Amazon. *Ecological Indicators*, 73, 181–188.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.040>
- Grøtan, V., Lande, R., Engen, S., Sæther, B. E., DeVries, P. J.** (2012) Seasonal cycles of species diversity and similarity in a tropical butterfly community. *Journal of Animal Ecology*, 81 (3), 714–723.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01950.x>
- Gutiérrez, V. A. L.** (2002) Síntesis y análisis del conocimiento de los Papilionoideos (Lepidoptera: Papilionoidea) de México. Tesis de licenciatura de Biología, UNAM, México.
- Guzmán, G. J.** (2014) Interacción de predador-presa entre *Phymata fasciata* y *Anartia fatima*, mariposa indicadora de ecosistemas alterados. *Revista de Zoología*, 25, 18–21. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49833377003> (consultado 21 marzo 2021).
- Heikkila, M., Kaila, L., Mutanen, M., Peña, C., Wahlberg, N.** (2012) Cretaceous origin and repeated tertiary diversification of the redefined butterflies. *Proceedings of the Royal Society*, 279, 1093–1099.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1430>
- Heink, U., Kowarik, I.** (2010) What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10 (3), 584–593.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
- Hernández-Jerónimo, J., García-Vázquez, U. O., Ávalos-Hernández, O., Arellano-Covarrubias, A., Luis-Martínez, M. A., Trujano-Ortega, M.** (2019) Spatial and temporal patterns of diversity of the Lepidoptera (Papilionoidea *sensu lato*) in the Cuatro Ciénegas Basin. Pp. 91–104. En: F. Álvarez, M. Ojeda (Eds.). *Animal Diversity and Biogeography of the Cuatro Ciénegas Basin*. Springer Nature, Switzerland.
https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-11262-2_7
- Hernández-Mejía, C., Llorente-Bousquets, J., Vargas-Fernández, I., Luis-Martínez, A.** (2008) Las mariposas (Hesperioidae y Papilionoidea) de Malinalco, Estado de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79, 117–130.
<https://dx.doi.org/10.7550/rmb.5365>
- Hernández-Mejía, B. C.** (2009) Riqueza, distribución y gremios alimentarios de mariposas diurnas de la familia Hesperiidae (Lepidoptera: Hesperioidae), en el sur del estado de México. Tesis de Maestría. UNAM, México. Disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2009/septiembre/0649502/0649502.pdf> (consultado 26 abril 2021).
- Hernández, M. K.** (2010) Selección de mariposas diurnas (Rophalocera: Papilionoidea) con potencial de crianza en una comunidad indígena de la Huasteca Potosina. Tesis de Maestría. Posgrado en Recursos bióticos, Facultad de Ciencias Naturales. UAQ. México.

- Hernández, R. M. del R.** (2019) Diversidad y abundancia de mariposas diurnas en la Reserva de la Biosfera "Sierra del Abra Tanchipa", San Luis Potosí, México. Tesis de Maestría. UASLP. México. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/5871> (consultado 26 abril 2021).
- Hobson, K. A., Kusack, J. W., Mora-Álvarez, B. X.** (2021) Origins of six species of butterflies migrating through northeastern Mexico: new insights from stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$) analyses and a call for documenting butterfly migrations. *Diversity*, 13 (102), 12. <https://doi.org/10.3390/d13030102>
- Holt, E. A., Miller, S. W.** (2011) Bioindicators: Using organisms to measure environmental impacts. *Nature Education Knowledge*, 3 (10), 8. Disponible en: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/bioindicators-using-organisms-to-measure-environmental-impacts-16821310/> (consultado 17 noviembre 2020).
- Ibarra, J., Rincón-Castro, M. C.** (2015) Mitos y realidades sobre las plantas transgénicas resistentes a insectos. *Acta Universitaria*, 25 (3), 13–23. <https://doi.org/10.15174/au.2015.905>
- Kawahara, A. Y., Plotkin, D., Espeland, M., Meusemann, K., Toussaint, E. F., Donath, A., Gimnich, F., Frandsen, P. B., Zwick, A., dos Reis, M., Barber J. R., Peters R. S., Liu, S., Zhou, X., Mayer, C., Podsiadlowski, L., Storer, C., Yack, J. E., Misof, B., Breinholt, J. W.** (2019) Phylogenomics reveals the evolutionary timing and pattern of butterflies and moths. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (45), 22657–22663. <https://doi.org/10.1073/pnas.1907847116>
- Kitahara, M., Fujii, K.** (1994) Biodiversity and community structure of temperate butterfly species within a gradient of human disturbance: An analysis based on the concept of generalist vs. specialist strategies. *Population Ecology*, 36 (2), 187–199. <https://doi.org/10.1007/BF02514935>
- Kitahara, M., Fujii, K.** (2005) Analysis and understanding of butterfly community composition based on multivariate approaches and the concept of generalist/specialist strategies. *Entomological Science*, 8 (2), 137–149. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2005.00109.x>
- Lamas, G.** (2008) *Bibliography of butterflies. An Annotated Bibliography of the Neotropical Butterflies and Skippers (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidae)*. Revised electronic edition. 576 pp. Disponible en: http://www.ucl.ac.uk/taxome/gbn/Lamas_NeotropBibliog_04ii08.doc (consultado 15 octubre 2021).
- Lamas, G.** (2021) *Bibliography of butterflies. An Annotated Bibliography of the Neotropical Butterflies and Skippers (Lepidoptera: Papilionoidea)* Revised electronic edition. 909 pp. Disponible en: <https://www.butterfliesofamerica.com/docs/Neotropical-Bibliography-2021.pdf> (consultado 13 octubre 2021).
- Lang, A., Bühler, C.** (2012) Estimation of required sampling effort for monitoring the possible effects of transgenic crops on butterflies: Lessons from long-term monitoring schemes in Switzerland. *Ecological Indicators*, 13 (1), 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.05.004>
- Lara, A. M. A.** (1999) Riqueza de especies y abundancia relativa de la superfamilia Papilionoidea (Lepidoptera) en un bosque de Quercus, en Huitzilac, Morelos. Tesis de licenciatura

- Biología, UNAM, México. Disponible en: <http://132.248.9.195/pd1999/277945/277945.pdf> (consultado 20 diciembre 2021).
- Legal, L., Dorado, O., Albre, J., Bermudez, K., López, K.** (2017) *Mariposas diurnas: Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla* Estado de Morelos, México. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Trópico Seco Ediciones, 330 pp.
- Legal, L., Valet, M., Dorado, O., de Jesús-Almonte, J. M., López, K., Céréghino, R.** (2020) Lepidoptera are relevant bioindicators of passive regeneration in tropical dry forests. *Diversity*, 12 (6), 15–18.
<https://doi.org/10.3390/D12060231>
- León-Cortés, J. L., Jones, R. W., Gómez-Nucamendi, O. L.** (2003) A preliminary assessment of the butterfly fauna of El Edén Ecological Reserve: Species richness and habitat preferences. Pp. 261–276. En: *The lowland maya area: Three Millenia at the Human-wildland interface*. Haworth Press. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/267303821> (consultado 05 mayo 2022).
- León-Cortés, J. L., Caballero, U., Miss-Barrera, I. D., Girón-Intzin, M.** (2019) Preserving butterfly diversity in an ever-expanding urban landscape? A case study in the highlands of Chiapas, México. *Journal of Insect Conservation*, 23 (2), 405–418.
<https://doi.org/10.1007/s10841-019-00149-7>
- Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A., Vargas-Fernández, I.** (2006) Apéndice general de Papilionoidea: Lista sistemática, distribución estatal y provincias biogeográficas. Pp. 733–797. En: J. J. Morrone, J. Llorente-Bousquets (Eds.). *Componentes bióticos principales de la entomofauna mexicana*. Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- Llorente-Bousquets, J., Vargas-Fernández, I., Luis-Martínez, A., Trujano-Ortega, M., Hernández-Mejía, B. C., Warren, A. D.** (2014) Biodiversidad de Lepidoptera en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85 (SUPPL.), 353–371.
<https://doi.org/10.7550/rmb.31830>
- Lourenço, G. M., Soares, G. R., Santos, T. P., Dátilo, W., Freitas, A. V., Ribeiro, S. P.** (2019) Equal but different: Natural ecotones are dissimilar to anthropic edges. *PLoS ONE*, 14 (3), e0213008.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213008>
- Lourenço, G. M., Luna, P., Guevara, R., Dátilo, W., Freitas, A. V. L., Ribeiro, S. P.** (2020) Temporal shifts in butterfly diversity: responses to natural and anthropic forest transitions. *Journal of Insect Conservation*, 24 (2), 353–363.
<https://doi.org/10.1007/s10841-019-00207-0>
- Luis-Martínez, M., Llorente-Bousquets, J.** (1990) Mariposas en el Valle de México: Introducción e historia 1. Distribución local y estacional de los Papilionoidea de la Cañada de los Dínamos, Magdalena Contreras, D. F. México. *Folia Entomológica Mexicana*, 78, 95–198.
- Luis-Martínez, A., Sánchez, G. A., Ávalos-Hernández, O., Salinas-Gutiérrez, J. L., Trujano-Ortega, M., Arellano-Covarrubias, A., Llorente-Bousquets, J.** (2020) Distribution and diversity of Papilionidae and Pieridae (Lepidoptera: Papilionoidea) in Loxicha region, Oaxaca, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 68 (1), 139–155.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v68i1.37587>
- Luna-Reyes, M., Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A., Vargas-Fernández, I.** (2010) Composición faunística y fenología de las mariposas (Rhopalocera: Papilionoidea) de

- Cañón de Lobos, Yautepec, Morelos, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81 (2), 315–342. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42516001009> (consultado 15 enero 2021).
- Luna-Reyes, M., Luis-Martínez, A., Vargas-Fernández, I., Llorente-Bousquets, J.** (2012) Mariposas del estado de Morelos, México (Lepidoptera: Papilionoidea). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 623–666.
<https://doi.org/10.7550/rmb.27987>
- Marín, L., León-Cortés, J. L., Stefanescu, C.** (2009) The effect of an agro-pasture landscape on diversity and migration patterns of frugivorous butterflies in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 18 (4), 919–934.
<https://doi.org/10.1007/s10531-008-9540-z>
- Martínez-Noble, J. I., Meléndez-Ramírez, V., Delfín-González, H., Pozo, C.** (2015) Mariposas de la selva mediana subcaducifolia de Tzucacab, con nuevos registros para Yucatán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86 (2), 348–357.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.04.010>
- Martínez-Sánchez, N., Barragán, F., Gelviz-Gelvez, S. M.** (2020) Temporal analysis of butterfly diversity in a succession gradient in a fragmented tropical landscape of Mexico. *Global Ecology and Conservation*, 21, 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00847>
- Martorell, C., Peters, E. M.** (2005) The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation*, 124 (2), 199–207.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.01.025>
- Maya-Martínez, A., Pozo, C., Mayuc, E.** (2005) Las mariposas (Rhopalocera: Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae) de la selva alta subperennifolia de la región de Calakmul, México, con nuevos registros. *Folia Entomológica Mexicana*, 44 (2), 123–143. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42444204> (consultado 11 enero 2021).
- Maya-Martínez, A., Pozo, C., Schmitter-Soto, J. J.** (2009) Distribution patterns of Charaxinae (Lepidoptera: Nymphalidae) in Yucatan peninsula, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 25 (2), 283–301.
<https://doi.org/10.21829/azm.2009.252625>
- McCune, B., Grace, B. J.** (2002) *Analysis of Ecological Communities*. MjM software design. Oregon, USA, 300 pp.
- McGeoch, M. A.** (2007) Insects and bioindication: Theory and progress. Pp. 144–174. En: A. J. A. Stewart, T. R. New, O. T. Lewis (Eds.). *Insect Conservation Biology: Proceedings of the Royal Entomological Society's 23rd Symposium*, University of Sussex, Falmer, Brighton, United Kingdom.
<https://dx.doi.org/10.1079/9781845932541.0144>
- Meléndez-Jaramillo, E.** (2017) Diversidad de las mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea) en una selva baja espinosa caducifolia de condición primaria y secundaria en Victoria, Tamaulipas, Tesis de maestría, UANL, México. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/14140/1/1080242638.pdf> (consultado 17 febrero 2021).
- Meléndez-Jaramillo, E., Cantú-Ayala, C. M., Estrada-Castillón, A. E., Uvalle-Sauceda, J. I., García-Jiménez, J., Sánchez-Reyes, U. J.** (2017) Mariposas diurnas (Rhopalocera: Papilionidae y Pieridae) en una selva baja espinosa caducifolia de condición primaria y

- secundaria en Victoria, Tamaulipas, México. *Ecología y Comportamiento Entomología mexicana*, 4, 427–433.
- Meléndez-Jaramillo, E., Cantú-Ayala, C. M., Sánchez-Reyes, U. J., Herrera-Fernández, B., Estrada-Castillón, A. E.** (2018) Valor indicador de los ninfálidos (Papilionoidea: Nymphalidae) en selva baja espinosa caducifolia del Noreste de México. *Ecología y Comportamiento Entomología Mexicana*, 5, 253–260.
- Meléndez-Jaramillo, E., Cantú-Ayala, C. M., Sánchez-Reyes, U. J., Sandoval-Becerra, F. M., Herrera-Fernández, B.** (2019) Altitudinal and seasonal distribution of butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea) in Cerro Bufo El Diente, Tamaulipas, Mexico. *ZooKeys*, 900, 31–68.
<https://doi.org/10.3897/zookeys.900.36978>
- Meléndez-Jaramillo, E., Cantú-Ayala, C. M., Treviño-Garza, E. J., Sánchez-Reyes, U. J., Herrera-Fernández B.** (2021) Composition and diversity of butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea) along an atmospheric pollution gradient in the Monterrey Metropolitan Area, Mexico. *ZooKeys*, 1037, 73–103.
<https://doi.org/10.3897/zookeys.1037.66001>
- Miranda, F., Hernández-X., E.** (1963) Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28, 29–179.
<https://dx.doi.org/10.17129/botsci.1084>
- Molina-Martínez, A., León-Cortés, J. L.** (2006) Movilidad y especialización ecológica como variables que afectan la abundancia y distribución de lepidópteros papilionidos en el sumidero, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 22 (3), 29–52.
<https://doi.org/10.21829/azm.2006.2232022>
- Montero, R. J. J.** (2014) Estructura y diversidad de especies de una comunidad de mariposas diurnas frugívoras ninfálidas en un bosque secundario avanzado de tierras medias del Caribe de Costa Rica en una dimensión espacial y temporal. *Universidad Latina de Costa Rica*, 1–61.
<https://doi.org/10.13140/2.1.1092.3840>
- Montero-A., F., Ortiz-P., M.** (2013) Aporte al conocimiento para la conservación de las mariposas (Hesperioidea y Papilionoidea) en el Páramo del Tablazo, Cundinamarca (Colombia). *Boletín científico centro de museos Museo de Historia Natural*, 17 (2), 197–226. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v17n2/v17n2a17.pdf> (consultado 22 junio 2021).
- Mulanovich, D. C. A. J.** (2007) *Mariposas Guía para el manejo sustentable de las mariposas del Perú*. PROMPEX-IIAP-GTZ, Perú, 101 pp. Disponible en: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/186> (consultado 14 febrero 2021).
- Nylin, S.** (2009) Gradients in butterfly biology. Pp.198–216. En: J. Settele, T. Shreeve, M. Konvicka, H. Van Dyck (Eds.). *Ecology of butterflies in Europe*. Cambridge University Press, London.
- Nowicki, P., Settele, J., Henry, P. Y., Woyciechowski, M.** (2008) Butterfly monitoring methods: The ideal and the real world. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 54 (1), 69–88.
<https://doi.org/10.1560/IJEE.54.1.69>
- Orozco, M.** (2006) *Zoocría de mariposas diurnas Rhopalocera en bosques húmedos tropicales del oriente antioqueño*. Corporación Autónoma Regional Rionegro CORNARE, Antioquia,

- Colombia, 25 pp. Disponible en: www.biocina.info/Biblioteca/ConstantinoZoocriaMariposas.pdf (consultado 16 enero 2021).
- Paoletti, M. G.** (1999) Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 1–18.
[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00027-4)
- Pekin, B. K.** (2013) Effect of widespread agricultural chemical use on butterfly diversity across Turkish provinces. *Conservation Biology*, 27 (6), 1439–1448.
<https://doi.org/10.1111/cobi.12103>
- Pérez, J. E. B.** (2017) Diversidad de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) en un gradiente de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México. Tesis de licenciatura. UAEH. México. Disponible en: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/231104/1961> (consultado 24 diciembre 2021).
- Peterson, E. M., Shaw, K. R., Smith, P. N.** (2019) Toxicity of agrochemicals among larval painted lady butterflies (*Vanessa cardui*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38 (12), 2629–2636.
<https://doi.org/10.1002/etc.4565>
- Pozo, C.** (2006) Los Rhopalocera de la región de Calakmul, Campeche: métodos de estudio, fenología y su uso como indicadores de disturbio. Tesis de doctorado. UNAM, México. Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/72878> (consultado 10 diciembre 2020).
- Pozo, C., Galindo-Leal, C.** (2000) *Informe final SNIB-CONABIO del proyecto J112. inventario y monitoreo de anfibios y mariposas en la Reserva de Calakmul, Campeche*. El Colegio de la Frontera Sur Unidad Chetumal. Quintana Roo, México, 25 pp.
- Pozo, C., Galindo-Leal, C.** (2006) Las mariposas (Lepidoptera: Papilionoidea) como indicadores para el monitoreo enfocado a la conservación: la región de Calakmul, como estudio de caso. Pp. 97–126. En: *Los Rhopalocera de la región de Calakmul, Campeche: Métodos de estudio, fenología y su uso como indicadores de disturbio*. Tesis de Doctorado, UNAM, México.
- Pozo, C., Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, M. A., Vargas-Fernández, I., Salas-Suárez, N.** (2005) Reflexiones acerca de los métodos de muestreo para mariposas en las comparaciones biogeográficas. Pp. 203–215. En: J. Llorente, J. J. Morrone (Eds.). *Regionalización geográfica en Iberoamérica y tópicos afines: primeras jornadas biogeográficas de la Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología sistemática (RIBES XII.I-CYTED)*. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://www.biocina.info/biblioteca/Pozo2005.pdf> (consultado 08 enero 2021).
- Pozo, C., Luis-Martínez, M. A., Uc, T. S., Salas-Suárez, N., Maya-Martínez, A.** (2003) Butterflies (Papilionoidea and Hesperioidae) of Calakmul, Campeche, México. *The Southwestern Naturalist*, 48 (4), 505–525.
[https://doi.org/10.1894/0038-4909\(2003\)048<0505:bpahoc>2.0.co;2](https://doi.org/10.1894/0038-4909(2003)048<0505:bpahoc>2.0.co;2)
- Pozo, C., Luis-Martínez, A., Llorente-Bousquets, J., Salas-Suárez, N., Maya-Martínez, A., Vargas-Fernández, I., Warren, A. D.** (2008) Seasonality and phenology of the butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidae) of Mexico's Calakmul Region. *Florida Entomologist*, 91 (3), 407–422.

- [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2008\)91\[407:SAPOTB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2008)91[407:SAPOTB]2.0.CO;2)
- Pozo, C., Luis-Martínez, M. A., Salas-Suárez, N., Trujano-Ortega, M., Llorente-Bousquets, J.** (2014) Mariposas diurnas: bioindicadoras de eventos actuales e históricos. Pp. 327–347. En: C. A. González Z., A. Vallarino, J. C. Pérez J., A. M. Low P. (Eds.), *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC. México, D.F.
- Raguso, R. A., Llorente-Bousquets, J.** (1990) The Butterflies (Lepidoptera) of the Tuxtla Mts., Veracruz, Mexico, Revisited: Species-Richness and Habitat Disturbance. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 29 (1–2), 105–133.
- Ramírez-Segura, O., Wallace-Jones, R.** (2017) Lepidópteros diurnos de áreas verdes urbanas de Querétaro, México. *Entomología Mexicana*, 4, 503–508.
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M. P., Vázquez, A. I., Landero, I., Oliva-Rivera, H., Camacho, V. H. M.** (2011) Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7, 1–22.
<https://doi.org/10.1186/1746-4269-7-2>
- Ribeiro, D. B., Freitas, A. V. L.** (2010) Differences in thermal responses in a fragmented landscape: temperature affects the sampling of diurnal, but not nocturnal fruit-feeding Lepidoptera. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 42, 1–4.
- Rodríguez, L. V. G.** (2021) Lepidópteros diurnos como bioindicadores en sitios con características ambientales contrastantes en el valle de San Luis Potosí. Tesis de maestría. UASLP, México. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/7731> (consultado: 20 junio 2022).
- Ross, G. N.** (1967) A distributional study of the butterflies of the Sierra de Tuxtla in Veracruz, Mexico. Tesis de doctorado. University of Lousiana. USA. Disponible en: https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_disstheses/1315 (consultado 17 febrero 2021).
- Ruiz-García, N., Méndez-Pérez, B. Y., Velasco-García, M. V., Sánchez-De La Vega, G., Rivera-Nava, J. L.** (2015) Distribución, ciclo biológico y tabla de vida de *Eumaeus toxea* (Lepidoptera: Lycaenidae) en la provincia fisiográfica Costa de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86 (4), 998–1003. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42542747017> (consultado 12 marzo 2021).
- Rzedowski, J.** (2006) *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxPort.pdf> (consultado 10 febrero 2022).
- Sánchez, G. C. I.** (2012) Mariposas diurnas (Papilionoidea) como indicadores ecológicos del estado de conservación de un área de selva baja caducifolia en la depresión del Balsas, Guerrero, Morelos y Puebla. Tesis de licenciatura. UNAM, México. Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/12240> (consultado 11 febrero 2021).
- Sánchez-Jasso, J. M., Rivas-Manzano, I. V.** (2008) Ciclo biológico y hábitos alimentarios de *Dione juno huascuma* (Lepidoptera: Nymphalidae) del Platanar, Malinalco, Estado de México. *Sociedad Mexicana de Entomología*, 99–104. Disponible en: <http://www.socmexent.org/entomologia/revista/2008/BHN/99-104.pdf> (consultado 25 febrero 2021).

- Sánchez-Jasso, J. M., Estrada-Álvarez, J. C., Medina, J. P., Estrada-Fernández, B. Y.** (2019) Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilioidea y Hesperioidae) en el paisaje urbano del municipio de Metepec, Estado de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, 1–12.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2659>
- Sant'Anna, C. L. B., Ribeiro, D. B., Garcia, L. C., Freitas, A. V. L.** (2014). Fruit-feeding butterfly communities are influenced by restoration age in tropical forests. *Restoration Ecology*, 22 (4), 480–485.
<https://doi.org/10.1111/rec.12091>
- Schmucki, R., Harrower, C. A., Dennis, E. B.** (2021) RBMS: Computing generalized abundance indices for butterfly monitoring count data. R package version 1.1.0. Disponible en: <https://retoschmucki.github.io/rbms/> (consultado 23 junio 2021).
- Schmucki, R., Sevilleja, C., Dennis, E. B., Harrower, C. A., Kazlauskis, K., Rathod, B., van Breda, G., van Breda, J., Van Swaay, C. A. M., Roy, D. B.** (2020) *Tools to support butterfly monitoring and analysis*. Butterfly Conservation Europe. United Kingdom, 36 pp. Disponible en: <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/529525/> (consultado 17 julio 2021).
- Schulze, C. H., Linsenmair, K. E., Fiedler, K.** (2001) Understorey versus canopy: Patterns of vertical stratification and diversity among Lepidoptera in a Bornean rain forest. *Plant Ecology*, 153, 133–152.
<https://doi.org/10.1023/A:1017589711553>
- Shapiro, M. A.** (1974) The butterfly fauna of the Sacramento Valley, California. *Journal of Lepidopterist Society*, 13 (2), 73–82.
- Sharma, K., Kumar, A. B., Sharma, G., Valente, D., Pasimeni, M. R., Petrosillo, I., Selvan, T.** (2020) Land use effect on butterfly alpha and beta diversity in the Eastern Himalaya, India. *Ecological Indicators*, 110, 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105605>
- Shephard, A. M., Mitchell, T. S., Henry, S. B., Oberhauser, K. S., Kobiela, M. E., Snell-Rood, E. C.** (2020) Assessing zinc tolerance in two butterfly species: consequences for conservation in polluted environments. *Insect Conservation and Diversity*, 13 (2), 201–210.
<https://doi.org/10.1111/icad.12404>
- Siddig, A. A. H., Ellison, A. M., Ochs, A., Villar-Leeman, C., Lau, M. K.** (2016) How do ecologists select and use indicator species to monitor ecological change? Insights from 14 years of publication in Ecological Indicators. *Ecological Indicators*, 60, 223–230.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.036>
- Sirua, F.** (2006) *Plan de manejo del Centro de Manejo de Vida Silvestre "Awacachi"*. Fundación Sirua-Fauna y Flora Internacional FFI. Quito, Ecuador, 67 pp.
- Solis-Gabriel, L., Mendoza-Arroyo, W., Boege, K., Del-Val, E.** (2017) Restoring lepidopteran diversity in a tropical dry forest: Relative importance of restoration treatment, tree identity and predator pressure. *PeerJ*, 5, 1–15.
<https://doi.org/10.7717/peerj.3344>
- Thomas, J. A.** (2005) Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360, 339–357.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1585>

- Urretabizkaya, N., Vasicek, A., Saini, E.** (2010) *Insectos perjudiciales de importancia agronómica* 1. *Lepidópteros*. Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria INTA, Buenos Aires, Argentina, 77 pp. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_lepidopteros.pdf (consultado 05 enero 2021).
- Van Nieukerken, E. J., Kaila, L., Kitching, I. J., Kristensen, N. P., Lees, D. C., Minet, J., Mitter, C., Mutanen, M., Regier, J. C., Simonsen, T. J., Wahlberg, N., Yen, S.-H., Zahiri, R., Adamski, D., Baixeras, J., Bartsch, D., Bengtsson, B. Å., Brown, J. W., Bucheli, S. R., Zwick, A.** (2011) Order Lepidoptera Linnaeus, 1758. Pp. 212–221. En: Z.-Q Zhang (Ed.). *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness* (Zootaxa, 3148). Magnolia Press, Auckland, New Zealand. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3148.1.41>
- Van Swaay, C., Regan, E., Ling, M., Bozhinovska, E., Fernandez, M., Huertas, B., Phon, C.-K., Korosi, A., Marini-Filho, O. J., Meerman, J., Peer, G., Safián, S., Sam, L., Shuey, J., Taron, D., Terblanche, R., Uehara-Prado, M., Underhill, L.** (2015) *Guidelines for Standardized Global Butterfly Monitoring*. Group on Earth observations biodiversity observation network, GEO BON Technical Series. Leipzig, Germany, 33 pp. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1610.8885>
- Van Swaay, C. A. M., Dennis, E. B., Schmucki, R., Sevilleja, C., Balalaikins, M., Botham, M., Bourn, N., Brereton, T., Cancela, J. P., Carlisle, B., Chambers, P., Collins, S., Dopagne, C., Escobés, R., Feldmann, R., Fernández-García, J. M., Fontaine, B., Gracianeteparaluceta, A., Harrower, C., Harpke, A., Heliölä, J., Komac, B., Kühn, E., Lang, A., Maes, D., Mestdagh, X., Middlebrook, I., Monasterio, Y., Munguira, M. L., Murray, T. E., Musche, M., Öunap, E., Paramo, F., Pettersson, L. B., Piqueray, J., Settele, J., Stefanescu, C., Švitra, G., Tiitsaar, A., Verovnik, R., Warren, M. S., Wynhoff, I., Roy, D. B.** (2019) *The EU Butterfly Indicator for Grassland species: 1990-2017: Technical Report*. Butterfly Conservation Europe & ABLE/eBMS, 23 pp.
- Vargas-Fernández, I., Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A.** (1992) Listado Lepidopterofaunístico de la Sierra de Atoyac de Álvarez en el estado de Guerrero: Notas acerca de su distribución local y estacional (Rhopalocera: Papilionoidea). *Folia Entomológica Mexicana*, 86, 41–178. Disponible en: <http://repositorio.fciencias.unam.mx:8080/xmlui/handle/11154/139869?show=full> (consultado 17 marzo 2021).
- Vargas-Fernández, I., Llorente-Bousquets, J., Luis-Martínez, A.** (1999) Distribución de los Papilionoidea (Lepidoptera: Rhopalocera) de la sierra de Manantlán (250-1,650 m) en los estados de Jalisco y Colima. *Publicaciones Especiales del Museo de Zoología*, 11, 153.
- Vargas-Fernández, I., Llorente-Bousquets, J. E., Luis-Martínez, A.** (2016) *Adiciones a la serie Papilionoidea de México: distribución geográfica e ilustración*. Universidad Nacional Autónoma de México, 120 pp.
- Vásquez, B. J., Zárate, G. R., Pinedo, J. J., Ramírez, H. J. J.** (2017) *Manual para la crianza de diez especies de mariposas amazónicas*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana IIAP, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana-UNAP, Lima, Perú, 84 pp.
- Vester, H. F. M., Lawrence, D., Eastman, J. R., Turner, B. L., Calmé, S., Dickson, R., Pozo, C., Sangermano, F.** (2007) Land change in the southern Yucatán and Calakmul biosphere reserve: Effects on habitat and biodiversity. *Ecological Applications*, 17 (4), 989–1003.

<https://doi.org/10.1890/05-1106>

- Wagner, D. L.** (2005) *Caterpillars of Eastern North America: A Guide to Identification and Natural History*. Princeton University Press, New Jersey, USA, 510 pp.
- Waltz, A. E. M., Covington, W. W.** (2004) Ecological restoration treatments increase butterfly richness and abundance: Mechanisms of response. *Restoration Ecology*, 12 (1), 85–96. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.00262.x>
- Warren, A. D.** (2000) Hesperioidae (Lepidoptera). Pp. 535–580. En: J. E. Llorente-Bousquets, E. González, S. N. Papavero (Eds.). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México Vol.II*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Warren, A. D.** (2005) Preliminary list of literature related to mexican butterflies. Listado preliminar de la literatura sobre mariposas mexicanas. Disponible en: <https://www.butterfliesofamerica.com/docs/MM-MEX-LIT.pdf> (consultado 18 noviembre 2020).
- Warren, A. D., Davis K. J., Stangeland, E. M., Pelham, J. P., Willmott, K. R., Grishin, N. V.** (2016) Illustrated list of American butterflies. Disponible en: <https://www.butterfliesofamerica.com/L/All.htm> (consultado 10 mayo 2022).
- WFO** (2022) World Flora Online. Disponible en: <http://www.worldfloraonline.org> (consultado 18 mayo 2022).
- Whitworth, A., Pillco, H. R., González, M. H., Braunholtz, L. D., MacLeod, R.** (2018) Food for thought. Rainforest carrion-feeding butterflies are more sensitive indicators of disturbance history than fruit feeders. *Biological Conservation*, 217, 383–390. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.11.030>
- Yin, H.** (2008) The Self-Organizing Maps: Background, Theories, Extensions and Applications. Pp. 715–762. En: J. Fulcher, L. C. Jain (Eds.). *Computational Intelligence: A Compendium*. Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-78293-3>