

Paredes Puc, W.E., Chablé Mis, N.J., Ruíz Mariscal, K.L., Cabrera Tamayo, A.L., Cervera López G.R., Rivera-Arriaga, E., Peña-Puch, A.C. 2025. Importancia de las mariposas como posibles bioindicadores de la calidad ambiental en México, un estudio de revisión. *JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático* 7(2): 45-62. doi 10.26359/52462.0708



Importancia de las mariposas como posibles bioindicadores de la calidad ambiental en México, un estudio de revisión

Importance of butterflies as potential bioindicators of environmental quality in Mexico

*Wendy E. Paredes Puc¹, Nadia J. Chablé Mis¹, Karla L. Ruíz Mariscal¹,
Andrea L. Cabrera Tamayo¹, Galilea del R. Cervera López¹,
Evelia Rivera-Arriaga² y Angelina del Carmen Peña-Puch²*

¹ Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche.

² Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), Universidad Autónoma de Campeche

* autor de correspondencia: al069584@uacam.mx

doi 10.26359/52462.0708

Recibido 07/julio/2025. Aceptado 09/diciembre/2025

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

Este artículo analiza el papel fundamental de las mariposas (orden Lepidoptera) como posibles bioindicadores de la calidad ambiental en México, país que alberga una gran diversidad de estos lepidópteros, con más de 1,900 especies documentadas. El estudio tiene como objetivo principal analizar los factores que hacen de las mariposas indicadores ecológicos, evaluando su sensibilidad frente a perturbaciones ambientales como la fragmentación de hábitats, la contaminación y los efectos del cambio climático. La metodología consistió en una revisión bibliográfica de 59 investigaciones científicas, seleccionadas mediante búsquedas en bases de datos de carácter académico. Los resultados demuestran que estos insectos son particularmente esenciales para el monitoreo ambiental debido a su estrecha asociación con la vegetación, su alta especificidad de hábitat y su rápida respuesta ecológica. Estudios de caso en áreas urbanas y naturales evidencian cómo especies como *Danaus plexippus* (mariposa monarca) y *Papilio esperanza* (mariposa cometa oaxaqueña) reflejan cambios en la calidad ambiental. El artículo concluye que, a pesar de su gran potencial como herramientas de diagnóstico ecológico, persisten desafíos importantes para su implementación sistemática, incluyendo la falta de protocolos estandarizados de monitoreo y la escasa información en ciertos ecosistemas. Se destaca la necesidad de integrar a las mariposas en estudios experimentales y de monitoreo ambiental, políticas públicas de conservación y evaluación ambiental, así como de promover programas para ampliar la recolección de datos para aprovechar su capacidad como bioindicadores en estrategias de conservación de la biodiversidad mexicana.

Palabras clave: México, biodiversidad, Lepidóptera, bioindicadores.

Abstract

This article analyzes the fundamental role of butterflies (order Lepidoptera) as potential bioindicators of environmental quality in Mexico, a country that harbors a great diversity of these lepidopterans, with more than 1,900 documented species. The study's main objective is to analyze the factors that make butterflies ecological indicators, evaluating their sensitivity to environmental disturbances such as habitat fragmentation, pollution, and the effects of climate change. The methodology consisted of a literature review of 59 scientific studies, selected through searches in academic databases. The results demonstrate that these insects are particularly essential for environmental monitoring due to their close association with vegetation, their high habitat specificity, and their rapid ecological response. Case studies in urban and natural areas show how species such as *Danaus plexippus* (monarch butterfly) and *Papilio esperanza* (Oaxacan comet butterfly) reflect changes in environmental quality. The article concludes that, despite their great potential as ecological diagnostic tools, significant challenges remain for their systematic implementation, including the lack of standardized monitoring protocols and limited information in certain ecosystems. It highlights the need to integrate butterflies into experimental and environmental monitoring studies, public conservation policies, and environmental assessments, as well as to promote programs to expand data collection and leverage their capacity as bioindicators in Mexican biodiversity conservation strategies.

Keywords: Mexico, biodiversity, Butterflies, Lepidoptera, bioindicators.



Introducción

El reconocimiento de las mariposas como organismos sensibles a las condiciones ambientales no es un descubrimiento reciente, sino el resultado de una progresión histórica en el estudio de su ecología, comportamiento y distribución (Stefanescu, 2018). La investigación sobre lepidópteros ha cambiado, antes se centraba en su clasificación taxonómica, patrones de distribución geográfica y estética naturalista, sin considerar su potencial como bioindicadores ecológicos (Stefanescu, 2018). No fue sino hasta finales del siglo XX e inicios del XXI que se comenzó a entender su importancia como bioindicadores, especialmente en regiones con alta biodiversidad como México, donde diversos estudios empezaron a asociar la diversidad de mariposas con la calidad de los ecosistemas (Orta *et al.*, 2022; Meléndez Jaramillo, 2020).

Inicialmente, los estudios enfocados en la distribución y diversidad de mariposas no consideraban explícitamente su papel como bioindicadores. Sin embargo, investigaciones como la de Barranco (2016), llevada a cabo en el parque estatal Flor del Bosque en Puebla, México, fueron pioneras en identificar cómo la riqueza de especies y su distribución estaban influenciadas por variables ambientales como la altitud, la cobertura vegetal y la estacionalidad. Esta investigación permitió sentar las bases para considerar a las mariposas no solo como elementos decorativos del paisaje, sino como reflejos biológicos de las condiciones ecológicas del hábitat.

En el contexto global, los polinizadores como bioindicadores de funcionamiento ecosistémico han llamado la atención, aunque las abejas han sido el grupo más estudiado con este fin, las mariposas también se incluyen en esta categoría debido a su función polinizadora y a su sensibilidad ante factores como la temperatura, la humedad, la fragmentación del hábitat y el cambio en el uso de suelo (Abrol, 2012). Este enfoque ecológico permite vincular la presencia o ausencia de mariposas con la salud general del ecosistema, haciendo de estos

insectos un recurso valioso para monitorear impactos ambientales de origen natural o antropogénico (Meléndez - Jaramillo, 2020).

A pesar de su potencial, el uso de mariposas como bioindicadores ha estado sujeto a debate. En la Península Ibérica, las comunidades de mariposas responden de forma clara a variaciones espaciales del clima, pero no necesariamente a los cambios temporales, este hallazgo pone en discusión la validez de utilizar series temporales cortas para evaluar tendencias ecológicas, ya que podría haber una desconexión entre el comportamiento esperado y el real (Mingarro *et al.*, 2021). Aun así, este tipo de estudios han permitido afinar los criterios para su uso, estableciendo que las mariposas son más efectivas como bioindicadores espaciales que como indicadores de cambio a largo plazo.

En el caso de México, el valor como bioindicador de las mariposas ha ganado fuerza en la última década gracias a estudios en distintas regiones y contextos ecológicos. Meléndez Jaramillo (2020), por ejemplo, realizó una investigación en el área metropolitana de Monterrey en la que documentó cómo la diversidad de mariposas disminuye en zonas urbanas en comparación con áreas menos intervenidas. Esta investigación evidenció que la composición de especies puede servir como una herramienta para evaluar los niveles de perturbación ambiental en zonas urbanas, algo crucial en un país que enfrenta procesos acelerados de urbanización.

Además, instituciones nacionales han promovido esta línea de investigación. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2022) ha difundido información sobre el uso de mariposas diurnas como indicadoras de ambientes conservados, especialmente en regiones tropicales. El enfoque institucional ha servido para respaldar iniciativas de monitoreo ecológico y conservación de hábitats, vinculando la presencia de mariposas con la salud del ecosistema y la sostenibilidad del uso de los recursos naturales (CONANP, 2019).



Existe un avance notable en la comprensión del papel de las mariposas como bioindicadores, aún hay desafíos importantes para consolidar su uso en programas oficiales de monitoreo y conservación (Orta *et al.*, 2022). La falta de protocolos estandarizados, el escaso financiamiento a largo plazo y la necesidad de contar con personal capacitado son factores que limitan su aplicación práctica. Asimismo, González-Valdivia *et al.* (2011) proponen que las mariposas, cuando se usan en conjunto con otros grupos taxonómicos, ofrecen una visión integral de la biodiversidad, permitiendo una evaluación más robusta del estado de los ecosistemas.

Pozo *et al.* (2014) subrayan que las mariposas pueden reflejar tanto eventos ecológicos actuales como transformaciones históricas en el uso del territorio, dada su estrecha relación con la vegetación nativa y su alta especificidad de hábitat. Esta característica las convierte en organismos clave para estudios ecológicos retrospectivos y prospectivos, útiles tanto para comprender el pasado ambiental de un territorio como para proyectar escenarios futuros en procesos de restauración ecológica.

De acuerdo con la revisión bibliográfica efectuada, resalta lo importante que son las mariposas como bioindicadores, dado a su perceptibilidad para la evaluación de la calidad ambiental en México. Su estrecha relación con la vegetación, su especificidad de hábitat y su rápida respuesta a perturbaciones como la fragmentación, contaminación y cambio climático las posicionan como herramientas fundamentales para el monitoreo ecológico (Pozo *et al.*, 2014; Orta *et al.*, 2022). Estudios como el de Barranco (2016) en Puebla y Meléndez Jaramillo (2020) en Monterrey demuestran que la riqueza y composición de especies reflejan gradienes de urbanización y alteración del hábitat, respaldando la funcionalidad en ambientes con actividades antropizadas.

Aunque las mariposas responden claramente a variaciones espaciales del clima, su uso como indicadores de tendencias temporales requiere series de datos más largas y protocolos más estandarizados (Mingarro *et al.*, 2021). Esto coincide con que la

falta de sistematización en el monitoreo limita la comparabilidad con otros previos estudios, principalmente en ecosistemas áridos y urbanos, donde la escasa información es notoria (González-Valdivia *et al.*, 2011).

Además, su nicho ecológico que desempeñan como polinizadores, amplía su relevancia más allá de la evaluación ambiental, vinculándolas con la seguridad alimentaria y la salud de los ecosistemas (Abrol, 2012). México cuenta con iniciativas ejemplares, como la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca ubicado en Michoacán, pero sólo el 15 % de las áreas protegidas incluyen acciones específicas para lepidópteros (CONABIO, 2023), lo que refleja el poco interés en la particular capacidad de estas especies y las posibles aplicaciones que podrían establecerse.

La inclusión de mariposas en estrategias multiespecíficas, como propone Orta *et al.* (2022), podría ofrecer una visión más integral de la biodiversidad. Sin embargo, esto requiere superar limitaciones como la falta de personas especialistas en el tema y el financiamiento, así como promover la ciencia ciudadana para ampliar la recolección de datos, tal como lo ilustran plataformas como Naturalista (CONABIO, 2023).

Por otra parte, tras la exhaustiva revisión de artículos se puede constatar que muchas investigaciones se centran en mariposas diurnas en ecosistemas bien estudiados, dejando un vacío de conocimiento sobre las mariposas nocturnas o de especies de regiones tropicales. Así mismo, se necesita de más investigación en ecosistemas áridos y semiáridos donde la diversidad de mariposas es menos estudiada.

El deterioro ambiental global ha impulsado la búsqueda de herramientas eficaces para evaluar el estado de los ecosistemas y orientar su manejo sustentable (Cortés-Gómez *et al.*, 2015). En este contexto, los bioindicadores se han consolidado como instrumentos clave, al reflejar cambios en la calidad ambiental mediante la presencia, abundancia o comportamiento de ciertos organismos. Entre ellos, las mariposas (Lepidoptera) destacan por su



sensibilidad ecológica, diversidad y fácil observación (Pozo *et al.*, 2014).

La estrecha relación de las mariposas con la vegetación las hace altamente susceptibles a alteraciones del hábitat, como la fragmentación, contaminación o el cambio climático. La riqueza y composición de sus comunidades varían con la vegetación, altitud y otros factores, lo que permite inferir tanto perturbaciones actuales como condiciones históricas (Pozo *et al.*, 2014; Orta *et al.*, 2022). Esta utilidad ha sido demostrada en estudios realizados en Michoacán, la selva Lacandona y zonas áridas del norte del país (Vázquez *et al.*, 2019; Llorente-Bousquets *et al.*, 2008; Luna *et al.*, 2026).

México, uno de los países más diversos en mariposas, ha empleado estas especies como indicadores ambientales y ecológicos. Por ejemplo, en Monterrey se realizó un estudio, comparando la variación en riqueza, abundancia y diversidad de especies de mariposas a lo largo de un gradiente de contaminación atmosférica durante las diferentes estaciones del año en la Zona Metropolitana de Monterrey, México (Meléndez Jaramillo, 2020). Por otra parte, en Tenosique, Tabasco, México se evaluó si la coloración de las Nymphalidae frugívoras es un indicador de las unidades del paisaje, dicho resultado fue que la estructura de la vegetación afectó la abun-

dancia y composición, pero no la riqueza de mariposas (González-Valdivia *et al.*, 2016). En la región central del estado de Puebla se realizó un estudio de las especies de lepidópteros registrados en la región, los resultados mostraron que la región puede ser considerada un área ideal para encontrar refugio, alimento, áreas de reproducción y conservación de estos organismos, a pesar de la fragmentación de hábitats y de la urbanización (Ramírez-Ordoñez *et al.*, 2023).

Las mariposas son bioindicadores eficaces por su alta especificidad ecológica, capacidad de dispersión y rápida respuesta a perturbaciones ambientales, lo que permite usarlas como señales de alerta ante la degradación de ecosistemas. Además, su visibilidad y atractivo facilitan su integración en programas de ciencia ciudadana y educación ambiental (Orta *et al.*, 2022).

No obstante, su aplicación en políticas públicas y conservación en México enfrenta retos como la falta de datos sistemáticos, la ausencia de protocolos estandarizados y la limitada incorporación en procesos de planificación ambiental. Por ello, es fundamental fortalecer el conocimiento sobre las especies indicadoras, sus condiciones de uso confiable y su integración en marcos de gestión ambiental más amplios.

Diversidad de mariposas en México

En México, la discusión sobre biodiversidad suele centrarse en plantas y vertebrados, mientras que los invertebrados, como los artrópodos, reciben menos atención, a pesar de su extraordinaria abundancia y diversidad (75 % de las especies descritas a nivel mundial) y su ocupación de múltiples hábitats (Llorente y Ocegueda, 2008).

Los lepidópteros existen desde hace más de 110 millones de años, con 157 424 especies descritas en 45 superfamilias. Su éxito evolutivo se atribuye a adaptaciones miméticas, defensas químicas y conductuales (Badger y Kenney, 2006). Dentro de este grupo, las mariposas diurnas (superfamilia Pa-

pionoidea) comprenden 18 768 especies globales, de las cuales más de 1 900 se encuentran en México, representando más del 10 % de la diversidad mundial.

Las síntesis de Heppner (1991, 1998, 2002) ofrecen referencias útiles para comparar la diversidad lepidopterológica entre regiones biogeográficas (tabla 1).

En cifras resumidas, se estima que México contiene 23 750 especies de Lepidoptera, con cerca de 14 500 descritas y documentadas. La cifra real y la estimada se acercan al 10 % de representación en México (Llorente-Bousquets *et al.*, 2013).

**Tabla 1.** Riqueza mundial de las regiones Neártica y Neotropical, y de México con estimados.Fuente: Orta *et al.* (2022).

Superfamilia	Región Neártica	Región Neotropical	¹ Méjico conocido	² Méjico estimado	*Total mundial
Micropterigoidea	2	2	0	1	130
Heterobathmioidea	---	2	0	1	2
Eriocranioidea	16	---	0	---	31
Neopseustoidea	---	3	0	---	9
Hepialoidea	21	133	15	20	463
Nepticuloidea	149	37	4	62	949
Palaephatoidea	---	28	1	10	31
Incurvarioidea	88	41	16	35	527
Tineoidea	585	720	198	700	5 504
Gelechioidea	1468	2 872	391	2 000	16 616
Copromorphoidea	28	46	5	50	546
Yponomeutoidea	212	271	35	170	1841
Immoidea	---	36	2	5	246
Pyraloidea	1414	3 804	1375	3 000	16 654
Pterophoroidea	147	187	43	120	1 031
Sesioidae	168	378	175	260	1 700
Zygaenoidea	43	407	127	160	1 524
Coccoidea	99	511	154	195	1 978
Castnioidae	---	135	14	18	167
Tortricoidea	1215	1 275	495	1 200	6 683
Uranoidea	10	271	30	60	763
Geometroidea	1417	6473	2508	3 000	21 212
Papilionoidea	765	7927	1825	2 000	19 238
Drepanoidea	21	5	2	5	1 016
Bombycoidea	114	2 095	341	450	4 359
Sphingoidea	125	312	202	210	1 078
Noctuoidea	3425	16 820	6550	10 000	42 131
Total descritas y estimado para México	11 532	44 791	14 507	23 742	124 429

¹En lo general se sigue a Heppner (2002), aunque las cifras de México están levemente modificadas en algunas superfamilias. Los estimados consideran hábitat, distribución mundial-regional, estado de conocimiento del grupo, y generalmente sólo de 10 a 12% de la representación de la riqueza mundial.

2Por los autores, a partir de Heppner (2002).

*En este total no se consideran algunos grupos ausentes en las regiones Neártica y Neotropical. Si se considerase el total mundial sería 146 565 para el año 1990. Para el año 2007 (Apéndice) se referían 157 424 especies (Nieuwerken *et al.*, 2011). Casi 11 000 spp. 17 años después.



Impacto del cambio climático en las mariposas

El cambio climático está impactando profundamente la biodiversidad global, modificando el comportamiento de numerosos animales, incluidas las mariposas (Stefanescu, 2018). Estas destacan como sensibles bioindicadores, ya que responden rápida y precisamente a variaciones climáticas (Pozo, 2006). Uno de los principales efectos se observa en su fenología, con alteraciones en el ciclo de vida que afectan la abundancia y distribución de especies (Stefanescu, 2018). El aumento de temperatura ha adelantado su aparición primaveral, provocando desincronización con las plantas hospederas y comprometiendo su supervivencia (Barranco, 2021). Dado que son poiquilotermos, su temperatura corporal depende del ambiente, y requieren entre 30–40 °C para volar eficazmente (Stefanescu, 2018). Además, fenómenos como sequías o inundaciones afectan sus poblaciones, destacando la importancia del clima local en su adaptación (Mingarro *et al.*, 2021).

El propósito de este artículo es identificar los factores que hacen a las mariposas útiles como bioindicadores de la calidad ambiental en México, las condiciones bajo las cuales se emplean con mayor eficacia y su relevancia en estudios de monitoreo ecológico a nivel nacional. Para ello, se analiza su valor ecológico, explorando cómo su presencia y comportamiento pueden reflejar el estado ambiental de diversos ecosistemas. A partir de una revisión de literatura científica, se abordan las ventajas y limitaciones de su uso, los criterios que las definen como bioindicadores y los casos documentados en el país que ilustran su aplicación. Con ello, se busca contribuir al entendimiento de su papel como herramientas de diagnóstico ecológico y fomentar su inclusión en estrategias de conservación y monitoreo ambiental en el contexto mexicano.

Metodología

La metodología para la revisión bibliográfica se tomó de autores como Gómez-Luna *et al.* (2014) y Hernández-Muñoz *et al.* (2022), los cuales proponen los siguientes pasos: 1) identificación del tema de investigación, 2) búsqueda de información, 3) selección y evaluación de información, 4) análisis y síntesis de la información y 5) presentación de los resultados.

La búsqueda de información se llevó a cabo utilizando plataformas de búsqueda como Google Scholar, Redalyc y SiciElo, la búsqueda se realizó colocando en dichos sitios un conjunto de enunciados con palabras claves como “bioindicators”, “ma-

riposas”, “Papilonoidea”, “Méjico”. Se revisaron 59 sitios que contenían documentos con información relevante del tema, del total 4 corresponden a tesis, 38 a artículos científicos, 5 a documentos oficiales, 7 a páginas de gobierno y a 4 libros (figura 1).

Para clasificar la información recopilada se identificaron los artículos en cinco categorías distintas: diversidad, servicios ecosistémicos, indicadores, cambio climático y conservación, de acuerdo con la temática que abordan. Esto con la finalidad de definir los subtemas a desarrollar considerando su frecuencia (tabla 2).

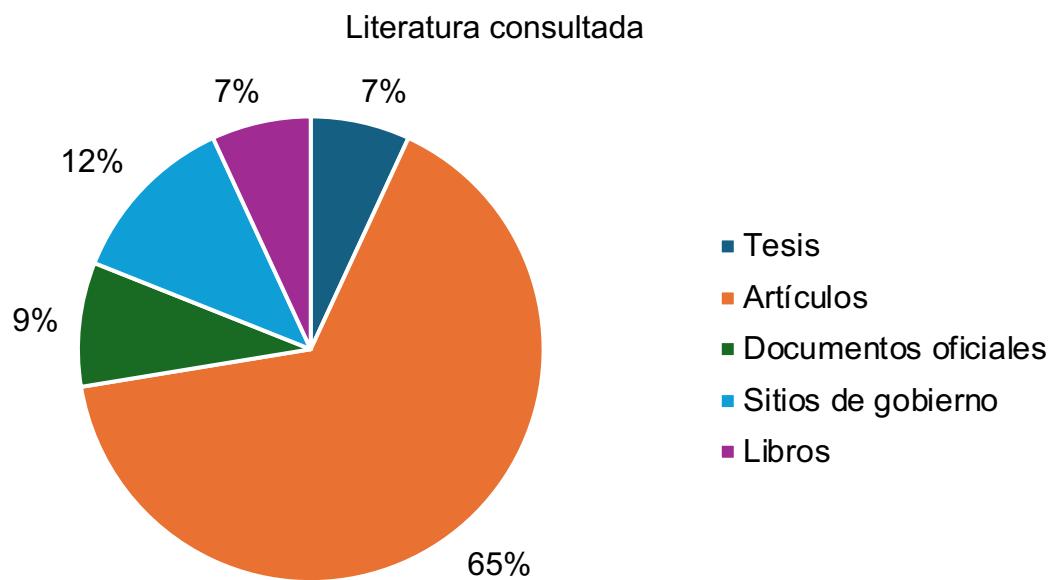


Figura 1. Literatura encontrada por categoría (Fuente: elaboración propia).

Tabla 1. Riqueza mundial de las regiones Neártica y Neotropical, y de México con estimados. Fuente: Orta *et al.* (2022).

Tema	No. de referencias
Importancia ecológica de las mariposas y sus servicios ecosistémicos	6
Mariposas como bioindicadores	12
Características para su empleo con mayor eficacia	10
Relevancia en estudios de monitoreo ecológico a nivel nacional	8
Estrategias de conservación y monitoreo ambiental	15
Monitoreo de mariposas como herramienta de conservación	8

Resultados y discusión

Importancia ecológica y servicios ecosistémicos

Las mariposas en México cumplen un papel esencial en los ecosistemas al proveer diversos servicios ecosistémicos y actuar como posibles bioindicadores sensibles al cambio climático, lo que las convierte en herramientas efectivas para monitorear la salud ambiental (Barranco, 2016).

Destacan como polinizadoras fundamentales para la reproducción vegetal, incluyendo cultivos agrícolas, lo que incide directamente en la producción de alimentos (Abrol, 2012). Además, integran la cadena trófica como fuente alimenticia para aves, reptiles e insectos depredadores, contribuyendo al equilibrio ecológico. En la tabla 3 se detallan más de los servicios ecosistémicos que proveen.

**Tabla 3.** Servicios ecosistémicos de las mariposas en México.(Fuente: Waltz, A. & Covington, W. 2004; Pozo *et al.*, 2014; Abrol, 2012).

Servicio ecosistémico	Importancia	Especies indicadoras	Indicador de calidad ambiental
Polinización	Reproducción de plantas silvestres y cultivadas. Asegura la biodiversidad vegetal y la producción de alimento	<i>Battus philenor</i> (Mariposa del Pipevine), <i>Agraulis vanillae</i> (Mariposa del algodoncillo), varias especies de <i>Heliconius</i> (Mariposas Heliconias)	Abundancia y diversidad de especies polinizadoras. Presencia de especies especialistas en plantas específicas. Alta diversidad indica un ecosistema saludable y funcional.
Control biológico	Algunas larvas se alimentan de plantas invasoras o plagas agrícolas regulando sus poblaciones.	<i>Danaus plexippus</i> (Mariposa Monarca) (larvas se alimentan de algodoncillo), ciertas especies de <i>Lycaenidae</i> (muchas son mirmecófagas y controlan plagas en hormigueros).	Presencia de especies con control de plagas, balance entre especies herbívoras y sus plantas hospederas. Desequilibrio indica posible problema ecológico
Fuente de alimento	Mariposas adultas y sus larvas son fuente de alimento de aves, reptiles, anfibios e insectos, lo que estabiliza la cadena trófica.	<i>Papilio thoas</i> (Mariposa Cometa), diversas especies de <i>Nymphalidae</i> (muchas son presa de aves).	Abundancia y diversidad de mariposas; presencia de depredadores y parasitoides especializados en mariposas. Baja diversidad puede indicar problemas en la cadena trófica.
Indicadores de hábitat	La presencia o ausencia de ciertas especies indica la calidad del hábitat, incluyendo la presencia de plantas hospederas y la usencia de contaminantes.	<i>Caligo memnon</i> (Mariposa búho), <i>Morpho peleides</i> (Mariposa Morpho azul), especies de <i>Riodinidae</i> (muchas tienen requerimientos de hábitat muy específicos).	Presencia de especies especialistas en hábitats específicos, ausencia de especies sensibles a la contaminación o alteración del hábitat. Ausencia de especies indica degradación ambiental
Dispersión de semillas	Algunas especies contribuyen a la dispersión de semillas, ayudando a la regeneración y expansión de la vegetación.	Varias especies de <i>Nymphalidae</i> y <i>Pieridae</i> que visitan flores con semillas adheridas.	Presencia de especies que visitan flores con semillas adheridas y su distribución en el espacio. Alta dispersión indica un ecosistema conectado.
Turismo y educación	La observación de mariposas atrae turistas y genera ingresos económicos, además de fomentar la educación ambiental y la conciencia sobre la conservación.	<i>Danaus plexippus</i> (Mariposa Monarca), <i>Morpho peleides</i> (Mariposa Morpho azul), <i>Agraulis vanillae</i> (Mariposa del algodoncillo).	Alta diversidad y abundancia de especies atractivas para el turismo. Impacto económico positivo en comunidades locales.

Mariposas como bioindicadores

El uso de especies bioindicadoras es una herramienta prometedora para detectar tempranamente disturbios ambientales que amenazan la biodiversidad (Heink y Kowarik, 2010; González y Vallarino, 2014). Pueden usarse como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas para medir directamente (González y Vallarino, 2014). La esencia de la bioindicación es la predictibilidad de la relación entre una especie

bioindicadora y el parámetro ambiental de interés. Además, el inventario de mariposas y el análisis de su diversidad se ha consolidado como una herramienta válida para evaluar el estado del ecosistema (McGeoch, 2007).

La perturbación del hábitat de las mariposas, impulsada por actividades humanas como la agricultura intensiva, urbanización y deforestación, constantemente modifica parámetros ambientales y de contaminación críticos para su supervivencia. A nivel de contaminación uno de los parámetros cla-



ve que se modifican son el aumento de pesticidas e insecticidas, por ejemplo, la agricultura intensiva introduce químicos como el glifosato que eliminan plantas hospederas como el algodoncillo, que es vital para mariposas como la Monarca, y causan mortalidad directa en larvas y adultos (Newsweek, 2024).

Por otra parte, tenemos el aumento de Nitrógeno en el suelo, esto derivado de la deposición de nitrógeno a causa de la industria lo cual altera la composición del suelo y la calidad nutricional de las plantas de las que se alimentan las orugas.

Mientras que la temperatura impacta significativa y negativamente la riqueza y abundancia total de mariposas. Mientras que, la riqueza de plantas en fragmentos de bosque aumenta positiva y significativamente la riqueza de mariposas (Valdés *et al.*, 2026).

En México, numerosos estudios respaldan su uso como indicadores ecológicos (Pozo y Galindo-Leal, 2006; Maya-Martínez *et al.*, 2009; Balam-Balotte y León-Cortés, 2010; González-Valdivia *et al.*, 2016; Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2018). En particular, las especies frugívoras de Nymphalidae y su coloración han sido propuestas como indicadores de calidad del hábitat y alteraciones del paisaje (De la Maza y White, 1990; De la Maza y Soberón, 1998).

Algunas especies de Nymphalidae, Papilionidae y Pieridae fueron mencionadas como bioindicadoras

ecológicas en más de un estudio; las más frecuentes se muestran en la tabla 4 y la figura 2.

El 19 % de la familia Nymphalidae, el 13 % de Pieridae y el 6 % de Hesperiidae fueron especies identificadas como indicadoras de ambas categorías ambientales, representado en la tabla 4 (Orta *et al.*, 2022). En algunos casos podrían haber respondido a preferencias de condiciones de hábitat abierto y no como respuesta al disturbio, por ejemplo, *Nathalis iole Boisduval*, *Danaus plexippus plexippus*, *Phoebis philea philea* y *Phoebis sennae marcellina*, consideradas bioindicadores de conservación en un humedal en una reserva ecológica en Chiapas la biosfera Montes Azules (León-Cortés *et al.*, 2019); pero bioindicadoras de disturbio en áreas de selvas bajas (Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2017, Legal *et al.*, 2020).

Características de empleo de las mariposas con mayor eficacia

El uso de mariposas como bioindicadores ha demostrado ser una herramienta eficaz para evaluar la salud de los ecosistemas, gracias a su sensibilidad a alteraciones como la pérdida de vegetación o la contaminación (Bonebrake *et al.*, 2010; Orta *et al.*, 2022). Sin embargo, su efectividad depende de factores ecológicos, metodológicos y temporales que condicionan su respuesta ambiental.

La selección del hábitat es clave: al depender de la vegetación para alimentarse y reproducirse, su

Tabla 4. Número de especies bioindicadoras ecológicas de la de la superfamilia Papilionoidea en México.

Fuente: Orta *et al.* (2022).

Familia	Bioindicadoras de conservación	Bioindicadoras de áreas con disturbio	De ambas condiciones*	Total
Nymphalidae	26	59	20	105
Pieridae	6	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

*En diferentes estudios y/o hábitats.

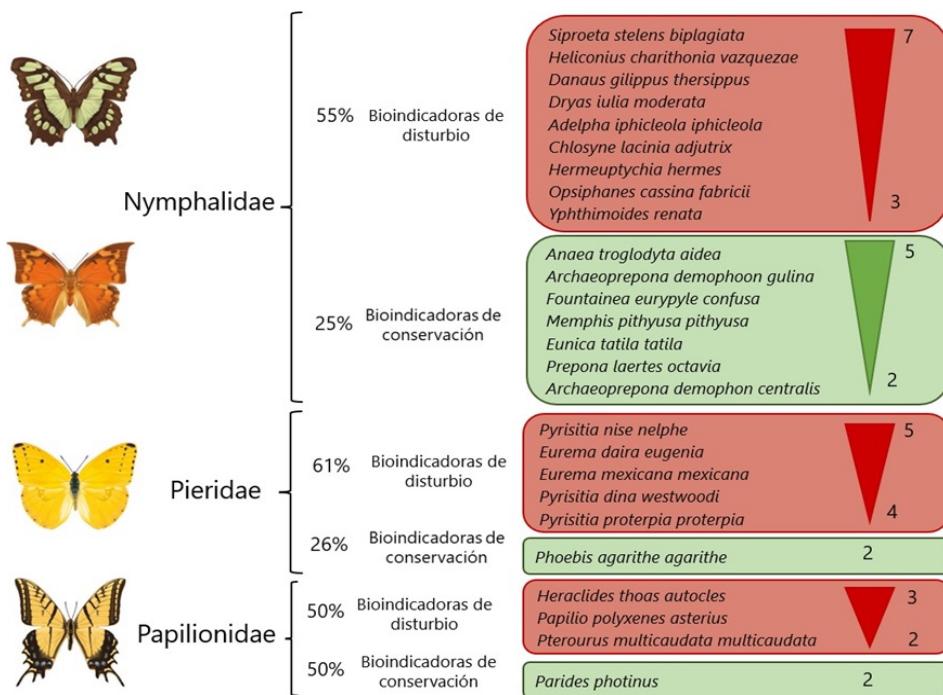


Figura 2. Especies de mariposas mencionadas con mayor frecuencia en la literatura y porcentajes por familia de mariposas bioindicadoras (área roja= de disturbio; área verde= de conservación). (Fuente: Orta *et al.*, 2022).

diversidad refleja directamente las condiciones del entorno vegetal (Brown, 1997; Pozo *et al.*, 2014). Por ello, son especialmente útiles en ecosistemas estructurados como bosques y selvas, pero menos eficaces en áreas urbanizadas sin vegetación nativa (Meléndez Jaramillo, 2020). También es crucial considerar la estacionalidad, ya que sus ciclos de vida están sincronizados con períodos cálidos y húmedos. Muestreos fuera de estas épocas podrían subestimar su diversidad real (Bonebrake *et al.*, 2010).

El monitoreo periódico de mariposas permite distinguir entre variaciones naturales y cambios provocados por disturbios ambientales (Cortés-Gómez *et al.*, 2015). Su efectividad mejora en regiones donde se conoce la composición de especies, ya que algunas son especialistas de hábitat, mientras que otras son generalistas, lo que influye en su valor como indicadores (Llorente-Bousquets *et al.*, 2013). Para ello, es clave contar con guías, bases de datos y apoyo taxonómico, especialmente en zonas tropicales con alta diversidad (CONABIO, 2010).

Se ha demostrado que su uso como bioindicadores es más robusto cuando se complementa con otros grupos biológicos o variables abióticas, como temperatura o cobertura vegetal (Luna *et al.*, 2016; Orta *et al.*, 2022), permitiendo evaluaciones ecosistémicas más completas (Cortés-Gómez *et al.*, 2015).

Asimismo, su integración en programas de ciencia ciudadana amplía el alcance del monitoreo y fomenta la conservación. Su atractivo visual y facilidad de identificación los convierte en excelentes catalizadores del compromiso comunitario (Orta *et al.*, 2022; Pozo *et al.*, 2014).

Relevancia en estudios de monitoreo ecológico a nivel nacional

Como se ha descrito, la sensibilidad de las mariposas ante la perturbación ambiental convierte este grupo en buenos bioindicadores de la calidad de los ecosistemas, además, su presencia en prácticamente todos los tipos de hábitats terrestres en el país ha permitido su aplicación desde regiones tropicales



hasta zonas urbanas, generando una base de datos cada vez más robusta para estudios comparativos a nivel nacional (Orta *et al.*, 2022).

Uno de los estudios representativos en zonas urbanas es el realizado en Monterrey, Nuevo León, donde se evaluó la composición y diversidad de mariposas en ocho sitios con diferentes grados de urbanización. En total, se registraron 91 especies pertenecientes a seis familias, siendo Nymphalidae la más abundante (Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2021). Los autores encontraron que la riqueza específica disminuyó conforme aumentaba el grado de perturbación antrópica, lo que se refleja por ejemplo, en la presencia dominante de *Pyrisitia nise* en zonas muy urbanizadas, mientras que especies como *Danaus plexippus* y *Junonia coenia* se asociaron a sitios con mayor cobertura vegetal y conectividad ecológica, este estudio destaca cómo la estructura del paisaje urbano puede influir directamente en las comunidades de mariposas, convirtiéndolas en indicadores útiles para la planificación urbana sostenible (Meléndez-Jaramillo *et al.*, 2021).

Por otra parte, en ambientes naturales como la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (Morelos), (Legal-Luc *et al.*, 2017), han evidenciado la utilidad de las mariposas para el monitoreo de dinámicas ecológicas a lo largo del tiempo. Allí se documentaron 131 especies asociadas a selva baja caducifolia, y se observaron variaciones significativas en la composición estacional, indicando respuestas a factores como la precipitación y la fenología vegetal. Este tipo de monitoreo permite detectar patrones ecológicos temporales que serían difíciles de observar con otros grupos faunísticos (Rosas-Echeverría *et al.*, 2019). Del mismo modo, en la Reserva Ecológica El Mineral de Nuestra Señora de la Candelaria, ubicada en Cosalá, Sinaloa (Domínguez-Romo *et al.*, 2016) reportaron que la diversidad de mariposas era significativamente mayor en parches conservados que en zonas perturbadas, el trabajo utilizó índices de diversidad alfa y beta para evaluar la conectividad entre parches, demostrando que la fragmentación del paisaje repercute negativamente en la riqueza de especies, con la desaparición local

de especies como *Colias lesbia* y *Papilio cresphontes* en sitios degradados (Domínguez *et al.*, 2016).

Otro estudio realizado por Arroyo Casas, 2018, evalúa la diversidad de lepidópteros en dos parques urbanos de la ciudad de Puebla, el estudio reveló que los espacios con mayor complejidad vegetal presentaron mayor riqueza y abundancia de mariposas, ya que se registraron especies como *Agraulis vanillae*, *Phoebis sennae* y *Anartia fatima*, las cuales son consideradas indicadoras de hábitats semi-naturales (Blair *et al.*, 1997). Finalmente, en el sureste mexicano, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha documentado la presencia de especies indicadoras en diferentes coberturas vegetales. Por ejemplo, *Heraclides thoas* y *Memphis pithyusa* han sido señaladas como sensibles a la pérdida de cobertura forestal en Campeche y Yucatán, reforzando su valor como especies centinela para programas de conservación en la región.

Estrategias de conservación y monitoreo ambiental de las mariposas en México

México desempeña un papel importante en la conservación de mariposas, tanto por la riqueza de especies que alberga como por formar parte de la ruta migratoria de la mariposa Monarca (*Danaus plexippus*). Se estima que el país concentra cerca del 10% de la diversidad mundial de lepidópteros, con aproximadamente 1,800 especies documentadas (Llorente-Bousquets *et al.*, 2014; Heppner, 1998). Además, México posee varias especies endémicas, como *Papilio esperanza*, exclusiva de Oaxaca (Almaraz Almaraz, 2012), *Baronia brevicornis* en Michoacán (García Diaz, 2018), y *Eurytides epidaus*, endémica de los bosques secos del occidente mexicano (Glassberg, 2018). Esta riqueza convierte al país en un lugar especial para la conservación global de lepidópteros.

No obstante, esta diversidad enfrenta amenazas derivadas de actividades humanas, siendo la deforestación, la fragmentación del hábitat, el cambio climático, el uso de agroquímicos y el turismo no



regulado las principales presiones identificadas (SEMARNAT, 2023). Es todavía más preocupante el impacto sobre especies endémicas de distribución restringida, cuyas poblaciones son muy vulnerables a cambios locales. En la selva Lacandona, se ha documentado una reducción del 40 % en poblaciones de *Morpho peleides* debido a la expansión agrícola (González-Espinosa *et al.*, 2011), mientras que, en el centro del país, la urbanización ha afectado especies como *Papilio esperanza* (Meléndez-Jaramillo, 2020).

Es importante mencionar que, aunque las estrategias de conservación y monitoreo ambiental de las mariposas son diversas, entre ellas destaca la Norma Oficial Mexicana 059 (NOM-059-SEMARNAT-2010), en donde se protege a diversas especies de mariposas incluyendo a la *Danaus plexippus* (mariposa monarca) y algunas especies del género *Rothschildia*.

En donde se clasifica la mariposa monarca en la categoría de Protección Especial (Pr), prohibiendo su comercialización y manejo, y establece criterios para su protección en México, ya que enfrenta amenazas significativas por pérdida de hábitat, uso de herbicidas (como el glifosato) y cambio climático, impactando su crucial fenómeno migratorio hacia los bosques mexicanos.

Este tipo de medidas son de suma importancia ya que el cumplimiento de dichas regulaciones asegura la supervivencia de estas especies para preservar la biodiversidad del país.

Por su parte, *Rothschildia cincta* (mariposa cuatro espejos) es otra especie de mariposa, también conocida como polilla cuatro espejos, que fue integrada en la actualización del Anexo Normativo III de la NOM-059-SEMARNAT-2010, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de noviembre de 2019, bajo la categoría de “Amenazada” (A).

El caso de la mariposa Monarca demuestra los retos de conservación transfronteriza que enfrenta México. Cada año, millones de individuos migran desde Canadá y Estados Unidos para hibernar en los bosques templados de Michoacán y el Estado de México. Sin embargo, sus hábitats y rutas mi-

gratorias están amenazados por la pérdida de bosques, el cambio climático, la eliminación de algodoncillo (*Asclepias spp.*) por el uso indiscriminado de herbicidas y el turismo masivo no regulado en los santuarios (Sánchez-Jasso *et al.*, 2019; SEMARNAT, 2023).

Ante estas situaciones, México ha implementado diversas estrategias para la conservación de mariposas. Una de las más destacadas es la creación de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, que protege más de 56 000 hectáreas de bosques de oyamel, importantes para la hibernación de esta especie (WWF, 2023). Además, se han promovido programas de reforestación con plantas nativas y la creación de corredores biológicos con algodoncillo, fundamentales para garantizar la reproducción y el éxito migratorio de la Monarca (González-Valdivia *et al.*, 2023).

En este contexto, el Plan de Acción para la Conservación de la Mariposa Monarca (2018-2024) constituye una herramienta integral que vincula acciones en economía de la conservación, restauración de hábitats, investigación y monitoreo, inspección y vigilancia, participación social, cultura ambiental, así como mecanismos de coordinación interinstitucional y financiamiento (SEMARNAT, CONANP, 2018). El objetivo principal de este plan es incrementar la superficie ocupada por las colonias hibernantes, reforzar la divulgación de la importancia funcional de la Monarca en los ecosistemas y consolidar la protección del hábitat de esta especie emblemática.

Además de la Monarca, en México se han implementado otras acciones para especies de lepidópteros endémicos y amenazados. Por ejemplo, la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán alberga más de 250 especies, incluyendo endémicas como *Doxocopa zalmunna* (CONANP, 2022), mientras que en Oaxaca se han establecido microreservas privadas para la protección de *Battus polydamas* y *Parides alopius*, cuyos hábitats son cada vez más reducidos (Martínez-Morales *et al.*, 2020; IUCN, 2022).



La restauración ecológica ha sido otra buena estrategia, destacando proyectos liderados por la Alianza WWF-Fundación Telcel, que han reforestado más de 1,200 hectáreas con especies nativas en zonas críticas de Michoacán, contribuyendo no solo a la recuperación del hábitat sino también al empoderamiento comunitario (González-Valdivia *et al.*, 2023). En zonas urbanas, las iniciativas de jardines de polinizadores han demostrado ser efectivas, incrementando la diversidad de mariposas en más de un 30 % en áreas verdes de ciudades mexicanas (Hernández-Roldán *et al.*, 2019).

La conservación de mariposas en México también ha incorporado enfoques de participación social e institucional. Actualmente, más de 5 000 familias participan en esquemas de pagos por servicios ambientales en regiones prioritarias para mariposas (CONANP, 2022), mientras que plataformas de ciencia ciudadana como Naturalista registran más de 500 000 observaciones de lepidópteros, convirtiéndose en una fuente de datos para el monitoreo de especies (CONABIO, 2023). Además, la cooperación internacional ha sido importante, especialmente con Estados Unidos y Canadá, en el marco de acuerdos trilaterales para la protección de la Monarca y otras especies migratorias (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008).

Sin embargo, el Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2020-2024 establece lineamientos generales para la conservación de la biodiversidad, pero no detalla programas específicos para la conservación de lepidópteros (CONANP, 2022). Asimismo, la fragmentación del hábitat ha aumentado en diferentes regiones del país, por ejemplo, un estudio de fragmentación y pérdida de conectividad en la Microcuenca Estero El Salado, Jalisco, México, documentó una pérdida significativa de conectividad ecológica entre 2000 y 2021, afectado la biodiversidad local que incluye especies de lepidópteros (González *et al.*, 2023).

Ante estos desafíos, se han propuesto recomendaciones como expandir la red de áreas protegidas enfocadas en mariposas endémicas, desarrollar protocolos estandarizados de monitoreo en todos los

biomas (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008), incrementar la investigación sobre especies poco estudiadas (González *et al.*, 2023), fortalecer la legislación contra pesticidas nocivos (Gobierno de México, 2024), y promover la educación ambiental en escuelas y comunidades (Monarch Butterfly Fund, 2014).

Monitoreo de mariposas como herramienta de conservación

El monitoreo de mariposas se ha consolidado como una herramienta para evaluar la salud de los ecosistemas, gracias a su sensibilidad a cambios ambientales y su papel como indicadores de biodiversidad (Orta *et al.*, 2022). En México, este enfoque ha permitido detectar perturbaciones, diseñar estrategias de conservación y promover la participación comunitaria (De La Maza *et al.*, 1998).

Los estudios de Pozo *et al.* (2014) destacan el uso de transectos estandarizados para registrar abundancia y riqueza de especies, método aplicado en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán para monitorear *Doxocopa laure*, una especie asociada a bosques mesófilos. El programa “Mariposarios Urbanos” en Ciudad de México emplea cámaras trampa y registros fotográficos para seguir poblaciones de *Urbanus proteus*, adaptada a entornos antropizados (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008).

En áreas tropicales, el muestreo con redes entomológicas y trampas de luz ha sido clave para estudiar mariposas nocturnas como *Rothschildia orizaba*, cuyas larvas son bioindicadoras de contaminación por metales pesados (González-Valdivia *et al.*, 2011). Además, plataformas como Naturalist han facilitado la recopilación de datos de los ciudadanos, como los registros de *Libytheana carinenta* en Sinaloa, que revelaron su desplazamiento hacia altitudes mayores debido al calentamiento global (Glassberg, 2018).

El monitoreo sistemático ha influido en decisiones políticas, como la creación del Corredor Biológico Chichinautzin, área de protección de flora y fauna de México situado en la zona noroeste del



estado de Morelos, donde abarca doce municipios, así como la parte occidental del Estado de México, y las delegaciones políticas de Milpa Alta y Tlalpan al sur de Ciudad de México, diseñado para proteger hábitats de *Pterourus multicaudata* (SEMARNAT,

CONANP, 2018). El INIFAP (2022) recomienda incluir mariposas en evaluaciones de impacto ambiental, basándose en su respuesta rápida a la fragmentación de hábitats.

Conclusiones

Las mariposas en México, reconocidas por su sensibilidad ecológica y estrecha relación con la vegetación, se consolidan como bioindicadores esenciales para evaluar la calidad ambiental, reflejando perturbaciones como fragmentación de hábitats, contaminación y efectos del cambio climático; sin embargo, urge implementar protocolos estandarizados de diseño experimental y monitoreo continuo, especialmente en ecosistemas áridos y urbanos donde persisten vacíos críticos de información. La integración de estas especies en estrategias multitanómicas y políticas públicas, como evaluaciones

de impacto ambiental, resulta urgente para aprovechar su capacidad de alerta temprana, tal como lo demuestran estudios en zonas urbanas de Monterrey y reservas como la Mariposa Monarca. Priorizar especies endémicas como *Papilio esperanza* y migratorias como *Danaus plexippus* amenazadas por deforestación y cambio climático, junto con el fortalecimiento de la ciencia ciudadana y la educación ambiental, podría contribuir a la conservación de estas especies importantes para la biodiversidad del país y en el mundo.

Referencias

Abrol, D. P. (2012). Pollinators as bioindicators of ecosystem functioning. En *Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production* (pp. 509–544). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1942-2_16

Almaraz Almaraz, M. E. (2012). Distribución, abundancia, tamaño poblacional y movilidad de *Pterourus esperanza* (Insecta: Lepidoptera) en la Sierra Norte de Oaxaca [Tesis de maestría, El Colegio de la Frontera Sur]. Repositorio ECOSUR. https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2663/1/16728_Documento.pdf

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. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33914381010>

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. <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/1793/1/TDIPICTB3F32016.pdf>

Blair, R. & Launer, A. (1997). Butterfly diversity and human land use: Species assemblages along an urban gradient. *Biological Conservation*, 80(1): 113-125pp.

Bonebrake, T. C., Ponisio, L. C., Boggs, C. L., & Ehrlich, P. R. (2010). More than just indicators: A review of tropical butterfly ecology and conservation. *Biological Conservation*, 143(8), 1831–1841. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.04.047>

Brown J. 1991. Conservation of Neotropical environments: insects as indicators. p. 349-404. En: *The conservation of insects and their habitats* (N. M. Collins y J. A. Thomas, Eds.) Royal Entomological Society Symposium XV, Academic Press, London, England.

Brown, K. S. (1997). Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*, 1(1): 25–42. <https://doi.org/10.1023/A:1018422807610>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2019). Plan de acción para la Conservación de la Mariposa Monarca en México 2018–2024. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conanp/documentos/plan-de-accion-para-la-conservacion-de-la-mariposa-monarca-en-mexico-2018-2024>

Comisión para la Cooperación Ambiental. (2008). Plan de América del Norte para la Conservación de la Mariposa Monarca. Comisión para la Cooperación Ambiental. <https://www.conanp.gob.mx/documentos/PlandeAccion-Monarca2018-2024.pdf>.



CONABIO. (2010). Mariposas de México: Catálogo taxonómico. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Constantino, L. M., 1996.- Ciclos de vida y plantas hospederas de lepidópteros con potencial económico en condiciones de colinas bajas del Chocó biogeográfico. Investigación y manejo de fauna para la construcción de sistemas sostenibles. CIPAV, Cali, Valle. p. 75-86

Cortés-Gómez, A. M., Ruiz-Agudelo, C. A., Valencia-Aguilar, A., & Ladle, R. J. (2015). The importance of ecosystem services in ecological monitoring: An example from a tropical amphibian assemblage. *Ecological Indicators*, 55: 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.038>

De Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, I. N. (s. f.). Mariposas diurnas: indicadoras de ambientes conservados en el trópico... gob.mx. <https://www.gob.mx/infap/articulos/mariposas-diurnas-indicadoras-de-ambientes-conservados-en-el-tropico-mexicano>

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. https://www.researchgate.net/publication/325976412_Rhopalocera_de_la_Huasteca_Potosina_su_distribucion_origen_y_evolucion_Rev_Soc_Mex_Lep_XIII_No_2_15_de_Junio_de_1980

Diario Oficial de la Federación (2010). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3552/1/nom-059-semarnat-2010_30-dic-2010.pdf

García Díaz, J. de J. (2018). Posible impacto del cambio climático en la interacción planta-mariposa: Estudio de caso entre *Baronia brevicornis* y *Acacia cochliacantha* [Tesis de licenciatura, Universidad de las Américas Puebla]. Repositorio UDLAP. https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lat/garcia_diaz_jd/etd_2011015829481.pdf

Glassberg, J. (2018). A Swift Guide to Butterflies of Mexico and Central America: Second Edition. Princeton University Press. <https://books.google.es/books?id=xO07DwAAQBAJ&lpg=PP1&ots=vJMaMRoIQH&dq=Eurytides%20epidaus%20endemism&lr&hl=es&pg=PP5#v=onepage&q&f=false>

Gobierno de México. (2024). Evaluación de la presencia de plaguicidas tóxicos en el aire ambiente y su potencial impacto en apíarios del municipio de Hopelchén. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/924648/009_2024_Evaluacion_de_la_presencia_de_plaguicidas_toxicos_en_el_aire_ambiente_y_su_potencial_impacto_en_apíarios_del_municipio_de_hopelc.pdf

Gómez-Luna, E., D. Fernando-Navas, G. Aponte-Mayor, y L. A. Betancourt-Buitrago (2014), Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización, <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>

González, M., López, R., & Sánchez, L. (2023). Fragmentación y pérdida de conectividad en la Microcuenca Estero El Salado, México (2000–2021). ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/378522138_Fragmentacion_y_perdida_de_conectividad_en_la_Microcuenca_Esterito_El_Salado_Mexico_2000-2021

González, Z. C., Vallarino, A. (2014) Los bioindicadores ¿una alternativa real para la protección del medio ambiente? Pp. 21–40. Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=22c4f-86b89e35a54c9da8a7c090d8650>

González-Valdivia, N. A., Ochoa-Gaona, S., Pozo, C., Ferguson, B. G., Rangel-Ruiz, L. J., Arriaga-Weiss, S. L., Ponce-Mendoza, A., & Kampichler, C. (2011). Indicadores ecológicos de hábitat y biodiversidad en un paisaje neotropical: perspectiva multitaxonómica. *Revista de Biología Tropical*, 59(3): 1433–1451. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442011000300039

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>

Grecia María Peñalosa Alba y DGRNB (2024). Las mariposas monarca y su migración. <https://www.gob.mx/se-marnat/polinizadores/es/articulos/las-mariposas-monarca-y-su-migracion?idiom=es>

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>

Heppner, J. B. (2002). Mexican Lepidoptera biodiversity. *Insecta Mundi*, 16(3-4): 145–162. <https://digitalcommons.unl.edu/insectamundi/550>

Hernández-Muñoz, A.E., M.A.A. Rangel-Alvarado, L. Torres-García, G. Hernández-Martínez, P.K. Castillo-Ixta, L.L. Olivares-Moreno, y A.G. Sánchez-Morales (2022). Proceso para la realización de una revisión bibliográfica en investigaciones clínicas, Digital Ciencia@UAQRO, No. 1 <https://acaentmex.org/boletin/revista/2016Julio/Bol%2051-56.pdf>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2022, mayo 30). Mariposas diurnas: indicadoras de ambientes conservados en el trópico mexicano. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/infap/articulos/mariposas-diurnas-indicadoras-de-ambientes-conservados-en-el-tropico-mexicano>



Kremen, C., Colwell, R. K., Erwin, T. L., Murphy, D. D., Noss, R. F., & Sanjayan, M. A. (1993). Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning. *Conservation Biology*, 7(4): 796–808. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740796.x>

Kremen, C., Colwell, RK, Erwin, TL, Murphy, DD, Noss, RF y Sanjayan, MA (1993). Ensamblés de artrópodos terrestres: Su uso en la planificación de la conservación. Biología de la Conservación: *Revista de la Sociedad de Biología de la Conservación*, 7 (4): 796–808. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740796.x>

León-Cortés, J. L., Caballero, U., Miss-Barrera, I. D., Giron-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., Vargas-Fernández, I., Luis-Martínez, A., Trujano-Ortega, M., Hernández-Mejía, B. C., & Warren, A. D. (2013). Biodiversidad de Lepidoptera en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 353–371. <https://doi.org/10.7550/rmb.31830>

Luna, I. M., Rodríguez-Peña, R. A., & Cordero, C. (2016). Butterflies as bioindicators of habitat disturbance in arid ecosystems of northern Mexico. *Journal of Insect Conservation*, 20(6): 1087–1099.

Maya-Martínez, A., Pozo, C., & Schmitter-Soto, J. J. (2009). Distribution patterns of Charaxinae (Lepidoptera: Nymphalidae) in Yucatán península, México. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), 25(2): 283–301. <https://doi.org/10.21829/azm.2009.252625>

McGeoch, M. A. (2007). Insects and bioindication: theory and progress. En *Insect Conservation Biology* (pp. 144–174). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781845932541.0144>

Meléndez-Jaramillo, E. (2020). Mariposas diurnas (Lepidoptera: papilionoidea) como indicadoras de la calidad ambiental en el área metropolitana de Monterrey, México (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/21681/7/21681.pdf>

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. <https://www.researchgate.net/publication/328305533>

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>

Mingarro, M., Cancela, J. P., Burón-Ugarte, A., García-Barros, E., Munguira, M. L., Romo, H., & Wilson, R. J. (2021). Butterfly communities track climatic variation over space but not time in the Iberian Peninsula. *Insect Conservation and Diversity*. <https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/icad.12498>

Monarch Butterfly Fund. (2014). Talleres de educación y monitoreo ambiental. <https://monarchconservation.org/es/project/environmental-education-and-monitoring-workshops>

Newsweek en Español (2024). La mariposa monarca disminuye 59 por ciento en México a causa de los pesticidas. https://es-us.noticias.yahoo.com/pesticidas-cambio-clim%C3%A1tico-presencia-mariposas-162952381.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2x1LmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAKnW9XMP5-KvKf2hGdK5ZLqi5so5akRf-j3u1fgqbgcLLRzIXAbFGecHrx_CDWhslo0_sijMU-Yp0E5mp8tXk-5iRc8-UNMIII_-bjUJUviheS4p-X0r-2B36w4NIaOwO1CIZ0JXNCYFlmO9PdK9AMSRe-2cUgKkHjLalR9_xFBHdRM

Orta, S. C., Reyes-Agüero, J. A., Luis-Martínez, M. A., Muñoz-Robles, C. A., & Méndez, H. C. (2022). Mariposas bioindicadoras ecológicas en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 38: e3812488. <https://doi.org/10.21829/azm.2022.3812488>

Padilla Zamora, A. C., Thurman, A., MacDonald, J., & Añino, Y. (2020). Lista sinóptica y frecuencia de recolecta de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) en Playa Corona, San Carlos, Panamá. *Poeyana*, (510): 89-92. <https://www.revistaageotech.com/index.php/poey/article/view/356>

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. En Los Rhopalocera de la región de Calakmul, Campeche: Métodos de estudio, fenología y su uso como indicadores de disturbio (pp. 97–126). UNAM.

Pozo, C., Luis-Martínez, A., Salas-Suárez, N., Trujano-Ortega, M., & Llorente-Bousquets, J. (2014). Mariposas diurnas: bioindicadoras de eventos actuales e históricos. En C. A. González-Z., A. Vallarino, J. C. Pérez-J., & A. M. Low-P. (Eds.), *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental* (pp. 327–348). ECOSUR / INECC. <https://www.researchgate.net/publication/281897722>

Ramírez-Ordoñez, J. C., Lozano-Pérez, M., Aguilar-Cazares, G., Gutiérrez-Montaña, A., Yanes-Gómez, G., Jiménez-Moreno, F. J., Orgaz, S. S., & Carrillo, y. U. A. (2023). Mariposas de la Región Central del estado de Puebla, México: Un Acercamiento A Su Conocimiento E Importancia. <https://lum.chiapas.gob.mx/index.php/lum/volumen>

Robin Hannoteau, R. H., Ravalison, F. A. T., Randrianarivelo, B. F., Ravelomanana, A., Trolin, N., Caparros Megido, R., Segers, A., Francis, F., & Noël, G. (2025). Biodiversidad de lepidópteros en los bosques orientales de Madagascar: evaluación de la distribución de especies en paisajes protegidos y antropizados. *Diversity*, 17(2): 95. <https://doi.org/10.3390/d17020095>



Rosas-Echeverría, M. V., Coyote-Ávila, C. A., Aguilar-Dorantes, K. M., & Martínez-Peralta, C. (2019). Diversity of Butterflies (Lepidoptera) in Sierra de Huautla, Morelos, México: A Conservation Approach. *Annals of the Entomological Society of America*, 112(4), 409-417. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz022>

Sánchez-Jasso, J. M., Estrada-Álvarez, J. C., Medina, J. P., & Estrada-Fernández, B. Y. (2019). Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilioidea y Hesperioidea) en el paisaje urbano del municipio de Metepec, Estado de México, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2659>

SEMARNAT (2019). MODIFICACIÓN del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019#gsc.tab=0

SEMARNAT y CONANP (2018), Plan de Acción para la Conservación de la Mariposa Monarca en México, 2018–2024, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.

SEMARNAT y CONANP. (2018). Plan de Acción para la Conservación de la Mariposa Monarca en México, 2018–2024. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Sotolongo, A. M., Morales, Y. D., & de la Cruz Mora, J. M. (2022). Propuesta de estrategia de conservación y monitoreo de lepidópteros en áreas protegidas administradas por ECOVIDA. Ecovida: *Revista científica sobre diversidad biológica y su gestión integrada*, 12(3), 267-275.

Stefanescu, C. (2018). Las mariposas diurnas: bellos indicadores de la calidad ambiental de nuestro entorno. Revista Métode. Revista Métode. <https://metode.es/revistas-metode/article-revistes/las-mariposas-diurnas-belllos-indicadores-de-la-calidad-ambiental-de-nuestro-entorno.html>

Valdés-Rodríguez, L., Barahona-Segovia, RM, Tello, F. et al. Los predictores del paisaje, el hábitat y el medio ambiente influyen de forma diferencial en la riqueza, abundancia y diversidad de las familias de mariposas en fragmentos de bosque urbano tropical. *Urban Ecosyst*, 29: 29 (2026). <https://doi.org/10.1007/s11252-026-01902-y>

Vázquez, M. A., Martínez, E., & Sánchez, A. (2019). Mariposas como bioindicadores de calidad ecológica en bosques templados de Michoacán. *Acta Zoológica Mexicana*, 35, 1–18.

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.1061-1210.2004.00531.x>