



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO

EN CIENCIAS AMBIENTALES

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

LEPIDÓPTEROS DIURNOS COMO BIOINDICADORES EN SITIOS CON

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES CONTRASTANTES EN EL

VALLE DE SAN LUIS POTOSÍ, SLP

PRESENTA:

ING. VIRIDIANA GUADALUPE RODRÍGUEZ LUCIO

CODIRECTORES:

DR. JUAN ANTONIO REYES AGÜERO

M.C. JÉSSICA GRÉTEL LOZA LEÓN

ASESOR:

DR. GUILLERMO ESPINOSA REYES

San Luis Potosí, SLP

27 de septiembre de 2021

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ZONAS DESÉRTICAS

CON FINANCIAMIENTO DE:

COCOOA S.A. DE C.V.

AGRADEZCO A CONACYT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS

BECARIA NÚM. 1007064

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS DEL
PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)**



Lepidópteros diurnos como bioindicadores en sitios con características ambientales contrastantes en el Valle de San Luis Potosí, S.L.P. by Viridiana Guadalupe Rodríguez Lucio is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

AGRADECIMIENTOS

Al PMPCA por darme la oportunidad de enfrentar nuevos y emocionantes retos, gracias por brindarme las herramientas para seguir creciendo.

Al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas por ser mi espacio de trabajo durante esta etapa, te extrañaré, aquí se conservan las largas conversaciones con amigos y profesores.

A Agenda Ambiental por ser un lugar para continuar con mi aprendizaje, este lugar se queda con las emociones de mi primer día de clases.

A COCOAA, S.A de C.V. por el financiamiento para hacer posible este trabajo, gracias por la oportunidad.

A mi familia por su apoyo incondicional, papá, mamá y hermana, sin ustedes no habría llegado tan lejos, por fin pueden entrar a mi cuarto, acercarse al escritorio y leer conmigo lo que tantos días me vieron escribir.

A Manuel Sánchez, habría perdido la cordura de no ser por todo tu apoyo, gracias por siempre creer en mí y recordarme que yo puedo, es tu turno de iniciar con esta maravillosa etapa y ten por seguro que estaré para ti.

A todos los profesores del PMPCA que compartieron su conocimiento conmigo durante estos dos años, aprendí mucho de ustedes, tienen mi total admiración.

A mi codirector de tesis, Dr. Reyes, nunca podré agradecerle lo suficiente por todo el apoyo y paciencia, gracias por confiar en mí desde el primer día, me quedo con la satisfacción de saber que trabajé con una de las personas más dedicadas y apasionadas por la investigación, lo admiro mucho y le agradezco por transmitirme parte de su conocimiento, tenga por seguro que después de estos dos años solo me quedan más ganas de seguir aprendiendo y mejorando.

A mi codirectora de tesis, maestra Grétel, después de cuatro años puedo decir que fue un placer trabajar con usted, gracias por abrirme las puertas de su casa y confiar en mí. Recordaré cada salida a campo con mucho cariño, espero algún día tener la oportunidad de llevar a mis alumnos a los mismos lugares y contarles todo lo que compartimos. Admiro su pasión por enseñar a otros y espero hacer lo mismo algún día.

A mi asesor de tesis, Dr. Guillermo, gracias por su apoyo en esta etapa de mi crecimiento profesional.

Al profesor Carlín por confiar en mí, nunca me cansaré de contar la anécdota sobre el inicio de este proyecto, le aseguro que después de estos cuatro años he dejado de ser una alumna tan distraída. Gracias por hacer de cada salida a campo una aventura, fue un placer trabajar con usted.

A Carolina Orta, Edith Reyes y Dalila García por compartir conmigo parte de sus proyectos, esto fue muy importante para realizar esta investigación, las admiro mucho y les deseo todo el éxito del mundo en sus planes futuros.

A todas las personas que conocimos en Arroyos, Las Moras y Cerro de San Pedro por permitirnos trabajar con ustedes, a la pequeña Mayte por las fotografías y mariposas recolectadas. Me despido enamorada de los paisajes de cada lugar.

A todos mis compañeros de posgrado, especialmente a Lulú de la Torre, Alex González, Deni González y Susi Castillo, nos perdimos un poco de la convivencia gracias a la malvada pandemia, incluso así el tiempo que estuvimos juntos fue suficiente para considerarlos mis amigos, les agradezco por cada momento compartido, los llevo siempre conmigo. Lulú, te agradezco infinitamente por todo el apoyo, te admiro mucho, sé que cumplirás todas tus metas.

Finalmente, a la pequeña adolescente agobiada por el futuro, quiero decirte que tú puedes.

Índice

Resumen	10
Abstract	11
Introducción general.....	12
Referencias	15

Capítulo I

Diversidad de lepidópteros diurnos en sitios con características ambientales contrastantes en el Valle de San Luis Potosí, SLP, México.....18

Resumen	19
Abstract.....	20
Introducción	20
Materiales y métodos	24
Resultados.....	30
Discusión	42
Conclusiones	49
Referencias	50

Capítulo II

Lepidópteros diurnos como bioindicadores ecológicos en el Valle de San Luis Potosí, SLP, México

58

Resumen	59
Abstract.....	60
Introducción	62
Materiales y métodos	64
Resultados.....	71
Discusión	76
Conclusiones	84

Referencias.....	85
Discusión general y conclusiones.....	93
Referencias.....	100
Recomendaciones generales.....	103
Anexos	104

Índice de figuras

Capítulo I

Figura 1. Valle de San Luis Potosí y ubicación de las localidades estudiadas para el presente trabajo.....	25
Figura 2. Climograma general del Valle de San Luis Potosí con datos del periodo del año 1971 al 2000 (Moreno <i>et al.</i> , 2004)	28
Figura 3. Curvas de acumulación de especies de lepidópteros diurnos de los seis sitios de estudio del Valle de San Luis Potosí, México	30
Figura 4. Curvas de abundancia de las seis localidades muestreadas en el Valle de San Luis Potosí, México. En el eje X se muestran los meses de muestreo y en el Y la abundancia (número de individuos) de todas las especies	33
Figura 5. Número de individuos de las especies más abundantes del Valle de San Luis Potosí presentes en cada sitio de estudio	34
Figura 6. Representación de la diversidad beta (β) temporal de la comunidad de lepidópteros diurnos en las estaciones funcionales para el Valle de San Luis Potosí.....	38
Figura 7. Similitud entre los sitios por estación funcional del año. (EA) Arroyos. (LZ) La Zapatilla. (MCA) Monte Caldera A. (MCB) Monte Caldera B. (LMA) Las Moras A. (LMB) Las Moras B	39

Capítulo II

Figura 1. Valle de San Luis Potosí y ubicación de las localidades estudiadas para el presente trabajo.....	65
Figura 2. Climograma general del Valle de San Luis Potosí con datos del periodo del año 1971 al 2000 (Moreno <i>et al.</i> , 2004)	68

Índice de tablas

Capítulo I

Tabla 1. Datos generales de los sitios de estudio para el muestreo de mariposas bioindicadoras en el Valle de San Luis Potosí (Reyes-Aguilera, 2020; Rodríguez, 2019).....	26
Tabla 2. Riqueza/número de individuos (abundancia) por familia de lepidópteros en sitios de muestreo del Valle de San Luis Potosí, México.....	32
Tabla 3. Diversidad alfa (α) mensual y acumulada en cada sitio de muestreo	35
Tabla 4. Prueba de medias de Scheffé de la diversidad de lepidópteros diurnos en el Valle de San Luis Potosí, México.....	36
Tabla 5. Variables consideradas en el análisis de correlación de Pearson en las seis localidades de estudio en el Valle de San Luis Potosí, México	36
Tabla 6. Similitud entre los sitios de muestreo a partir del índice de similitud de Bray-Curtis	37
Tabla 7. Especies de mariposas del Valle de San Luis Potosí, que influyen en la similitud entre los sitios de muestreo a partir de su abundancia, identificadas a partir del análisis SIMPER	40
Tabla 8. Especies de mariposas del Valle de San Luis Potosí, que influyen en la disimilitud entre los sitios de muestreo a partir de su abundancia, identificadas a partir del análisis SIMPER	41

Capítulo II

Tabla 1. Datos generales de los sitios de estudio para el muestreo de mariposas bioindicadoras en el Valle de San Luis Potosí (Reyes-Aguilera, 2020; Rodríguez, 2019).....	66
Tabla 2. Parámetros para evaluar el Índice de Disturbio (IDD) en los seis sitios de muestreo	69
Tabla 3. Riqueza, abundancia y disponibilidad de agua por sitio de muestreo en el Valle de San Luis Potosí	71
Tabla 4. Índice de disturbio (IDD) total en los seis sitios de estudio en el Valle de San Luis Potosí.....	72
Tabla 5. Especies de mariposas bioindicadoras y su valor indicador para sitios de estudio en el Valle de San Luis Potosí	74
Tabla 6. Especies bioindicadoras de disturbio, conservación y hábitat en el Valle de San Luis Potosí.....	75

Resumen

El orden Lepidoptera ha sido estudiado ampliamente en el estado de San Luis Potosí, sin embargo se carece de información sobre aspectos ecológicos; además, se presume que la zona semiárida del estado es la menos estudiada debido a las condiciones que imponen los climas B, por lo anterior el presente trabajo busca ampliar la información disponible sobre la ecología y diversidad de lepidópteros diurnos a través del análisis de la relación entre la diversidad de lepidópteros y características ambientales, además de identificar a posibles especies como bioindicadoras ecológicas. Se seleccionaron seis localidades con características ambientales contrastantes en el Valle de San Luis Potosí, estas se ubicaron en los municipios de San Luis Potosí, Cerro de San Pedro y Mexquitic de Carmona. Se realizaron muestreos cada quince días durante un año en cada municipio, el sacrificio y montaje de los lepidópteros diurnos se realizó *in situ*. Se evaluó la eficiencia de los muestreos en cada sitio, posteriormente se calculó la diversidad alfa (α) y beta (β) espacial y temporal de los sitios a partir del Índice de Shannon-Wiener y Bray-Curtis; como parte del primer acercamiento a las especies bioindicadoras se identificaron las especies que contribuyen a la similitud o disimilitud entre los sitios con un análisis SIMPER. Se determinó el grado de disturbio a partir del Índice de Martorell y Peters, finalmente se identificó a las posibles especies bioindicadoras con un análisis del Valor Indicador (IndVal). Como parte de los resultados se demostró la eficiencia del muestreo en cinco de los seis sitios estudiados, se registraron 3,077 individuos de 161 especies de lepidópteros diurnos. Los sitios con una fuente de agua intermitente o permanente registraron mayor diversidad alfa (α). De manera general, los sitios presentan mayor diversidad durante la estación funcional húmeda y menor diversidad en las estaciones seca-cálida y seca-fría. La similitud entre los sitios no superó un 47.8 %, sin embargo, los sitios que comparten características relacionadas con actividades humanas, presencia de agua y son cercanos entre sí, fueron más similares. *Chlosyne ehrenbergii*, *Danaus gilippus*, *Echinargus isola*, *Leptophobia aripa* y *Phyciodes graphica* se identificaron como las especies que más contribuyen a la disimilitud entre los sitios. A partir del análisis del Valor Indicador se identificaron 15 especies como bioindicadoras, registrando la mayoría de estas en Arroyos; La Zapatilla y Las Moras B no registraron especies bioindicadoras.

Palabras clave: bioindicadoras, características ambientales, diversidad, estación funcional, lepidópteros.

Abstract

The order Lepidoptera has been widely studied in the state of San Luis Potosi, however, there is a lack of information on ecological aspects; in addition, it is presumed that the semiarid zone of the state is the least studied due to the conditions imposed by the B climates, therefore, the present work intends to expand the available information about the ecology and diversity of diurnal Lepidoptera by analyzing the relationship between Lepidoptera diversity and environmental characteristics, in addition to identify possible disturbance indicator species. Six areas with contrasting environmental characteristics were selected within the Valley of San Luis Potosi, located in the municipalities of San Luis Potosi, Cerro de San Pedro and Mexquitic de Carmona. Sampling was carried out every fifteen days during one year in each municipality, the sacrifice and mounting of diurnal Lepidoptera was done in situ. The efficiency of sampling at each site was evaluated; subsequently the alpha diversity (α) and spatial and temporal beta diversity (β) values of the sites were calculated from the Shannon-Wiener and Bray-Curtis Index; as part of the first approach to bioindicator species, the species that contribute to the similarity or dissimilarity between sites were identified with the support of a SIMPER analysis. The disturbance degree was determined from the Martorell and Peters Index; finally, potential bioindicator species were identified with an Indicator Value (IndVal) analysis. As part of the results, sampling efficiency was demonstrated in five of the six sites studied; 3,077 individuals corresponding to 161 species of diurnal Lepidoptera were recorded. Sites with intermittent or permanent water source recorded higher alpha diversity (α). In general, sites showed higher diversity during the wet-functional season and lower diversity in the dry-warm and dry-cold seasons. Similarity among sites did not exceed 47.8 %; however, sites that share characteristics related to human activities, water presence and are close to each other were more similar. *Chlosyne ehrenbergii*, *Danaus gilippus*, *Echinargus isola*, *Leptophobia aripa* and *Phyciodes graphica* were identified as the species contributing most to the dissimilarity between sites. From the indicator value analysis, 15 species were identified as bioindicator species, most of which were recorded in Arroyos; La Zapatilla and Las Moras B did not record any bioindicator species.

Key words: bioindicators, diversity, environmental characteristics, functional station, Lepidoptera.

Introducción general

Los lepidópteros, del griego λεπρίς, -ίδος lepis, -ídos „escama“ y ptero, „ala“; es decir, insectos con alas escamadas, representan, después de los coleópteros, el segundo orden con mayor riqueza entre los insectos y se distinguen por tener metamorfosis completa (holometábolo); es decir, su ciclo de vida incluye cuatro fases: huevo, larva (u oruga), crisálida (o capullo o pupa) e imago (o adulto). En la fase de larva su aparato bucal es masticador debido a que son herbívoros (consumen meristemas, hojas, flores, frutos, tallos y raíces). Cuando son adultos, su aparato bucal es una espiritrompa y se alimentan de néctar, fruta en descomposición, carroña, estiércol y orina (De Vries, 1987).

México registra un crecimiento importante en el conocimiento científico de las mariposas a partir de las Reales Expediciones Científicas de la Nueva España, al término del siglo XVIII y principios del XIX, en la fase final de la vida colonial de nuestro país. Sin embargo, el interés por las mariposas se encuentra en distintas manifestaciones culturales de muchos grupos étnicos precolombinos (Llorente *et al.*, 1993).

En el inicio del siglo XXI se han generado numerosas monografías, revisiones, atlas de gran relevancia para las regiones biogeográficas de México y una gran cantidad de fuentes electrónicas profesionales que ponen al alcance de la mano información relevante con respecto a los lepidópteros, con lo anterior es más sencillo el incremento del conocimiento de la riqueza de mariposas en nuestro país (Llorente *et al.*, 2014).

En México la diversidad de lepidópteros diurnos ha sido estudiada ampliamente; sólo para Papilionoidea, Lamas *et al.* (1995) y Lamas (2010) compilaron alrededor de 13,000 trabajos realizados en la región neotropical de América. Luis *et al.* (2000) registraron un número próximo a los 1,800 trabajos sobre mariposas diurnas para México en el periodo de 1758 a 2014 (Llorente *et al.*, 2014).

De acuerdo con Llorente *et al.* (2014), se estima que en México existen 23,750 especies de Lepidóptera, con cerca de 14,500 que ya están descritas y documentadas; Reyes-Aguilera *et al.* (en proceso), mencionan que se han descrito 1,968 especies de la superfamilia Papilionoidea en el nivel nacional en las últimas cinco décadas.

En relación con la cantidad de especies de mariposas diurnas, el estado de San Luis Potosí es el cuarto con mayor riqueza, superado con el primer lugar por Chiapas con 776 y seguido por Veracruz (722) y Oaxaca (713). Para el estado de San Luis Potosí están registradas 680 especies de mariposas diurnas, es decir, 34.55 % del total de mariposas en el nivel nacional, de las cuales 202 se registran para el Valle de San Luis Potosí (Glassberg, 2017; Llorente *et al.*, 2014).

Además del estudio de la riqueza biológica de mariposas, en los últimos 20 años se ha generado un amplio interés por el estudio de su función como bioindicadoras. La importancia del estudio de especies bioindicadoras radica en la necesidad de evaluar el estado de los ecosistemas a partir de elementos que los integren y que reflejen una respuesta rápida ante cualquier cambio producido en el mismo (Legal *et al.*, 2020).

Entre las características que convierten a las mariposas diurnas en un grupo ideal para su estudio como bioindicadores se encuentran su sensibilidad a cambios de temperatura, humedad, altitud y gradiente de luz; su abundancia, estabilidad e importancia en casi todos los ecosistemas; la relativamente amplia documentación de su biología y taxonomía; la eficiencia y rapidez de sus procedimientos de captura, montaje y preservación; la facilidad de estudio debido a sus hábitos diurnos y su gran valor estético, lo que las hace populares y recomendables en campañas de sensibilización y de protección de la diversidad (Fernández, 2008; Grau y Stefanescu, 1998; Villarreal *et al.*, 2004).

Trabajos como los realizados por Legal *et al.* (2020) muestran la relevancia de los lepidópteros como bioindicadores en el estudio de la restauración, deterioro y toma de decisiones sobre el uso y manejo de los recursos de un ecosistema. Otros insectos que han sido utilizados como bioindicadores son las libélulas en humedales, hormigas como indicadores del estado de conservación del suelo y las abejas como indicadoras de disturbio (Barrios y Rodríguez, 2013; Cabrera, 2012; Orejuela, 2017; Reyes-Novelo *et al.*, 2009).

Si bien se han realizado amplios estudios de lepidópteros en México, la mayoría de estos son registros o inventarios con escasa información sobre aspectos ecológicos; además, se presume que la zona semiárida del estado de San Luis Potosí, área en la que se encuentra el Valle de San Luis Potosí, es de las menos estudiada debido a las condiciones que imponen los climas

BS y BW, por lo anterior el presente trabajo busca ampliar la información disponible sobre la composición biológica y la diversidad de lepidópteros diurnos y lograr un acercamiento al conocimiento sobre las mariposas como bioindicadoras en el Valle de San Luis Potosí. Como parte de este estudio se espera que la diversidad de lepidópteros diurnos y las especies bioindicadoras estén condicionadas por las características particulares de cada uno de los sitios estudiados, además se espera que la presencia constante de agua y un determinado grado de disturbio influyan de manera positiva en el aumento de la diversidad y la identificación de variadas especies bioindicadoras entre los sitios estudiados (Llorente *et al.*, 2014; Ribera y Foster, 1997; Rodríguez, 2019).

Referencias

- Barrios M., D. Rodríguez. 2013. Hábitat fluvial e insectos indicadores del estado de conservación en la cuenca alta del río Turbo, en el estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 25(3): 151-160.
- Cabrera G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 35(4), 346-363.
- De Vries, P. J. 1987. Mariposas de Costa Rica y su Historia Natural, Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae. Princeton University Press. USA. 324 p.
- Fernández, M. A. 2008. Bioindicadores: Seres Vivos que Detectan la Contaminación. Medio Ambiente y Sostenibilidad. En: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/bioindicadores-seres-vivos-que-detectan-la-contaminacion.html>. 03 de junio de 2020.
- Glassberg J. 2017. Butterflies of Mexico and Central America. Princeton University. New Jersey. ISBN 978-0-691-17648-2.
- Grau S., C. Stefanescu. 1998. Programa de seguimiento de las poblaciones de ropalóceros (mariposas diurnas) como bioindicadores de la calidad ambiental en Cataluña. Barcelona. pp 22-25.
- Lamas, G. 2010. Bibliography of butterflies. An annotated bibliography of the Neotropical Butterflies and Skippers (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea). En <https://butterfliesofamerica.com/docs/Neotropical-Bibliography-2017.pdf> 06 de enero de 2019.
- Lamas, G., R. K. Robbins, W. D. Field. 1995. Bibliography of butterflies, vol. 124. In Atlas of Neotropical Lepidoptera, J. B. Heppner. Association for Tropical Lepidoptera, Gainesville. Florida. 463 p.

- Legal, L., M. Valet, O. Dorado, J. M. Jesús-Almonte, K. López, R. Céréghino. 2020. Lepidoptera are Relevant Bioindicadores of Passive Regeneration in Tropical Dry Forests. *Diversity*. 12(6), 231.
- Llorente B., J., I. Vargas-Fernández, A. Luis-Martínez, M. Trujano-Ortega, B.C. Hernández-Mejía, A.D. Warren. 2014. Biodiversidad de Lepidoptera en México. Museo de Zoología, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, UNAM. México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: S353-S371.
- Llorente B., J., A. Luis M., I. Vargas F. 1993. Biodiversidad de las mariposas: su conocimiento y conservación en México. Museo de Zoología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 13 p.
- Luis A. M., J. B. Llorente, I. F. Vargas, A. L. Gutiérrez. 2000. Síntesis preliminar del Conocimiento de los Papilionoidea (Lepidoptera: Insecta) de México. Monografías Tercer Milenio 1, F. Martín, J. J. Morrone, A. Melic. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza. pp. 275-285.
- Orejuela Y., A. M. 2017. Las libélulas (Odonata) como posibles indicadores del estado de conservación de los humedales urbanos presentes en la comuna 22 de Santiago de Cali. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad ICESI. Santiago de Chile. 35 p.
- Reyes-Aguilera C. E., J. G. Loza L., H. Álvarez-García. En proceso. Diversidad alfa (α) en mariposas diurnas (Orden: Lepidoptera) en tres sitios ambientales diferentes de Cerro de San Pedro, SLP, México. México.
- Reyes-Novelo E., V Meléndez R., H. Delfín G., R. Ayala. 2009. Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) como bioindicadores en el neotrópico Tropical and Subtropical. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México. *Agroecosystems*, vol. 10, núm. 1. pp. 1-13.
- Ribera I., G. Foster. 1997. El uso de artrópodos como indicadores biológicos. Los artrópodos y el hombre. Barcelona, España. 20(1997): 265-276.

Rodríguez L., V. G. 2019. Diversidad de lepidópteros en un oasis de la sierra de San Miguelito, SLP, México. Tesis profesional. Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. UASLP. San Luis Potosí, SLP, Méx. 65 p.

Villarreal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina, A.M. Umaña. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.

Capítulo I

Diversidad de lepidópteros diurnos en sitios con características ambientales contrastantes en el Valle de San Luis Potosí, SLP, México

**Diversidad de lepidópteros diurnos en sitios con características ambientales
contrastantes en el Valle de San Luis Potosí, SLP, México**

Viridiana Guadalupe Rodríguez Lucio^{1*}, Jéssica Grétel Loza León², Juan Antonio Reyes
Agüero³, Guillermo Espinosa Reyes⁴

¹ Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Altair #200, Fracc. Del Llano C.P. 78377, San Luis Potosí, SLP, México.

² COCOAA S.A. de C.V., Av. San Pedro #2255, Col. San Francisco C.P. 78435, Soledad de Graciano Sánchez, SLP, México.

³ Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Altair #200, Fracc. Del Llano C.P. 78377, San Luis Potosí, SLP, México.

⁴ Facultad de Medicina - Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, Av. Sierra Leona #550-2^a, Lomas de San Luis C.P. 78210, San Luis Potosí, SLP, México.

* Autor de correspondencia: viridianaaa.9603@gmail.com

Resumen

Se han realizado amplios estudios de lepidópteros en México, sin embargo, la mayoría de estos son registros o inventarios con escasa información sobre aspectos ecológicos; además, se presume que la zona semiárida del estado de San Luis Potosí, es la menos estudiada debido a las condiciones que imponen los climas BS y BW, por lo anterior el presente trabajo busca ampliar la información disponible sobre la ecología y la diversidad de lepidópteros diurnos. Para lograrlo se seleccionaron seis sitios con características ambientales contrastantes en el Valle de San Luis Potosí; tres sitios en Cerro de San Pedro, uno en San Luis Potosí y dos en Mexquitic de Carmona. Se realizaron muestreos cada 15 días en periodos de un año por sitio. Las mariposas se capturaron con redes entomológicas, se sacrificaron, montaron y determinaron. Se evaluó la eficiencia de los muestreos a partir de curvas de acumulación, posteriormente se evaluó la diversidad alfa (α), y beta (β) espacial y temporal de lepidópteros diurnos, para obtener la diversidad alfa (α) se utilizó el índice de Shannon-Wiener. La

diversidad beta (β) espacial se obtuvo con el Índice de Bray-Curtis, la diversidad beta (β) temporal se evaluó a partir de la diversidad alfa (α) puntual por estación funcional. Finalmente, para cuantificar la contribución de las especies a la alta o baja similitud entre los sitios, se realizó un análisis SIMPER a partir del índice de Bray-Curtis. Como resultado, se comprobó la eficiencia de muestreo para cinco de los seis sitios de recolecta y se determinaron 3,077 individuos pertenecientes a 161 especies de lepidópteros diurnos. Los sitios con alta o moderada actividad humana y con una fuente de agua intermitente o permanente, registraron mayor diversidad alfa (α), en contraste, los sitios con alta o muy alta actividad humana y con disponibilidad de agua de forma estacional, presentaron valores de diversidad más bajos. La similitud entre los sitios no superó un 47.8 %, sin embargo, los sitios que comparten características relacionadas con actividades humanas, presencia de agua y son cercanos entre sí, fueron más similares. De manera general, los sitios presentan mayor diversidad durante la estación funcional húmeda y menor diversidad en las estaciones seca-cálida y seca-fría. En las estaciones seca-fría y húmeda se presentó mayor similitud entre los sitios cercanos entre sí o con disponibilidad permanente de agua, en la estación seca se registró mayor similitud entre sitios que comparten características similares únicamente en esta estación. *Chlosyne ehrenbergii*, *Danaus gilippus*, *Echinargus isola*, *Leptophobia aripa* y *Phyciodes graphica* se identificaron como las especies que más contribuyen a la baja similitud entre los sitios. En conclusión, existe una relación entre la diversidad de mariposas y las características particulares de cada sitio.

Palabras clave: características ambientales, diversidad, estación funcional, lepidópteros, zona semiárida.

Abstract

There have been extensive studies of lepidoptera in Mexico, however, most of these are inventories with scarce information on ecological aspects; in addition, it is presumed that the semi-arid zone of the state of San Luis Potosi, is the least studied due to the conditions imposed by the BS and BW climates, therefore the present work seeks to expand the information available on the ecology and diversity of diurnal lepidoptera. To achieve this, six sites with contrasting environmental characteristics were selected in the Valley of San Luis Potosi; three

sites in Cerro de San Pedro, one in San Luis Potosi and two in Mexquitic de Carmona. Sampling was carried out every 15 days in periods of one year per site. Butterflies were captured with entomological nets, sacrificed, mounted and determined. The efficiency of the samplings was evaluated from accumulation curves, subsequently the alpha (α), and beta (β) spatial and temporal diversity of diurnal Lepidoptera was evaluated, to obtain the alpha diversity (α) the Shannon-Wiener index was used. The spatial beta (β) diversity was obtained with the Bray-Curtis Index, the temporal beta (β) diversity was evaluated from the punctual alpha (α) diversity by functional season. Finally, to quantify the contribution of species to high or low similarity between sites, a SIMPER analysis was performed from the Bray-Curtis index. As a result, sampling efficiency was tested for five of the six collection sites and 3,077 individuals belonging to 161 species of diurnal Lepidoptera were determined. Sites with high or moderate human activity and with an intermittent or permanent water source recorded higher alpha diversity (α), in contrast, sites with high or very high human activity and seasonal water availability recorded lower diversity values. The similarity between sites did not exceed 47.8 %, however, sites that share characteristics related to human activities, presence of water and are close to each other, were more similar. In general, the sites presented higher diversity during the wet functional season and lower diversity in the dry-warm and dry-cold seasons. In the dry-cold and wet seasons there was greater similarity between sites close to each other or with permanent water availability, in the dry season there was greater similarity between sites that share similar characteristics only in this season. *Chlosyne ehrenbergii*, *Danaus gilippus*, *Echinargus isola*, *Leptophobia aripa* and *Phyciodes graphica* were identified as the species that most contributed to the low similarity between sites. In conclusion, there is a relationship between butterfly diversity and the particular characteristics of each site.

Key words: diversity, environmental characteristics, functional season, Lepidoptera, semiarid zone.

Introducción

La gran diversidad de especies en México se atribuye principalmente a dos factores, el primero es que el país se encuentra en un área de convergencia biogeográfica que conjuga el traslapo de las regiones biogeográficas neártica y neotropical; el segundo se debe a la presencia de una gran cantidad de formaciones orográficas de distintas edades y composiciones geológica, esto provoca una enorme heterogeneidad de climas y tipos de vegetación, zonas ricas en especies y con altos endemismos (Luis *et al.*, 2004).

Por lo anterior, México es uno de los países considerados como megadiversos junto con Colombia, Brasil e Indonesia. El país alberga entre 10 y 12 % de todas las especies conocidas en el planeta, en un territorio que representa apenas 1.4 % de la superficie de la Tierra (Jiménez-Sierra *et al.*, 2010).

La diversidad de lepidópteros diurnos ha sido estudiada ampliamente. Por ejemplo, en la región biogeográfica neotropical Lamas *et al.* (1995) y Lamas (2010) compilaron, sólo para Papilionoidea, alrededor de 13,000 trabajos. Llorente *et al.* (2014-9 mencionan que existe una riqueza estimada de 810 y 8,700 especies de mariposas diurnas en las regiones neártica y neotropical respectivamente. Para el caso de México, Luis *et al.* (2000) registraron un número próximo a los 1,800 trabajos sobre mariposas diurnas en el periodo de 1758 a 2014 (Llorente *et al.*, 2014). De acuerdo con Llorente *et al.* (2014), se estima que en México existen 23,750 especies de Lepidóptera, con cerca de 14,500 ya descritas y documentadas; Reyes-Aguilera *et al.* (en proceso), mencionan que se han descrito 1,968 especies de la superfamilia Papilionoidea en el nivel nacional. Para San Luis Potosí están registradas 680 especies de mariposas diurnas, de las cuales 202 se registran para el Valle de San Luis Potosí (Glassberg, 2017; Reyes-Aguilera *et al.*, en proceso).

Aguirre *et al.* (2001) mencionan que en la zona semiárida del estado de San Luis Potosí, área en la que se encuentra el Valle de San Luis Potosí, se presentan tres épocas o estaciones funcionales del año: la estación seca-cálida se caracteriza por registrar las temperaturas más altas del año y el mayor déficit de humedad aprovechable; la estación húmeda presenta las temperaturas más moderadas debido a la mayor nubosidad y la presencia de la mayor parte de la precipitación anual y la estación seca-fría presenta las temperaturas más bajas del año. Lo anterior es de interés porque factores como la temperatura y precipitación afectan en forma

directa a la diversidad de lepidópteros diurnos, esto debido a dos aspectos principales: el primero relacionado con que son organismos ectotermos; es decir, su calor corporal está a la par al del ambiente debido a que su capacidad para generar energía mediante el metabolismo es insignificante, por lo tanto estos factores pueden influir en el ritmo de desarrollo de las especies en los estadios inmaduros, el vuelo de las mariposas adultas, e incluso las migraciones; el segundo se enfoca en la relación entre la temperatura y precipitación y la disponibilidad de alimento y refugio que permiten a las mariposas realizar sus funciones vitales. Además, existen otros factores relacionados con el disturbio asociadas a actividades humanas, que también alteran la diversidad de lepidópteros, aumentando o disminuyendo su valor (Daza-Pérez y Pérez-Miranda, 2011; Rendón, 1997; Sbordoní y Foresteiro, 1988; Schneider y Fry, 2001; Scott y Epstein, 1987; Stefanescu, 2004).

Por lo anterior, como parte de este estudio se espera que la diversidad de lepidópteros diurnos esté relacionada con las características particulares de cada sitio, como la presencia de agua, el tipo de vegetación y/o uso de suelo; también, se espera que las estaciones funcionales del año (fría-seca, cálida-seca y húmeda) influyan en la diversidad, teniendo los valores más elevados en la estación húmeda, seguido de la estación seca-cálida y un descenso más pronunciado en la estación fría-seca (Aguirre *et al.*, 2001; Llorente *et al.*, 2014; Ribera y Foster, 1997; Rodríguez, 2019).

Si bien se han realizado amplios estudios de lepidópteros en México, la mayoría de estos son registros o inventarios con escasa información sobre aspectos ecológicos; además, se presume que la zona semiárida del estado de San Luis Potosí, es de la menos estudiada debido a las condiciones que imponen los climas BS y BW, por lo anterior el presente trabajo busca ampliar la información disponible sobre la ecología y la diversidad de lepidópteros diurnos, a través de la elaboración de un catálogo de especies de lepidópteros diurnos para el Valle de San Luis Potosí y el análisis de la relación entre la diversidad de cada sitio y las características ambientales de los mismos.

Materiales y métodos

Descripción general del área de estudio. El Valle de San Luis Potosí (Figura 1) se encuentra en la zona suroeste del estado de San Luis Potosí e incluye los municipios de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez, Cerro de San Pedro, al igual que una pequeña porción de los municipios de Mexquitic de Carmona, Armadillo de los Infante y Zaragoza (CONAGUA, 2002). El valle tiene un área aproximada de 1,980 km² y se localiza entre las coordenadas geográficas 21° 54' 54" y 22° 28' 15" de latitud norte y 101° 13' 44" y 100° 37' 08" de longitud oeste; el valle está delimitado al norte con las partes altas de la Sierra de la Melada, al sur con la Sierra de San Miguelito, al este con Sierra de Álvarez y al oeste con la Sierra de Mexquitic (COTAS, 2005; Hergt, 2009). Presenta un clima semiárido con lluvias en los meses de verano. De acuerdo con la clasificación del clima de Köppen y modificada por García (1998), hay dos tipos de clima en el valle: BS₀kw y BS₁kw, estos señalan una evaporación potencial (2,730 a 2,920 mm anuales) que excede a la precipitación, que sólo es de 350 mm. El clima BS₀kw predomina desde la parte central del valle hasta su límite en el este, mientras que el BS₁kw predomina desde la porción central hasta el límite en el oeste (Moreno *et al.*, 2004).

Calderón (1960) describió diferentes tipos de vegetación para el Valle (los nombres corresponden con los de Rzedowski, 1965):

Matorral desértico micrófilo. En este tipo de vegetación domina *Larrea tridentata* (gobernadora) y ocupa el 55 % del área total del valle. Matorral crasicaule. Ocupa una superficie de 10 %, predominan *Opuntia streptacantha*, *Myrtillocactus geometrizans* y *Prosopis laeviagata*. Matorral desértico rosetófilo. Ocupa el 9 % del valle, en este tipo de vegetación es común encontrar *Agave striata*, *Agave lechuguilla* y *Hechtia glomerata*. Zacatal. Se caracteriza por la dominancia de especies gramíneas y, ocupa el 5 % del área total del valle, se distinguen dos tipos de zacatal, en el primero dominan especies de *Bouteloua* y *Muhlenbergia* y en el segundo *Hilaria cenchroides*. Encinar arbustivo. Ocupa alrededor del 8 % del valle y dominan especies arbustivas como *Quercus mexicana*. Encinar. A diferencia del anterior, aquí dominan individuos arbóreos también del género *Quercus*, las especies *Quercus hartwegii* y *Quercus crassifolia* suelen ser las dominantes. Piñonar. Este tipo de vegetación ocupa el 2 % del Valle y predomina el *Pinus cembroides*.

El Valle de San Luis Potosí es parte de la provincia biogeográfica Desierto Chihuahuense (Morrone *et al.*, 2017). En esta región es posible identificar tres unidades geológicas: basamento de fase marina de edad mesozoica, una cubierta de rocas volcánicas de edad cenozoica y relleno de las depresiones que se formaron durante del Terciario por rocas cenozoicas (Castillo Cruz, 2003; Carrillo-Rivera *et al.*, 2002).

De acuerdo con la clasificación por regiones, el valle es el límite sur de la región hidrológica 37 “El Salado” y está ocupado por una cuenca endorreica y se presentan escorrentías intermitentes que provocan inundaciones en periodos de pluviosidad alta, especialmente en las zonas bajas, la planicie de la cuenca tiene una altitud promedio de 1,850 a 1,900 m, siendo 2,500 m la máxima altitud del valle. Se han identificado dos acuíferos en el Valle, estos se denominan acuífero somero y profundo, separados por una capa poco permeable de arcilla y limo (Hergt, 2009).

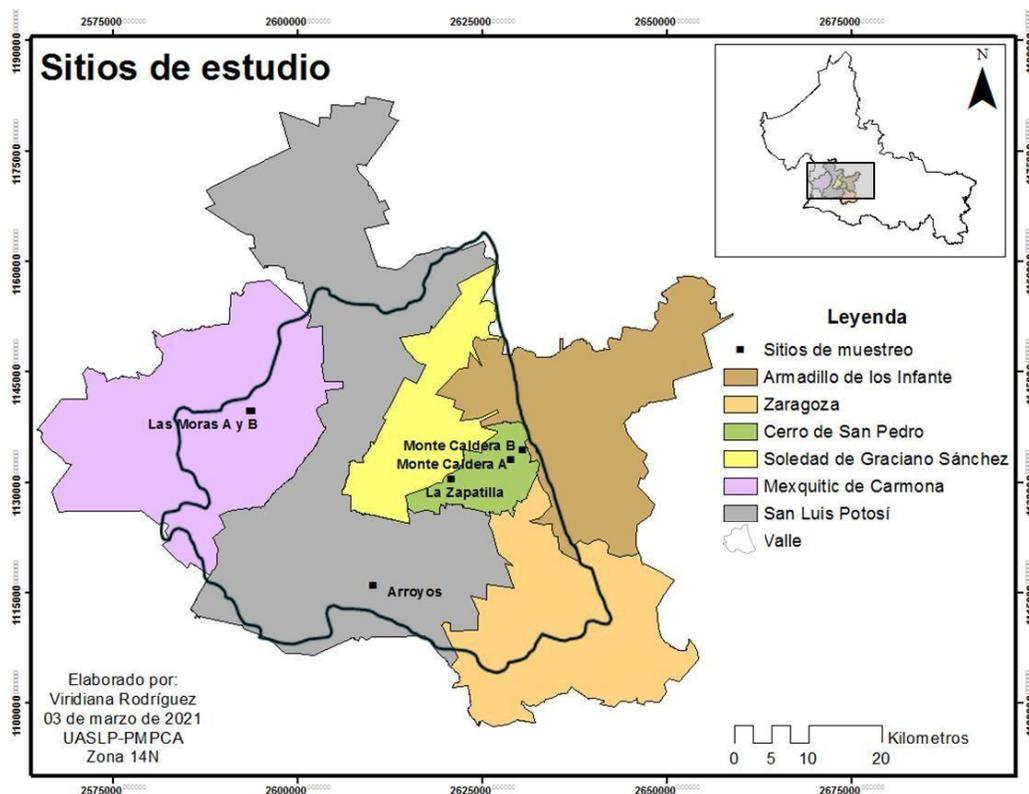


Figura 1. Valle de San Luis Potosí y ubicación de las localidades estudiadas para el presente trabajo

Descripción de los sitios de estudio. Se escogieron seis localidades con características ambientales contrastantes en el Valle de San Luis Potosí, estas se encuentran localizadas en los municipios de San Luis Potosí, Cerro de San Pedro y Mexquitic de Carmona (Figura 1), además, registran un clima BS₁KW. Los puntos se eligieron mediante una técnica de muestreo no probabilístico intencional (Otzen y Manterola, 2017). En la Tabla 1 se presentan los datos generales de los sitios de estudio.

Tabla 1. Datos generales de los sitios de estudio para el muestreo de mariposas bioindicadoras en el Valle de San Luis Potosí (Reyes-Aguilera, 2020; Rodríguez, 2019)

Municipio	Sitios de estudio	Tipo de vegetación y/o uso del suelo	Disponibilidad de agua	Actividad humana	Altitud (m)	Localización
San Luis Potosí, SLP	Arroyos	Riparia	Permanente	Moderada	1991	22° 03' 34" N 100° 55' 39" O
Cerro de San Pedro	La Zapatilla	Matorral crasicaule en área habitada	Estacional	Muy alta	1927	22° 11' 20" N 100° 50' 39" O
Cerro de San Pedro	Monte Caldera A	Vegetación de ribera	Intermitente	Alta	2096	22° 12' 47" N 100° 44' 39" O
Cerro de San Pedro	Monte Caldera B	Plantación excluida, de <i>Pinus</i>	Estacional	Muy baja	2271	22° 13' 28" N 100° 43' 45" O
Mexquitic de Carmona	Las Moras A	Agroecosistema con riego	Permanente	Muy alta	1977	22° 16' 32" N 101° 05' 18" O
Mexquitic de Carmona	Las Moras B	Matorral crasicaule de <i>Opuntia leucotricha</i> , sin abastecimiento de agua	Estacional	Alta	1987	22° 16' 33" N 101° 05' 10" O

En Arroyos las especies arbóreas que dominan fisonómicamente son *Acacia farnesiana*, *Asclepias linaria*, *Baccharis glutinosa*, *Brickellia* sp., *Chenopodium glaucum*, *Dalea bicolor*, *Heteranthera rotundifolia*, *Lantana camara*, *Salix bonplandiana*, *Schinus molle*, algunos individuos de la familia Malvaceae y helechos, además de algunos cactus que reflejan la influencia de la vegetación que rodea al sitio de estudio (matorral), en este punto el agua se presenta de manera permanente.

El sitio de Monte Caldera A está al costado de un arroyo intermitente, esto significa que además del agua disponible de forma estacional también dispone del agua disponible temporalmente en el arroyo, en este sitio se identificaron individuos de *Acacia farnesiana*, *Asphodelus* sp., *Dalea bicolor*, *Jatropha dioica*, *Nicotiana glauca*, *Opuntia leucotricha*, *O. robusta*, *Prosopis laevigata* y *Tithonia diversifolia* (Reyes-Aguilera, 2020; Rodríguez, 2019).

En Las Moras A el agua para riego es obtenida de los remanentes de la presa Álvaro Obregón y la disposición de las especies vegetales en los huertos en este agroecosistema depende de la disponibilidad de agua y la oferta y demanda del mercado; sin embargo, como el agua para riego no está siempre disponible de forma abundante durante todo el año, se nota una influencia de las estaciones funcionales del año; así, en los periodos secos se cultivan especies con menor requerimiento de humedad como *Origanum majorana* (mejorana), en cambio en los periodos con mayor disponibilidad de agua es posible observar especies como *Coriandrum sativum* (cilantro), *Matricaria recutita* (manzanilla) y *Petroselinum sativum* (perejil); las especies que se pueden encontrar todo el año son *Allium cepa* (cebolla), *Beta vulgaris* (betabel), *Foeniculum vulgare* (hinojo) y *Thymus vulgaris* (tomillo); algunas de las especies cosechadas para fechas especiales son *Celosia argentea* (amaranto plumoso) y *Tagetes erecta* (cempasúchil), además, se identificaron especies de la familia Malvaceae (Fortanelli-Martínez *et al.*, 2006).

En La Zapatilla, Las Moras B y Monte Caldera B son inexistentes los cuerpos de agua. En La Zapatilla dominan especies como *Buddleja cordata*, *Bursera fagaroides* y *Jatropha dioica*; especies como *Acacia farnesiana*, *Bouteloua* sp., *Eragrostis* sp., *Opuntia leucotricha* y *Scleropogon* sp. están presentes en Las Moras B. Finalmente, en Monte Caldera B, como es una zona reforestada y conservada (excluida) por lo menos desde hace 13 años, dominan especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*, además se observa *Bouteloua* sp., *Buddleja cordata* y *Muhlenbergia* sp. (Reyes-Aguilera, 2020).

Los sitios de estudio presentan tres estaciones funcionales, la seca-fría que va de noviembre a febrero, seca-cálida de marzo a junio y la húmeda de julio a octubre (Figura 2) (Aguirre *et al.*, 2001). De forma visual en La Zapatilla, Arroyos, Monte Caldera A, Las Moras A y las Moras B se observó evidencia de disturbio, siendo La Zapatilla y Las Moras A los más destacados, por el contrario, Monte Caldera B destaca como un sitio visualmente conservado.

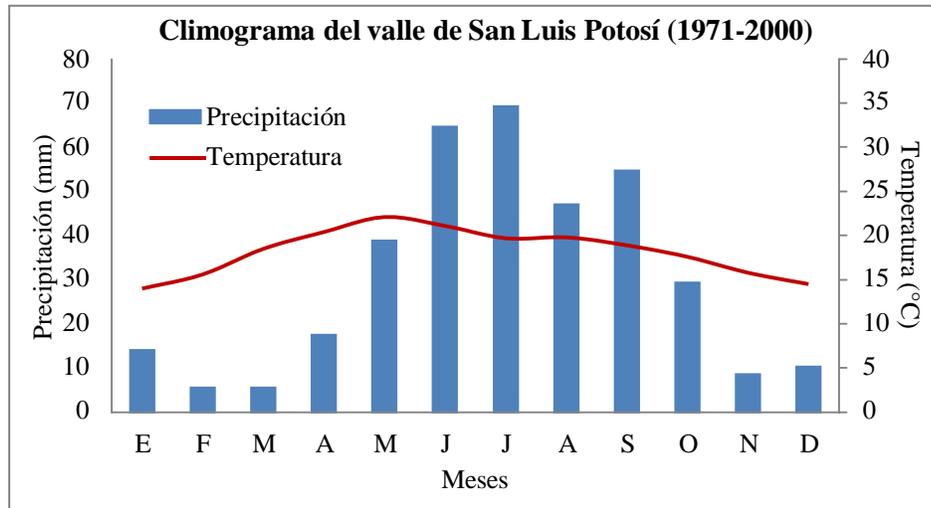


Figura 2. Climograma general del Valle de San Luis Potosí con datos del periodo del año 1971 al 2000 (Moreno *et al.*, 2004)

Trabajo de campo. Los muestreos se realizaron por cuatro personas cada 15 días en periodos de un año, durante tres años. Para Arroyos se realizaron de enero de 2017 a enero de 2018; de enero de 2018 a diciembre de 2018 se realizó el trabajo de campo para los tres sitios de Cerro de San Pedro y finalmente de junio de 2019 a mayo de 2020 en los dos puntos de Las Moras, en Mexquitic de Carmona. En cada sitio de muestreo se definió un transecto de recolecta en dependencia de las características de los mismos, estos fueron de 300 a 720 m; se realizaron 22 salidas a campo por año en un horario de 10:00 a 16:00 horas, teniendo un esfuerzo de recolecta de 528 horas anuales; las últimas tres salidas a campo al municipio de Mexquitic de Carmona (Las Moras A y B), fueron suspendidas debido a la contingencia causada por el virus SARS-CoV-2. Las mariposas sólo se capturaron con redes entomológicas y se sacrificaron aplicando presión en el tórax y en algunos casos con una inyección letal. El montaje de cada individuo se realizó *in situ* (Villarreal *et al.*, 2004).

Trabajo de laboratorio. La determinación de cada individuo se realizó usando bases de datos disponibles en línea como *Butterflies of America*, guías especializadas (Glassberg, 2017) y comparaciones con ejemplares de la Colección Entomológica del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Cada ejemplar fue etiquetado con los datos básicos de recolecta y determinado para posteriormente ser almacenados en cajas tipo Cornell (Villarreal *et al.*, 2004).

Se analizó la eficiencia de cada muestreo a partir de curvas de acumulación con el estimador no paramétrico Chao 1 y el apoyo del programa *EstimateS* 9.1. Para obtener los valores de diversidad alfa (α) se utilizó el índice de Shannon-Wiener; además, mediante el programa *RStudio* 4.0.2 se realizó un análisis de varianza (Kruskal-Wallis) y una prueba de medias de Scheffé con la finalidad de identificar si existía diferencia significativa entre la diversidad de cada sitio, esta prueba fue seleccionada debido a los datos faltantes (por la suspensión de algunas salidas a campo), un análisis de correlación de Pearson fue necesario para identificar si existía una relación entre la diversidad y altitud de los sitios (Escalante, 2003; Halffter y Moreno, 2005; Villarreal *et al.*, 2004). Para conocer el grado de similitud entre los sitios a partir de la abundancia de las especies compartidas, se utilizó el índice de Bray-Curtis. También se obtuvieron valores de diversidad beta (β) temporal y espacial con la finalidad de analizar el reemplazo de especies y su abundancia entre las estaciones funcionales de cada sitio y entre los sitios; para el análisis de la diversidad beta temporal se utilizó la diversidad alfa puntual de cada estación, en cambio, la diversidad beta espacial se obtuvo a partir del índice de Bray-Curtis (Aguirre *et al.*, 2001; Heindorf, 2020; Villarreal *et al.*, 2004). Finalmente, se realizó un análisis SIMPER con la información obtenida del índice de Bray-Curtis para cuantificar la contribución de las especies a la similitud entre los sitios a partir de su abundancia (Heindorf, 2020).

Se realizó un análisis de varianza (Kruskal-Wallis) de las temperaturas y precipitaciones registradas en los sitio de muestreo para asegurar que la información obtenida durante el análisis de datos del periodo 2017 - 2020 fuera comparable, al menos climáticamente; el resultado no arrojó alguna diferencia estadísticamente significativa entre las temperaturas ($Pr > X^2 = 0.9728$) y precipitaciones ($Pr > X^2 = 0.8955$); además, los valores de precipitación y temperatura no se comportaron de forma extraordinaria comparándolos con los valores presentados por Moreno *et al.* (2004) en un periodo de 30 años (1971 - 2000) para la zona semiárida del estado de San Luis Potosí. Los análisis se presentaron en los anexos 1 y 2.

Resultados

Eficiencia del muestreo. Las curvas de acumulación de especies (Figura 3) señalan que en la mayor parte de los sitios (Arroyos, La Zapatilla, Monte Caldera A y Las Moras A) se obtuvieron valores superiores al 80 % con respecto a la cantidad de especies esperadas. Las excepciones fueron Monte Caldera B y las Moras B, con valores de 75.03 % y 58.28 %, respectivamente. Así, en cinco de los seis puntos de muestreo, incluyendo Monte Caldera B, el esfuerzo de recolecta fue adecuado (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003; Villarreal *et al.*, 2004).

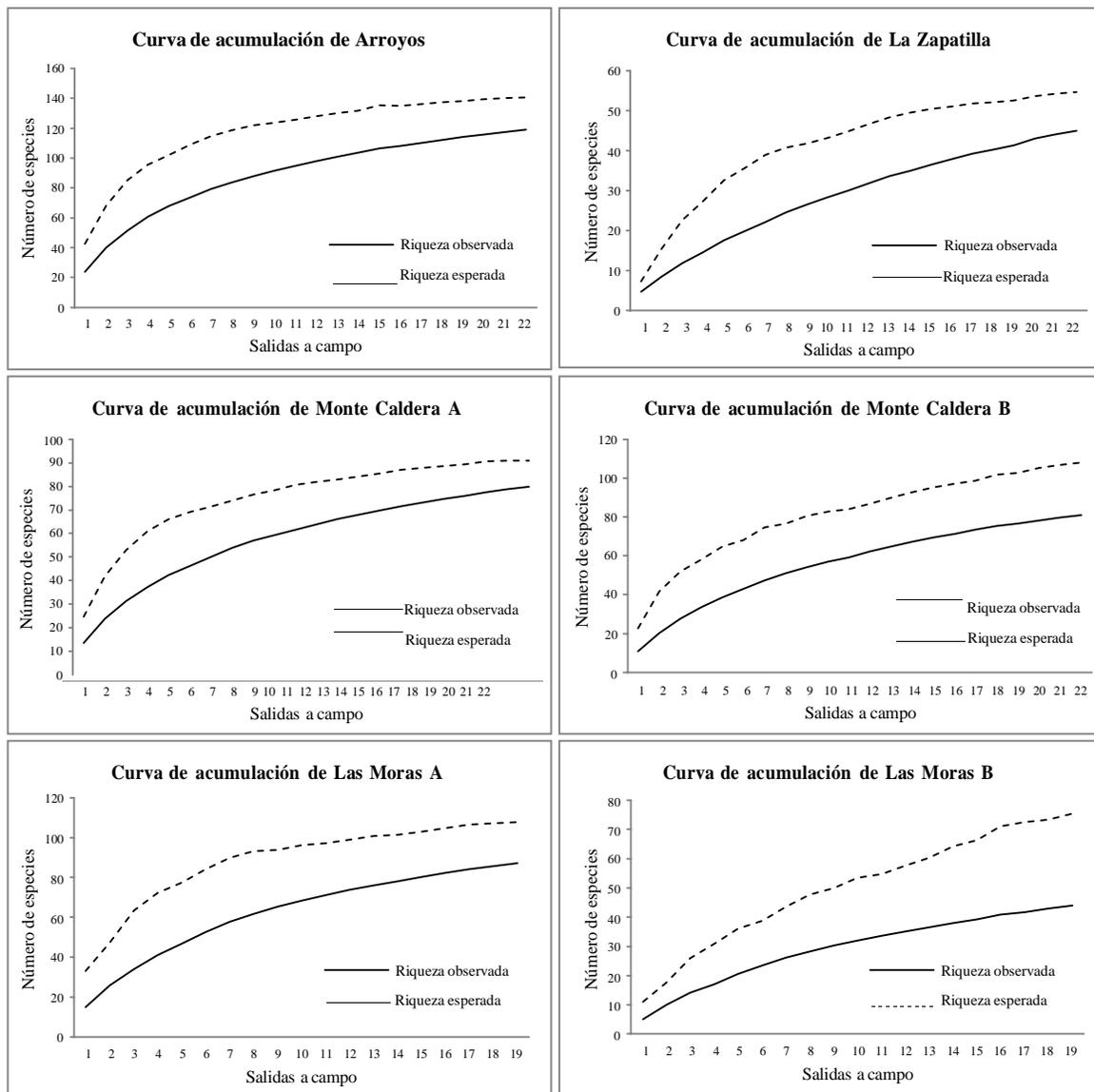


Figura 3. Curvas de acumulación de especies de lepidópteros diurnos de los seis sitios de estudio del Valle de San Luis Potosí, México

Riqueza y abundancia. Para el Valle de San Luis Potosí se recolectaron 3,077 individuos pertenecientes a seis familias, 20 subfamilias, 99 géneros y 161 especies de mariposas diurnas (Anexo 3), del total de individuos capturados, 63 solo fueron determinados hasta género (Anexo 4); del total de especies, *Amblyscirtes nysa*, *Chiomara asychis asychis*, *Ministrymon javenicroy*, *Piruna cyclosticta* y *Rekoa marius* se identificaron como nuevos registros significativos, esto en función de su distribución registrada, ya que no se esperaba encontrarlas en la zona centro del país; en cambio, *Chioides catillus* y *Chiomara asychis asychis* se presentan como registro poco significativo, debido a que son especies con distribución en el centro y centro-sur del país. Con base en la distribución de las mariposas se definió que 47.26 % de las especies registradas en este estudio se caracterizaron por estar presentes comúnmente en las dos regiones biogeográficas de México (neártica y neotropical), 45.20 % son características de la región neotropical y 7.53 % de la región neártica, esto coincide con lo descrito por Llorente *et al.*, 2014 al mencionar la riqueza de lepidópteros diurnos en cada provincia biogeográfica de México, siendo las provincias pertenecientes a la región neotropical las que registran mayor riqueza (Glassberg, 2017; Reyes *et al.*, 1996).

Destacan la familia HesperIIDae con la mayor riqueza y la familia Papilionidae con la menor riqueza, además la familia Nymphalidae presenta la mayor abundancia (en número de individuos). El cociente abundancia/riqueza hace destacar a Arroyos (8.6) y Monte Caldera A (7.9), en contraste con La Zapatilla (4.4) y Las Moras B (4.0) (Tabla 2). Las familias de lepidópteros que destacan con este cociente son Pieridae (33.1) y Nymphalidae (23.6) y en el lado opuesto HesperIIDae (8.3) y Riodinidae (6.3).

Tabla 2. Riqueza/número de individuos (abundancia) por familia de lepidópteros en sitios de muestreo del Valle de San Luis Potosí, México

	Papilionidae	Pieridae	Lycaenidae	Riodinidae	Nymphalidae	Hesperiidae	Total
	Riqueza / Abundancia						
Ejido Arroyos	8/101	23/297	21/145	2/11	26/314	37/163	117/1,031
Las Moras A	7/41	19/181	13/71	3/10	20/137	23/84	85/524
Monte Caldera B	4/8	18/119	9/73	1/14	24/190	22/105	78/509
Monte Caldera A	5/39	14/175	9/121	3/16	24/214	22/74	77/639
La Zapatilla	3/5	13/45	5/41	1/8	11/86	9/12	42/197
Las Moras B	4/9	11/45	7/18	1/1	12/75	9/29	44/177
Total	10 / 203	24 / 862	30 / 469	3 / 60	39 / 1016	55 / 467	161/3,077

La abundancia de mariposas a lo largo de las estaciones del año fue variable. En Arroyos la abundancia fue mayor entre la época húmeda y seca-fría, aunque también fue importante en la seca-cálida. En Monte Caldera A y B el final de la estación seca-cálida y el inicio de la húmeda fueron las más importantes, por la mayor cantidad de individuos de todas las especies. En Las Moras A la tendencia fue a mayor abundancia en la época húmeda y finales de la seca-cálida y en Las Moras B fue mayor durante la estación húmeda e inicio de la seca-fría. Sólo en La Zapatilla la abundancia no parece haber destacado especialmente en alguna estación del año, además de estar representada en un 35 % por individuos de la especie *Chlosyne ehrenbergii* (Figura 4).

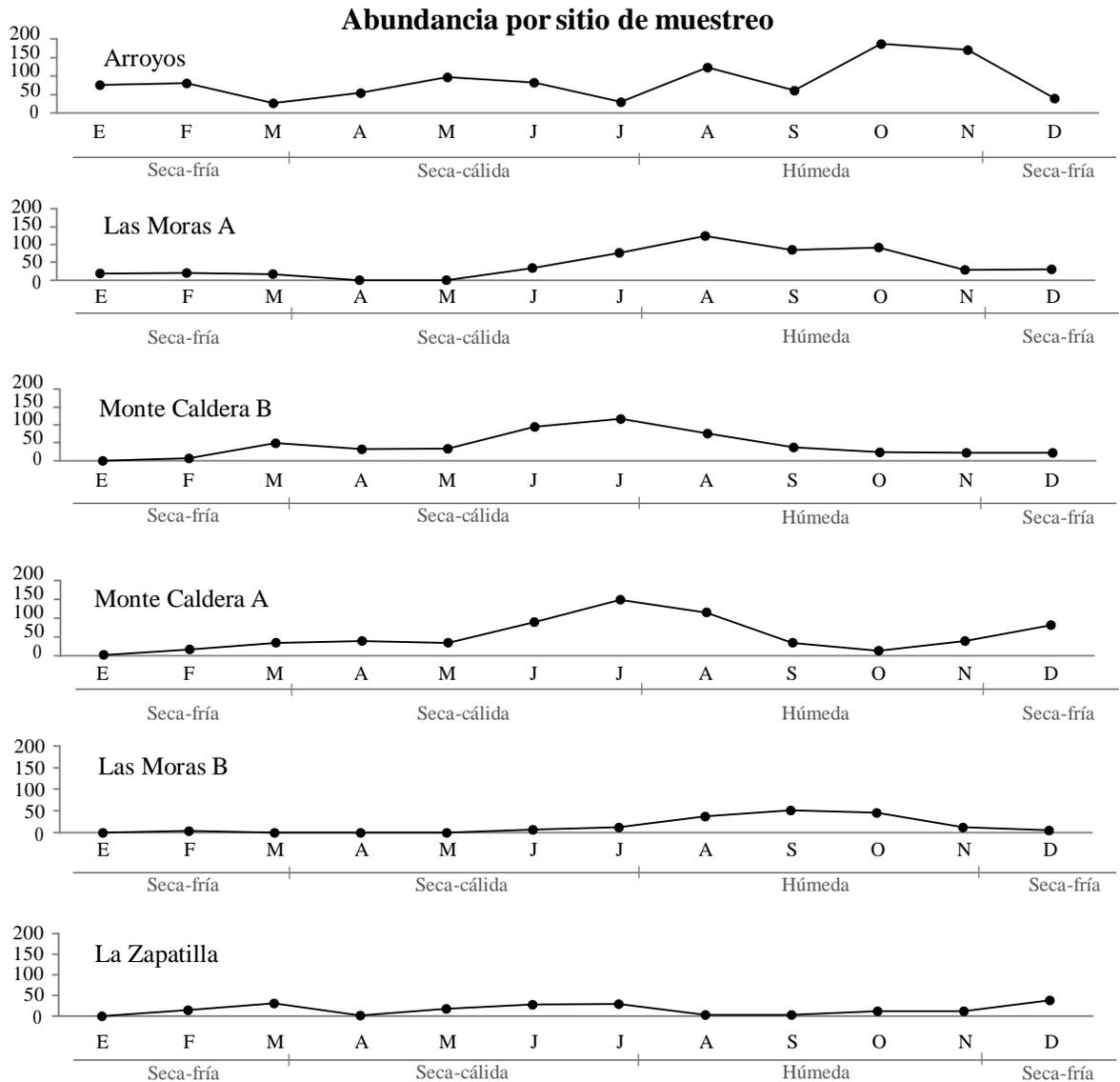


Figura 4. Curvas de abundancia de las seis localidades muestreadas en el Valle de San Luis Potosí, México. En el eje X se muestran los meses de muestreo y en el Y la abundancia (número de individuos) de todas las especies

Se identificaron diez especies más abundantes para el Valle de San Luis Potosí (Figura 5), cuya cantidad de individuos varió de 72 a 152. De ellas, las especies que destacaron con la mayor cantidad de individuos fueron *Echinargus isola*, *Danaus gilippus*, *Leptotes marina* y *Zerene cesonia*. En Arroyos fueron nueve las especies más abundantes, incluyen el 37.3 % del total de individuos, destacan las especies *Danaus gilippus* y *Leptotes marina*. En La Zapatilla sólo tres especies tuvieron el 50.7 % de la abundancia, con un dominio de individuos de

Chlosyne ehrenbergii. En los dos sitios de Monte Caldera, A y B, la mayor abundancia estuvo en cinco especies en ambas localidades (*Echinargus isola*, *Leptotes marina*, *Phyciodes graphica*, *Nathalis iole* y *Zerene cesonia*), y representan el 29.2 % y 31.4 % respectivamente en cada lugar; aunque en Monte Caldera A las especies más abundantes fueron *Echinargus isola* y *Nathalis iole* y en Monte Caldera B *Phyciodes graphica* y *Zerene cesonia*. También en los dos sitios de Las Moras coincidieron las mismas ocho especies como las más abundantes (*Battus philenor*, *Danaus gilippus*, *Echinargus isola*, *Leptophobia aripa*, *Leptotes marina*, *Mestra amymone*, *Nathalis iole* y *Zerene cesonia*); aunque destaca Las Moras A con una mayor cantidad de individuos de *Leptophobia aripa* y *Leptotes marina*; en contraste con Las Moras B con prácticamente la mitad de la abundancia y con el dominio de *Mestra amymone* y *Zerene cesonia*.

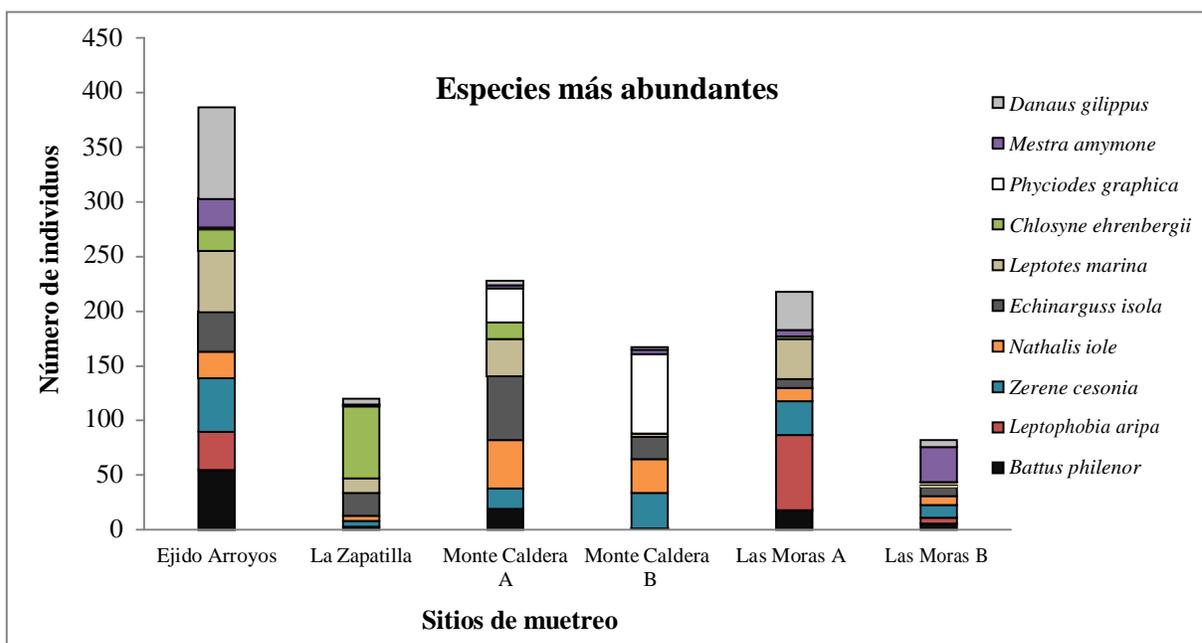


Figura 5. Número de individuos de las especies más abundantes del Valle de San Luis Potosí presentes en cada sitio de estudio

Índice de Shannon-Wiener

Diversidad alfa (α) acumulada. Arroyos y Las Moras A presentaron la diversidad más alta con 4.07 y 3.7 respectivamente; lo anterior coincide con los valores mensuales más altos encontrados entre los seis sitios, estos van de 3.46 a 3.40 para Arroyos y de 3.43 a 3.20 para Las Moras A. Ambos sitios se caracterizan por la presencia permanente de agua, además de

contar con tipos de vegetación que generan una gran cantidad de micro hábitats y recursos para las mariposas (Tabla 1), La Zapatilla fue el sitio con la menor diversidad alfa (α) anual con 2.80; de igual forma registró los valores mensuales más bajos de diversidad (0 a 0.5). También destaca que la diversidad más alta en esta localidad se registró en el mes de diciembre, mes en el que el resto de los puntos presentó los valores más bajos de diversidad; esta localidad se caracterizó por registrar la mayor actividad humana. La ausencia de datos para Las Moras A y B se presenta en los meses de abril y mayo, sin embargo, el valor de la diversidad alfa (α) acumulada para cada sitio de recolecta coincide con lo esperado de acuerdo a lo observado en campo (Tabla 3).

Tabla 3. Diversidad alfa (α) mensual y acumulada en cada sitio de muestreo

	Arroyos	Las Moras A	Monte Caldera A	Monte Caldera B	Las Moras B	La Zapatilla
Enero	3.37	2.18	0	0	0	0
Febrero	3.46	2.41	1.80	1.79	1.03	1.71
Marzo	2.72	2.15	2.53	2.53	0	0.50
Abril	3.10	ND	2.44	2.45	ND	0
Mayo	3.27	ND	2.37	2	ND	0.83
Junio	3.52	2.80	2.76	3.14	1.74	2.05
Julio	2.69	3.40	3.08	2.80	2.34	2.56
Agosto	3.45	3.43	3.31	3.09	2.66	1.03
Septiembre	3.22	3.04	2.60	2.34	2.72	1.38
Octubre	3.56	3.20	2.36	1.74	2.35	0.45
Noviembre	3.40	2.09	2.63	2.04	1.58	1.82
Diciembre	2.51	2.69	2.94	2.38	1.33	2.95
Acumulada*	4.07	3.70	3.68	3.55	3.19	2.80

*Este valor se obtuvo a partir de los valores de riqueza y abundancia acumulados durante todo el año

El análisis de varianza para la diversidad (Anexo 5) mostró que la diversidad fue estadísticamente diferente entre los sitios de muestreo ($Pr > F = <0.0001$). Con la prueba de medias de Scheffé ($Sy = 0.228$) (Tabla 4) se muestra que los sitios con los menores índices de diversidad (Las Moras B y La Zapatilla) son estadísticamente semejantes entre sí y diferentes al resto de las cuatro localidades, que entre ellos también son semejantes estadísticamente. De

acuerdo con la Tabla 1, los dos sitios con la menor diversidad son zonas habitadas (La Zapatilla y Las Moras B) y además su provisión de agua es sólo la precipitación anual. Los cuatro sitios con la mayor diversidad fueron sitios con provisión permanente o intermitente de agua (Arroyos, Las Moras A y Monte Caldera A) o con provisión estacional, y con poco disturbio (Monte Caldera B).

Tabla 4. Prueba de medias de Scheffé de la diversidad de lepidóperos diurnos en el Valle de San Luis Potosí, México

Sitio	Diversidad media(\bar{x})
Arroyos	3.18a
Las Moras A	2.73a
Monte Caldera A	2.40a
Monte Caldera B	2.19a
Las Moras B	1.57b
La Zapatilla	1.27b

El análisis de correlación mostró que no existe relación significativa entre la diversidad alfa (α) acumulada y la altitud registrada en cada sitio, lo que indicó que la diversidad no depende exclusivamente de la altitud (Tabla 5).

Tabla 5. Variables consideradas en el análisis de correlación de Pearson en las seis localidades de estudio en el Valle de San Luis Potosí, México

Sitio	Altitud (m)	Diversidad alfa (α) acumulada
Monte Caldera B	2271	3.55
Monte Caldera A	2096	3.68
Arroyos	1991	4.07
Las Moras B	1987	3.19
Las Moras A	1977	3.7
La Zapatilla	1927	2.8

Índice de Bray-Curtis

Diversidad beta (β). En la Tabla 6 destaca la similitud entre sitios cercanos como Monte Caldera A y B (0.442) y Las Moras A y B (0.316); estos sitios comparten 46 y 36 especies respectivamente, además de presentar las abundancias más similares; otro de los valores más altos de similitud, al compartir 69 especies, se presenta entre Las Moras A y Arroyos, sitios con una fuente de agua permanente como característica en común, aunque entre ellos hay una distancia, en línea recta, de 29.17 km.

Los sitios con menor similitud entre sí fueron Las Moras B y Monte Caldera B (0.221) y Arroyos y La Zapatilla (0.226), estos sitios comparten 28 y 32 % del total de especies respectivamente y sus abundancias son las menos similares, esto se atribuye a que se presentan condiciones inversas a las destacadas en los sitios con mayor similitud, ya que en ambos casos se encuentran en localidades alejadas unos de otros (37.87 y 16.8 km en línea recta), además de presentar algunas de las características ambientales más contrastantes como la baja actividad humana en una (Monte Caldera B) y la alta actividad humana en la otra (Las Moras B).

Tabla 6. Similitud entre los sitios de muestreo a partir del índice de similitud de Bray-Curtis

	Arroyos	La Zapatilla	Monte Caldera A	Monte Caldera B	Las Moras A	Las Moras B
Arroyos	1	0.226	0.417	0.268	0.478	0.228
La Zapatilla		1	0.315	0.254	0.269	0.294
Monte Caldera A			1	0.442	0.359	0.267
Monte Caldera B				1	0.294	0.221
Las Moras A					1	0.316
Las Moras B						1

Diversidad beta (β) temporal. En la Figura 6 se muestran los valores de diversidad obtenidos para cada sitio por estación funcional. Cinco de los seis sitios de muestreo presentaron la mayor diversidad en la estación húmeda y la menor en la estación seca-fría; Arroyos fue el sitio con mayor diversidad en las tres estaciones funcionales, además se mantuvo constante, sin embargo, el valor más alto se registra en la estación húmeda con 3.88. Si bien, las Moras B y La Zapatilla son los sitios más parecidos entre sí (Tabla 4) con la menor diversidad en las tres estaciones del año, ambos presentan un comportamiento inverso, ya que uno aumenta y otro disminuye su diversidad en la estación húmeda, Las Moras B registró un aumento de 1.74 a 3.12 entre las estaciones seca-cálida y la húmeda; en cambio, La Zapatilla presentó una disminución de 2.8 a 1.6 entre la estación seca-fría y seca-cálida, manteniendo esta disminución en la estación húmeda. Lo anterior coincide con lo observado en la Tabla 3, ya que dentro de la estación seca-fría se registran algunos de los valores más altos de diversidad en La Zapatilla (diciembre y noviembre) y los valores más bajos en los meses de marzo, abril y mayo (estación seca-cálida).

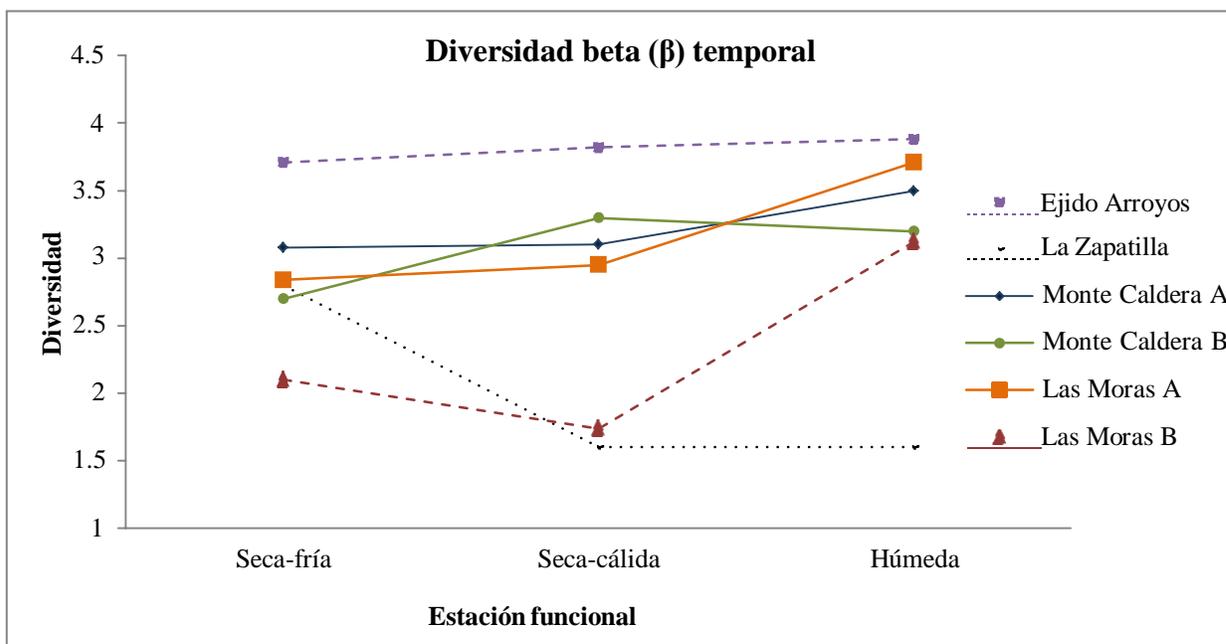


Figura 6. Representación de la diversidad beta (β) temporal de la comunidad de lepidópteros diurnos en las estaciones funcionales para el Valle de San Luis Potosí

Diversidad beta (β) espacial. Al analizar la similitud entre los sitios por estación funcional (Figura 7), se observó que La Zapatilla y Monte Caldera A comparten mayor similitud en la estación seca-fría (0.376), seguidos de Las Moras A y Arroyos con 0.36. La mayoría de las

especies compartidas entre estos sitios son multivoltinas y euriecas (producen varias generaciones anuales y son tolerantes a amplitudes grandes de condiciones ambientales). Los sitios con menor similitud entre sí, fueron Las Moras B y Arroyos; esto coincide con lo que se señala en la Tabla 6, ya que Las Moras B se identificó como el sitio con menor similitud con Arroyos, con un índice de 0.228, al poseer características muy contrastantes.

En la estación funcional seca-cálida Monte Caldera A y B con 0.409 y Monte Caldera A y Arroyos con 0.265 se registraron como los sitios con mayor similitud; estos sitios tienen características en común: la cercanía o la presencia de un arroyo, ya sea de forma intermitente o permanente. Las Moras B comparte la menor similitud con Monte Caldera A y B (0.02 y 0.06).

El grado de similitud entre los sitios en la estación húmeda coincide con el análisis general de diversidad beta (β) (Tabla 6), Arroyos y Las Moras A registran una similitud de 0.461, seguidos de Monte Caldera A y B con 0.375, con un valor de 0.18 La Zapatilla comparte con Arroyos la menor similitud registrada para esta estación funcional.

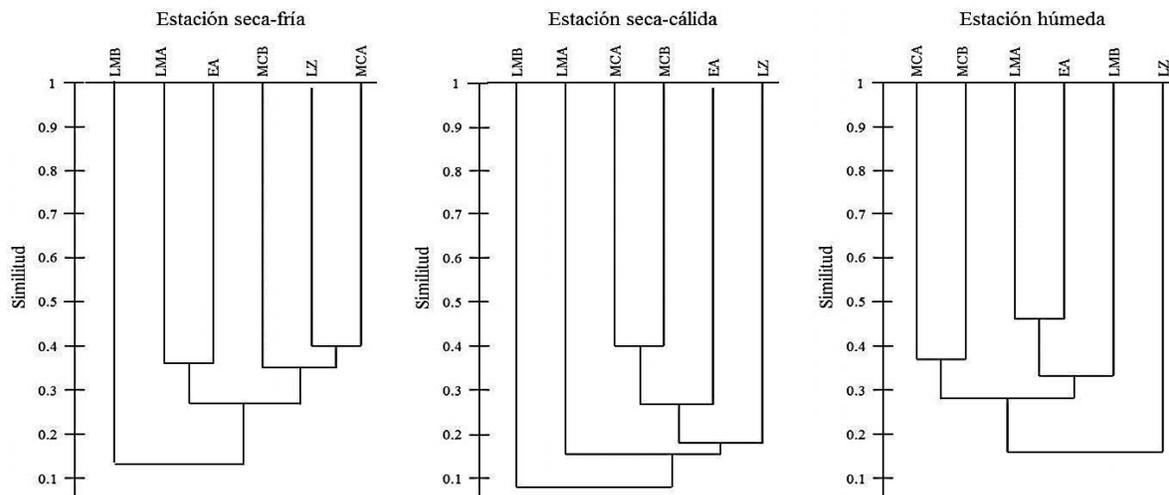


Figura 7. Similitud entre los sitios por estación funcional del año. (EA) Arroyos. (LZ) La Zapatilla. (MCA) Monte Caldera A. (MCB) Monte Caldera B. (LMA) Las Moras A. (LMB) Las Moras B

El posterior análisis SIMPER permitió identificar a las especies que influyeron en mayor grado en la similitud entre los sitios; en la Tabla 7 se presentan algunos ejemplos de estas para cada comparación entre sitios. La mayoría de las especies son de poca abundancia (dos a

cuatro individuos); destaca *Burnsius oileus* como una especie presente de manera homogénea entre La Zapatilla, Monte Caldera B y Las Moras A, además de Las Moras B y Monte Caldera B; *Arawacus jada* en Arroyos, La Zapatilla y Monte Caldera A y finalmente *Pholisora mejicanus* en Arroyos, Monte Caldera B y Las Moras B.

Tabla 7. Especies de mariposas del Valle de San Luis Potosí, que influyen en la similitud entre los sitios de muestreo a partir de su abundancia, identificadas a partir del análisis SIMPER

	La Zapatilla	Monte Caldera A	Monte Caldera B	Las Moras A	Las Moras B
Arroyos	<i>Arawacus jada</i>	<i>Arawacus jada</i>	<i>Pholisora mejicanus</i>	<i>Abaeis nicippe</i>	<i>Pholisora mejicanus</i>
La Zapatilla		<i>Abaeis nicippe</i>	<i>Burnsius oileus</i>	<i>Burnsius oileus</i>	<i>Anthanassa texana</i>
Monte Caldera A			<i>Euptoieta hegesia</i>	<i>Euptoieta claudia</i>	<i>Libytheanac arinenta</i>
Monte Caldera B				<i>Leptotes cassius</i>	<i>Burnsius oileus</i>
Las Moras A					<i>Phyciodes tharos</i>

Por otra parte, en el Anexo 6 se presentan las 15 especies que más influyen en la disimilitud entre los sitios; en la Tabla 8 se presentan a manera de ejemplo las especies que más influyen en la disimilitud entre los sitios. Destaca la especie *Danaus gilippus*, siendo esta la más abundante en Arroyos y presentando menor abundancia en el resto de los sitios, por lo tanto, es una especie representativa de Arroyos, *Chlosyne ehrenbergii* fue la especie más representativa en La Zapatilla debido a que se identificó como la especie más abundante, esto a diferencia de Monte Caldera A y Las Moras B, lugares en los que tuvo menor abundancia. La mariposa *Phyciodes graphica* fue la más abundante en Monte Caldera B, sin embargo, en los otros cinco sitios no fue tan representativa, por esto se registró como la especie que más influyó en la disimilitud de Monte Caldera B con el resto de los sitios de estudio.

Tabla 8. Especies de mariposas del Valle de San Luis Potosí, que influyen en la disimilitud entre los sitios de muestreo a partir de su abundancia, identificadas a partir del análisis

SIMPER

	La Zapatilla	Monte Caldera A	Monte Caldera B	Las Moras A	Las Moras B
Arroyos	<i>Danaus gilippus</i>	<i>Danaus gilippus</i>	<i>Danaus gilippus</i>	<i>Danaus gilippus</i>	<i>Danaus gilippus</i>
La Zapatilla		<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	<i>Phyciodes graphica</i>	<i>Leptophobia aripa</i>	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>
Monte Caldera A			<i>Phyciodes graphica</i>	<i>Leptophobia aripa</i>	<i>Echinargus isola</i>
Monte Caldera B				<i>Phyciodes graphica</i>	<i>Phyciodes graphica</i>
Las Moras A					<i>Leptophobia aripa</i>

Discusión

Eficiencia del muestreo. El alcance a una aceptable eficiencia del muestreo en cinco de los seis puntos estudiados (Figura 3) se debe a la alta intensidad del esfuerzo de recolecta realizado. En Las Moras B, el carecer de una fuente de agua, no brindó un espacio atractivo para que las mariposas puedan realizar sus funciones de alimentación, vuelo y reproducción; además de ser de los sitios con el menor esfuerzo de recolecta, en los que no se realizaron salidas a campo en los meses de abril y mayo, para cumplir con el aislamiento físico impuesto por la pandemia de COVID; a esto se atribuye el bajo porcentaje de especies obtenidas en comparación con el porcentaje esperado (58.28 %) (Maya *et al.*, 2005).

Riqueza, abundancia y diversidad alfa (α). Las especies animales con individuos con capacidad de movimiento pueden moverse en su territorio, o incluso emigrar a medida que sus condiciones ecológicas óptimas cambian. En las especies cuyo ciclo de vida es corto, tal es el caso de las mariposas, esto favorece al proceso de selección natural, por esto no resulta extraño el registro de especies fuera de su área de distribución conocida. En el caso de los insectos, el aumento de la temperatura es el mayor responsable de su expansión a distintas altitudes y latitudes. Tan solo en Europa, dos tercios de las especies conocidas de mariposas has registrado una modificación en su distribución, lo anterior podría explicar la presencia de cuatro nuevos registros significativos y dos nuevos registros poco significativos en el Valle de San Luis Potosí. También es importante mencionar que en el estado de San Luis Potosí se presentan las provincias biogeográficas del Desierto Chihuahuense y Veracruzana, estas pertenecen a las regiones neártica y neotropical del país respectivamente, además se identifica una zona de transición entre ambas regiones debido a la presencia de la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, lo anterior también podría contribuir a la identificación de nuevas especies en el Valle de San Luis Potosí (Kaeslin *et al.*, 2013; Morrone *et al.*, 2017).

La variación de los valores de riqueza y abundancia, y por lo tanto de diversidad alfa (α) de mariposas diurnas en cada sitio, puede explicarse a través de la estrecha relación de las mariposas con el ambiente. Factores como la precipitación, temperatura, tipo de vegetación y disturbio influyen en la riqueza y abundancia de las mariposas, ya que se relacionan con su tolerancia fisiológica (Murcia, 1995). Con respecto a la temperatura y precipitación, no se identificaron eventos extraordinarios en los años de recolecta, esto permite suponer que al

encontrar los sitios de estudio en una zona semiárida y con poca variación climatológica entre sí, la diversidad de lepidópteros no será distinta entre los sitios; sin embargo, es posible encontrar ciertas condiciones en cada localidad que generen microclimas atractivos para los lepidópteros diurnos, cambiando así su diversidad.

Al realizar el estudio en uno de los climas con menor precipitación registrada, se identificó que los sitios que presentaron una mayor diversidad alfa (α) (Tablas 2 y 3), son sitios con una fuente de agua adicional a la disponible únicamente por lluvia, ya que los dos sitios que disponen solo de agua de forma estacional (Las Moras B y La Zapatilla), registraron las diversidades más bajas y menos parecidas al resto de los sitios de estudio, además de ser estadísticamente diferentes al resto de los sitios de acuerdo con la prueba de medias de Scheffé (Tabla 4). Lo anterior coincide con el comportamiento de la diversidad de mariposas en el nivel mundial; en México, por ejemplo, los estados con mayor riqueza de lepidópteros diurnos registran mayor disponibilidad del recurso agua, ya sea a partir de la precipitación o almacenamiento de la misma o mayor humedad relativa en la atmósfera (Veracruz, Oaxaca, Chiapas y la zona de Huasteca, en la región de la planicie del Golfo); esta disponibilidad de agua también influye en el tipo de vegetación y suelo encontrados en cada sitio (Llorente *et al.*, 2014; INEGI, 2019). Los sitios con mayor cantidad de agua disponible (Las Moras A, Arroyos y Monte Caldera A) se caracterizaron por presentar visualmente un espacio con mayor cantidad de recursos para los lepidópteros, ya sea alimento, refugio o sitios adecuados para la reproducción. El caso contrario fueron los sitios con menor diversidad, en donde se observó una menor disponibilidad de recursos al presentar vegetación de matorral; autores como Murray *et al.* (1998) mencionan que la disponibilidad y uso de los recursos pueden explicar los patrones de abundancia de las mariposas.

Otro factor que influyó en los valores de diversidad es el disturbio; autores como Schneider y Fry (2001) mencionan que cierto grado de disturbio podría generar un aumento en la complejidad del paisaje, propiciando la llegada de nuevas especies; en efecto, de acuerdo con lo que se observó en campo, este podría ser el caso de Las Moras A; sin embargo, también es posible observar un escenario contrario, en el que el grado de disturbio es tan alto que la complejidad del paisaje se pierde y se genera una disminución de la diversidad, este podría ser el caso de La Zapatilla, ya que se encuentra en una zona con alta actividad humana. Monte

Caldera B podría presentarse como un sitio con un valor de diversidad poco influenciado por el disturbio, ya sea positiva o negativamente, debido a que de forma visual registra una baja actividad humana, esto se comprueba con la Tabla 3 al registrar una diversidad alfa (α) por debajo de lo que se registró en Las Moras A y La Zapatilla, localidades con mayor y menor diversidad, respectivamente (De Vries, 1987; Ospina-López *et al.*, 2015; Pérez-Torres, 2017; Rodríguez, 2011).

En relación con las familias de mariposas diurnas, la familia Hesperidae está asociada a agroecosistemas, algunos ejemplares llegan a ser considerados como plagas en la etapa larvaria (De Vries, 1987; Hernández *et al.*, 2008); esto concuerda con lo registrado para Las Moras A, donde la familia Hesperidae fue también la más representativa, con el 31.62 % de la riqueza encontrada en ese sitio (Tabla 2). Monte Caldera B, que fue considerado visualmente como el sitio con menor disturbio, registró a la familia Nymphalidae como una de las más representativas con 30.76 % de la riqueza. Lo anterior coincide con lo descrito por Luna-Reyes y Llorente-Bousquets (2004) para un estudio realizado en un área de bosque conservado de Sierra Nevada, México, en donde la familia Nymphalidae fue la más representativa durante las recolectas; en contraste, La Zapatilla (sitio con mayor actividad humana) está representada en menor porcentaje por esta familia (26.19 %). La familia Pieridae se caracteriza por incluir a muchas especies con la capacidad de adaptarse a sitios muy degradados (Clench, 1966), lo que concuerda con lo observado en La Zapatilla, ya que para este sitio fue la familia más representativa al registrar el 31 % de la riqueza para el sitio.

Diversidad beta (β). Los resultados obtenidos en este estudio para el análisis de similitud a partir del índice de Bray-Curtis (Tabla 6) muestran que los sitios más parecidos son los más cercanos espacialmente entre sí; esta observación coincide con lo descrito por Fraija y Fajardo (2006), en un estudio en el que se analizó la similitud entre cinco localidades en los Llanos Orientales Colombianos; ahí los autores encontraron que los sitios con mayor similitud se encuentran a poca distancia uno del otro; además, mencionan que la altitud es otro factor que influye en esta relación, debido a que los sitios menos similares entre sí, presentan las altitudes más distintas. Si bien, este último factor no es determinante en los valores de diversidad para este estudio (Tabla 5) los resultados registrados en el Valle de San Luis Potosí coinciden con lo descrito por Fraija y Fajardo (2006), ya que por ejemplo, Las Moras B y Monte Caldera B,

presentan la similitud más baja y una de las diferencias más grandes en altitud con 1977 y 2271 m.

Diversidad beta (β) temporal. El comportamiento de la diversidad alfa (α) puntual por estación funcional para todos los sitios de estudio, exceptuando a La Zapatilla (Figura 6), concuerda con los resultados presentados para dos estudios realizados en un periodo de un año en el estado de San Luis Potosí y Ciudad de México (de la Maza y de la Maza, 1988; Moyers-Arévalo y Cano-Santana, 2009), en ambos estudios se presentó la mayor diversidad en la estación húmeda y los valores más bajos de diversidad en la estación seca-fría. De acuerdo con Maya *et al.* (2005) el aumento de la precipitación y con ello la humedad relativa, y una temperatura más templada (características presentes en la estación húmeda), favorecen la realización de las funciones vitales de las mariposas; debido a lo anterior, muchas especies alcanzan su máxima abundancia durante la estación húmeda (Scott y Epstein, 1987). El caso contrario se presenta durante la estación seca-fría, ya que en estos meses la disponibilidad de alimento y la disminución de la precipitación y temperatura influyen de manera negativa en la presencia de mariposas, al dificultar la obtención de recursos. Arroyos y Las Moras A destacan como los sitios con menor variación en la diversidad a lo largo de las estaciones funcionales, esto se atribuye a dos factores principales: el primer factor se mencionó anteriormente y está relacionado con la presencia permanente de agua, esto permite que las especies puedan realizar sus funciones vitales por un periodo más prolongado al verse afectadas en menor grado por las estaciones secas (Rodríguez, 2019). El segundo factor está relacionado con los ciclos reproductivos y las migraciones de algunas especies de lepidópteros diurnos; se esperaba que los valores de diversidad fueran considerablemente más bajos en la estación seca y fría (afectando así su variación), sin embargo, la presencia de especies multivoltinas como *Anthanassa texana*, *Heliconius charitonia*, *Leptophobia aripa*, *Leptotes marina*, *Nathalis iole*, y *Pontia protodice* y de especies univoltinas como *Dione moneta*, que registra un pico de abundancia en la estación seca-fría, además de la evidencia de especies migratorias como *Danaus plexippus* durante esta estación, permiten que los valores de diversidad se mantengan constantes, generando así una baja variación de la diversidad a lo largo del año (Hernández-Mejía *et al.*, 2008; Moyers-Arévalo y Cano-Santana, 2009). Es importante mencionar que para Las Moras A, durante la estación seca-fría, también se registra una mayor abundancia de las especies *Brephidium exilis* y *Burnsius communis*, esto se

atribuye a que son especies comunes en los periodos secos y fríos de zonas xerófilas (Otto, 2014; Pérez, 2017).

La diversidad en la Zapatilla registró un comportamiento distinto al resto de los sitios de muestreo (Figura 6), presentando incrementos en la estación seca-fría y siendo la más baja en las temporadas seca-cálida y húmeda; al analizar el comportamiento de la especie de mariposa *Chlosyne ehrenbergii*, fue posible observar que en los meses con mayor abundancia de esta (Figura 4), se presenta un menor valor de diversidad, y ya que el índice de Shannon-Wiener indica qué tan uniformemente o equitativamente están distribuidos la cantidad de individuos entre las especies; así, al tener en cuenta todas las especies muestreadas, es posible suponer que el comportamiento de *Chlosyne ehrenbergii* influye en los resultados de diversidad obtenidos al afectar la uniformidad en la representación de las especies en el sitio (Pérez-Salgado *et al.*, 2008; Rodríguez, 2011; Villarreal *et al.*, 2004).

Diversidad beta (β) espacial. Monte Caldera A y B son los sitios que comparten más especies en la estación seca-cálida (Figura 7), esto se atribuye a los factores mencionados anteriormente para la diversidad alfa (α): son sitios cercanos entre sí, lo mismo ocurre en la estación húmeda con Las Moras A y Arroyos o Monte Caldera A y B. Lo anterior permite que, en los sitios mencionados anteriormente, las funciones vitales de las mariposas puedan realizarse de forma similar en determinada estación del año, aun siendo sitios distintos; sin embargo, en la estación seca-fría se presenta mayor similitud entre La Zapatilla y Monte Caldera A, esta similitud se atribuye principalmente a especies de la familia Pieridae, pues esta familia es la de mayor riqueza para La Zapatilla, debido a las condiciones del sitio, como la elevada actividad humana y la poca disponibilidad de agua. Estas condiciones podrían estar presentes en la estación seca-fría en Monte Caldera A, debido a que, como ya se mencionó en la discusión de diversidad beta (β) temporal, es la estación en la se observan más cambios durante el año, además de presentar actividad humana alta (Clench, 1966).

Similitud y disimilitud. El análisis SIMPER realizado a partir del índice de Bray-Curtis permitió identificar a las especies que contribuyen a la similitud y disimilitud entre los sitios de estudio (Tablas 7 y 8). La similitud entre los sitios se atribuye a las especies compartidas con abundancias similares, estas especies se identifican como las menos representativas de un sitio debido a que es posible encontrarlas en diversos lugares con características ambientales

contrastantes y generalmente no reflejan atributos de otras especies o del ecosistema; en cambio, las especies que generan la mayor diferencia entre los sitios de estudio son las más representativas, ello a partir de su abundancia; estas especies podrían reflejar un atributo del ecosistema o de las especies presentes en él, generando un primer acercamiento a especies bioindicadoras, por ejemplo: la disimilitud entre La Zapatilla y las Moras B (Tabla 6) se explica en gran medida por la especie *Chlosyne ehrenbergii*, la cual fue muy abundante en La Zapatilla y ausente en Las Moras B (Figura 5), esto podría indicar que existe cierta condición en La Zapatilla (condición discutida más adelante) que no es posible identificar en Las Moras B y que permite la gran abundancia de la especie de mariposa diurna *Chlosyne ehrenbergii* en el primer sitio. De igual forma, en Arroyos destaca la abundancia de la especie *Danaus gilippus*; su abundancia se atribuye a que es una especie multivoltina, por lo tanto fue posible registrarla en el 91 % de todos los muestreos; esta especie está estrechamente relacionada con la mariposa monarca (*Danaus plexippus*), especie que se observó descansando en perchas en el sitio durante los meses de octubre y noviembre (temporada migratoria), aumentando así el registro de *Danaus gilippus* para Arroyos ya que esta especie se caracteriza por imitar a la mariposa monarca, no sólo en coloración, también en comportamiento (mimetismo) (Brym *et al.*, 2020; Sorto, 2013). Como se mencionó anteriormente, la mariposa *Chlosyne ehrenbergii* registró la mayor abundancia en La Zapatilla, esto se relaciona con la presencia de la especie arbustiva *Buddleja cordata*, especie indicadora de disturbio y fuente de alimento principal de esa mariposa en su etapa larvaria (Pérez-Salgado *et al.*, 2008). Llama la atención que la especie *Buddleja cordata* también se encuentra presente en Las Moras B, sin embargo, no se encontró registro de la especie de mariposa *Chlosyne ehrenbergii*, esto puede atribuirse a la diferencia entre el grado de disturbio o la diferencia de altitud entre los dos sitios (Tabla 5); debido a que, de la Maza y de la Maza (2019) mencionan que el género *Chlosyne* puede distribuirse en el rango de altitud entre los 1300 y 2000 m (valores inferiores al registrado en Monte Caldera B), si bien, en este estudio la altitud no es un factor determinante en la diversidad, es posible encontrar casos particulares en los que la altitud tome un papel determinante. En Monte Caldera A, la especie *Echinargus isola* se presentó como la más abundante, esto puede atribuirse a sus estrategias para conseguir recursos. De acuerdo con Hernández-Mejía *et al.* (2008) *Echinargus isola* es una especie principalmente nectarívora; además, es posible catalogarla como hidrófila ya que tiene la capacidad de obtener nutrientes de áreas húmedas o

charcos a través de la absorción de minerales, esto coincide con lo observado en campo, debido a que Monte Caldera A cuenta con un arroyo intermitente y en este fue posible observar una gran cantidad de individuos de esta especie en los charcos y áreas húmedas (Young, 1975). La especie más abundante registrada en Monte Caldera B fue *Phyciodes graphica*, perteneciente a la familia Nymphalidae y encontrada comúnmente en sitios conservados (Meléndez, 2018). *Leptophobia aripa* fue la especie más abundante en Las Moras A, presentándose casi todo el año, de acuerdo con Contreras (2008), las larvas de esta especie son consideradas plaga, por lo tanto los cultivos del sitio podrían generar un ambiente atractivo para llevar a cabo su ciclo de vida.

Conclusiones

Existe una relación entre la diversidad de mariposas y las características particulares de cada sitio, un ejemplo de esto se enfoca en las estaciones funcionales del año, encontrando los valores más bajos de diversidad en las estaciones con menor disponibilidad de recursos y, una mayor diversidad en la estación que provee de una mayor cantidad de recursos (refugio, disponibilidad de agua, alimento), esto coincide con la hipótesis establecida para esta investigación.

Es importante considerar las características particulares que pueden presentarse en algunos puntos de las zonas semiáridas, estas características permiten aumentar los valores de diversidad esperados en zonas en las que se imponen climas BS y BW, puntos como Las Moras A y Arroyos, además de la falta de estudios referentes a lepidópteros en la zona semiárida del estado de San Luis Potosí permiten que este estudio amplíe el conocimiento de lepidópteros diurnos en las zonas semiáridas del estado (incluyendo el Valle) al presentar cuatro nuevos registros significativos y dos nuevos registros poco significativos de lepidópteros diurnos y generar un catálogo de especies.

Este estudio marca un referente en el conocimiento de las mariposas diurnas en el Valle de San Luis Potosí y se espera que este sea el punto de partida para continuar ampliando el estudio de las zonas semiáridas del estado de San Luis Potosí.

Referencias

- Aguirre R., J. R., H. Charcas S., J. L. Flores F. 2001. El maguey mezcalero potosino. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología. San Luis Potosí, SLP. México. 78 p
- Brym, M. Z., C. Henry, S. P. Lukashow-Moore, B. J. Henry, N. van Gestel, R. J. Kendall, 2020. Prevalence of monarch (*Danaus plexippus*) and queen (*Danaus gilippus*) butterflies in West Texas during the fall of 2018. *BMC ecology*, 20 (1), 1-13.
- Calderón R., G. 1960. Vegetación en el Valle de San Luis Potosí. Acta científica potosina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Editorial Universitaria Potosina, S.L.P., México. 118 p.
- Carrillo-Rivera, J. J. 1992. The hydrogeology of the San Luis Potosi Area, Mexico. D. thesis, University of London, U.K., 203 p.
- Carrillo-Rivera, J. J., R. Huizar, T. Hergt, P. Medellín Milán, A. Cardona, G. Ángeles Serrano, M. Osorio Veloz. 2002. Control de la concentración de fluoruro en el agua extraída en pozos de las ciudades de San Luis Potosí y Aguascalientes. Sistema de Investigación “Miguel Hidalgo”.
- Castillo Cruz., A. del C. 2003. Modelo hidrogeológico conceptual de la zona de San Luis Potosí – Villa de Reyes y su relación con la química del agua subterránea. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, UASLP, San Luis Potosí, 109 p.
- Clench H. 1966. Behavioural thermoregulation in butterflies. *Ecology*, 47: 1024-1034.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero San Luis Potosí, Estado de San Luis Potosí. - Comisión Nacional del Agua. 27 p.
- Comité Técnico de Aguas del Subsuelo o Subterráneas (COTAS). 2005. Estudio Técnico del Acuífero 2411 “San Luis Potosí”. - Comité Técnico de Aguas subterráneas Acuífero del Valle de SLP, A.C., San Luis Potosí, 70 p.

- Contreras C., A. O. 2008. Lista preliminar ilustrada y atlas biogeográfico de especies y subespecies de la familia Pieridae y Papilionidae (Lepidoptera) presentes en el departamento de Ñeembucú. Instituto de Bioecología e Investigación Subtropical (IBIS). República de Paraguay. 68 p.
- Daza-Pérez E. P., R. Pérez-Miranda. 2011. Termorregulación de lagartos en la formación de profesores de ciencias naturales y educación ambiental. *Ciencia y Educación* (Bauru), 17(3), 663-678.
- De la Maza R. G., J. de la Maza. 2019. Identificación de la población nominal de *Chlosyne melitaeoides* (C. y R. Felder, [1867]) y descripción de una nueva subespecie de Puebla y Oaxaca, México (Nymphalidae: Melitaeini). *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, ISSN 0187-022X.
- De la Maza R.G., J. E. de la Maza. 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 Vries, P. J. 1987. Mariposas de Costa Rica y su Historia Natural, Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae. Princeton University Press. USA. 324 p.
- Escalante E., T. 2003. ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. Museo de Zoología, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, UNAM. México. pp. 53-56.
- Fortanelli-Martínez J., F. Carlín-Castelán, J. G. Loza-León, J. R. Aguirre-Rivera. 2006. Patrones de cultivo en huertos comerciales minifundistas irrigados de Mexquitic, San Luis Potosí, México. *Agrociencia*, 40(2), 257-268.
- Fraija F. N., G. E. Fajardo M. 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.
- García, E.-CONABIO. 1998. Climas, escala 1:10000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

- García, M. E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía de la UNAM, 4ª edición. México. 246 p.
- Glassberg J. 2017. Butterflies of Mexico and Central America. Princeton University. New Jersey. ISBN 978-0-691-17648-2.
- Halffter G., C. E. Moreno. 2005. Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gama. Sobre diversidad biológica: Biological significance of alpha, beta and gamma diversity. On biological diversity: The meaning of diversities (Halffter, G., J. Soberón, P. Koleff, y E. Melic, eds.). Monografías Tercer Milenio, vol. 4, pp 5-18.
- Heindorf, C. 2020. Management and *in situ* conservation of plant genetic resources in indigenous land use systems of the Huasteca Potosina. Tesis de doctorado. Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales. 164 p.
- Hergt, T. 2009. Diseño optimizado de redes de monitoreo de la calidad del agua de los sistemas de flujo subterráneo en el acuífero 2411" San Luis Potosí": hacia un manejo sustentable. Tesis de doctorado. Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales. 199 p.
- Hernández C., I. Vargas, A. Martínez, J. Llorente. 2008. Distribución de las mariposas diurnas (Lepidóptera: Hesperioidea y Papilionoidea) del estado de México, México. Revista de Biología Tropical 56(3): 1309-1341.
- Hernández-Mejía C., J. Llorente-Bousquets, I. Vargas-Fernández, A. Luis-Martínez. 2008. Las mariposas (Hesperioidea y Papilionoidea) de Malinalco, Estado de México. Revista Mexicana de Biodiversidad 79: 117-130.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2019. Agua renovable por habitante de cada entidad federativa. En: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>. 21 de abril de 2021.
- Jiménez-Sierra C., R. Torres-Orozco, P. Corcuera-Martínez. 2010. Biodiversidad: una alerta. *Casa del Tiempo UAM*, 3(36), 9-16.

- Jiménez-Valverde A., J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*. Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva. Madrid, España. pp 151-161. ISSN 1576-9518.
- Kaeslin E., I. Redmond, N. Dudley. 2013. La fauna Silvestre en un clima cambiante. FAO. 87 p.
- Lamas, G. 2010. Bibliography of butterflies. An annotated bibliography of the Neotropical Butterflies and Skippers (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea). En <https://butterfliesofamerica.com/docs/Neotropical-Bibliography-2017.pdf> 06 de enero de 2019.
- Lamas, G., R. K. Robbins, W. D. Field. 1995. Bibliography of butterflies, vol. 124. In *Atlas of Neotropical Lepidoptera*, J. B. Heppner. Association for Tropical Lepidoptera, Gainesville. Florida. 463 p.
- Llorente B., J., I. Vargas-Fernández, A. Luis-Martínez, M. Trujano-Ortega, B.C. Hernández-Mejía, A.D. Warren. 2014. Biodiversidad de Lepidóptera en México. Museo de Zoología, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, UNAM. México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: S353-S371.
- Luis A. M., J. B. Llorente, I. F. Vargas, A. L. Gutiérrez. 2000. Síntesis preliminar del Conocimiento de los Papilionoidea (Lepidóptera: Insecta) de México. *Monografías Tercer Milenio 1*, F. Martín, J. J. Morrone, A. Melic. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza. pp. 275-285.
- Luis M., A., J. E. Llorente, A. D. Warren, I. F. Vargas. 2004. Lepidópteros: papilionoideos y hesperioideos. *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. México. pp 335-355.
- Luna-Reyes M., J. Llorente-Bousquets. 2004. Papilionoidea (Lepidóptera: Rhopalocera) de la Sierra Nevada, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s)* 20(2): 79-102.

- Maya M., A., C. Pozo, E. Mayuc. 2005. Las mariposas (Rhopalocera: Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae) de la selva alta subperennifolia de la región de Calakmul, México, con nuevos registros. Museo de Zoología, El Colegio de la Frontera Sur. México. Folio Entomológica 44(2): 123-143.
- Meléndez J., E. 2018. Valor indicador de los ninfálidos (Papilionoidea: Nymphalidae) en selva baja espinosa caducifolia del noreste de México. ISSN: 2448-475X.
- Moreno C., D., D. F. Campos A., R. Cisneros A. 2004. Estadística Climatológica del Observatorio Meteorológico de San Luis Potosí (1877-2000). Facultad de Ingeniería de la UASLP y Comisión Institucional de Apoyo a la Docencia. México. 67 p.
- Morrone, J. J., T. Escalante, G. Rodríguez-Tapia. 2017. Mexican biogeographic provinces: map and shapefiles. *Zootaxa* , 4277, 277-279.
- Moyers-Arévalo, L., Z. Cano-Santana. 2009. Fenología de la comunidad de mariposas diurnas y su relación con la fenología floral de las plantas y otros factores ambientales. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 9 p.
- Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: Implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*. 10: 58-62.
- Murray, B. R., Fonseca C. R., Westoby M. 1998. The macroecology of Australian frogs. *Journal of Animal Ecology*, 67:567-579.
- Ospina-López L. A., M. G. Andrade-C., G. Reinoso-Flórez. 2015. Diversidad de mariposas y su relación con el paisaje en la cuenca del río Lagunillas, Tolima, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(153), 455-474.
- Otto H., H. H. 2014. A new locality and larval host plant recorded for *Brephidium exilis exilis* (Boisduval, 1852) on the Arabian Peninsula. *Lepidopterists Society of Africa*, 25: 97-99.
- Otzen, T. y C. Manterola. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.*, 35 (I); 227-232.

- 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. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 121 p.
- Pérez-Salgado J., M. D. Ángel-Ríos, E. Hernández-Castro. 2008. Aportaciones a la biología de *Chlosyne ehrenbergii* (Striped Patch) (Lepidoptera: Nymphalidae) plaga de *Buddleja sessiliflora* Kunth planta medicinal. Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero. México. 4 p.
- Pérez-Torres J. 2017. Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea) asociadas a un agroecosistema cafetero de sombra (Curití, Santander). Revista Colombiana de Entomología 43 (1): 91-99.
- Rendón S., E. 1997. Diagnóstico de las mariposas monarca hibernantes que intentaron alimentarse y la estructura del rodal del bosque donde se agrupó la colonia del Llano del Toro en la Sierra Chincua, Mich., durante la temporada de hibernación 1993-1994. Tesis profesional. Instituto de Ecología, UNAM. Michoacán, México. 49 p.
- Reyes A., J. A., F. González M., J. D. García P. 1996. Flora Vascular de la Sierra Monte Grande, Municipio de Charcas, San Luis Potosí, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 58: 31-42 (1996).
- Reyes-Aguilera C. E., J. G. Loza L., H. Álvarez-García. En proceso. Diversidad alfa (α) en mariposas diurnas (Orden: Lepidoptera) en tres sitios ambientales diferentes de Cerro de San Pedro, SLP, México. México.
- Reyes-Aguilera, C. E. 2020. Estudio de la comunidad de mariposas diurnas (orden: lepidoptera) en tres sitios ambientales diferentes de Cerro de San Pedro, SLP, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, UASLP. 93 p.
- Ribera I., G. Foster. 1997. El uso de artrópodos como indicadores biológicos. Los artrópodos y el hombre. Barcelona, España. 20(1997): 265-276.

- Rodríguez L., V. G. 2019. Diversidad de lepidópteros en un oasis de la sierra de San Miguelito, SLP, México. Tesis profesional. Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. UASLP. San Luis Potosí, SLP, Méx. 65 p.
- Rodríguez R., Y. 2011. Evaluación de la contaminación por metales en pasivos ambientales de actividades metalúrgicas históricas en el distrito minero Cerro de San Pedro, S. L. P. (México). Tesis de doctorado. Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales. 161 p.
- Rzedowski, J. 1965. Relaciones geográficas y posibles orígenes de la flora de México. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 29; 121-177.
- Sbordoni, V., S. Forestiero. 1988. *Butterflies of the World, Crescent Books*, New York. 17 p.
- Schneider C., G. L. Fry. 2001. The influence of landscape grain size on butterfly diversity in grasslands. *Journal of Insect Conservation.* 5(3), 163-171.
- Scott, J. A., M. E. Epstein. 1987. Factors affecting phenology in a temperate insect community. *The American Midland Naturalist*, 117: 103-118.
- Sorto, R. E. 2013. Catálogo de especies de mariposas diurnas miméticas y con coloraciones crípticas de la quebrada “La Chanseñora” del Parque Natural Walter Thilo Deininger, El Salvador. *Bioma*, 3, 29-35.
- Stefanescu C. 2004. Las mariposas diurnas: bellos indicadores de la calidad ambiental de nuestro entorno. En <https://metode.es/revistas-metode/article-revistas/las-mariposas-diurnasbellos-indicadores-de-la-calidad-ambiental-de-nuestro-entorno.html>. 05 de febrero de 2021.
- Villarreal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina, A.M. Umaña. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.

Young, A. M. 1975. Feeding behavior of *Morpho* butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae: Morphinae) in a seasonal tropical environment. *Revista de Biología Tropical* 23:101-123.

Capítulo II

Lepidópteros diurnos como bioindicadores ecológicos en el Valle de San Luis Potosí, SLP, México

Lepidópteros diurnos como bioindicadores ecológicos en el Valle de San Luis Potosí, SLP, México

Viridiana Guadalupe Rodríguez Lucio^{1*}, Jéssica Grétel Loza León², Juan Antonio Reyes Agüero³, Guillermo Espinosa Reyes⁴

¹ Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Altair #200, Fracc. Del Llano C.P. 78377, San Luis Potosí, SLP, México.

² COCOAA S.A. de C.V., Av. San Pedro #2255, Col. San Francisco C.P. 78435, Soledad de Graciano Sánchez, SLP, México.

³ Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Altair #200, Fracc. Del Llano C.P. 78377, San Luis Potosí, SLP, México.

⁴ Facultad de Medicina - Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, Av. Sierra Leona #550-2^a, Lomas de San Luis C.P. 78210, San Luis Potosí, SLP, México.

* Autor de correspondencia: viridianaaa.9603@gmail.com

Resumen

En años recientes se ha generado un amplio interés por el estudio de los insectos como bioindicadores. En México la mayor parte de estudios sobre mariposas bioindicadoras se han realizado en el sur, lo que plantea la necesidad de realizar estudios en el centro y norte del país. Los objetivos de este estudio consistieron en identificar el grado de disturbio en seis sitios con características contrastantes en el Valle de San Luis Potosí e identificar la relación entre los lepidópteros diurnos, el disturbio y el tipo de vegetación con el fin de obtener especies como bioindicadoras ecológicas. Se seleccionaron seis sitios con características ambientales contrastantes en el Valle de San Luis Potosí; tres sitios en Cerro de San Pedro (La Zapatilla, Monte Caldera A y Monte Caldera B), uno en San Luis Potosí (Arroyos) y dos en Mexquitic de Carmona (Las Moras A y Las Moras B). Se realizaron muestreos cada 15 días en periodos de un año por municipio. Las mariposas se capturaron con redes entomológicas, se sacrificaron, montaron y determinaron. Se determinó el grado de disturbio en los seis sitios de

muestreo a partir del Índice de Disturbio de Martorell y Peters, posteriormente, con el fin de obtener a las especies bioindicadoras se realizó un análisis de Valor Indicador (IndVal) con el programa PC-ORD 6. Los sitios que presentaron los valores más altos de disturbio fueron Las Moras A y La Zapatilla, esto se atribuyó a la superficie modificada registrada en cada sitio; en contraste, Monte Caldera B fue el sitio con menor disturbio, esto atribuido a las actividades de conservación implementadas en el sitio desde hace aproximadamente 13 años; las categorías de disturbio que contribuyeron más al disturbio total fueron: actividades humanas y degradación del suelo, en cambio, la categoría de ganadería fue la que menos influyó. El análisis del Valor Indicador identificó a 13 especies bioindicadoras de disturbio y dos especies bioindicadoras de conservación, la mayoría de estas se presentaron en Arroyos; en La Zapatilla y Las Moras B no se registraron especies bioindicadoras. No se registraron antecedentes como bioindicadoras del 40 % de las especies identificadas a partir del análisis del IndVal; en algunos casos fue posible establecer una relación entre estas y el sitio estudiado, sin embargo, la falta de información sobre algunas especies limitó determinar dichas relaciones. En conclusión, este estudio marca un precedente sobre el conocimiento de los lepidópteros diurnos como bioindicadores en las zonas semiáridas del estado de San Luis Potosí, además, este trabajo podría contribuir a futuros proyectos enfocados en la evaluación del estado de conservación de determinados ecosistemas.

Palabras clave: bioindicadoras, características ambientales, lepidópteros, disturbio, conservación.

Abstract

In recent years there has been widespread interest in the study of insects as bioindicators. In Mexico, most of the studies on bioindicator butterflies have been carried out in the south, which raises the need for studies in the center and north of the country. The objectives of this study were to identify the degree of disturbance in six sites with contrasting characteristics in the San Luis Potosi Valley and to identify the relationship between diurnal lepidoptera, disturbance and vegetation type in order to obtain species as ecological bioindicators. Six sites with contrasting environmental characteristics were selected in the San Luis Potosi Valley; three sites in Cerro de San Pedro (La Zapatilla, Monte Caldera A and Monte Caldera B), one

in San Luis Potosi (Arroyos) and two in Mexquitic de Carmona (Las Moras A and Las Moras B). Sampling was carried out every 15 days in periods of one year per municipality. The butterflies were captured with entomological nets, sacrificed, mounted and determined. The degree of disturbance in the six sampling sites was determined from the Disturbance Index of Martorell and Peters, then, in order to obtain the bioindicator species, an Indicator Value (IndVal) analysis was carried out using the PC-ORD 6 program. The sites that presented the highest disturbance values were Las Moras A and La Zapatilla, this was attributed to the modified surface registered in each site; in contrast, Monte Caldera B was the site with the least disturbance, this was attributed to the conservation activities implemented in the site approximately 13 years ago; the disturbance categories that contributed most to the total disturbance were: human activities and soil degradation, while the livestock category had the least influence. The Indicator Value analysis identified 13 disturbance bioindicator species and two conservation bioindicator species, most of these were present in Arroyos; no bioindicator species were recorded in La Zapatilla and Las Moras B. No bioindicator species were recorded for 40% of the species identified as a result of the IndVal analysis; in some cases it was possible to establish a relationship between these and the site studied, however, the lack of information on some species limited the determination of these relationships. In conclusion, this study is a precedent on the knowledge of diurnal lepidoptera as bioindicators in the semi-arid zones of the state of San Luis Potosi, in addition, this work could contribute to future projects focused on the evaluation of the conservation status of certain ecosystems.

Key words: bioindicators, conservation, disturbance, environmental characteristics, Lepidoptera.

Introducción

En los últimos 20 años se ha generado un amplio interés por el estudio de los insectos como bioindicadores, en especial las mariposas (Orta-Salazar, enviado). En ecología un bioindicador se define como un organismo, especie o comunidad característica de un hábitat en particular o de la calidad o condición de un hábitat determinado (Lincoln *et al.*, 2009); McGeoch (2007) amplió la definición mencionando que la bioindicación es la predictibilidad de la relación entre una especie bioindicadora y el parámetro ambiental de interés, de ahí que el aspecto más crítico para cualquier bioindicador es establecer claramente la presencia de una relación fuerte, significativa y robusta entre éste y, por ejemplo, la concentración de algún contaminante, la calidad de hábitat o con la biodiversidad de cierto taxón en particular o área. Para ello propuso tres categorías de bioindicadores: ambientales, ecológicos y de biodiversidad (Holt y Miller, 2011; McGeoch, 2007).

Los bioindicadores ecológicos hacen referencia a especies cuya presencia refleja los efectos de un cambio en el ambiente o en la biota asociada a una comunidad o en un ecosistema, la presencia de estas especies generalmente está relacionada con aspectos del grado de conservación biológica (McGregor, 2007). Trabajos como los realizados por Legal *et al.* (2020) muestran la relevancia de los lepidópteros como bioindicadores en el estudio de la restauración, deterioro y toma de decisiones sobre el uso y manejo de los recursos de un ecosistema. Otros insectos que han sido utilizados como bioindicadores son los acuáticos para evaluar el estado de conservación de una cuenca, las libélulas en humedales, hormigas como indicadores del estado de conservación del suelo y las abejas como indicadoras de disturbio (Barrios y Rodríguez, 2013; Cabrera, 2012; Orejuela, 2017; Reyes-Novelo *et al.*, 2009).

Se estima que en México existen 23,750 especies de Lepidoptera, con cerca de 14,500 descritas y documentadas; Reyes-Aguilera *et al.* (en proceso), menciona que se han descrito 1,968 especies de la superfamilia Papilionoidea en el nivel nacional en las últimas cinco décadas. Para el estado de San Luis Potosí están registradas 680 especies de mariposas diurnas, es decir, 34.55 % del total de mariposas en el nivel nacional, de las cuales 202 se registran para el Valle de San Luis Potosí (Glassberg, 2017; Llorente *et al.*, 2014; Reyes-Aguilera *et al.*, en proceso).

Entre las características que convierten a las mariposas diurnas en un grupo ideal para su estudio como bioindicadores se encuentran su sensibilidad a cambios de temperatura, humedad, altitud y gradiente de luz; su abundancia, estabilidad en el tiempo y espacio e importancia en casi todos los ecosistemas; la relativamente amplia documentación de su biología y taxonomía; la eficiencia y rapidez de sus procedimientos de captura, montaje y preservación; la facilidad de estudio debido a sus hábitos diurnos y su gran valor estético, lo que las hace populares y recomendables en campañas de sensibilización y de protección de la diversidad (Fernández, 2008; Grau y Stefanescu, 1998; Villarreal *et al.*, 2004).

De acuerdo con Orta-Salazar *et al.* (enviado) la mayor parte de estudios sobre mariposas bioindicadoras se han realizado en el sur de México, destacando los estados de Campeche y Chiapas. En el Valle de San Luis Potosí son inexistentes los análisis de las mariposas como bioindicadoras, ni cualitativos, ni cuantitativos. Por ello, los objetivos de este estudio consisten en identificar el grado de disturbio en seis sitios con características contrastantes en el Valle de San Luis Potosí e identificar la relación entre las especies de mariposas diurnas, el disturbio y la asociación con ciertos tipos de vegetación con el fin de obtener especies bioindicadoras a partir de la especificidad de las especies a los sitios de estudio.

Materiales y métodos

Descripción general del área de estudio. El Valle de San Luis Potosí (Figura 1) se encuentra al suroeste del estado de San Luis Potosí e incluye los municipios de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez, Cerro de San Pedro, al igual que una pequeña porción de los municipios de Mexquitic de Carmona, Armadillo de los Infante y Zaragoza (CONAGUA, 2002). El valle tiene un área aproximada de 1,980 km² y se localiza entre las coordenadas geográficas 21° 54' 54" y 22° 28' 15" de latitud norte y 101° 13' 44" y 100° 37' 08" de longitud oeste; su límite norte son las partes altas de la Sierra de la Melada, el del sur es la Sierra de San Miguelito, al este la Sierra de Álvarez y al oeste la Sierra de Mexquitic (COTAS, 2005; Hergt, 2009). Presenta un clima semiárido con lluvias en los meses de verano. De acuerdo con la clasificación del clima de Köppen y modificada por García (1998), es posible identificar dos tipos de clima: BS₀kw y BS₁kw, estos señalan una evaporación potencial (que varía de 2,730 a 2,920 mm anuales), que excede a la precipitación, que sólo es de 350 mm. El clima BS₀kw predomina desde la parte central del valle hasta su límite en el este, mientras que el BS₁kw predomina desde la porción central hasta el límite en el oeste (Moreno *et al.*, 2004).

Calderón (1960) describió diferentes tipos de vegetación para el Valle (los nombres corresponden con los de Rzedowski, 1965):

Matorral desértico micrófilo. En este tipo de vegetación domina *Larrea tridentata* (gobernadora) y ocupa el 55 % del área total del valle. Matorral crasicale. Ocupa una superficie de 10 %, predominan *Opuntia streptacantha*, *Myrtillocactus geometrizans* y *Prosopis laeviagata*. Matorral desértico rosetófilo. Ocupa el 9 % del valle, en este tipo de vegetación es común encontrar *Agave striata*, *Agave lechuguilla* y *Hechtia glomerata*. Zacatal. Se caracteriza por la dominancia de especies gramíneas y, ocupa el 5 % del área total del valle, se distinguen dos tipos de zacatal, en el primero dominan especies de *Bouteloua* y *Muhlenbergia* y en el segundo *Hilaria cenchroides*. Encinar arbustivo. Ocupa alrededor del 8 % del valle y dominan especies arbustivas como *Quercus mexicana*, por ejemplo, *Quercus mexicana* Encinar. A diferencia del anterior, aquí dominan individuos arbóreos también del género *Quercus*, las especies *Quercus hartwegii* y *Quercus crassifolia* suelen ser las dominantes. Piñonar. Este tipo de vegetación ocupa el 2 % del Valle y predomina el *Pinus cembroides*.

El Valle de San Luis Potosí es parte de la provincia biogeográfica Desierto Chihuahuense (Morrone *et al.*, 2017). En esta región es posible identificar tres unidades geológicas: basamento de fase marina de edad mesozoica, una cubierta de rocas volcánicas de edad cenozoica y relleno de las depresiones que se formaron durante del Terciario por rocas cenozoicas (Castillo Cruz, 2003; Carrillo-Rivera *et al.*, 2002).

El valle es la zona más sureña de la región hidrológica 37 “El Salado”, es una cuenca endorreica con escorrentías intermitentes, que, en algunas zonas bajas, provocan inundaciones en periodos de pluviosidad alta; la planicie de la cuenca tiene una altitud de 1,850 a 1,900 m, siendo 2,500 m la máxima. Se han identificado dos acuíferos en el Valle, estos se denominan acuífero somero y profundo, separados por una capa poco permeable de arcilla y limo (Hergt, 2009).

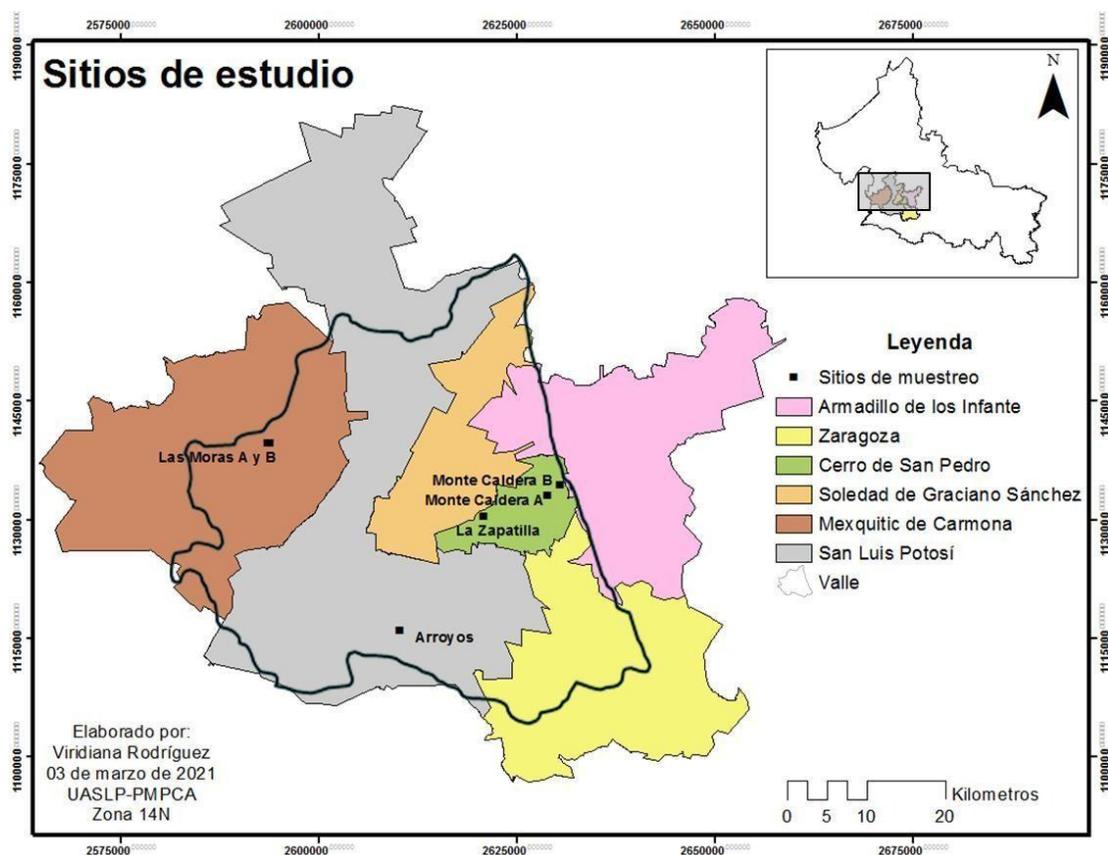


Figura 1. Valle de San Luis Potosí y ubicación de las localidades estudiadas para el presente trabajo

Descripción de los sitios de estudio. Se escogieron seis localidades con características ambientales contrastantes en el Valle de San Luis Potosí, estas se encuentran localizadas en los municipios de San Luis Potosí, Cerro de San Pedro y Mexquitic de Carmona (Figura 1). Los puntos se eligieron mediante una técnica de muestreo no probabilístico intencional (Otzen y Manterola, 2017). En los sitios de estudio es posible identificar un clima BS₁kw (Figura 2) (Carrillo-Rivera, 1992; García, 1988; Hergt, 2009) (Tabla 1):

Tabla 1. Datos generales de los sitios de estudio para el muestreo de mariposas bioindicadoras en el Valle de San Luis Potosí (Reyes-Aguilera, 2020; Rodríguez, 2019)

Municipio	Sitios de estudio	Tipo de vegetación y/o uso del suelo	Disponibilidad de agua	Altitud (m)	Localización
San Luis Potosí, SLP	Arroyos	Riparia	Permanente	1991	22° 03' 34" N 100° 55' 39" O
	La Zapatilla	Matorral crasicaule en área habitada	Estacional	1927	22° 11' 20" N 100° 55' 39" O
Cerro de San Pedro	Monte Caldera A	Vegetación de ribera	Intermitente*	2096	22° 12' 47" N 100° 44' 39" O
	Monte Caldera B	Plantación excluida, de <i>Pinus</i>	Estacional	2271	22° 13' 28" N 100° 43' 45" O
	Las Moras A	Agroecosistema con riego	Permanente	1977	22° 16' 32" N 101° 05' 18" O
Mexquitic de Carmona	Las Moras B	Matorral crasicaule de <i>Opuntia leucotricha</i> , sin abastecimiento de agua	Estacional	1987	22° 16' 33" N 101° 05' 10" O

*Se considera intermitente porque, a diferencia de la lluvia estacional, también se dispone de agua a través del almacenamiento en un arroyo intermitente.

En Arroyos las especies arbóreas que dominan fisonómicamente son *Acacia farnesiana*, *Asclepias linaria*, *Baccharis glutinosa*, *Brickellia* sp., *Chenopodium glaucum*, *Dalea bicolor*, *Heteranthera rotundifolia*, *Lantana camara*, *Salix bonplandiana*, *Schinus molle*, algunos individuos de la familia Malvaceae y helechos, además de algunos cactus que reflejan la influencia de la vegetación que rodea al sitio de estudio (matorral), en este punto el agua se presenta de manera permanente.

El sitio de Monte Caldera A está al costado de un arroyo intermitente, en este sitio se identificaron individuos de *Acacia farnesiana*, *Asphodelus* sp., *Dalea bicolor*, *Jatropha dioica*, *Nicotiana glauca*, *Opuntia leucotricha*, *Opuntia robusta*, *Prosopis laevigata* y *Tithonia diversifolia* (Reyes-Aguilera, 2020; Rodríguez, 2019).

En Las Moras A el agua para riego es obtenida de los remanentes de la presa Álvaro Obregón y la disposición de las especies vegetales en los huertos en este agroecosistema depende de la disponibilidad de agua y la oferta y demanda del mercado; sin embargo, como el agua para riego no está siempre disponible de forma abundante durante todo el año, se nota una influencia de las estaciones funcionales del año, así, en los periodos secos se cultivan especies con menor requerimiento de humedad como *Origanum majorana*, en cambio en los periodos con mayor disponibilidad de agua es posible observar especies como *Coriandrum sativum*, *Matricaria recutita* y *Petroselinum sativum*; las especies que se pueden encontrar todo el año son *Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Foeniculum vulgare* y *Thymus vulgari*; algunas de las especies cosechadas para fechas especiales son *Celosia argéntea* y *Tagetes erecta*, además, se identificaron especies de la familia Malvaceae (Fortanelli-Martínez *et al.*, 2006).

En La Zapatilla, Las Moras B y Monte Caldera B no se registran cuerpos de agua que influyan con los sitios. En La Zapatilla dominan especies como *Buddleja cordata*, *Bursera fagaroides* y *Jatropha dioica*; especies como *Acacia farnesiana*, *Bouteloua* sp., *Eragrostis* sp., *Opuntia leucotricha* y *Scleropogon* sp. están presentes en Las Moras B. Finalmente, en Monte Caldera B, como es una zona reforestada y conservada (excluida) por lo menos desde hace 13 años, dominan especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*, además se observa *Bouteloua* sp., *Buddleja cordata* y *Muhlenbergia* sp. (Reyes-Aguilera, 2020).

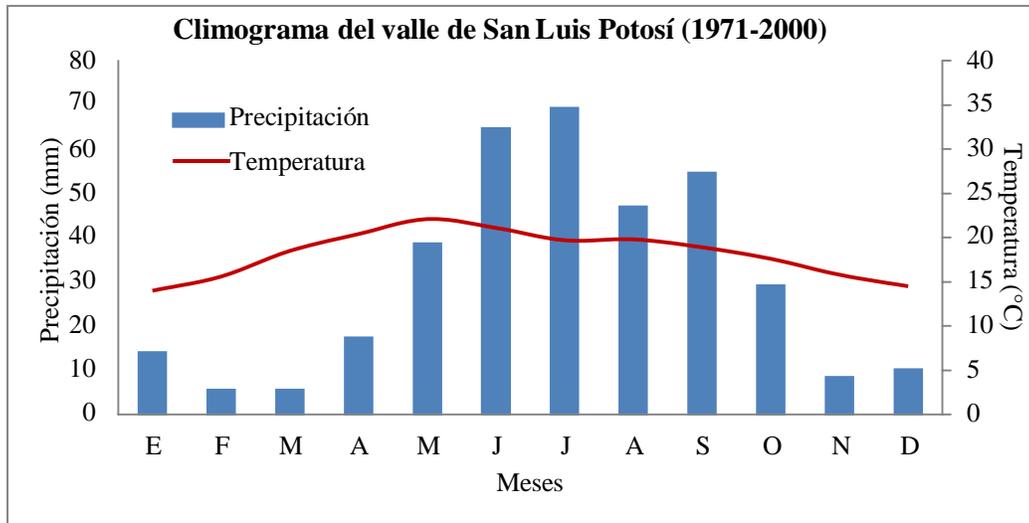


Figura 2. Climograma general del Valle de San Luis Potosí con datos del periodo del año 1971 al 2000 (Moreno *et al.*, 2004)

Trabajo de campo. La recolecta de mariposas diurnas se realizó por cuatro personas cada 15 días en periodos de un año, para Arroyos, se realizaron de enero de 2017 a enero de 2018; de enero de 2018 a diciembre de 2018 se realizó el trabajo de campo para los tres sitios de Cerro de San Pedro y finalmente de junio de 2019 a mayo de 2020 en los dos puntos de Las Moras, en Mexquitic de Carmona. En cada sitio de muestreo se definió un transecto de recolecta dependiendo de las características de los mismos, estos van de 300 a 720 m, se realizaron 22 salidas a campo por año en un horario de 10:00 a 16:00 horas, teniendo un esfuerzo de recolecta de 528 horas anuales; las últimas tres salidas a campo al municipio de Mexquitic de Carmona (Las Moras A y B), fueron suspendidas debido a la contingencia causada por el virus SARS-CoV-2. Las mariposas se capturaron con redes entomológicas y se sacrificaron aplicando presión en el tórax y en algunos casos con una inyección letal. El montaje de cada individuo se realizó *in situ* (Villarreal *et al.*, 2004).

Como primer paso para la caracterización del disturbio en cada sitio de muestreo, se definieron transectos de muestreo de 50 m, posteriormente se realizó la evaluación de 12 parámetros agrupados en tres categorías de disturbio (ganadería, degradación del suelo y actividades humanas), los parámetros fueron calculados a partir de lo descrito en la Tabla 2 (Martorell y Peters, 2004; Sánchez, 2019).

Tabla 2. Parámetros para evaluar el Índice de Disturbio (IDD) en los seis sitios de muestreo

Índice de Disturbio (IDD)		
Categoría	Parámetro	Descripción
Actividades humanas (AHU)	Fracción de plantas macheteadas (FPM)	Número de árboles o arbustos macheteados en comparación con el total
	Densidad de caminos humanos (DCH)	Número de caminos en el transecto con uso por parte de seres humanos
	Distancia a las poblaciones (DPO)	Distancia del punto de muestreo al poblado más cercano
	Adyacencia a núcleos de actividad (ANA)	Número de sitios con actividad humana cercana (casas, sembradíos, etc.)
Degradación del suelo (DSU)	Evidencia de incendios (EIN)	Evidencia de un incendio existente (Sí=1 y No=0)
	Erosión (ERO)	Se cuantifica el número de puntos en los que se observe la roca madre por efecto de actividades humanas
	Islas (ISL)	Presencia de fragmentación a lo largo del sitio muestreado (Sí=1 y No=0)
	Superficie totalmente modificada (STM)	Se registra cada metro de área modificada por el ser humano
Ganadería (GAN)	Fracción de plantas ramoneadas (FPR)	Número de plantas ramoneadas en comparación con el total
	Frecuencia de excretas de ganado (FEG)	Número de excretas en el transecto
	Densidad de caminos ganaderos (animales grandes) (DCG)	Número de caminos en el transecto con uso por parte del ganado vacuno
	Compactación del suelo (CSU)	Tiempo (s) que tarda en perderse el agua (250 ml) contenida en un tubo de 10 cm de diámetro enterrado a 4 cm de profundidad.

Trabajo de laboratorio. La determinación de cada individuo de mariposa se realizó con bases de datos disponibles en línea como *Butterflies of America*, guías especializadas (Glassberg,

2017) y comparaciones con ejemplares de la Colección Entomológica de la Universidad Nacional Autónoma de México. Cada ejemplar fue etiquetado con los datos básicos de recolecta y determinado para posteriormente ser almacenados en cajas tipo Cornell (Villarreal *et al.*, 2004).

La obtención del índice de disturbio (IDD) en cada sitio se realizó de acuerdo con lo propuesto por Martorell y Peters (2004) y Sánchez (2019). Con los valores estandarizados de cada parámetro (Tabla 2) se integró una matriz de datos, posteriormente se realizó un análisis de componentes principales (PCA), con el software PC-ORD 6; los valores de los componentes uno y dos de cada parámetro fueron multiplicados por su respectivo porcentaje de variación, estos se utilizaron para obtener el valor de los coeficientes de cada parámetro y posteriormente la fórmula para identificar el índice de disturbio para cada sitio. Posteriormente, con el fin de simplificar la discusión posterior, se dio una clasificación del nivel de disturbio a cada sitio de acuerdo con el valor del Índice de Disturbio (IDD) obtenido: $0 <$ (muy bajo), $0 - 20$ (bajo), $20 - 40$ (medio-bajo), $40 - 60$ (medio), $60 - 80$ (medio-alto), $80 - 100$ (alto) y > 100 (muy alto) (Martorell y Peters, 2004, Sánchez, 2019).

Con apoyo del programa PC-ORD 6 se definieron las especies indicadoras de cada sitio, esto se realizó con el método del Valor Indicador (IndVal), este método fue propuesto por Dufrêne y Legendre (1997) como alternativa al análisis TWINSpan. El IndVal se basa en el grado de especificidad (exclusividad a un hábitat particular) y el grado de fidelidad (frecuencia de ocurrencia dentro de un mismo hábitat), ambos medidos de manera independiente para cada especie y expresados en porcentaje; las especies con un IndVal igual o superior a 50 % se consideraron indicadoras; para este análisis únicamente se tomaron en cuenta las abundancias registradas durante la estación húmeda (junio a octubre) debido a que en esta estación la predominancia de especies es más clara (Martín-Regalado, 2019; Orta-Salazar *et al.*, enviado; Tejeda-Cruz *et al.*, 2008).

Resultados

Riqueza y abundancia. Para el Valle de San Luis Potosí se recolectaron 3,077 individuos pertenecientes a seis familias, 20 subfamilias, 99 géneros y 161 especies de mariposas diurnas. El sitio que registró mayor riqueza y abundancia fue Arroyos con 117 especies y 1,031 individuos, seguido de las Moras A con 85 especies y Monte Caldera B con 78 especies y 509 individuos, en contraste, La Zapatilla y Las Moras B registraron los valores más bajos de riqueza y abundancia con 42 y 44 especies y 197 y 177 individuos, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Riqueza, abundancia y disponibilidad de agua por sitio de muestreo en el Valle de San Luis Potosí

Sitio	Riqueza	Abundancia	Disponibilidad de agua	Tipo de vegetación
Las Moras A	85	524	Permanente	Agroecosistema con riego
La Zapatilla	42	197	Estacional	Matorral crasicaule en un área habitada
Las Moras B	44	177	Estacional	Matorral crasicaule de <i>Opuntia leucotricha</i> , sin abastecimiento de agua
Monte Caldera A	77	639	Intermitente	Vegetación de ribera
Arroyos	117	1,031	Permanente	Riparia
Monte Caldera B	78	509	Estacional	Plantación excluida, de <i>Pinus</i>

Índice de Disturbio (IDD). A partir del análisis de componentes principales (Anexo 7), fue posible conocer que el sitio con mayor disturbio fue Las Moras A (129.68 IDD) (Tabla 3), la categoría de degradación del suelo (DSU) fue la que más aportó al disturbio de este sitio; esto se atribuye a la gran cantidad de áreas para la producción de cosechas. La Zapatilla se presentó

como el segundo sitio con mayor disturbio con 120.88, este sitio se caracterizó por su adyacencia a núcleos de actividad humana, habitacional y minera; en contraste. Monte Caldera B fue el sitio que presentó menor disturbio con -19.03, debido, seguramente, a que en el sitio se registran actividades de conservación biológica desde al menos hace 13 años (se controla el acceso de personas, está excluido de actividad ganadera y se han hecho obras de restauración ecológica). Con esto es posible registrar que Las Moras A y La Zapatilla son sitios que presentan un grado elevado de disturbio, mientras que Monte Caldera B con un índice de disturbio negativo es un sitio conservado (Tabla 4). A excepción de Monte Caldera B, los sitios de estudio presentan porcentajes de disturbio por encima del 50 %, en estos cinco sitios la degradación del suelo es la categoría que aporta más al disturbio, en cambio, la ganadería es el factor que influye en menor grado al incremento del IDD total en los seis sitios de estudio.

Tabla 4. Índice de disturbio (IDD) total en los seis sitios de estudio en el Valle de San Luis Potosí

Sitio	IDD total	Nivel de disturbio	Actividades humanas (AHU)	Degradación del suelo (DSU)	Ganadería (GAN)
Las Moras A	129.68	Muy alto	48.48	75.49	5.71
La Zapatilla	120.88	Muy alto	50.48	75.49	-5.09
Las Moras B	95.13	Alto	20.40	72.43	2.29
Monte Caldera A	81.58	Alto	30.02	69.37	-17.81
Arroyos	78.93	Medio-alto	19.04	57.89	1.99
Monte Caldera B	-19.03	Muy bajo	3.18	0	-22.22

Valor Indicador (IndVal). De las 161 especies identificadas, sólo 15 son posibles especies bioindicadoras de disturbio o de conservación y hábitat en el Valle de San Luis Potosí (Tabla 6 y Anexo 8). La mayor parte (13 especies) son bioindicadoras de disturbio y sólo dos lo son de grado de conservación. El sitio que registró más especies bioindicadoras de disturbio fue Arroyos con nueve especies (una especie además, fue bioindicadora de hábitat) y valores indicadores entre 83.3 % (*Chiomara asychis*) y 50 % de IndVal (*Strymon bazochi*). En Monte Caldera A y Las Moras A se registraron dos especies bioindicadoras de disturbio, el valor indicador de estas especies va de 65.9 a 50 % y de 69.7 a 55.6 % de IndVal respectivamente;

finalmente Monte Caldera B presentó dos especies bioindicadoras de conservación (71.2 a 51.1 % IndVal). Las localidades de La Zapatilla y Las Moras B fueron las únicas en las que no se registraron especies bioindicadoras de disturbio y ello no deja de llamar la atención, pues son sitios que presentan un disturbio alto (120.88 y 95.13 de IDD respectivamente, Tabla 4). Nueve de las 15 especies propuestas como bioindicadoras (*Anteos maaerula*, *Catasticta nimbice*, *Chlosyne lacinia*, *Electrostrymon guzanta*, *Leptophobia aripa*, *Leptotes marina*, *Nymphalis antiopa*, *Phyciodes graphica* y *Pterourus garamas*) fueron identificadas como importantes para determinar la similitud o disimilitud entre localidades de la región (Rodríguez-Lucio, en proceso) a partir de un análisis SIMPER (Anexo 6).

Tabla 5. Especies de mariposas bioindicadoras y su valor indicador para sitios de estudio en el Valle de San Luis Potosí

Sitio (nivel de disturbio)	Especies	Valor Indicador (IndVal)	Valor p
Arroyos (Medio-alto)	<i>Chiomara asychis</i>	83.3 %	0.001
	<i>Heliconius charithonia</i>	64.2 %	0.001
	<i>Pyrisitia proterpia</i>	63.6 %	0.001
	<i>Leptotes cassius</i>	62.5 %	0.001
	<i>Vanessa cardui</i>	57.1 %	0.001
	<i>Anteos maerula</i>	52.2 %	0.002
	<i>Nymphalis antiopa</i>	50.9 %	0.002
	<i>Pyrisitia dina</i>	50.0 %	0.001
	<i>Strymon bazochii</i>	50.0 %	0.002
Monte Caldera A (Alto)	<i>Chlosyne lacinia</i>	65.9 %	0.001
	<i>Catasticta nimbice</i>	50.5 %	0.002
Monte Caldera B (Muy bajo)	<i>Phyciodes graphica</i>	71.2 %	0.001
	<i>Electrostrymon guzanta</i>	51.1 %	0.003
Las Moras A (Muy alto)	<i>Leptophobia aripa</i>	69.7 %	0.001
	<i>Pterourus garamas</i>	55.6 %	0.001

De las 15 especies definidas como bioindicadoras ecológicas para este estudio 13 se definieron como bioindicadoras de disturbio y dos como bioindicadoras de conservación, además, se definieron dos especies como bioindicadoras de hábitat (Tabla 6). Las especies *Anteos maerula*, *Catasticta nimbice*, *Chlosyne lacinia*, *Heliconius charithonia*, *Leptophobia aripa*, *Pyrisitia dina* y *Pyrisitia proterpia* propuestas como bioindicadoras de disturbio para este trabajo coinciden con lo descrito por Orta-Salazar *et al.* (enviado); de la misma forma, la especie *Phyciodes graphica* se describe como indicadora de conservación. Hablando del tipo de vegetación o hábitat, la única especie en esta investigación que presentó una coincidencia con lo descrito por Orta-Salazar *et al.* (enviado) fue *Nymphalis antiopa*, al presentarse como una especie bioindicadora de zonas húmedas. De las especies *Chiomara asychis*,

Electrostrymon guzanta, *Leptotes cassius*, *Pterourus garamas*, *Strymon bazochii* y *Vanessa cardui* no se identificó ningún precedente como bioindicadoras.

Tabla 6. Especies bioindicadoras de disturbio, conservación y hábitat en el Valle de San Luis

Potosí				
Sitio (Nivel de disturbio)	Especies	Bioindicadores ecológicos		
		Disturbio	Conservación	Hábitat
Arroyos (Medio-alto)	<i>Chiomara asychis</i>	x		
	<i>Heliconius charithonia</i>	x		
	<i>Pyrisitia proterpia</i>	x		
	<i>Leptotes cassius</i>	x		
	<i>Vanessa cardui</i>	x		
	<i>Anteos maerula</i>	x		
	<i>Nymphalis antiopa</i>	x		Zonas húmedas
	<i>Pyrisitia dina</i>	x		
Monte Caldera A (Alto)	<i>Chlosyne lacinia</i>	x		
	<i>Catasticta nimbice</i>	x		
Monte Caldera B (Muy bajo)	<i>Phyciodes graphica</i>		x	
	<i>Electrostrymon guzanta</i>		x	
Las Moras A (Muy alto)	<i>Leptophobia aripa</i>	x		Áreas de cultivo
	<i>Pterourus garamas</i>	x		

Discusión

Riqueza, abundancia y características ambientales. Al igual que la riqueza y abundancia de lepidópteros diurnos, el disturbio, el tipo de vegetación, y la disponibilidad de agua difirieron en cada localidad estudiada (Tablas 3 y 4). De acuerdo con Schneider y Fry (2001) el disturbio tiene dos vertientes: una en la que se puede generar un aumento en la complejidad del paisaje y otra en la que disminuye; en consecuencia, el disturbio tiene un efecto semejante en la riqueza y abundancia de lepidópteros diurnos, puede generar que incremente o que disminuya; además, en conjunto con la disponibilidad de agua, el disturbio generado por la degradación del suelo y la actividad humana también influye en los tipos de vegetación que se registran en los sitios (Barrantes y Méndez, 2016). Así, las Moras A y La Zapatilla presentaron los valores más altos y más bajos de riqueza y abundancia respectivamente, si bien, estos son los sitios que registran mayor disturbio (Tabla 4) este influye de forma distinta en esas localidades; en Las Moras A el disturbio es un agroecosistema; en cambio, en La Zapatilla el disturbio de tipo zona habitada y cercana a un campo minero permitió el establecimiento de especies arbustivas indicadoras de disturbio, por ejemplo, *Buddleja cordata*. Además, es importante tomar en cuenta la disponibilidad de agua como una condición que da paso a las características ambientales de los sitios anteriormente mencionados; tal como lo menciona Rodríguez-Lucio (en proceso), la presencia de agua influye en la riqueza y abundancia de mariposas; al respecto, Las Moras A y La Zapatilla difieren al contar con el recurso agua de forma permanente y estacional, respectivamente. Esta característica junto con el disturbio podrían ser los responsables de las variaciones en la riqueza y abundancia de mariposas entre ambos sitios. Tal como ocurrió entre La Zapatilla y Las Moras A, la riqueza y abundancia registrada entre todos los sitios de muestreo difirió debido a que los sitios presentaron características ambientales distintas. Estas características ambientales contrastantes son las que permiten encontrar diferentes especies de mariposas diurnas en cada localidad estudiada (Barranco, 2016; Rodríguez-Lucio, en proceso).

Al hablar del efecto del disturbio en la riqueza y abundancia de especies es importante mencionar la hipótesis del disturbio intermedio, esta fue empleada por primera vez por Cornell en 1978 y propone que los máximos valores de riqueza y abundancia se alcanzan con intensidades intermedias de disturbio, esto se atribuye a que los agentes causantes de mortalidad actúan con intensidades intermedias evitando que las especies más competitivas

excluyan a las demás permitiéndoles permanecer en la comunidad; lo anterior coincide con lo observado en Arroyos al presentarse como un sitio con un disturbio de nivel medio-alto y registrar los valores más altos de riqueza y abundancia. Esta misma hipótesis propone que los sitios con disturbio bajo o alto presentan valores de riqueza y abundancia menores a los registrados en un sitio con disturbio intermedio, esto coincide con los resultados obtenidos en La Zapatilla y Las Moras B al ser sitios con disturbio alto y presentar los valores más bajos de riqueza y abundancia. Cabe destacar que esta hipótesis no se ajusta a los resultados obtenidos en Las Moras A y Monte Caldera B debido a que son sitios que presentan un disturbio muy alto y muy bajo respectivamente y valores altos de riqueza y abundancia (Tablas 3 y 4), lo anterior puede atribuirse a dos factores, el primero relacionado con los recursos disponibles en los sitios de estudio tal como se discutió anteriormente y, el segundo relacionado con la conclusión realizada por Vega y Peters (2003) al mencionar que esta hipótesis parece no siempre aplicarse cuando se evalúa el efecto del disturbio en especies móviles debido a que, por ejemplo, estas pueden ser remplazadas por la migración de nuevos individuos (Cornell, 1978).

Especies bioindicadoras. Con el análisis del Valor Indicador se identificaron especies bioindicadoras de disturbio o conservación sólo para cuatro sitios de estudio (Tablas 5 y 6); pues para La Zapatilla y Las Moras B no se identificó ninguna especie bioindicadora. Como se mencionó anteriormente, el disturbio tiene influencia en la riqueza y abundancia de las mariposas. Autores como Hocking *et al.* (1992) mencionan que el disturbio activo (presente en el momento), continuo y de alto nivel genera que la mayoría de las especies presentes en un sitio se retiren y solo permanezcan las más tolerantes, pero con baja abundancia, generando así la disminución en la riqueza y abundancia del sitio; lo anterior podría explicar la ausencia de especies bioindicadoras de conservación en La Zapatilla y Las Moras B; sin embargo, llamó la atención que tampoco se registraron especies indicadoras de disturbio, esto se atribuyó principalmente a que en ambos sitios se presenta actividad humana constantemente, esta genera un disturbio continuo y activo que disminuyen la probabilidad de encontrar especies con fidelidad y especificidad en los sitios. En contraste, Arroyos, con un disturbio medio-alto, presentó la mayor cantidad de especies bioindicadoras de disturbio (Tablas 5 y 6). De acuerdo con Hocking *et al.* (1992), en esta categoría de disturbio la mayoría de las especies de mariposas tienen la capacidad de adaptarse a los cambios en el sitio, por lo tanto, no se

presenta una disminución en su riqueza y abundancia; además, es importante tomar en cuenta que la disponibilidad de agua de forma permanente convierte a Arroyos en un sitio atractivo para las mariposas, permitiendo identificar más especies fieles y específicas al sitio.

Cabe resaltar que las especies bioindicadoras encontradas en este estudio a partir del IndVal presentan coincidencias con las obtenidas a partir de la metodología propuesta por Orta-Salazar *et al.* (enviado): ellos proponen un diagrama de flujo para seleccionar especies bioindicadoras. De las 13 especies bioindicadoras de disturbio encontradas en esta investigación siete especies (*Anteos maerula*, *Catantix nimbice*, *Chlosyne lacinia*, *Heliconius charithonia*, *Leptophobia aripa*, *Pyrisitia dina* y *Pyrisitia proterpia*) coincidieron con las encontradas a partir de la metodología de Orta-Salazar *et al.* (enviado); la especie *Phyciodes graphica* propuesta como bioindicadoras de conservación en este estudio no coincidió con las encontradas a partir del diagrama de flujo como especies bioindicadoras de conservación, ello probablemente a que la información sobre el tipo de vegetación y plantas hospederas de la especie *Phyciodes graphica* es escasa y, uno de los criterios de selección propuestos por Orta-Salazar *et al.* (enviado) para las especies bioindicadoras se basa en el tipo de vegetación, lo anterior podría provocar un sesgo para la selección de esta especie de mariposa como bioindicadora.

Pero tampoco fue posible encontrar coincidencia entre los resultados de este estudio y la metodología propuesta por Orta-Salazar *et al.* (enviado) para las especies *Chiomara asychis*, *Electrostrymon guzanta*, *Leptotes cassius*, *Strymon bazochii* y *Vanessa cardui* y la subespecie *Pterourus garamas garamas*, lo anterior debido a que estas no estaban registradas como bioindicadoras en ninguno de los 43 trabajos que sobre el tema, revisaron Orta-Salazar *et al.* (enviado), por lo que la presente tesis sería el primer registro de estas especies como bioindicadoras se ponían a consideración como posibles bioindicadoras dentro de su metodología.

Además de la fidelidad y especificidad de las especies a un sitio o a una condición de disturbio, existen otras características deseables en las especies bioindicadoras. Estas características se seleccionan de acuerdo con lo que se espera que las especies indiquen. De acuerdo con Friesen (2019) las especies polífagas suelen ser citadas como bioindicadoras ecológicas, especialmente cuando se habla de disturbio; esto se atribuye a que están mejor

adaptadas a los cambios ambientales y son especies que presentan un aumento importante en su abundancia a medida que el hábitat se vuelve más heterogéneo (Bobo *et al.*, 2006; Molina-Martínez y León-Cortés, 2006; Waltz y Covington, 2004). Las especies polífagas generalmente se identifican como multivoltinas y generalmente, tienden a ser de mayor tamaño que las univoltinas (Orta-Salazar *et al.*, enviado; Pozo, 2006; Shapiro, 1974; Vargas-Fernández *et al.*, 1999). Si bien, las especies polífagas generalmente son citadas como bioindicadoras ecológicas, la bioindicación no es exclusiva de estas; de las especies identificadas como bioindicadoras para este estudio únicamente el 20 % se identificaron como especies polífagas y multivoltinas (*Chlosyne lacinia*, *Nymphalis antiopa* y *Pterourus garamas*), esto se aproxima a lo encontrado por Orta-Salazar *et al.* (enviado), ya que, de las 119 especies que registró como bioindicadoras ecológicas únicamente el 33.61 % son polifágas.

Especies bioindicadoras en Arroyos. Con base en un estudio realizado por Balam-Ballote y León-Cortés (2010) se determinó que las especies *Anteos maerula*, *Heliconius charithonia*, *Pyrisitia dina* y *Pyrisitia proterpia* son especies bioindicadoras de áreas modificadas, además de ser indicadoras en particular del bosque mesófilo de montaña; estas especies se definieron como especies bioindicadoras de disturbio en Arroyos (Tabla 6). Arroyos, con su vegetación riparia, está lejos de ser un bosque mesófilo de montaña; lo único que ambos ambientes comparten es la alta humedad relativa; sin embargo, Arroyos se caracteriza por ser un área modificada, esto podría explicar la presencia de las cuatro especies como bioindicadoras. Analizando de manera particular las características de las especies anteriormente mencionadas se encontró que varias especies vegetales del género *Passiflora*, característica del bosque mesófilo de montaña, también son plantas hospederas de la mariposa *Heliconius charithonia*. En Arroyos aunque no se localizaron especies de *Passiflora*, si hay poblaciones de la especie vegetal *Lantana camara*, fuente de alimento de *Heliconius charithonia* en su etapa adulta (Estrada y Jiggins, 2002). La especie vegetal *L. camara* es nativa del centro y sur de América e invasora cosmopolita (Baars y Naser, 1999); aunque en México no se considera como tal (Villaseñor y Espinosa-García, 2004) si es una especie que suele encontrarse en hábitats fragmentados (Sharma y Raghubanshi, 2010) por ello, la mariposa *Heliconius charithonia* podría considerarse como como indicadora de ambientes fragmentados. De acuerdo con la información recopilada por Orta-Salazar *et al.* (enviado), especies de los géneros *Acacia* y

Prosopis se identificaron como hospederas de la mariposa *Pyrisitia proterpia* en la etapa larvaria, estos géneros de arbustos son comunes en los matorrales xerófilos del altiplano mexicano; si bien, en Arroyos la vegetación característica es riparia, es importante mencionar que este sitio se encuentra rodeado por matorral xerófilo, precisamente con individuos de *Acacia* y *Prosopis*; así, la influencia de la vegetación circundante a Arroyos podría estar relacionada con la presencia de la mariposa *Pyrisitia proterpia* (Rodríguez *et al.*, 2014). No se encontró una relación evidente de las especies *Anteos maerula* y *Pyrisitia dina* con las especies vegetales de Arroyos (aunque se debe aclarar que se carece de un estudio florístico, detallado, de la zona), para *Anteos maerula* esto puede atribuirse a que de acuerdo con Rodríguez (2019), esta especie presenta un comportamiento migratorio durante la estación húmeda, debido a esto es posible no encontrar su planta hospedera en el sitio y, además, considerarla como una especie poco confiable para usarla como bioindicadora (Orta-Salazar *et al.*, enviado). Otra de las especies bioindicadoras para Arroyos fue *Nymphalis antiopa* (Tabla 5), León-Cortés *et al.* (2019) definieron a esta especie como bioindicadora de humedales; los humedales y Arroyos tienen como característica en común la disponibilidad de agua de forma permanente con una transición entre ecosistemas terrestres y acuáticos (Cowardin *et al.*, 1992), por lo tanto, esta especie de mariposa podría definirse como bioindicadora de hábitats con disponibilidad de agua.

Especies bioindicadoras en Monte Caldera A. De acuerdo con Balam-Ballote y León-Cortés (2010) y Meléndez (2018) las especies *Catasticta nimbice* y *Chlosyne lacinia* se identifican como especies indicadoras de áreas con disturbio con bosque mesófilo de montaña o selva baja espinosa caducifolia; para este estudio se identificaron como especies indicadoras de sitios con vegetación de ribera y un disturbio alto (Tablas 4 y 5). De acuerdo con Brochero *et al.* (2012) la especie vegetal *Thitonia diversifolia* (especie presente en Las Moras A) es una planta ruderal o arvense, es decir, es una planta que prospera en sitios con disturbio asociados con asentamientos humanos; además, se presenta como una hospedera alternativa para la mariposa *Chlosyne lacinia* (Martínez-De la Cruz *et al.*, 2015). A partir de la relación entre la especie vegetal *Tithonia diversifolia* y la mariposa *Chlosyne lacinia*, esta última podría definirse como una especie indicadora de disturbio generado por actividad humana. No fue posible identificar una relación entre la especie *Catasticta nimbice* y la vegetación en Monte Caldera A, por lo anterior, un estudio más detallado entre el tipo de vegetación y la especie

Catantix nimbice podría ser la clave para comprender la especificidad y fidelidad de la mariposa a Monte Caldera A.

Especies bioindicadoras en Monte Caldera B. La especie *Phyciodes graphica* fue propuesta como bioindicadora de humedales y áreas conservadas por León-Cortés *et al.* (2019), además, Meléndez (2018) también la menciona como una especie característica de sitios conservados; en este estudio se propone como una especie indicadora de un sitio conservado de bosque de *Pinus*; este estudio coincide con los anteriormente mencionados al identificar a *Phyciodes graphica* como una especie indicadora en un sitio conservado; sin embargo, la información sobre las plantas hospederas de esta especie de mariposa es escasa, debido a esto no fue posible establecer su relación con el tipo de vegetación presente en Monte Caldera B o con un humedal de acuerdo con lo descrito por León-Cortés *et al.* (2019).

Especies bioindicadoras en Las Moras A. Una de las especies identificadas como bioindicadoras de disturbio en Las Moras A fue *Leptophobia aripa* (Tabla 6); autores como Balam-Ballote y León-Cortés (2010) y León-Cortés *et al.* (2019) mencionan a esta especie como bioindicadora de disturbio en bosque mesófilo de montaña y vegetación riparia respectivamente. Para este estudio, la especie *Leptophobia aripa* se define como una especie bioindicadora en un agroecosistema con disponibilidad de agua y con muy alto disturbio generado principalmente por la producción de cosechas (Tabla 4). Las condiciones y actividades realizadas en Las Moras A permiten el establecimiento de especies vegetales como *Brassica* sp., *Persea americana* y *Ptelea trifoliata*, estas especies se caracterizan por ser hospederas de *Leptophobia aripa*; en este caso, debido a que se estableció una relación entre esta última especie y las condiciones del sitio es posible confirmar que *Leptophobia aripa* es una especie bioindicadora en Las Moras A (Cuevas-Salgado *et al.*, 2015; Friesen, 2019; Luna-Reyes *et al.*, 2010).

Nuevas especies bioindicadoras. Además de este estudio, para las especies *Chiomara asychis*, *Leptotes cassius*, *Strymon bazochii* y *Vanessa cardui* en Arroyos; *Electrostrymon guzanta* en Monte Caldera B y *Pterorus garamas* en Las Moras A (Tabla 5) no se encontró algún otro estudio que determine a estas especies como bioindicadoras ecológicas. La información disponible sobre estas especies generalmente es escasa, sin embargo, es posible establecer algunas relaciones entre los resultados obtenidos en este y otros estudios. Para el

presente trabajo la especie *Chiomara asychis* se determinó como bioindicadora de disturbio en un sitio con vegetación riparia. En el trabajo de investigación sobre mariposas diurnas realizado por Núñez-Bustos y Volkman (2013) describieron un área de estudio influenciada por el agua, rodeada por una llanura seca y con evidencia de actividad humana, además, se menciona la presencia de especies vegetales como helechos y algunos cactus; estas características coinciden con las descritas para Arroyos, también se menciona a la especie *Chiomara asychis* como una de las más comunes, llegando a representar hasta 60 % de los individuos registrados en el sitio. Si bien, Núñez-Bustos y Volkman (2013) no definen a esta especie como bioindicadora, la similitud entre los resultados de su investigación y los descritos para este estudio podrían ser el primer acercamiento para identificar a *Chiomara asychis* como una especie característica de hábitats húmedos, en la colindancia con zonas secas y la actividad humana. Al igual que en el presente estudio, trabajos como los realizados por Yoshimoto *et al.* (2020) registraron a la especie *Leptotes cassius* en sitios con disturbio generado por actividad humana o cambios de uso de suelo, sin embargo, fue imposible confirmar bibliográficamente una relación entre esta especie y la vegetación característica de Arroyos. Otra especie de la que tampoco fue posible establecer una relación en Arroyos fue *Vanessa cardui*; de acuerdo con Stefanescu *et al.* (2013) entre las plantas hospederas de esta mariposa se encuentran varias de la familia Malvaceae, especies de esta familia se localizaron en Arroyos, sin embargo, no fue posible establecer una relación entre esta especie de planta y el tipo de vegetación presente en Arroyos debido a la amplia distribución de las especies de la familia Malvaceae. Como se mencionó anteriormente, la especie vegetal *Lantana camara* en el nivel mundial es característica de sitios que registran actividad humana (Sharma y Raghubanshi, 2010), esta especie es hospedera de la mariposa *Strymon bazochii*, por lo tanto, es posible relacionar a esta especie de mariposa con sitios que presentan disturbio, sin embargo *Lantana camara* es una especie característica de campos abandonados, matorral y pastizales (Negi *et al.*, 2019), por lo tanto, su presencia en Arroyos podría estar más relacionada con la vegetación circundante de Arroyos que con la vegetación riparia.

La especie *Electrostrymon guzanta* se identificó como bioindicadora de un sitio conservado y con vegetación de *Pinus* (Tabla 6), debido a la falta de información para esta especie no se logró establecer una relación evidente con la vegetación presente en Monte Caldera B; sin embargo, llama la atención que la mayoría de los estudios revisados sobre la diversidad de

mariposas en los que se menciona esta especie de mariposa se caracterizan por realizarse en sitios conservados, un ejemplo es el estudio presentado por Sánchez (2012) en el que se describe la presencia de *Electrostrymon guzanta* en un área declarada Área Natural Protegida (ANP).

Finalmente, la especie *Pterourus garamas* se identificó como bioindicadora en Las Moras A (Tabla 5), para esta especie es importante mencionar que el presente estudio hace referencia a la subespecie *garamas*. No se encontró información que ayude a identificar la relación entre esta subespecie y el sitio en el que se identificó como bioindicadora, sin embargo, de acuerdo con el trabajo de investigación de Orta-Salazar *et al.* (enviado) las subespecies *abderus* y *electryon* se han registrado como especies bioindicadoras en sitios conservados y selva baja espinosa caducifolia; si se toma esta información como base para la subespecie *garamas*, es posible concluir que no se identifica coincidencia entre lo encontrado por Orta-Salazar *et al.* (enviado) y lo descrito en el presente trabajo. Por lo anterior, sería necesario realizar una investigación más exhaustiva relacionada con el comportamiento de la subespecie *garamas* para poder identificar de forma más clara su relación con el sitio.

Conclusiones

Este estudio marca un precedente sobre el conocimiento de los lepidópteros diurnos como bioindicadores en las zonas semiáridas del estado de San Luis Potosí; lo anterior debido a que fue posible identificar coincidencias entre las especies identificadas como bioindicadoras ecológicas en este y otros trabajos; esto permite respaldar el carácter bioindicador de algunas especies, además, este estudio pone en consideración el potencial bioindicador de otras especies tomando en cuenta su especificidad y fidelidad.

Al encontrar antecedentes y una relación directa con el disturbio y las especies *Leptophobia aripa*, *Heliconius charitonia* y *Chlosyne lacinia* estas se definen como buenas indicadoras de disturbio. La especie *Phyciodes graphica* se define como una buena indicadora de conservación.

Con base en la revisión bibliográfica realizada, se concluye que es importante enfocar los estudios de lepidópteros diurnos en aspectos ecológicos y ampliar el conocimiento sobre las especies de mariposas, esto con el fin de entender y tener la capacidad de justificar de manera más amplia las razones sobre la presencia o ausencia de algunas especies en sitios con determinadas características.

Este trabajo podría contribuir a futuros proyectos enfocados en la evaluación del estado de conservación de determinados ecosistemas a partir de la identificación de especies bioindicadoras y la abundancia de las especies características de cada sitio.

Referencias

- Baars, J. R., S. Naser. 1999. Past and present initiatives on the biological control of *L. camara* in South Africa. *Afr. Entomol.* 1: 21-33.
- Balam-Ballote, Y. del R., J. L. León-Cortés. 2010. Forest management and biodiversity: A study of an indicator insect group in Southern Mexico. *Interciencia*, 35(7), 526–533.
- Barranco L., M. de las N. 2016. Factores que influyen en la diversidad y distribución de lepidópteros en el parque estatal Flor del Bosque, Puebla, México. Tesis de Doctorado. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. 70 p.
- Barrantes B., E. A., V. H. Méndez E. 2016. Riqueza del recurso hídrico y su relación con la cubierta vegetal en la Reserva Forestal Grecia, Alajuela, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 8(1), 8-12.
- Barrios M., D. Rodríguez. 2013. Hábitat fluvial e insectos indicadores del estado de conservación en la cuenca alta del río Turbo, en el estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 25(3): 151-160.
- Bobo, K. S., M. Waltert, H. Fermon, J. Njokagbor, M. Mühlenberg. 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.
- Brochero B., C. E., S. J. Colorado M., P. A. Sepúlveda-Cano. 2012. Desarrollo de *Chlosyne lacinia* (Lepidoptera: Nymphalidae) sobre *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) bajo condiciones controladas. *Intropica*, 115-120.
- Cabrera G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 35(4), 346-363.
- Calderón R., G. 1960. Vegetación en el Valle de San Luis Potosí. Acta científica potosina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Editorial Universitaria Potosina, S.L.P., México. 118 p.

- Carrillo-Rivera, J. J. 1992. The hydrogeology of the San Luis Potosi Area, Mexico. D. thesis, University of London, U.K., 203 p.
- Carrillo-Rivera, J. J., R. Huizar, T. Hergt, P. Medellín Milán, A. Cardona, G. Ángeles Serrano, M. Osorio Veloz. 2002. Control de la concentración de fluoruro en el agua extraída en pozos de las ciudades de San Luis Potosí y Aguascalientes. Sistema de Investigación “Miguel Hidalgo”.
- Castillo Cruz., A. del C. 2003. Modelo hidrogeológico conceptual de la zona de San Luis Potosí – Villa de Reyes y su relación con la química del agua subterránea. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, UASLP, San Luis Potosí, 109 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero San Luis Potosí, Estado de San Luis Potosí. - Comisión Nacional del Agua. 27 p.
- Comité Técnico de Aguas del Subsuelo o Subterráneas (COTAS). 2005. Estudio Técnico del Acuífero 2411 “San Luis Potosí”. - Comité Técnico de Aguas subterráneas Acuífero del Valle de SLP, A.C., San Luis Potosí, 70 p.
- Connell, M. L. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199:1302-1310.
- Cowardin, L.M., V. Carter, F. C. Goulet, E. T. Laroe. 1992. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. (Informe No. FWS/ OBS-79/31 Washington, DC. U.S. Department of the Interior, U.S. Fish and Wildlife Service. 28 p.
- Cuevas-Salgado, M. I., M. P. Rodríguez-Morales, C. Romero-Nápoles. 2015. Infusiones botánicas para el control de *Leptophobia aripa elodia* Boisduval (Lepidoptera: Pieridae) en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) bajo condiciones de laboratorio. *Bol. Soc. Mex. Ento. (nueva serie)* 71-77 (2015).
- Dufrêne M., P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67:345-366.
- Estrada C., C. D. Jiggins. 2002. Patterns of pollen feeding and hábitat preference among *Heliconius* species. *Ecological Entomology* (200) 27, 448-456.

- Fernández, M. A. 2008. Bioindicadores: Seres Vivos que Detectan la Contaminación. Medio Ambiente y Sostenibilidad. En: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/bioindicadores-seres-vivos-que-detectan-la-contaminacion.html>. 03 de junio de 2020.
- Fortanelli-Martínez J., F. Carlín-Castelán, J. G. Loza-León, J. R. Aguirre-Rivera. 2006. Patrones de cultivo en huertos comerciales minifundistas irrigados de Mexquitic, San Luis Potosí, México. *Agrociencia*, 40(2), 257-268.
- 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. 56 p.
- García, M. E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía de la UNAM, 4ª edición. México. 246 p.
- Glassberg J. 2017. Butterflies of Mexico and Central America. Princeton University. New Jersey. ISBN 978-0-691-17648-2.
- Grau S., C. Stefanescu. 1998. Programa de seguimiento de las poblaciones de ropalóceros (mariposas diurnas) como bioindicadores de la calidad ambiental en Cataluña. Barcelona. pp 22-25.
- Halfiter G., C. E. Moreno. 2005. Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gama. Sobre diversidad biológica: Biological significance of alpha, beta and gamma diversity. On biological diversity: The meaning of diversities (Halfiter, G., J. Soberón, P. Koleff, y E. Melic, eds.). Monografías Tercer Milenio, vol. 4, pp 5-18.
- Hergt, T. 2009. Diseño optimizado de redes de monitoreo de la calidad del agua de los sistemas de flujo subterráneo en el acuífero 2411" San Luis Potosí": hacia un manejo sustentable. Tesis de doctorado. Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales. 199 p.
- Hocking, D., M. Ounsted, M. Gorman, D. Hill, V. Keller, M. Barker. 1992. Examination of the effects of disturbance on birds with reference to the role of environmental impact assessments. *Journal of Environmental Management* 36: 253-286.

- Holt, E. A., S. W. Miller. 2011. Bioindicators: Using organisms to measure environmental impacts. *Nature Education Knowledge*, 2(2), 8.
- Legal, L., M. Valet, O. Dorado, J. M. Jesús-Almonte, K. López, R. Céréghino. 2020. Lepidoptera are Relevant Bioindicators of Passive Regeneration in Tropical Dry Forests. *Diversity*. 12(6), 231.
- León-Cortés, J. L., U. Caballero, I. D. Miss-Barrera, M. Girón-Intzin. 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.
- Lincoln, R. J., G. A. Boxshall, P. F. Clark. 2009. Diccionario de ecología, evolución y taxonomía. Fondo de Cultura Económica. México 670 p.
- Llorente B., J., I. Vargas-Fernández, A. Luis-Martínez, M. Trujano-Ortega, B.C. Hernández-Mejía, A.D. Warren. 2014. Biodiversidad de Lepidóptera en México. Museo de Zoología, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, UNAM. México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: S353-S371.
- Luna-Reyes M. M., J. Llorente-Bousquets, A. Luis-Martínez, I. Vargas-Fernández. 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.
- Martínez-De La Cruz I., H. Vibrans, L. Lozada-Pérez, A. Romero-Manzanares, L. I. Aguilera-Gómez, I. V. Rivas-Manzano. 2015. Plantas ruderales del área urbana de Malinalco, Estado de México, México. *Botanical Sciences*, 93(4), 907-919.
- Martín-Regalado, C. N. 2019. Detección de especies indicadoras de condiciones de hábitats. Moreno C. E. (Ed). *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México. pp. 223-235.
- Martorell C., E. Peters. 2004. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation* 124:199–207.

- McGeoch, M. A. 2007. Insects and bioindication: Theory and progress. In A. J. A. Stewart, T. R. New, y O. T. Lewis (Eds.), *Insect Conservation Biology: Proceedings of the Royal Entomological Society's 23rd Symposium*. pp. 144–174.
- Meléndez J., E. 2018. Valor indicador de los ninfálidos (Papilionoidea: Nymphalidae) en selva baja espinosa caducifolia del noreste de México. ISSN: 2448-475X.
- Molina-Martínez, A., J. L. León-Cortés. 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.
- Moreno C., D., D. F. Campos A., R. Cisneros A. 2004. Estadística Climatológica del Observatorio Meteorológico de San Luis Potosí (1877-2000). Facultad de Ingeniería de la UASLP y Comisión Institucional de Apoyo a la Docencia. México. 67 p.
- Morrone, J. J., T. Escalante, G. Rodríguez-Tapia. 2017. Mexican biogeographic provinces: map and shapefiles. *Zootaxa*, 4277, 277-279.
- Negi, G. C, S. Sharma, S. C. Vishvakarma, S. S. Samant, R. K. Maikhuri, R. C. Prasad, L. M. Palni. 2019. Ecology and use of *Lantana camara* in India. *The Botanical Review*, 85 (2), 109-130.
- Núñez-Bustos, E., L. Volkmann. 2013. Lepidopterofauna de mariposas diurnas de las Sierras de Guasayán, Provincia de Santiago del Estero, Argentina (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea). *SHILAP Revista de lepidopterología*, 41(163), 383-393.
- Orejuela Y., A. M. 2017. Las libélulas (Odonata) como posibles indicadores del estado de conservación de los humedales urbanos presentes en la comuna 22 de Santiago de Cali. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad ICESI. Santiago de Chile. 35 p.
- Orta-Salazar, C, J.A. Reyes-Agüero, C. Muñoz R. H. Cortés. Enviado. Las mariposas bioindicadoras de México ¿Pero bioindicadoras de qué? *Acta Zoológica Mexicana*.
- Otzen, T. y C. Manterola. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.*, 35 (I); 227-232.

- 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. 166 p.
- Reyes-Aguilera C. E., J. G. Loza L., H. Álvarez-García. En proceso. Diversidad alfa (α) en mariposas diurnas (Orden: Lepidoptera) en tres sitios ambientales diferentes de Cerro de San Pedro, SLP, México. México.
- Reyes-Aguilera, C. E. 2020. Estudio de la comunidad de mariposas diurnas (orden: lepidoptera) en tres sitios ambientales diferentes de Cerro de San Pedro, SLP, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, UASLP. 93 p.
- Reyes-Novelo E., V Meléndez R., H. Delfín G., R. Ayala. 2009. Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) como bioindicadores en el neotrópico Tropical and Subtropical. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México. Agroecosystems, vol. 10, núm. 1. pp. 1-13.
- Rodríguez L., V. G. 2019. Diversidad de lepidópteros en un oasis de la sierra de San Miguelito, SLP, México. Tesis profesional. Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. UASLP. San Luis Potosí, SLP, Méx. 65 p.
- Rodríguez S., E. N., G. E. Rojo M., B. Ramírez V., R. Martínez R., M. D. L. Cong H., S. M. Medina T., H. Piña R. 2014. Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193.
- Rodríguez-Lucio V. G. En proceso. Diversidad de lepidópteros diurnos en sitios con características ambientales contrastantes en el Valle de San Luis Potosí, SLP, México. México.
- Rzedowski, J. 1965. Relaciones geográficas y posibles orígenes de la flora de México. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 29; 121-177.
- Sánchez F., G. J. 2019. Diversidad funcional y disturbio crónico en el bosque húmedo de montaña de San Luis Potosí, implicaciones para su conservación. Tesis de maestría. Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales. 70 p.

- 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. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México. 46 p.
- Schneider C., G. L. Fry. 2001. The influence of landscape grain size on butterfly diversity in grasslands. *Journal of Insect Conservation*. 5(3), 163-171.
- Shapiro, M. A. 1974. The butterfly fauna of the Sacramento Valley, California. *Journal of Lepidopterist Society.*, 13(2), 73–82.
- Sharma, G. P., A. S. Raghubanshi. 2010. How *Lantana* invades dry deciduous forest: a case study from Vindyan highlands, India.. *Ecología tropical* , 51 (2), 305-316.
- Stefanescu, C., F. Paramo, S. Akesson, M. Alarcon, A. Avila, T. Brereton, J. Carnicer, L. Cassar, R. Fox, J. Heliola, J. Hill, N. Hirneisen, N . Kjellen, E. Kuhn, M. Kuussaari, M. Leskinen, F. Liechti, M. Musche, E. Regan, D. Reynolds, D. Roy, N. Ryrholm, H. Schmaljohann, J. Settele, C. Thomas , C. van Swaay, J. Chapman. 2013. Migración multigeneracional de insectos a larga distancia: estudio de la mariposa dama pintada en el Paleártico occidental. *Ecography* , 36/4: 474-486.
- Tejeda-Cruz, C., K. Mehlreter, V. J. Sosa. 2008. Indicadores ecológicos multi-taxonómicos. *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación*. pp. 271-278.
- Vargas-Fernández, I., Llorente-Bousquets, J., y Luis-Martínez, A. 1999. Distribución de los Papilionoidea de la sierra de Manantlán en Jalisco y Colima. *Publicaciones Especiales Del Museo de Zoología*, 11, 153.
- Vega, E., E. Peters. 2003. Conceptos generales sobre el disturbio y sus efectos en los ecosistemas. En Conservación de ecosistemas templados de montaña de México (Sánchez O., E. Vega, E. Peters, O. Monroy-Vilchis (eds.). Instituto Nacional de Ecología/SEMARNAT. México, pp 137-151.

Villarreal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina, A.M. Umaña. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.

Villaseñor, J. I., F. J. Espinosa-García. 2004. The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions*, 10, 113-123.

Waltz, E. M., W. W. Covington. 2004. Ecological restoration treatments increase butterfly richness and abundance: Mechanisms of response. *Restoration Ecology*, 12(1), 85–96.

Discusión general y conclusiones

En México se han descrito alrededor de 1,968 especies de mariposas diurnas en las últimas cinco décadas. El Valle de San Luis Potosí registra 680 especies de mariposas diurnas, es decir, 34.55 % del total de mariposas en el nivel nacional (Glassberg, 2017; Llorente *et al.*, 2014; Reyes-Aguilera *et al.*, en proceso).

El presente trabajo registró 3,077 individuos de 161 especies de mariposas diurnas (Anexo 3), del total de especies *Amblyscirtes nysa*, *Chioides catillus*, *Chiomara asychis asychis*, *Ministrymon javenicroy* y *Piruna cyclosticta*, *Rekoa marius* se identificaron como nuevos registros.

La localidad de Arroyos presentó los valores más altos de riqueza, abundancia y diversidad, seguido por Las Moras A, Monte Caldera A y B, Las Moras B, el sitio con menor riqueza, abundancia y diversidad fue La Zapatilla (Capítulo I, Tablas 2 y 3). Como se ha mostrado anteriormente, la abundancia, riqueza y diversidad alfa (α) y beta (β) de mariposas diurnas está relacionada con las características ambientales registradas. De acuerdo con lo encontrado en este trabajo, se confirma que los principales características ambientales que influyen en la diversidad de lepidópteros diurnos son: temperatura, precipitación, altitud, disponibilidad de agua y disturbio; si bien, la temperatura y precipitación son factores que pueden afectar directamente a las mariposas, también pueden hacerlo en conjunto con la altitud, el disturbio y la disponibilidad de agua. Los cambios de altitud, temperatura, precipitación, disponibilidad de agua y disturbio especialmente generan cambios visibles en los tipos de vegetación; la vegetación es una característica clave en la diversidad de lepidópteros diurnos debido a que provee de los recursos necesarios para que estas puedan realizar sus actividades vitales. En un estudio realizado por Carrero *et al.* (2013) en la Quebrada la Tigra, en Colombia, se evaluó la diversidad de mariposas, y se concluyó que la vegetación fue la variable que explicaba la riqueza de mariposas, entre mayor riqueza vegetal, mayor riqueza de mariposas; de igual forma, los otros cuatro factores relacionados con la diversidad (altitud, temperatura, precipitación y disponibilidad de agua) pueden influir en la cantidad de recursos disponibles para las mariposas.

Al realizar el presente estudio en uno de los climas con menor precipitación y alta evapotranspiración, características de los climas B, se identificó que los sitios que presentaron

mayor riqueza, abundancia y con ello una mayor diversidad alfa (α) fueron los sitios con mayor disponibilidad visible de recursos; autores como Murray *et al.* (1998) mencionan que la abundancia de las especies de mariposas puede explicarse por el uso y disponibilidad de los recursos; así, con una fuente de agua adicional a la disponible únicamente por lluvia, visualmente sitios como Arroyos, Las Moras A y Monte Caldera A disponen de mayor cantidad de recursos para las mariposas; en cambio, los sitios que disponen solo de agua de forma estacional (Las Moras B y La Zapatilla), presentan visualmente la menor cantidad de recursos disponibles. Lo anterior coincide con el comportamiento de la diversidad de mariposas en el nivel nacional; en México, por ejemplo, los estados de la república con mayor riqueza y abundancia de lepidópteros diurnos registran mayor disponibilidad del recurso agua, ya sea a partir de la precipitación o almacenamiento de la misma o mayor humedad relativa en la atmósfera (Veracruz, Oaxaca, Chiapas y la zona de Huasteca, en la región de la planicie del Golfo); esta disponibilidad de agua también influye en el tipo de vegetación y suelo encontrados en cada sitio (Llorente *et al.*, 2014; INEGI, 2019). Al hablar de la disponibilidad de recursos también es importante considerar el disturbio; autores como Schneider y Fry (2001) mencionan que el disturbio podría generar un aumento en la complejidad del paisaje, propiciando la llegada de nuevas especies; en efecto, de acuerdo con lo que se observó en campo, este podría ser el caso de Las Moras A; sin embargo, también es posible observar un escenario contrario, en el que el grado de disturbio es tan alto que la complejidad del paisaje (y con ello la cantidad de recursos disponibles) se pierde y se genera una disminución de la diversidad, este podría ser el caso de La Zapatilla, ya que se encuentra en una zona con alta actividad humana (De Vries, 1987; Ospina-López *et al.*, 2015; Pérez-Torres, 2017; Rodríguez, 2011).

El efecto de la temperatura y precipitación en la diversidad de mariposas es más visible analizándolo a lo largo de un año. La diversidad alfa (α) por estación funcional para todos los sitios de estudio, exceptuando a La Zapatilla (Figura 6), presentó los valores más altos en la estación húmeda y los valores más bajos en la estación seca-fría. De acuerdo con Maya *et al.* (2005) el aumento de la precipitación y con ello la humedad relativa, y una temperatura más templada (características presentes en la estación húmeda), favorecen la realización de las funciones vitales de las mariposas; debido a lo anterior, muchas especies alcanzan su máxima abundancia durante la estación húmeda (Scott y Epstein, 1987). El caso contrario se presenta

durante la estación seca-fría, ya que en estos meses la disponibilidad de alimento y la disminución de la precipitación y temperatura influyen de manera negativa en la presencia de mariposas, al dificultar la obtención de recursos.

Si bien algunas de las localidades estudiadas para esta tesis comparten características como la cercanía o disponibilidad de agua, la diferencia en los valores de riqueza, abundancia y diversidad (diversidad β) entre ellas fue significativa (Capítulo I, Tabla 4), esto se atribuye a que los sitios también presentaron algunas características ambientales particulares y contrastantes, por ejemplo, el disturbio; lo que también contribuye a encontrar diferente composición, riqueza y abundancia de mariposas diurnas en cada localidad (Barranco, 2016; Rodríguez-Lucio, en proceso). Lo anterior permite suponer que existen especies representativas de cada uno de los sitios de estudio y que estas especies son las que marcan las mayores diferencias entre estos sitios; lo anterior podría estar en función de la reacción de las especies a algún atributo del ecosistema, generando un primer acercamiento a las especies bioindicadoras.

Los bioindicadores ecológicos hacen referencia a especies cuya presencia refleja los efectos de un cambio en el ambiente o en la biota asociada a una comunidad o en un ecosistema; la presencia de estas especies generalmente está relacionada con aspectos del grado de conservación biológica (McGregor, 2007). Autores como Orta-Salazar *et al.* (enviado) mencionan que la mayor parte de estudios sobre mariposas bioindicadoras se han realizado en el sur de México, destacando los estados de Campeche y Chiapas, por lo anterior el Valle de San Luis Potosí, al encontrarse en el centro de México, carece de análisis cualitativos o cuantitativos de las mariposas como bioindicadoras.

En el presente trabajo, las especies identificadas como bioindicadoras se seleccionaron a partir del método del Valor Indicador (IndVal); de acuerdo con Martín-Regalado (2019) este método es el más utilizado para seleccionar especies bioindicadoras, se basa en el grado de especificidad y fidelidad de las especies. Estudios como los realizados por Tejeda-Cruz *et al.* (2008) y García (2007) utilizan este método con el fin de encontrar especies o ensambles de especies de aves, epífitas, helechos, hormigas o mamíferos como indicadores ecológicos, en ambos trabajos se muestra una relación clara entre las especies determinadas como bioindicadoras y la característica que se desea bioindicar. El método del IndVal no es el único

método conocido para seleccionar especies bioindicadoras, de acuerdo con Orta-Salazar *et al.* (enviado) estas especies han sido seleccionadas cualitativa y cuantitativamente en diversos estudios, los métodos estadísticos más comunes para identificar especies bioindicadoras son los de análisis multivariable, de acuerdo con Meneses (2019) estos análisis pueden proporcionar evidencia que permite establecer asociaciones entre variables. García-Landaverde (2017) utiliza un análisis multivariable de ordenación y agrupación con la finalidad de entender la distribución ecológica de la especie de orégano silvestre (*Clinopodium micromerioides*) a partir del estudio de la relación entre distintas variables(*Clinopodium micromerioides*); particularmente el presente estudio difiere del realizado por García-Landaverde (2017) en el número de sitios seleccionados para la recolección de individuos (41 sitios), esta característica permite que los resultados obtenidos a partir del análisis multivariable realizado por García-Landaverde (2017) sean más detallados que los que podrían presentarse en el presente estudio al buscar relaciones entre las especies de mariposas y las características de los sitios a partir de un análisis multivariable únicamente con la selección de seis sitios de muestreo. Orta-Salazar *et al.* (enviado) propone una metodología basada en un diagrama de flujo que permite seleccionar a las posibles especies bioindicadoras a partir de las características de los sitios muestreados; esta metodología se basa en la información recopilada sobre las mariposas ya identificadas como bioindicadoras, los resultados obtenidos en este estudio a partir del IndVal coincidieron en su mayoría con los obtenidos a partir de la metodología de Orta-Salazar *et al.* (enviado), sin embargo, esta última se limita a las especies que hasta la fecha están registradas como bioindicadoras, obviando la identificación de posibles nuevas especies bioindicadoras.

Para este estudio se identificó a las especies *Anteos maerula*, *Catantix nimbice*, *Chiomara asychis*, *Chlosyne lacinia*, *Electrostrymon guzanta*, *Heliconius charithonia*, *Leptophobia aripa*, *Leptotes cassius*, *Nymphalis antiopa*, *Phyciodes graphica*, *Pterourus garamas*, *Pyrisitia dina*, *Pyrisitia proterpia*, *Strymon bazochii* y *Vanessa cardui* como bioindicadoras a partir del IndVal (Capítulo II, Tabla 6), estas especies se definen como especies con especificidad y fidelidad a los sitios de estudio; es decir, son especies que se encuentran presentes de manera frecuente y generalmente de manera exclusiva en el sitio en el que fueron identificadas como bioindicadoras; por lo anterior, no resultó sorprendente que en la mayoría de los casos estas especies coincidieran con las más abundantes en cada sitio, además de coincidir con las

especies que más contribuyen en las diferencias entre los sitios (análisis SIMPER, Anexo 6). Por ejemplo: Las Moras A presentó dos especies bioindicadoras de disturbio, una de estas especies fue *Leptophobia aripa*, esta especie fue una de la más abundante en Las Moras A, presentándose casi todo el año, además, de acuerdo con el análisis SIMPER fue la especie que marcó más diferencia entre Las Moras A y La Zapatilla, Monte Caldera A y Las Moras B (Tabla 8). La condición en Las Moras A que permite el establecimiento de la especie *Leptophobia aripa* es la presencia de un agroecosistema, debido a la presencia de especies vegetales hospederas de la mariposa (*Brassica* sp., *Persea americana* y *Ptelea trifoliata*). Casos similares se presentan en las especies bioindicadoras *Anteos maaerula*, *Catasticta nimbice*, *Chlosyne lacinia*, *Leptotes cassius*, *Nymphalis antiopa* y *Phyciodes graphica* para Arroyos, Monte Caldera A y Monte Caldera B (Cuevas-Salgado *et al.*, 2015; Friesen, 2019; Luna-Reyes *et al.*, 2010; Rodríguez-Lucio, en proceso).

Arroyos fue el sitio en el que identificaron más especies bioindicadoras de disturbio, de la misma forma, este sitio presenta los valores más altos de riqueza, abundancia y diversidad de mariposas diurnas; en este sitio se identificó a las especies *Anteos maaerula*, *Heliconius charithonia*, *Pyrisitia proterpia*, *Leptotes cassius* y *Vanessa cardui* como bioindicadoras de disturbio, estas especies están presentes generalmente de manera uniforme durante toda la estación húmeda en Arroyos, además de presentar los valores más altos de abundancia en comparación con el resto de los sitios de estudio. En contraste, La Zapatilla y Las Moras B no registraron ninguna especie como bioindicadora, si bien no se esperaba encontrar alguna especie bioindicadora de conservación debido a los altos valores de disturbio en ambos sitios (Capítulo II, Tabla 4), llamó la atención que tampoco se registraron especies indicadoras de disturbio, esto se atribuyó principalmente a que en ambos sitios se presenta actividad humana constantemente, esta genera un disturbio continuo y activo que disminuyen la probabilidad de encontrar especies con fidelidad y especificidad debido a que la mayoría de las especies desaparecen del sitio. Lo anterior coincidió con los resultados mostrados en las Tablas 2 y 3 del capítulo I en donde ambos sitios presentaron los valores más bajos de riqueza, abundancia y diversidad (Hocking *et al.*, 1992). En La Zapatilla la única especie de mariposa que se perfilaba como bioindicadora de disturbio, debido a que representa el 35 % de la abundancia total de la localidad, era la especie *Chlosyne ehrenbergii*, esto podría indicar que la especificidad de la especie al sitio es alta, sin embargo, al analizar la frecuencia con la que se

encontraba esta especie en el sitio (fidelidad) fue posible observar que esta especie de mariposa no se encontró en todos los muestreos realizados en el sitio, disminuyendo así su carácter como especie bioindicadora.

En conclusión, la identificación de nuevas especies de mariposas, el estudio de las relaciones del ambiente con la composición biológica, además de la identificación de mariposas como bioindicadoras ecológicas permitieron ampliar el conocimiento sobre los lepidópteros diurnos en la región semiáridas del estado de San Luis Potosí, esto marca un precedente que podría contribuir a futuros proyectos relacionados con el estudio de la riqueza biológica y el uso de los lepidópteros como bioindicadores en trabajos de restauración.

La riqueza y abundancia total obtenida para este estudio fue mayor a la esperada, es importante tomar en cuenta que en las regiones semiáridas se presentan factores como la disponibilidad permanente de agua, que, contribuyen de manera positiva a la presencia de mariposas, aumentando así el número de individuos y especies encontradas. Al ser las menos estudiadas, estas regiones se presentan como puntos importantes para ampliar la riqueza conocida de lepidópteros en San Luis Potosí o regiones similares con climas BS.

Si bien, este estudio evaluó la influencia de la temperatura, precipitación, altitud, disponibilidad de agua y disturbio en la riqueza, abundancia y diversidad de lepidópteros, es importante tener presente que estos y otros factores influyen de manera integrada, generando condiciones particulares en cada localidad estudiada, y, en consecuencia, distintos valores en la diversidad de mariposas. Por lo anterior, es complicado determinar con exactitud una relación clara entre la diversidad de mariposas y determinado factor de forma individual, marcando generalmente estas relaciones como aproximaciones.

Finalmente, es importante mencionar que al analizar a las mariposas como bioindicadoras en este estudio, la abundancia de las especies fue clave, lo anterior debido a que la abundancia está relacionada con los principales factores a considerar, en especial cuando se habla de la selección de especies bioindicadoras (especificidad y fidelidad). Si bien existen diversas metodologías para seleccionar a las especies bioindicadoras, es necesario identificar la más apropiada para los datos recolectados en campo; la caracterización de los sitios fue muy general a pesar de que este estudio logró la recolección de más de 3,000 individuos de

mariposas diurnas; además, únicamente se seleccionaron seis puntos de muestreo, esto limitó el uso de un análisis multivariable, por lo anterior para este estudio se seleccionó el método de Valor Indicador.

Referencias

- Barranco L., M. de las N. 2016. Factores que influyen en la diversidad y distribución de lepidópteros en el parque estatal Flor del Bosque, Puebla, México. Tesis de Doctorado. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. 70 p.
- Carrero S., D. A., L. R. Sánchez M., d. e. Tobar L. 2013. Diversidad y distribución de mariposas diurnas en un gradiente altitudinal en la región nororiental andina de Colombia. *Bol.cient.mus.hist.nat.* 17 (1) 168 – 188.
- Cuevas-Salgado, M. I., M. P. Rodríguez-Morales, C. Romero-Nápoles. 2015. Infusiones botánicas para el control de *Leptophobia aripa elodia* Boisduval (Lepidoptera: Pieridae) en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) bajo condiciones de laboratorio. *Bol. Soc. Mex. Ento. (nueva serie)* 71-77 (2015).
- De Vries, P. J. 1987. Mariposas de Costa Rica y su Historia Natural, Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae. Princeton University Press. USA. 324 p.
- 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. 56 p.
- García-Landaverde., D. 2017. Distribución y etnobotánica del orégano *Clinopodium micromerioides* (Hemsl.) Govaerts en San Luis Potosí. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería. México. 71 p.
- García R., A. E. 2007. Selección de ensambles multi-específicos de indicadores ecológicos utilizando aves. Trabajo recepcional de licenciatura. Universidad veracruzana, Facultad de Estadística e Informática. México. 41 p.
- Glassberg J. 2017. Butterflies of Mexico and Central America. Princeton University. New Jersey. ISBN 978-0-691-17648-2.
- Hocking, D., M. Ounsted, M. Gorman, D. Hill, V. Keller, M. Barker. 1992. Examination of the effects of disturbance on birds with reference to the role of environmental impact assesments. *Journal of Environmental Management* 36: 253-286.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2019. Agua renovable por habitante de cada entidad federativa. En: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>. 21 de abril de 2021.
- Llorente B., J., I. Vargas-Fernández, A. Luis-Martínez, M. Trujano-Ortega, B.C. Hernández-Mejía, A.D. Warren. 2014. Biodiversidad de Lepidóptera en México. Museo de Zoología, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, UNAM. México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: S353-S371.
- Luna-Reyes M., J. Llorente-Bousquets. 2004. Papilionoidea (Lepidóptera: Rhopalocera) de la Sierra Nevada, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s) 20(2): 79-102.
- Maya M., A., C. Pozo, E. Mayuc. 2005. Las mariposas (Rhopalocera: Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae) de la selva alta subperennifolia de la región de Calakmul, México, con nuevos registros. Museo de Zoología, El Colegio de la Frontera Sur. México. *Folio Entomológica* 44(2): 123-143.
- Meneses, J. 2019. Introducción al análisis multivariante. Editorial FUOC. Barcelona. 52 p.
- Murray, B. R., Fonseca C. R., Westoby M. 1998. The macroecology of Australian frogs. *Journal of Animal Ecology*, 67:567-579.
- Orta-Salazar, C, J.A. Reyes-Agüero, C. Muñoz R. H. Cortés. Enviado. Las mariposas bioindicadoras de México ¿Pero bioindicadoras de qué? *Acta Zoológica Mexicana*.
- Ospina-López L. A., M. G. Andrade-C., G. Reinoso-Flórez. 2015. Diversidad de mariposas y su relación con el paisaje en la cuenca del río Lagunillas, Tolima, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(153), 455-474.
- Pérez-Torres J. 2017. Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea) asociadas a un agroecosistema cafetero de sombra (Curití, Santander). *Revista Colombiana de Entomología* 43 (1): 91-99.
- Reyes-Aguilera C. E., J. G. Loza L., H. Álvarez-García. En proceso. Diversidad alfa (α) en mariposas diurnas (Orden: Lepidoptera) en tres sitios ambientales diferentes de Cerro de San Pedro, SLP, México. México.

- Rodríguez R., Y. 2011. Evaluación de la contaminación por metales en pasivos ambientales de actividades metalúrgicas históricas en el distrito minero Cerro de San Pedro, S. L. P. (México). Tesis de doctorado. Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales. 161 p.
- Rodríguez-Lucio V. G. En proceso. Diversidad de lepidópteros diurnos en sitios con características ambientales contrastantes en el Valle de San Luis Potosí, SLP, México. México.
- Schneider C., G. L. Fry. 2001. The influence of landscape grain size on butterfly diversity in grasslands. *Journal of Insect Conservation*. 5(3), 163-171.
- Scott, J. A., M. E. Epstein. 1987. Factors affecting phenology in a temperate insect community. *The American Midland Naturalist*, 117: 103-118.
- Tejeda-Cruz, C., K. Mehlreter, V. J. Sosa. 2008. Indicadores ecológicos multi-taxonómicos. *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación*. pp. 271-278.

Recomendaciones generales

Se recomienda realizar un análisis detallado de la vegetación en cada localidad con el fin de entender mejor la relación de las mariposas con los sitios de estudio.

Es recomendable detallar algunos aspectos de la metodología:

- Ampliar el número de sitios estudiados ya que esto permitiría realizar un análisis multivariable con resultados más detallados.
- Si bien, se realizaron muestreos en años distintos para cada municipio debido al alcance del proyecto, es recomendable llevar a cabo muestreos en periodos más cortos de tiempo con el fin de disminuir las variaciones que podrían surgir de un año a otro, por ejemplo, la temperatura y precipitación.

Anexos

Anexo 1. Análisis de varianza de Kruskal-Wallis de las temperaturas medias mensuales de cada año de recolecta con el programa SAS

Sistema SAS

17:03 Sunday, May 23, 2021

9

Procedimeinto NPAR1WAY

Puntuaciones de Wilcoxon (Sumas de rango) for Variable Temperatura
Classified by Variable Trat

Trat	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
1	12	225.50	222.0	29.797411	18.791667
2	12	215.00	222.0	29.797411	17.916667
3	12	225.50	222.0	29.797411	18.791667

Average scores were used for ties.

Test de Kruskal-Wallis

Chi-cuadrado	0.0552
DF	2
Pr > Chi-cuadrado	0.9728

Anexo 2. Prueba de varianza de Kruskal-Wallis de precipitaciones mensuales acumuladas de cada año de recolecta con el programa SAS

Sistema SAS

14:25 Monday, May 24, 2021

9

Procedimeinto NPAR1WAY

Puntuaciones de Wilcoxon (Sumas de rango) for Variable Precipitacion
Classified by Variable Trat

Trat	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
1	12	209.0	222.0	29.799329	17.416667
2	12	233.0	222.0	29.799329	19.416667
3	12	224.0	222.0	29.799329	18.666667

Test de Kruskal-Wallis

Chi-cuadrado 0.2207
DF 2
Pr > Chi-cuadrado **0.8955**

Anexo 3. Catálogo de especies de mariposas diurnas del Valle de San Luis Potosí, recolectadas entre 2017 y 2020

Núm.	Familia	Subfamilia	Especie	Autor
1	Papilionidae	Papilioninae	<i>Battus philenor</i>	Linnaeus, 1771
2	Papilionidae	Papilioninae	<i>Heraclides ornythion</i>	Boisduval, 1836
3	Papilionidae	Papilioninae	<i>Heraclides rogeri</i>	E. Doubleday, 1846
4	Papilionidae	Papilioninae	<i>Heraclides rumiko</i>	Shiraiwa & Grishin, 2014
5	Papilionidae	Papilioninae	<i>Heraclides thoas</i>	Rothchild & Jordan, 1906
6	Papilionidae	Papilioninae	<i>Papilio polyxenes</i>	Stoll, 1782
7	Papilionidae	Papilioninae	<i>Parides photinus</i>	E. Doubleday, 1844
8	Papilionidae	Papilioninae	<i>Pterourus garamas</i>	Geyer, 1829
9	Papilionidae	Papilioninae	<i>Pterourus multicaudata</i>	W. F. Kirby, 1884
10	Papilionidae	Papilioninae	<i>Pterourus pilumnus</i>	Boisduval, 1836
11	Pieridae	Coliadinae	<i>Abaeis nicippe</i>	Cramer, 1779
12	Pieridae	Coliadinae	<i>Anteos clorinde</i>	Godart, 1824
13	Pieridae	Coliadinae	<i>Anteos maerula</i>	Fabricius, 1775
14	Pieridae	Coliadinae	<i>Colias eurytheme</i>	Boisduval, 1852
15	Pieridae	Coliadinae	<i>Eurema daira</i>	R. Felder, 1869
16	Pieridae	Coliadinae	<i>Eurema mexicana</i>	Boisduval, 1836
17	Pieridae	Coliadinae	<i>Eurema salome</i>	Reakirt, 1866
18	Pieridae	Coliadinae	<i>Kricogonia lyside</i>	Godart, 1819
19	Pieridae	Coliadinae	<i>Nathalis iole</i>	Boisduval, 1836
20	Pieridae	Coliadinae	<i>Phoebis agarithe</i>	Boisduval, 1836
21	Pieridae	Coliadinae	<i>Phoebis philea</i>	Linnaeus, 1763
22	Pieridae	Coliadinae	<i>Phoebis sennae</i>	Cramer, 1777
23	Pieridae	Coliadinae	<i>Pyrisitia dina</i>	Boisduval, 1836
24	Pieridae	Coliadinae	<i>Pyrisitia lisa</i>	Herrich-Schäffer, 1865
25	Pieridae	Coliadinae	<i>Pyrisitia nise</i>	R. Felder, 1869
26	Pieridae	Coliadinae	<i>Pyrisitia proterpia</i>	Fabricius, 1775
27	Pieridae	Coliadinae	<i>Zerene cesonia</i>	Stoll, 1790
28	Pieridae	Pierinae	<i>Anthocharis limonea</i>	A. Butler, 1871
29	Pieridae	Pierinae	<i>Ascia monuste</i>	Linnaeus, 1764
30	Pieridae	Pierinae	<i>Catasticta nimbice</i>	Boisduval, 1836

31	Pieridae	Pierinae	<i>Glutophrissa drusilla</i>	Lamas, 1981
32	Pieridae	Pierinae	<i>Leptophobia aripa</i>	Boisduval, 1836
33	Pieridae	Pierinae	<i>Pieris rapae</i>	Linnaeus, 1758
34	Pieridae	Pierinae	<i>Pontia protodice</i>	Boisduval & Le Conte, 1830
35	Lycaenidae	Eumaeini	<i>Rekoa marius</i>	Lucas, 1857
36	Lycaenidae	Polyommatainae	<i>Brephidium exilis</i>	Boisduval, 1852
37	Lycaenidae	Theclinae	<i>Arawacus jada</i>	Hewitson, 1867
38	Lycaenidae	Theclinae	<i>Callophrys xami</i>	Reakirt, 1867
39	Lycaenidae	Theclinae	<i>Celastrina echo</i>	W. H. Edwards, 1883
40	Lycaenidae	Theclinae	<i>Chlorostrymon simaethis</i>	Skinner, 1895
41	Lycaenidae	Theclinae	<i>Cupido comyntas</i>	F. Chermock, 1945
42	Lycaenidae	Theclinae	<i>Cyanophrys agricolor</i>	A. Butler & H. Druce, 1872
43	Lycaenidae	Theclinae	<i>Cyanophrys herodotus</i>	Fabricius, 1793
44	Lycaenidae	Theclinae	<i>Echinargus isola</i>	Reakirt, 1867
45	Lycaenidae	Theclinae	<i>Electrostrymon guzanta</i>	Schaus, 1902
46	Lycaenidae	Theclinae	<i>Electrostrymon joya</i>	Dognin, 1895
47	Lycaenidae	Theclinae	<i>Erora</i> sp.	
48	Lycaenidae	Theclinae	<i>Hemiargus ceraunus</i>	Lucas, 1857
49	Lycaenidae	Theclinae	<i>Icaricia lupini</i>	Goodpasture, 1973
50	Lycaenidae	Theclinae	<i>Leptotes cassius</i>	Boisduval, 1870
51	Lycaenidae	Theclinae	<i>Leptotes marina</i>	Reakirt, 1868
52	Lycaenidae	Theclinae	<i>Ministrymon azia</i>	Hewitson, 1873
53	Lycaenidae	Theclinae	<i>Ministrymon janevicroy</i>	Glassberg, 2013
54	Lycaenidae	Theclinae	<i>Ministrymon leda</i>	W. H. Edwards, 1882
55	Lycaenidae	Theclinae	<i>Parrhasius moctezuma</i>	Clench, 1971
56	Lycaenidae	Theclinae	<i>Strymon alea</i>	Godman & Salvin, 1887
57	Lycaenidae	Theclinae	<i>Strymon bazochii</i>	Godart, 1824
58	Lycaenidae	Theclinae	<i>Strymon bebrycia</i>	Hewitson, 1868
59	Lycaenidae	Theclinae	<i>Strymon cestri</i>	Reakirt, 1867
60	Lycaenidae	Theclinae	<i>Strymon istapa</i>	Reakirt, 1867
61	Lycaenidae	Theclinae	<i>Strymon megarus</i>	Godart, 1824
62	Lycaenidae	Theclinae	<i>Strymon melinus</i>	Hübner, 1813
63	Lycaenidae	Theclinae	<i>Strymon</i> sp.	
64	Lycaenidae	Theclinae	<i>Zizula cyna</i>	W. H. Edwards, 1881

65	Riodinidae	Riodininae	<i>Calephelis</i> sp.	
66	Riodinidae	Riodininae	<i>Plesioarida hypoglauca</i>	Godman & Salvin, 1878
67	Riodinidae	Riodininae	<i>Plesioarida palmerii</i>	Austin, 1989
68	Nymphalidae	Apaturinae	<i>Agraulis vanillae</i>	N. Riley, 1926
69	Nymphalidae	Biblidinae	<i>Anaea troglodita</i>	Guérin-Ménéville, 1844
70	Nymphalidae	Biblidinae	<i>Anthanassa ardys</i>	Hewitson, 1864
71	Nymphalidae	Biblidinae	<i>Anthanassa texana</i>	W. H. Edwards, 1863
72	Nymphalidae	Biblidinae	<i>Biblis hyperia</i>	Boisduval, 1836
73	Nymphalidae	Biblidinae	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	Geyer, 1833
74	Nymphalidae	Cyrestinae	<i>Chlosyne endeis</i>	Godman & Salvin, 1894
75	Nymphalidae	Danainae	<i>Chlosyne lacinia</i>	Scudder, 1875
76	Nymphalidae	Danainae	<i>Chlosyne theona</i>	Austin & M. Smith, 1998
77	Nymphalidae	Danainae	<i>Cyllopsis pertepida</i>	Dyar, 1912
78	Nymphalidae	Heliconiinae	<i>Danaus gilippus</i>	H. Bates, 1863
79	Nymphalidae	Heliconiinae	<i>Danaus plexippus</i>	Linnaeus, 1758
80	Nymphalidae	Heliconiinae	<i>Dione juno</i>	Reakirt, 1866
81	Nymphalidae	Heliconiinae	<i>Dione moneta</i>	A. Butler, 1873
82	Nymphalidae	Heliconiinae	<i>Doxocopa laure</i>	Drury, 1773
83	Nymphalidae	Heliconiinae	<i>Eunica monima</i>	Stoll, 1782
84	Nymphalidae	Libytheinae	<i>Euptoieta claudia</i>	Herbst, 1798
85	Nymphalidae	Limenitidinae	<i>Euptoieta hegesia</i>	Stichel, 1938
86	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Hamadryas guatemalena</i>	Fruhstorfer, 1916
87	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Heliconius charithonia</i>	W. Comstock & F. Brown, 1950
88	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Junonia coenia</i>	Cramer, 1780
89	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Libytheana carinenta</i>	Michener, 1943
90	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Limenitis arthemis</i>	Fabricius, 1775
91	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Marpesia petreus</i>	Cramer, 1776
92	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Megisto rubricata</i>	L. Miller, 1976
93	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Mestra amymone</i>	Ménétriés, 1857
94	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Nymphalis antiopa</i>	Linnaeus, 1758
95	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Phyciodes graphica</i>	R. Felder, 1869
96	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Phyciodes mylitta</i>	W. H. Edwards, 1861
97	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Phyciodes tharos</i>	Drury, 1773

98	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Poladryas minuta</i>	W. H. Edwards, 1861
99	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Polygonia interrogationis</i>	Fabricius, 1798
100	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Pteronymia cotytto</i>	Guérin-Méneville, 1844
101	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Siproeta epaphus</i>	Latreille, 1813
102	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Siproeta stelenes</i>	Fruhstorfer, 1907
103	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Texola elada</i>	Hewitson, 1868
104	Nymphalidae	Nymphalinae	<i>Vanessa annabella</i>	W. D. Field, 1971
105	Nymphalidae	Satyrinae	<i>Vanessa cardui</i>	Linnaeus, 1758
106	Nymphalidae	Satyrinae	<i>Vanessa virginiensis</i>	Drury, 1773
107	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Lobotractus valeriana</i>	(Plötz, 1881)
108	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Telegonus cellus</i>	Boisduval & Le Conte, 1837
109	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Lon zabulon</i>	Boisduval & Le Conte, 1837
110	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Autochton siernador</i>	Burns, 1984
111	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Cecropterus pseudocellus</i>	Coolidge & Clemence, 1910
112	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Chioides catillus</i>	Cramer, 1779
113	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Cecropterus tehuacana</i>	Draudt, 1922
114	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Hylephila phyleus</i>	Drury, 1773
115	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Agathymus rethon</i>	Dyar, 1913
116	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Piruna cyclosticta</i>	Dyar, 1920
117	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Chlosyne cyneas</i>	Godman & Salvin, 1878
118	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Codatractus melon</i>	Godman & Salvin, 1893
119	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Amblyscirtes aenus</i>	H. Freeman, 1943
120	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Piruna haferniki</i>	H. Freeman, 1970
121	Hesperiidae	Eudaminae	<i>Amblyscirtes brocki</i>	H. Freeman, 1992
122	Hesperiidae	Hesperiinae	<i>Amblyscirtes eos</i>	H. W. Edwards, 1871
123	Hesperiidae	Hesperiinae	<i>Cogia caicus</i>	Herrich-Schäffer, 1869
124	Hesperiidae	Hesperiinae	<i>Lon melane</i>	Herrich-Schäffer, 1869
125	Hesperiidae	Hesperiinae	<i>Therpieus macareus</i>	Herrich-Schäffer, 1869
126	Hesperiidae	Hesperiinae	<i>Pellicia dimidiata</i>	Herrich-Schäffer, 1870
127	Hesperiidae	Hesperiinae	<i>Codatractus bryaxis</i>	Hewitson, 1867
128	Hesperiidae	Hesperiinae	<i>Copaeodes aurantiaca</i>	Hewitson, 1868
129	Hesperiidae	Hesperiinae	<i>Heliopetes laviana</i>	Hewitson, 1868
130	Hesperiidae	Hesperiinae	<i>Lerema accius</i>	J. E. Smith, 1797

131	Hesperidae	Hesperiinae	<i>Urbanus proteus</i>	Linnaeus, 1758
132	Hesperidae	Hesperiinae	<i>Autochton potrillo</i>	Lucas, 1857
133	Hesperidae	Hesperiinae	<i>Autochton cincta</i>	Plötz, 1882
134	Hesperidae	Hesperiinae	<i>Polites pupillus</i>	Plötz, 1882
135	Hesperidae	Hesperiinae	<i>Amblyscirtes fimbriata</i>	Plötz, 1882
136	Hesperidae	Hesperiinae	<i>Polites subreticulata</i>	Plötz, 1883
137	Hesperidae	Hesperiinae	<i>Burnsius adepta</i>	Plötz, 1884
138	Hesperidae	Hesperiinae	<i>Librita librita</i>	Plötz, 1886
139	Hesperidae	Heteropterinae	<i>Phocides polybius</i>	Reakirt, 1867
140	Hesperidae	Heteropterinae	<i>Pholisora mejicanus</i>	Reakirt, 1867
141	Hesperidae	Heteropterinae	<i>Chiomara georgina</i>	Reakirt, 1868
142	Hesperidae	Pyrginae	<i>Erynnis funeralis</i>	Scudder & Burgess, 1870
143	Hesperidae	Pyrginae	<i>Cecropterus pylades</i>	Scudder, 1870
144	Hesperidae	Pyrginae	<i>Codattractus arizonensis</i>	Skinner, 1905
145	Hesperidae	Pyrginae	<i>Paratrytone kemneri</i>	Steinhauser, 1996
146	Hesperidae	Pyrginae	<i>Chiomara asychis</i>	Stoll, 1780
147	Hesperidae	Pyrginae	<i>Cecropterus dorantes</i>	Stoll, 1790
148	Hesperidae	Pyrginae	<i>Copaeodes minima</i>	W. H. Edwards, 1870
149	Hesperidae	Pyrginae	<i>Ancyloxypha arene</i>	W. H. Edwards, 1871
150	Hesperidae	Pyrginae	<i>Amblyscirtes nysa</i>	W. H. Edwards, 1877
151	Hesperidae	Pyrginae	<i>Celotes nessus</i>	W. H. Edwards, 1877
152	Hesperidae	Pyrginae	<i>Staphylus ceos</i>	W. H. Edwards, 1882
153	Hesperidae	Pyrginae	<i>Erynnis tristis</i>	W. H. Edwards, 1883
154	Hesperidae	Pyrginae	<i>Atalopedes campestris</i>	
155	Hesperidae	Pyrginae	<i>Piruna</i> sp.	
156	Hesperidae	Pyrginae	<i>Staphylus</i> sp.	
157	Hesperidae		<i>Burnsius oileus</i>	
158	Hesperidae		<i>Burnsius albescens</i>	
159	Hesperidae		<i>Burnsius communis</i>	
160	Hesperidae		<i>Burnsius philetas</i>	
161	Hesperidae		<i>Euphyes vestris</i>	

Anexo 4. Individuos determinados hasta género en el Valle de San Luis Potosí

Núm.	Género	Individuos
1	<i>Calephelis</i> sp.	52
2	<i>Erora</i> sp.	1
3	<i>Piruna</i> sp.	1
4	<i>Staphylus</i> sp.	4
5	<i>Strymon</i> sp.	5

Anexo 5. Análisis de varianza Kruskal-Wallis de diversidad en cada sitio de recolecta con el programa SAS.

Sistema SAS

16:44 Monday, May 24, 2021

15

Procedimeinto NPAR1WAY

Puntuaciones de Wilcoxon (Sumas de rango) for Variable Diversidad
Classified by Variable Trat

Trat	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
1	12	686.50	414.0	62.135568	57.208333
2	10	435.50	345.0	57.725756	43.550000
3	12	446.00	414.0	62.135568	37.166667
4	12	371.50	414.0	62.135568	30.958333
5	10	204.00	345.0	57.725756	20.400000
6	12	202.50	414.0	62.135568	16.875000

Average scores were used for ties.

Test de Kruskal-Wallis

Chi-cuadrado	33.1696
DF	5
Pr > Chi-cuadrado	<.0001

Anexo 6. Contribución de las especies a la disimilitud entre los sitios a partir del análisis SIMPER

Sitios	Especies	Contribución (%)
Monte Caldera A vs Monte Caldera B	<i>Phyciodes graphica</i>	7.19
	<i>Chlosyne lacinia</i>	6.43
	<i>Echinargus isola</i>	5.97
	<i>Euptoieta claudia</i>	5.81
	<i>Leptotes marina</i>	4.74
	<i>Catasticta nimbice</i>	4.59
	<i>Autochton siernadror</i>	4.28
	<i>Battus philenor</i>	2.75
	<i>Megisto rubricata</i>	2.6
	<i>Lon melane</i>	2.45
	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	2.29
	<i>Electrostrymon guzanta</i>	2.29
	<i>Vanessa virginiensis</i>	2.14
<i>Zerene cesonia</i>	2.14	
Monte Caldera A vs La Zapatilla	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	8.82
	<i>Chlosyne lacinia</i>	8.13
	<i>Nathalis iole</i>	6.74
	<i>Echinargus isola</i>	6.57
	<i>Phyciodes graphica</i>	5.19
	<i>Catasticta nimbice</i>	5.19
	<i>Cyllopsis pertepida</i>	4.15
	<i>Leptotes marina</i>	3.63
	<i>Megisto rubricata</i>	3.46
	<i>Battus philenor</i>	2.76
	<i>Zerene cesonia</i>	2.42
	<i>Burnsius albescens</i>	2.07
	<i>Pterourus multicaudata</i>	2.07
<i>Nymphalis antiopa</i>	2.07	
Monte Caldera A vs Arroyos	<i>Danaus gilippus</i>	8.16
	<i>Chlosyne lacinia</i>	4.79
	<i>Battus philenor</i>	3.67
	<i>Leptophobia aripa</i>	3.57
	<i>Anteos maerula</i>	3.06
	<i>Zerene cesonia</i>	3.06
	<i>Phyciodes graphica</i>	2.95
	<i>Cyllopsis pertepida</i>	2.44
	<i>Leptotes marina</i>	2.34
	<i>Echinargus isola</i>	2.34
	<i>Mestra amymone</i>	2.34
	<i>Pyrisitia lisa</i>	2.14
	<i>Phyciodes tharos</i>	2.04
<i>Nathalis iole</i>	2.04	

	<i>Leptophobia aripa</i>	9.06
	<i>Echinargus isola</i>	6.7
	<i>Chlosyne lacinia</i>	5.51
	<i>Catasticta nimbice</i>	4.33
	<i>Nathalis iole</i>	4.2
Monte Caldera A	<i>Phyciodes graphica</i>	4.07
vs	<i>Danaus gilippus</i>	4.07
Las Moras A	<i>Cyllopsis pertepida</i>	3.15
	<i>Anthanassa texana</i>	3.15
	<i>Megisto rubricata</i>	2.62
	<i>Pholisora mejicanus</i>	2.1
	<i>Burnsius communis</i>	1.84
	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	1.7
	<i>Vanessa virginiensis</i>	1.7
	<i>Echinargus isola</i>	8.51
	<i>Chlosyne lacinia</i>	7.51
	<i>Nathalis iole</i>	6.01
	<i>Catasticta nimbice</i>	5.67
	<i>Leptotes marina</i>	5
Monte Caldera A	<i>Phyciodes graphica</i>	5
vs	<i>Mestra amymone</i>	4.84
Las Moras B	<i>Cyllopsis pertepida</i>	4
	<i>Pontia protodice</i>	3
	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	2.5
	<i>Battus philenor</i>	2.17
	<i>Burnsius albescens</i>	2
	<i>Nymphalis antiopa</i>	1.83
	<i>Pterourus multicaudata</i>	1.83
	<i>Phyciodes graphica</i>	13.66
	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	12.52
	<i>Euptoieta claudia</i>	7.4
	<i>Autochton sierradror</i>	5.31
	<i>Zerene cesonia</i>	5.31
Monte Caldera B	<i>Nathalis iole</i>	4.93
vs	<i>Electrostrymon guzanta</i>	4.17
La Zapatilla	<i>Cyllopsis pertepida</i>	3.79
	<i>Lon melane</i>	3.41
	<i>Vanessa virginiensis</i>	2.84
	<i>Leptotes marina</i>	1.89
	<i>Colias eurytheme</i>	1.7
	<i>Parrhasius moctezuma</i>	1.51
	<i>Danaus gilippus</i>	7.13
Las Moras B	<i>Phyciodes graphica</i>	6.17
vs	<i>Leptotes marina</i>	4.7
Arroyos	<i>Battus philenor</i>	4.7
	<i>Euptoieta claudia</i>	3.39

	<i>Leptophobia aripa</i>	3.04
	<i>Anteos maerula</i>	2.52
	<i>Autochton siernadror</i>	2.43
	<i>Mestra amymone</i>	1.91
	<i>Pyrisitia lisa</i>	1.82
	<i>Electrostrymon guzanta</i>	1.82
	<i>Cyllopsis pertepida</i>	1.74
	<i>Anthanassa texana</i>	1.65
	<i>Leptotes cassius</i>	1.65
	<hr/>	
	<i>Phyciodes graphica</i>	9.78
	<i>Leptophobia aripa</i>	9.24
	<i>Euptoieta claudia</i>	5.09
	<i>Leptotes marina</i>	4.55
	<i>Danaus gilippus</i>	4.42
	<i>Autochton siernadror</i>	3.75
	<i>Anthanassa texana</i>	3.61
	<i>Electrostrymon guzanta</i>	2.81
	<i>Cyllopsis pertepida</i>	2.68
	<i>Burnsius communis</i>	2.54
	<i>Nathalis iole</i>	2.54
	<i>Lon melane</i>	2.27
	<i>Battus philenor</i>	2.27
	<i>Pholisora mejicanus</i>	2.27
	<hr/>	
	<i>Phyciodes graphica</i>	13.43
	<i>Euptoieta claudia</i>	7.27
	<i>Autochton siernadror</i>	5.22
	<i>Mestra amymone</i>	5.22
	<i>Nathalis iole</i>	4.29
	<i>Electrsotrymon guzanta</i>	3.91
	<i>Zerene cesonia</i>	3.91
	<i>Cyllopsis pertepida</i>	3.73
	<i>Lon melane</i>	3.35
	<i>Megisto rubricata</i>	2.98
	<i>Echinargus isola</i>	2.23
	<i>Copaeodes minima</i>	1.86
	<i>Vanessa virginiensis</i>	1.86
	<hr/>	
	<i>Danaus gilippus</i>	8.16
	<i>Battus philenor</i>	5.37
	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	4.85
	<i>Leptotes marina</i>	4.54
	<i>Zerene cesonia</i>	4.54
	<i>Leptophobia aripa</i>	3.61
	<i>Anteos maerula</i>	3.09
	<i>Mestra amymone</i>	2.58
	<i>Dione moneta</i>	2.16
	<i>Pyrisitia lisa</i>	2.16
	<i>Phyciodes tharos</i>	2.06
	<hr/>	
Monte Caldera B vs Las Moras A		
Monte Caldera B vs Las Moras B		
La Zapatilla vs Arroyos		

	<i>Nathalis iole</i>	1.96
	<i>Pyrisitia nise</i>	1.96
	<i>Anthanassa texana</i>	1.86
	<hr/>	
	<i>Leptophobia aripa</i>	12.71
	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	11.79
	<i>Danaus gilippus</i>	5.52
	<i>Anthanassa texana</i>	4.78
	<i>Zerene cesonia</i>	4.78
	<i>Leptotes marina</i>	4.42
La Zapatilla	<i>Burnsius communis</i>	3.31
vs	<i>Pholisora mejicanus</i>	3.31
Las Moras A	<i>Battus philenor</i>	2.76
	<i>Vanessa virginiensis</i>	2.57
	<i>Echinargus isola</i>	2.39
	<i>Agraulis vanillae</i>	1.84
	<i>Pterourus garamas</i>	1.47
	<i>Brephidium exilis</i>	1.47
	<hr/>	
	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	24.91
	<i>Mestra amymone</i>	11.7
	<i>Megisto rubricata</i>	7.17
	<i>Echinargus isola</i>	4.9
	<i>Copaeodes minima</i>	3.77
	<i>Pontia protodice</i>	3.39
La Zapatilla	<i>Leptotes marina</i>	3.39
vs	<i>Zerene cesonia</i>	2.64
Las Moras B	<i>Leptophobia aripa</i>	1.88
	<i>Vanessa virginiensis</i>	1.88
	<i>Burnsius philenor</i>	1.88
	<i>Catasticta nimbice</i>	1.5
	<i>Calephelis sp.</i>	1.5
	<i>Leptotes cassius</i>	1.13
	<hr/>	
	<i>Danaus gilippus</i>	5.86
	<i>Battus philenor</i>	4.43
	<i>Leptophobia aripa</i>	4.07
	<i>Echinargus isola</i>	3.35
	<i>Anteos maerula</i>	2.99
	<i>Catasticta nimbice</i>	2.51
	<i>Pyrisitia nise</i>	2.39
Arroyos	<i>Leptotes marina</i>	2.39
vs	<i>Mestra amymone</i>	2.39
Las Moras A	<i>Dione moneta</i>	2.27
	<i>Leptotes cassius</i>	2.27
	<i>Anthanassa texana</i>	2.27
	<i>Zerene cesonia</i>	2.15
	<i>Heraclides thoas</i>	2.15
	<hr/>	
	<i>Danaus gilippus</i>	8.36

	<i>Leptotes marina</i>	5.68
	<i>Battus philenor</i>	5.25
Arroyos	<i>Zerene cesonia</i>	3.96
vs	<i>Leptophobia aripa</i>	3.21
Las Moras B	<i>Echinargus isola</i>	3
	<i>Anteos maerula</i>	2.89
	<i>Catasticta nimbice</i>	2.35
	<i>Leptotes cassius</i>	2.25
	<i>Pyrisitia lisa</i>	2.25
	<i>Dione moneta</i>	2.25
	<i>Chlosyne ehrenbergii</i>	2.03
	<i>Phyciodes tharos</i>	2.03
	<i>Pyrisitia proterpia</i>	1.92
<hr/>		
	<i>Leptophobia aripa</i>	13.39
	<i>Leptotes marina</i>	6.9
	<i>Danaus gilippus</i>	6.06
	<i>Anthanassa texana</i>	5.43
	<i>Mestra amymone</i>	5.43
Las Moras A	<i>Pholisora mejicanus</i>	3.97
vs	<i>Zerene cesonia</i>	3.97
Las Moras B	<i>Megisto rubricata</i>	3.97
	<i>Burnsius communis</i>	3.55
	<i>Pontia protodice</i>	3.34
	<i>Battus philenor</i>	2.57
	<i>Vanessa virginiensis</i>	1.88
	<i>Agraulis vanillae</i>	1.67
	<i>Brephidium exilis</i>	1.67
<hr/>		

Anexo 7. Análisis PCA para calcular el índice de disturbio en los seis sitios de muestreo

ÍNDICE DE DISTURBIO (IDD)

Cross-products matrix contains CORRELATION COEFFICIENTS among Parámetr

VARIANCE EXTRACTED, FIRST 10 AXES

AXIS	Eigenvalue	% of Variance	Cum.% of Var.	Broken-stick Eigenvalue
1	4.135	37.589	37.589	3.020
2	2.516	22.870	60.459	2.020
3	2.209	20.080	80.540	1.520
4	1.915	17.405	97.945	1.187
5	0.226	2.055	100.000	0.937
6	0.000	0.000	100.000	0.737
7	0.000	0.000	100.000	0.570
8	0.000	0.000	100.000	0.427
9	0.000	0.000	100.000	0.302
10	0.000	0.000	100.000	0.191

FIRST 6 EIGENVECTORS, scaled to unit length.
 These can be used as coordinates in a distance-based biplot,
 where the distances among objects approximate their Euclidean
 distances.

Parámetr	Eigenvector					
	1	2	3	4	5	
6						
FPM	0.0454	0.3311	0.4988	0.2207	0.5682	-
0.1937						
DCH	0.0109	0.0649	-0.1719	0.6946	0.0017	-
0.5028						
DPO	0.2737	-0.5169	0.0185	0.0766	0.1647	-
0.1434						
ANA	0.3845	-0.0093	0.1280	-0.4247	-0.1749	-
0.4799						
EIN	0.3735	-0.1522	-0.3867	0.1334	0.0437	
0.0988						
ISL	0.4181	0.1455	0.2868	-0.1005	-0.3186	-
0.2879						
STM	0.4649	0.0750	0.1217	-0.1068	0.4079	
0.4234						
FPR	0.2504	-0.5107	0.0043	0.2058	0.1244	
0.0463						
FEG	0.2655	0.4366	-0.3143	0.0474	0.1677	
0.0489						
DCG	0.2221	0.3181	-0.4934	-0.0371	-0.0691	-
0.0273						

CSU	-0.2491	-0.1275	-0.3407	-0.4443	0.5489	-
0.4262						

Prediction equations were written into the text file PCAPredictionEqn.txt in the default folder.

FIRST 6 EIGENVECTORS, each scaled to its standard deviation
 These are sometimes called V vectors, and, when applied to PCA of a correlation matrix, are the same as the correlation coefficient between scores for rows in the main matrix and the column variables.

Parámetr 6	Eigenvector				
	1	2	3	4	5
FPM 0.0000	0.0924	0.5251	0.7413	0.3053	0.2702
DCH 0.0000	0.0222	0.1029	-0.2555	0.9611	0.0008
DPO 0.0000	0.5565	-0.8199	0.0274	0.1060	0.0783
ANA 0.0000	0.7819	-0.0148	0.1902	-0.5877	-0.0832
EIN 0.0000	0.7596	-0.2415	-0.5747	0.1846	0.0208
ISL 0.0000	0.8501	0.2309	0.4263	-0.1390	-0.1515
STM 0.0000	0.9454	0.1189	0.1808	-0.1477	0.1939
FPR 0.0000	0.5091	-0.8100	0.0063	0.2847	0.0591
FEG 0.0000	0.5399	0.6925	-0.4672	0.0655	0.0797
DCG 0.0000	0.4516	0.5046	-0.7333	-0.0513	-0.0328
CSU 0.0000	-0.5066	-0.2022	-0.5064	-0.6148	0.2610

COORDINATES (SCORES) OF Sitios

Sitios 5	6	Axis (Component)				
		1	2	3	4	
1 Aroyos 0.8240	0.0000	-0.4719	0.7029	1.1229	0.8095	-

2 La Zapat	2.1133	-2.6226	0.0192	0.8042	
0.0574	0.0000				
3 Monte Ca	-0.0922	-0.3332	0.7751	-2.7144	-
0.0008	0.0000				
4 Monte Ca	-3.5287	-0.7474	-1.2932	0.3926	
0.1470	0.0000				
5 Las Mora	1.8746	1.6338	-2.2245	-0.1448	-
0.0319	0.0000				
6 Las Mora	0.1048	1.3666	1.6005	0.8530	
0.6523	0.0000				

***** End of PCA

 4 Jun 2021, 18:10:10

Anexo 8. Análisis de especies indicadoras (IndVal)

MONTE CARLO test of significance of observed maximum indicator value for Sitios

1000 permutations.

Random number seed: 5224

Column	Maxgrp	Observed Indicator Value (IV)	IV from		p *
			randomized Mean	groups S.Dev	
1 Battus p	1	36.2	19.0	5.44	0.0100
3 Pterouru	4	12.5	12.3	1.61	0.5920
4 Pterouru	3	25.6	14.0	5.90	0.0400
5 Heraclid	1	28.6	12.5	6.73	0.0290
6 Heraclid	5	16.7	10.9	6.64	0.2040
7 Heraclid	1	10.0	10.1	6.61	0.2560
8 Papilio	5	22.2	9.7	6.25	0.1430
9 Heraclid	1	20.0	11.0	6.47	0.0880
10 Pterouru	5	55.6	12.0	6.50	0.0010
11 Catastic	3	50.5	13.5	6.28	0.0020
12 Ascia mo	1	7.1	10.7	5.90	0.8010
13 Glutophr	3	4.3	10.5	7.43	0.9710
14 Pontia p	5	22.2	16.4	5.75	0.1580
15 Pieris r	5	10.5	11.3	6.99	0.4190
16 Leptopho	5	69.7	15.3	6.10	0.0010
18 Anthocha	4	12.5	12.4	1.67	0.6230
19 Zerene c	5	22.2	20.2	4.67	0.3110
20 Colias e	5	19.9	13.3	7.04	0.1590
21 Anteos m	1	52.2	17.2	7.99	0.0020
22 Anteos c	5	8.1	11.7	6.56	0.7350
23 Phoebis	5	11.7	17.9	7.82	0.7190
24 Phoebis	1	8.4	13.9	7.39	0.7640
25 Phoebis	5	21.9	12.4	6.55	0.0800
26 Pyrisiti	1	44.1	11.7	6.66	0.0050
27 Pyrisiti	1	40.5	18.9	6.03	0.0040
28 Pyrisiti	1	50.0	10.9	6.34	0.0010
29 Eurema s	3	6.2	9.4	5.97	0.9200
30 Eurema m	1	40.2	15.5	7.06	0.0090
31 Nathalis	3	25.3	19.5	4.99	0.1240
32 Eurema d	1	9.5	9.9	6.45	0.3730
33 Abaeis n	1	28.4	14.7	5.80	0.0290
34 Pyrisiti	1	63.6	14.6	7.43	0.0010
35 Rekoa ma	5	11.1	12.4	1.69	1.0000
36 Arawacus	1	9.5	9.9	6.46	0.3730
40 Parrhasi	4	25.0	10.5	6.12	0.0920
41 Strymon	5	12.7	10.3	6.74	0.4180
42 Strymon	5	11.1	12.4	1.68	1.0000
43 Strymon	1	16.7	12.4	1.68	0.1110
44 Strymon	1	50.0	10.2	6.77	0.1520
46 Strymon	5	26.7	11.2	6.51	0.0020
48 Strymon	5	22.2	10.6	5.72	0.1420
49 Electros	1	16.7	12.4	1.70	0.1160
50 Electros	4	51.1	15.1	7.63	0.0030
51 Chlorost	1	16.7	12.4	1.71	0.1180

52	Cyanophr	1	16.7	12.5	1.70	0.1180
55	Cyanophr	4	12.5	12.5	1.82	0.6220
56	Hemiargu	6	11.1	12.5	1.77	1.0000
57	Echinarg	1	24.1	19.7	5.53	0.1830
58	Brephidi	5	44.4	11.5	6.47	0.0010
60	Celastru	1	19.0	10.7	6.39	0.0920
61	Cupido c	3	19.9	11.7	6.40	0.1150
62	Leptotes	1	35.2	19.4	5.51	0.0160
63	Leptotes	1	62.5	11.9	6.27	0.0010
64	Icaricia	4	16.7	10.2	6.56	0.2160
65	Calephel	4	16.7	16.8	6.42	0.4310
66	Plesioar	3	12.5	12.5	1.72	0.6490
67	Plesioar	3	17.3	10.3	6.99	0.1630
68	Libythea	1	18.0	14.6	6.18	0.2400
69	Euptoiet	4	44.4	13.7	7.58	0.0060
70	Euptoiet	5	20.5	12.7	6.15	0.1340
72	Heliconi	1	64.2	14.5	6.27	0.0010
73	Agraulis	5	29.4	13.7	6.43	0.0280
74	Dione mo	1	38.4	14.2	6.36	0.0090
75	Chlosyne	3	65.9	19.7	9.13	0.0010
76	Chlosyne	2	19.9	16.0	6.83	0.2170
77	Chlosyne	1	9.5	9.7	6.28	0.3720
78	Texola e	5	12.3	12.2	7.05	0.4670
79	Chlosyne	4	12.5	12.4	1.72	0.6130
80	Poladrya	1	16.7	12.4	1.68	0.1110
81	Anthanas	5	42.7	16.6	5.95	0.0020
83	Phyciode	4	71.2	17.7	7.57	0.0010
84	Phyciode	1	16.7	12.4	1.68	0.1110
85	Phyciode	1	43.9	14.5	7.79	0.0070
86	Polygoni	4	12.5	12.5	1.82	0.6220
87	Nymphali	1	50.9	12.9	6.26	0.0020
88	Vanessa	1	16.7	12.4	1.68	0.1110
89	Vanessa	1	57.1	13.2	7.22	0.0010
90	Vanessa	4	24.8	16.2	6.68	0.0970
92	Junonia	3	12.5	12.6	1.80	0.6350
93	Siproeta	4	12.5	12.5	1.75	0.6420
94	Biblis h	1	16.7	12.4	1.68	0.1110
95	Mestra a	6	37.6	17.5	6.60	0.0130
96	Marpesia	5	11.1	12.4	1.74	1.0000
97	Limeniti	1	45.4	13.4	6.03	0.0030
99	Hamadrya	1	16.7	12.4	1.68	0.1110
100	Anaea tr	5	11.1	12.5	1.79	1.0000
101	Doxocopa	4	12.5	12.3	1.61	0.5920
102	Cyllopsi	4	37.5	14.7	6.09	0.0060
103	Megisto	6	31.2	15.2	6.95	0.0290
104	Danaus p	1	15.2	13.0	5.30	0.1970
105	Danaus g	1	48.0	18.0	6.08	0.0020
107	Phocides	1	16.7	12.6	1.78	0.1360
109	Codatrac	5	11.1	10.9	6.45	0.3700
110	Codatrac	1	16.7	12.4	1.71	0.1180
112	Codatrac	3	18.8	11.1	6.64	0.1790
113	Telegonu	4	17.8	12.2	6.34	0.1850
114	Cecropte	4	12.5	12.4	1.72	0.6130
115	Autochto	4	37.5	14.3	7.01	0.0160
116	Autochto	4	16.7	10.8	7.35	0.2410
117	Cecropte	1	33.3	9.9	6.47	0.0100
118	Urbanus	1	30.4	12.8	6.26	0.0280

120	Cogia ca	1	16.7	12.6	1.83	0.1450
121	Cecropite	4	37.5	10.5	7.01	0.0110
122	Euphyes	4	16.7	10.5	7.06	0.2270
123	Autochto	5	12.7	10.1	6.69	0.4050
125	Staphyly	1	19.0	11.8	6.86	0.1450
126	Staphyly	1	16.7	12.4	1.70	0.1160
127	Chiomara	5	22.2	9.8	6.50	0.1500
128	Chiomara	1	83.3	12.0	6.69	0.0010
129	Burnsius	1	19.5	11.1	6.08	0.1080
130	Burnsius	3	16.9	12.0	6.32	0.1850
131	Burnsius	5	38.1	15.1	6.16	0.0060
132	Burnsius	3	37.5	10.0	6.58	0.0100
133	Burnsius	3	23.2	14.0	5.89	0.0520
134	Heliopet	1	34.0	11.9	6.30	0.0170
135	Erynnis	1	16.7	12.4	1.71	0.1180
136	Erynnis	6	4.2	12.0	7.33	0.9900
137	Pholisor	5	43.2	16.7	6.87	0.0060
138	Celotes	1	27.3	11.1	6.75	0.0360
139	Piruna s	1	16.7	12.4	1.71	0.1180
140	Piruna h	4	16.3	12.4	6.60	0.2710
141	Piruna c	6	11.1	12.5	1.77	1.0000
142	Ancyloxy	1	32.3	12.5	5.93	0.0090
143	Copaeode	6	38.4	13.3	6.61	0.0060
144	Copaeode	1	12.5	12.6	6.10	0.4550
145	Lerema a	5	22.2	10.8	6.00	0.1450
146	Hylephil	1	10.0	9.7	6.21	0.2470
147	Ataloped	1	9.5	9.8	6.30	0.3770
148	Polites	5	11.1	12.4	1.71	1.0000
149	Polites	3	9.5	12.3	6.07	0.6360
150	Lon zabu	4	12.5	12.4	1.67	0.6230
151	Lon mela	3	10.2	11.3	6.46	0.5240
152	Paratryt	1	16.7	12.4	1.68	0.1110
153	Librita	1	33.3	9.9	6.47	0.0100
154	Amblysci	3	12.5	12.5	1.71	0.6370
155	Amblysci	3	19.3	10.8	6.74	0.1100
156	Amblysci	5	22.2	10.1	6.66	0.1590
157	Amblysci	5	11.1	12.4	1.69	1.0000
158	Amblysci	1	16.7	12.6	1.83	0.1450
159	Chlosyne	1	16.7	12.6	1.78	0.1360
161	Therpieu	5	44.4	11.4	6.12	0.0030

Averages	21.9418	11.27	4.57	0.2201
----------	---------	-------	------	--------

* proportion of randomized trials with indicator value equal to or exceeding the observed indicator value.

$p = (1 + \text{number of runs} \geq \text{observed}) / (1 + \text{number of randomized runs})$

Maxgrp = Group identifier for group with maximum observed IV

Randomization test for sum of IVmax

3532.6 = observed sum of IVmax across all Sitios

0 = number of randomization runs with sum of IVmax \geq observed

value

1000 = number of randomization runs

0.00100 = p

12 Jul 2021, 22:58:52

Indicator values finished



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).