



Revista MINERVA

Plataforma digital de la revista: <https://minerva.sic.ues.edu.sv>

Nota Técnica | Technical Note

Alas urbanas vs. alas rurales: ¿cómo el hábitat moldea las mariposas de *Anartia fatima*? Un vistazo preliminar a la morfología alar

Urban wings vs. rural wings: how habitat shapes *Anartia fatima* butterflies? A preliminary look at wing morphology

Carlos Eliseo Guevara^{1,3}, Ligia Filomena Pablo^{1,4}, Cristina Michelle León^{1,5}, Lidia Campos^{1,6}, Miguel Moreno^{1,2,7}

- 1 Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador
- 2 Grupo de Investigación en Bioinformática Estructural y Biomarcadores - BEBio, Universidad de El Salvador
- 3  <https://orcid.org/0009-0001-4982-0419>
- 4  <https://orcid.org/0009-0005-4722-5818>
- 5  <https://orcid.org/0009-0001-6843-1996>
- 6  <https://orcid.org/0009-0001-8442-5705>
- 7  <https://orcid.org/0000-0002-9220-1015>

RESUMEN

Para el presente estudio se evaluó la variación alar de ejemplares de la especie *Anartia fatima* pertenecientes a poblaciones urbanas y rurales. Se digitalizaron un total de 17 landmarks utilizando el programa tpsDig. Para evaluar la variación en la forma de las alas, se usó el software MorphoJ. Los resultados muestran diferencias pequeñas, pero importantes, en la estructura alar, en las que se evidenció separación entre ambas poblaciones, aunque con cierta superposición, similitudes y variaciones en la morfología alar. Se analizaron los niveles de asimetría entre poblaciones, observándose un bajo nivel de asimetría direccional en ambas, lo que indica que no hay un patrón consistente de lateralidad en la estructura alar. Además, se detectó asimetría fluctuante en la forma de las alas en ambas poblaciones, lo que sugiere variaciones aleatorias en la simetría bilateral. Concluimos que las poblaciones

DOI: <https://doi.org/10.66778/RM.v09ed01.18>

Enviado: 8 de abril de 2025
Aceptado: 2 de febrero de 2026

Palabras clave: Morfometría geométrica, alas, asimetría, variación, *Anartia fatima*, MorphoJ.

Key words: Geometric morphometry, wings, asymmetry, variation, *Anartia fatima*, MorphoJ.



Este contenido está protegido bajo la licencia CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

rurales y urbanas de *Anartia fatima* presentan diferencias morfológicas ligeras en la forma de sus alas. Estas variaciones pueden estar ligadas con factores medioambientales propios de cada hábitat. Aunque las diferencias no son muy grandes indican de manera preliminar que el hábitat tiene un papel vital en la estructuración alar de la especie.

ABSTRACT

For this study the wing variation of specimens of *Anartia fatima* from urban and rural populations was assessed. A total of 17 landmarks were digitized using the program tpsDig. To evaluate wing shape variation, the software MorphoJ was used. The results have shown small but significant differences between urban and rural populations of *Anartia fatima*. Though with some overlap, the analyses revealed a separation between the two populations, indicating both similarities and variations in wing morphology. Asymmetry levels were also analyzed, revealing low directional asymmetry in both populations, meaning there is no consistent pattern of laterality in wing structure. Additionally, fluctuating asymmetry in wing shape was detected in both populations, suggesting random variations in bilateral symmetry. Based on the results, we conclude that rural and urban populations of *Anartia fatima* exhibit slight morphological differences in wing shape. These variations may be linked to specific environmental factors of each habitat. Although the differences are not substantial, they preliminarily suggest that habitat plays a vital role in shaping the wing structure of this species.

INTRODUCCIÓN

La morfometría geométrica es una metodología que permite describir la estructura de los tejidos u órganos, junto con sus dimensiones, formas y relaciones espaciales. Se basa en la estadística multivariada para estudiar la covariación de la forma con factores geométricos subyacentes. Esto implica que la forma de un objeto no se define a partir de subdimensiones, sino mediante la relación espacial entre sus componentes, lo que permite visualizar cambios morfológicos y realizar interpretaciones de alto significado biológico, como las diferencias entre individuos, poblaciones u otras agrupaciones. Dichas formas se analizan a partir de la identificación de puntos discretos en el espacio, conocidos como *landmarks*, que son esenciales para recopilar datos, definir las formas puras, y realizar análisis exploratorios y confirmatorios sobre la covariación de las formas con factores causales (Charlin y Hernández, 2016). Actualmente, esta técnica es una herramienta esencial en la investigación científica, ya

que proporciona un método robusto para analizar la forma y estructura de los organismos.

Dentro del reino animal, el orden Lepidoptera representa uno de los más diversos, con aproximadamente 150,000 especies descritas, ubicándolo en el tercer lugar en cuanto a riqueza de especies, después de Coleoptera y Diptera (Moré et al., 2022). En este estudio preliminar, se eligió como modelo a *Anartia fatima* (figura 1), una especie común en El Salvador que habita principalmente en ambientes húmedos, sobre todo en áreas con crecimiento secundario o bosques en regeneración tras perturbaciones humanas (Zepeda y Estrada, 2011). *Anartia f.* es de hábitos diurnos, prefiere mayormente bosques secundarios, perturbados, bordes de caminos y áreas cercanas a cuerpos de agua. Por sus hábitos alimenticios los adultos de *Anartia f.* se alimentan del néctar de *Lantana camara* (Universidad Francisco Marroquín, s.f). Esta especie no presenta un dimorfismo sexual muy marcado, tanto machos como hembras son bastante similares en cuanto a tamaño (Área de Conservación Guanacaste, 2021). La morfología y coloración de esta especie la vuelve un modelo único de estudio, presenta una coloración café oscuro con una franja blanca o crema en la parte media en sus alas anteriores, así como cinco pequeñas manchas blanquecinas en el área postmedia. Sus alas posteriores también presentan color café oscuro con una franja blanca o crema en la parte postmedia. Posee una distintiva franja de color rojo y una línea gruesa roja en el contorno, la parte dorsal generalmente siempre es color café (Emmel, 1972). Este análisis tiene como objetivo identificar las variables morfológicas alares de *Anartia fatima* provenientes de entornos urbanos y rurales. Se busca determinar las variaciones intrapoblacionales en la forma de las alas, específicamente en los patrones de venación, y analizar cómo estas se relacionan con las características de los ambientes en los que habitan.

METODOLOGÍA

Metodología de campo

El muestreo se realizó en dos sitios de estudio, el primero, en la zona rural, Finca El Paraíso en San Pedro Perulapán 13.776822°N 89.01855°W a 687 m s. n. m. (figura 1A). Se realizaron varios recorridos en el lugar, todos desde las 8:00 a. m. hasta las 12:00 del mediodía. La vegetación de la zona se encuentra compuesta principalmente por vegetación secundaria y de cultivo, como cacao, cafetales, maizales (milpas),

tomateras, cultivos cítricos y plataneras. El segundo, correspondiente a la zona urbana, fue el campus de la Universidad de El Salvador $13^{\circ}43'05''$ N $89^{\circ}12'11''$ O, a una altura de 702 m s. n. m. (figura 1B). La zona se compone principalmente de vegetación secundaria, en su mayoría plantas ornamentales y árboles frutales. El muestreo se realizó de 8:00 a. m. a 12:00 del mediodía, durante un periodo de dos meses, de febrero a marzo de 2025.

Para la colecta de ejemplares, se utilizaron redes entomológicas para cada zona de estudio, al momento de la captura, los ejemplares de *Anartia fatima* fueron sacrificados mediante presión digital en el tórax y colocados en papel encerado para evitar daños en las alas siguiendo las especificaciones de Andrade C. et al., (2013). Posteriormente, los individuos fueron identificados y resguardados en un pocillo con temperatura ambiente para su traslado a laboratorio. Se registró un total de 31 individuos, 17 en la zona

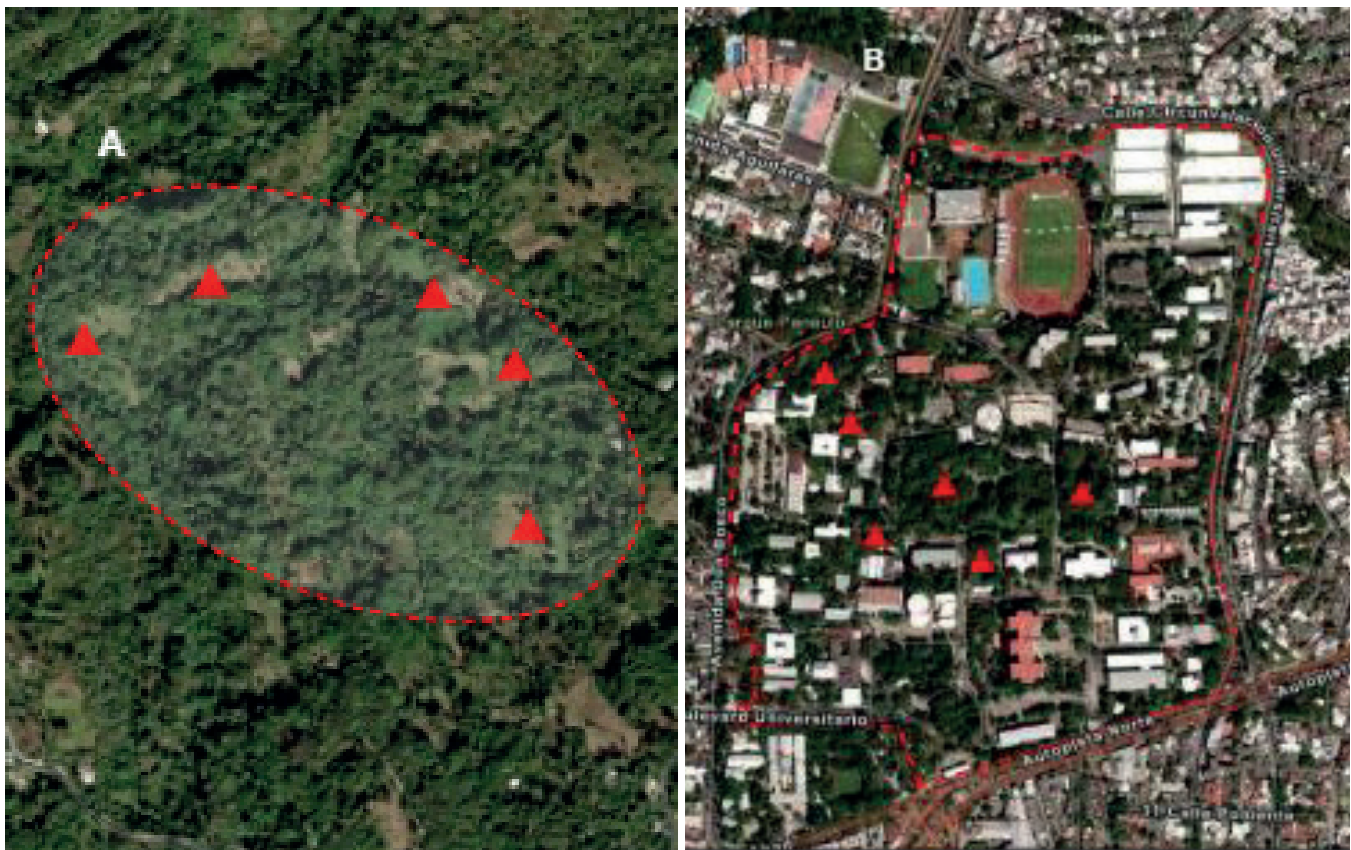
rural y 14 en la urbana, entre ellos se identificaron 14 hembras y 17 machos; el sexo se determinó por medio del tamaño del abdomen, siendo típicamente de mayor tamaño en las hembras que en los machos.

Fotografías y digitalización de landmarks

Antes de la toma de fotografías se extrajeron las alas posteriores derechas e izquierdas de los ejemplares, luego fueron montadas sobre una superficie y se realizó la captura de imágenes con ayuda de una cámara fotográfica Canon Eos RebelT100. Después, se utilizó el programa tpsUtil32 para pasar las fotografías tomadas a formato TPS. Con ayuda del programa tpsDig2 ver. 2.32 (Rohlf, 2006), se ubicaron y digitalizaron 17 puntos de referencias (landmarks) (figura 2), en intersecciones de venas y los márgenes alares en ambas alas en la vista ventral (Escobar, 2022).

Figura 1

Vista satelital de área cubierta de la Finca El Paraíso, San Pedro Perulapán (A) Vista satelital del campus de la Universidad de El Salvador (B)



Nota. Principales puntos de muestreo señalados en el mapa. Mapa realizado con ArcGis online, elaboración propia.

Figura 2

Fotografía de ejemplar de *Anartia fatima* (izquierda) y fotografía de ala posterior izquierda con sus landmarks digitalizados



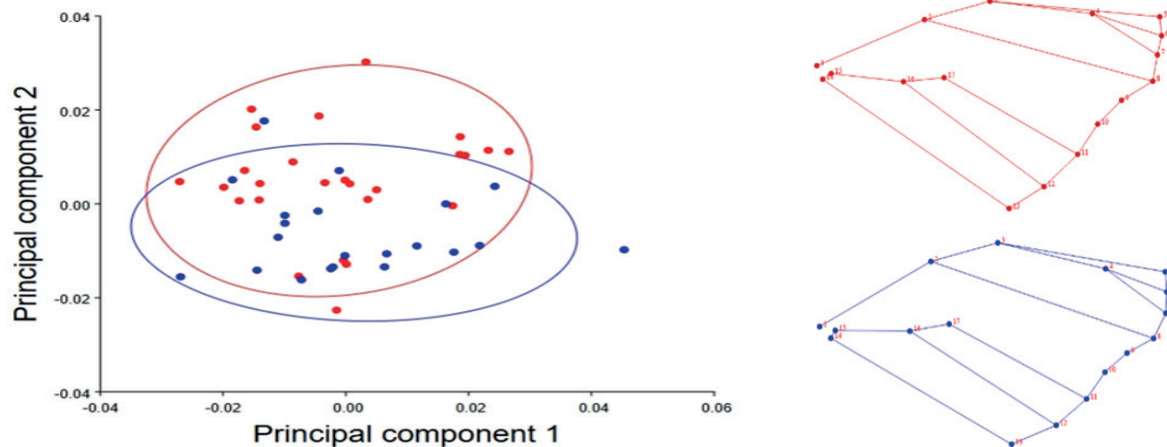
Nota. Fotografía de *Anartia fatima*, por Cristina Cauch-Tzab, 2021, INaturalist (<https://ecuador.inaturalist.org/observations/94520956>) CC BY-NC.

Análisis estadísticos

Se empleó el programa MorphoJ (Klingenberg, 2011) para llevar a cabo una serie de análisis estadísticos orientados a evaluar la variación morfológica en las alas de *Anartia fatima*. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) (De Luna, 2020) para explorar la variación en la forma de las alas entre diferentes grupos. Además, se aplicó un Análisis de Variables Canónicas (CVA) para comparar las diferencias morfológicas asociadas a hábitats, sexos y lados (derecho e izquierdo). Finalmente, se utilizó un Análisis de Procrustes ANOVA (Klingenberg & McIntyre, 1998) para examinar la asimetría direccional y fluctuante en la forma y el tamaño de las alas, además de la valoración del error en la digitalización de landmarks. Estos métodos permitieron analizar la variación morfológica y evaluar la influencia de factores ambientales y biológicos en la estructura alar de la especie.

Figura 3

Gráficos de comparación según zona; A1: Gráfico PCA. A2: Wireframe comparativo



Nota. Color según zona: rural (rojo), urbano (azul).

RESULTADOS

Variación y comparación de la forma alar

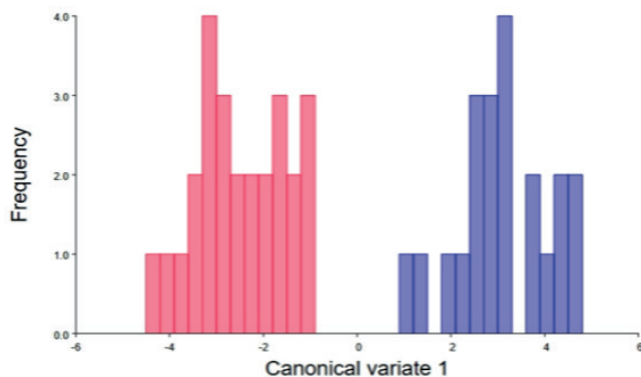
El ANOVA de Procrustes para medir el error en la colocación de landmarks dio valores bajos de MS para Ind*Side y Error 1 (tabla 1) en ambas poblaciones (rural y urbana) lo cual indica que la colocación de landmarks fue consistente y precisa. Esto sugiere que la variación entre lados dentro de los individuos es mínima y que la variación residual (error) es muy baja, lo que respalda la validez del procedimiento de colocación de landmarks.

El gráfico de Análisis de Componentes Principales (PCA) y el Análisis de Variables Canónicas (AVC), proporcionan una visión complementaria de las diferencias morfológicas entre la población rural y urbana de *Anartia fatima*. En el PCA (figura 3A1), se observa que los puntos correspondientes a las poblaciones rurales (rojo) y urbanas (azul) están parcialmente superpuestos, lo que sugiere que existen similitudes en la forma de las alas entre ambas poblaciones. Sin embargo, también se aprecian áreas donde los puntos están ligeramente separados, indicando diferencias morfológicas sutiles pero discernibles, mismas que pueden ser observadas en la figura 3A2. Estas diferencias podrían estar relacionadas con adaptaciones a los distintos entornos, como la disponibilidad de recursos o la presencia de depredadores, aunque no son lo suficientemente pronunciadas como para considerar una divergencia morfológica completa.

Por otro lado, el AVC (figura 4) refuerza esta interpretación al mostrar una distribución de frecuencias que permite visualizar con mayor claridad las diferencias entre las poblaciones. En el gráfico se observa que las poblaciones rurales y urbanas presentan una clara separación en el eje horizontal (Canonical variate 1), lo que respalda la idea de que existen variaciones morfológicas asociadas a cada hábitat.

Figura 4

Gráfico de comparación AVC entre población urbana y rural

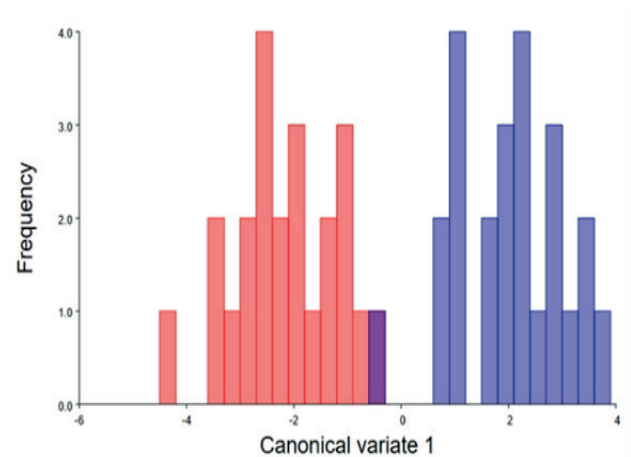


Nota. Color según zona, rural (rojo), urbano (azul).

El AVC separado por sexo (figura 5) muestra las diferencias morfológicas entre machos (azul) y hembras (rojo) de *Anartia fatima*. En el gráfico, se observa que las distribuciones de frecuencias para ambos sexos presentan cierta superposición, lo que indica que comparten características morfológicas comunes. Sin embargo, también se aprecian áreas donde las frecuencias difieren, lo que sugiere la presencia de un ligero dimorfismo sexual en la forma de las alas. Estas diferencias podrían estar relacionadas con roles ecológicos o reproductivos específicos de cada sexo, como la selección sexual o la necesidad de adaptaciones diferentes para el vuelo o la termorregulación. La superposición parcial entre las distribuciones de machos y hembras indica que, aunque existen diferencias, estas no son extremadamente pronunciadas, lo que sugiere que ambos sexos comparten una base morfológica común, pero han desarrollado adaptaciones específicas en respuesta a sus roles biológicos. Este hallazgo respalda la idea de que el dimorfismo sexual en *Anartia fatima* es moderado, con variaciones sutiles, pero significativas en la forma de las alas entre machos y hembras.

Figura 5

Gráfico de comparación AVC separado por sexo

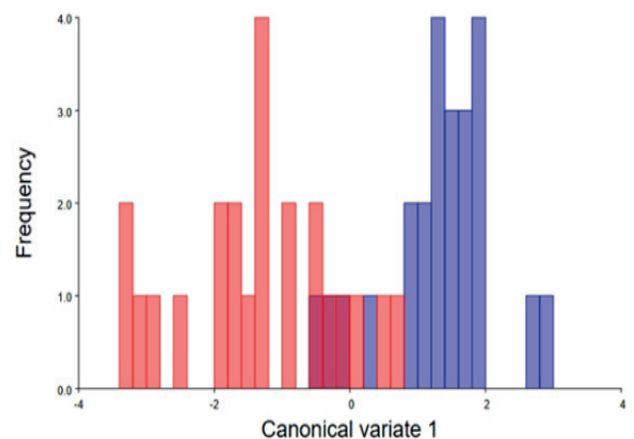


Nota. Color según sexo, macho (azul), hembra (rojo).

El Análisis de Variables Canónicas (AVC) separado por lado (alas derechas e izquierdas) (figura 6), muestra las diferencias morfológicas entre las alas derechas e izquierdas de *Anartia fatima*. En el gráfico, se observa que las distribuciones de frecuencias para ambos lados presentan una superposición significativa, lo que indica que no hay diferencias morfológicas pronunciadas entre las alas derechas e izquierdas.

Figura 6

Gráfico de comparación AVC separado por lado



Nota. Color según lado, izquierda (azul), derecha (rojo).

Esta superposición sugiere que la asimetría direccional en la forma de las alas es mínima o inexistente, lo cual es consistente con los resultados del análisis de Procrustes ANOVA (tabla 1), donde no se detectó asimetría direccional significativa. La falta de separación clara entre las distribuciones de las alas derechas e izquierdas respalda la idea de que la forma de las alas es altamente simétrica en *Anartia fatima*. Esto podría indicar que la especie tiene un desarrollo bilateral muy estable, con poca variación entre los lados, lo que es común en estructuras bilaterales que no están sujetas a presiones selectivas que favorezcan un lado sobre el otro. En resumen, los resultados sugieren que no hay diferencias morfológicas significativas entre las alas derechas e izquierdas, lo que refuerza la idea de una simetría bilateral bien conservada en esta especie.

Asimetría direccional y asimetría fluctuante

En ambas poblaciones de *Anartia fatima*, rural y urbana, se observaron diferencias significativas en la forma y el tamaño entre individuos. En la población rural, el efecto "individual" fue significativo tanto para el tamaño ($F = 18.27$, $p = 0.0002$) como para la forma ($F = 6.39$, $p < 0.0001$). De manera similar, en la población urbana, se detectaron diferencias significativas en el tamaño ($F = 25.41$, $p = 0.0005$) y en la forma ($F = 9.64$, $p < 0.0001$). Esto indica una variabilidad morfológica notable en ambas poblaciones, posiblemente influenciada por factores genéticos, ambientales o una combinación de ambos.

Tabla 1

Análisis de Procrustes ANOVA para evaluar asimetría direccional (DA) y asimetría fluctuante (FA) en forma y tamaño en población rural y urbana de *Anartia fatima*

Efecto		SS	MS	Df	F	P
Población rural						
Tamaño	Individual	142.726577	17.840822	8	18.27	0.0002
	Side	0.018369	0.018369	1	0.02	0.8943
	Ind * Side	7.811383	0.976423	8	1.46	0.2403
	Error 1	12.058859	0.669937	18	-	-
Forma	Individual	0.02139526	0.0000891469	240	6.39	<0.0001
	Side	0.00031824	0.0000106078	30	0.76	0.8137
	Ind * Side	0.00334829	0.0000139512	240	5.13	<0.0001
	Error 1	0.00146932	0.0000027210	540	-	-
Población urbana						
Tamaño	Individual	46.127236	7.687873	6	25.41	0.0005
	Side	0.030244	0.030244	1	0.10	0.7626
	Ind * Side	1.815112	0.302519	6	0.58	0.7425
	Error 1	7.335359	0.523954	14	-	-
Forma	Individual	0.01247149	0.0000692860	180	9.64	<0.0001
	Side	0.00024233	0.0000080778	30	1.12	0.3128
	Ind * Side	0.00129432	0.0000071907	180	5.07	<0.0001
	Error 1	0.00059554	0.0000014179	420	-	-

Nota. SS: Suma de cuadrados (Sum of Squares), MS: Cuadrado medio (Mean Square), df: Grados de libertad (degrees of freedom), F: Valor del estadístico F, P: Valor p asociado al estadístico F, indica la significancia estadística ($p < 0.05$ se considera significativo). Individual: Efecto de las diferencias entre individuos. Side: Efecto de la asimetría direccional (diferencias sistemáticas entre lados). Ind * Side: Efecto de la interacción entre individuos y lados, que refleja la asimetría fluctuante. Error 1: Variación residual o error de medición.

CONCLUSIONES

Los resultados indican preliminarmente que las poblaciones rurales y urbanas de *Anartia fatima* presentan diferencias morfológicas sutiles, pero significativas, en la forma de las alas y posiblemente influenciadas por factores ambientales o genéticos específicos de cada hábitat. Estas diferencias, aunque no son extremadamente pronunciadas, sugieren adaptaciones a las condiciones particulares de cada entorno. Además, se observó un dimorfismo sexual moderado, con variaciones en la forma de las alas entre machos y hembras, lo que podría estar relacionado con roles ecológicos o reproductivos diferenciados. Por otro lado, no se detectó asimetría direccional significativa entre las alas derechas e izquierdas, lo que respalda la idea de una simetría bilateral bien conservada en esta especie. Sin embargo, se encontró asimetría fluctuante en la forma, lo que sugiere la presencia de pequeñas variaciones aleatorias en la simetría, posiblemente debido a estrés ambiental, inestabilidad del desarrollo o factores genéticos. En conjunto, estos hallazgos resaltan la influencia de factores ambientales y biológicos en la morfología de *Anartia fatima*, mientras que la simetría bilateral sugiere un desarrollo estable en la especie.

AGRADECIMIENTOS

A Ezequiel Pablo por su valiosa cooperación al permitirnos entrar a la Finca El Paraíso y guiarnos por el lugar y al estudiante Gerardo José Montecinos Morán por ayudar en la colecta de los ejemplares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade-C., M. G., Henao Bañol, E. R., y Triviño, P. (2013). Técnicas y procesamiento para la recolección, preservación y montaje de mariposas en estudios de biodiversidad y conservación. (Lepidoptera: hesperioidea - papilionoidea). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(144), 311-325.
- Calero, R. (2021). *Anartia fatima* (Nymphalidae). Área de Conservación Guanacaste. <https://www.acguanacaste.ac.cr/paginas-de-especies/insectos/5181-i-anartia-fatima-i-nymphalidae>
- Charlin, J. E., y Hernández Llosas, M. I. (2016). Morfometría geométrica y representaciones rupestres: explorando las aplicaciones de los métodos basados en landmarks. *Arqueología (Buenos Aires)*, 22(1), 103-125. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Arqueología. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/52621>.
- De Luna, E. (2020). Integrando análisis morfométricos y filogenéticos: de la sistemática fenética a la morfometría filogenética. *Acta Botánica Mexicana*, 127. <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1640>
- Escobar Suárez, S. M. (2022). *¿Una mariposa sin mal de altura?: Ecología y morfometría alar de Vanessa carye (Hübler 1812) (Lepidoptera: Nymphalidae) a distintos gradientes altitudinales en el Altiplano chileno (0-5200 msnm)*. Tesis de Magíster en Ciencias Mención Zoología, Universidad de Concepción, Chile. <https://repositorio.udec.cl/server/api/core/bitstreams/3a1515a6-d9e6-48ab-a256-1d596bc65a06/content>
- Emmel, T. C. (1972). Mate Selection and Balanced Polymorphism in the Tropical Nymphalid Butterfly, *Anartia fatima*. *Evolution*, 26(1), 96-107. <https://doi.org/10.2307/2406986>
- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353-357. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>
- Klingenberg, C. P., & McIntyre, G. S. (1998). Geometric morphometrics of developmental instability: analyzing patterns of fluctuating asymmetry with Procrustes methods. *Evolution*, 52(5), 1363-1375. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1998.tb02018.x>
- Moré, M., Marini Filho, O. J., y Amorim, F. W. (2022). Mariposas y polillas (Lepidoptera) y su rol como polinizadores. En N. P. Ghilardi-Lopes y E. E. Zattara (Eds.), *Ciencia ciudadana y polinizadores de América del Sur* (pp. 47-55). Cubo Multimídia. <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/978-65-86819-21-2.s02c05.es>
- Moreno, A. (2019). Cuantificando la variación de las formas: aplicaciones de la morfometría geométrica alar de Lepidoptera (Insecta). *Anartia*, 28, 7-17. Universidad del Zulia, Museo de Biología. Recuperado de <https://archive.org/details/anartia-31230-32272>
- Rohlf, F. J. (2006). tpsDig, Digitize Landmarks and Outlines, Version 2.05. Stony Brook, NY: Department of Ecology and Evolution, State University of New York. Recuperado

en <https://www.sbmorphometrics.org/soft-dataacq.html>

Singh, V. K., Joshi, P. C., & Gupta, S. K. (2020). Molecular and morphometric divergence of four species of butterflies (Nymphalidae and Pieridae) from the Western Himalaya, India. *Molecular Biology Reports*, 47(11), 8687-8699. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05913-6>

Universidad Francisco Marroquín. (s. f). *Anartia fatima*. Arboretum UFM. <https://arboretum.ufm.edu/animales/anartia-fatima/>

Zepeda Aguilar, J. A., y Estrada Samayoa, L. (2011). *Inventario de mariposas del Área Natural Protegida El Espino – Bosque Los Pericos*. SalvaNATURA. Recuperado de http://www.salvanatura.org.sv/wp-content/uploads/2015/08/INVETARIO-MARIPOSAS_PDB_-MLQ-2012.pdf