

Análisis de componentes principales en alas de *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) silvestres de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú. La Libertad, Perú

Principal component analysis in wild *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) wings from Trujillo, Laredo, Casa Grande and Viru. La Libertad, Peru

Roberto Rodríguez Rodríguez

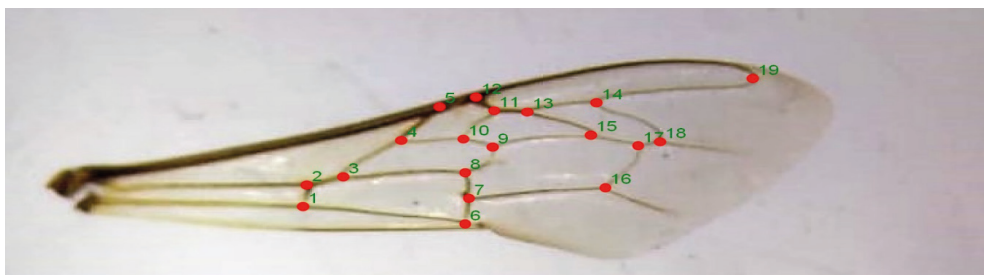
Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n,
Ciudad Universitaria, Trujillo, PERÚ

rrodriguezr@unitru.edu.pe /// <https://orcid.org/0000-0003-1557-3621>

Gaspar Ayquipa Aycho

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n,
Ciudad Universitaria, Trujillo, PERÚ

gayquipa@unitru.edu.pe /// <https://orcid.org/0000-0001-5953-4013>



Resumen

La morfometría geométrica abstrae la forma de los organismos mediante el uso de puntos de referencia, cuantifica y analiza la variación morfológica de diferentes especies. El objetivo de este trabajo fue determinar la estructura poblacional de abejas silvestres *Apis mellifera* L. de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú, mediante el análisis de componentes principales; las muestras de abejas obreras nodrizas se colectaron de noviembre del 2019 a marzo del 2020 y se conservaron en alcohol al 70%, luego se trasladaron al laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo, se hizo el montaje de alas mesotorácicas derechas y se tomaron imágenes de éstas en el formato JPG, con la cámara de celular Samsung J6PLUS calibrada con el estereoscopio Euromex. Se utilizó una laptop HP Intel Core i5 y se creó un archivo tps de las imágenes mediante software tpsUtil64 versión 1,81; luego con el tpsDig2 versión 2,32 se colocaron 19 puntos anatómicos de referencia, que se convirtieron en coordenadas en un plano bidimensional y se guardaron en el mismo archivo; después, se usó el programa MorphoJ y se realizaron los análisis de procrustes y de componentes principales. Se encontraron que los dos primeros componentes explicaron el 30,85% de la varianza acumulada, el primero con 17,34% y el segundo con 13,51%, con una superposición significativa entre las abejas de los cuatro lugares, no existe diferencia significativa entre el extremo negativo del PC1 y el extremo positivo del PC1 según los esquemas de contorno deformado de las alas. El análisis de componentes principales demuestra que las colonias silvestres de *A. mellifera* investigadas son muy homogéneas genéticamente.

Palabras claves: Morfometría geométrica; análisis de componentes principales; *Apis mellifera*

Abstract

Geometric morphometry abstracts the shape of organisms by using reference points, quantifies and analyzes the morphological variation of different species. The objective of this work was to determine the population structure of wild bees *Apis mellifera* L. from Trujillo, Laredo, Casa Grande and Viru, by means of principal component analysis; samples of nurse worker bees were collected from November 2019 to March 2020 and preserved in 70% alcohol, then they were transferred to the Entomology laboratory of the Faculty of Biological Sciences of the National University of Trujillo, the right mesothoracic wings were mounted and images of these were taken in JPG format, with the Samsung J6PLUS cell phone camera calibrated with the Euromex stereoscope. An HP Intel Core i5 laptop was used and a tps file of the images was created using tpsUtil64 version 1.81 software; then with tpsDig2 version 2.32, 19 anatomical reference points were placed, converted into coordinates in a two-dimensional plane and saved in the same file; then, MorphoJ software was used and procrustes and principal component analyses were performed. The first two components were found to explain 30.85% of the cumulative variance, the first with 17.34% and the second with 13.51%, with a significant overlap between the bees of the four locations, there is no significant difference between the negative end of PC1 and the positive end of PC1 according to the deformed wing contour diagrams. Principal component analysis shows that the investigated wild *A. mellifera* colonies are genetically very homogeneous.

Keywords: Geometric morphometry; principal component analysis; *Apis mellifera*.

Citación: Rodríguez, R. & G. Ayquipa. 2023. Análisis de componentes principales en alas de *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) silvestres de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú. La Libertad, Perú. Arnaldoa 30 (2): 193-208 doi:<http://doi.org/10.22497/arnaldoa.302.30207>

Introducción

La morfometría geométrica (MG) permite abstraer la forma de los organismos mediante el uso de puntos de referencia, cuantifica y analiza la variación morfológica, y se complementa con la cuantificación de la covarianza entre la morfología y otras variables de origen genético, climático, geográfico y otras. Con el desarrollo de la informática, ahora es posible automatizar el proceso de toma de mediciones, la manipulación de grandes matrices de datos y los análisis multivariados con un despliegue de gráficas muy elaboradas. Por tanto, la morfometría contribuye a dar respuesta a problemas de taxonomía y biología evolutiva, de tal manera que puede precisar cuantitativamente la variación morfológica presente en las poblaciones, investigar el origen y la naturaleza de la biodiversidad, así como los factores que afectan la morfología, apoyar la taxonomía, en particular en poblaciones de estatus taxonómico dudoso, detectar patrones evolutivos y afirmar los estudios filogenéticos (Garzón *et al.*, 2016; Jaramillo-Ocampo, 2011; Toro *et al.*, 2010).

Las alas de los insectos son idóneas para la investigación taxonómica mediante MG, según demuestran varios trabajos que permitieron aclarar diversos aspectos relacionados con la variabilidad morfológica en relación a los hábitats. Romero-Zuñiga *et al.* (2018), procesaron ortópteros Tettigoniidae de Brasil y Colombia; asimismo, Paredes (2015), en el estado de Bahía, Brasil, trabajó con poblaciones de *Gynaikothrips uzeli* y *Gynaikothrips ficorum*; Aldana *et al.* (2011), encontraron adaptación domiciliaria de *Panstrongylus geniculatus* en Caracas, Venezuela; en Chile, Espinoza-Donoso *et al.* (2020), diferenciaron sexualmente a *Cicindelidia trifasciata*. En

Colombia, Moreno-Fonseca & Amat-García (2016), caracterizaron grupos de escarabajos pasálidos; Martínez (2018), Calle *et al.* (2008) y Cárdenas (2018) demostraron la utilidad de la MG en culicidos; también Garzón *et al.* (2016) en Buenos Aires, Argentina. De igual manera Macedo (2017a), Macedo (2017b) y Da Siveira (2011) determinaron con una alta tasa de fiabilidad, especies de Calliphoridae y Sarcophagidae en Brasil.

Según Lopes (2009), la determinación de especies y sub especies de *A. mellifera* L. y la introgresión genética en las abejas africanizadas, se puede realizar con análisis de isoenzimas, polimorfismo del ADN mitocondrial, hidrocarburos cuticulares y ADN nuclear; pero, estas técnicas requieren de gran inversión en laboratorios con equipos sofisticados, reactivos especializados y personal altamente capacitado; por consiguiente comparó la morfometría tradicional, MG, el sistema ABIS y procesó datos obtenidos de alas de abejas y encontró que la MG acertó en un 99,5% en la determinación de sub especies de *A. mellifera*; por tanto, recomienda el uso de este método como la mejor alternativa para las investigaciones de insectos sociales, por ser fácil y de rápida aplicación; así como por el acceso libre de los softwares. Francois (2007) y Francois & Imperatriz (2010), consideran que el uso MG, además de su fácil aplicación, también permiten dilucidar con mayor eficiencia las situaciones problemáticas en la taxonomía de las abejas.

Benitez *et al.* (2014), colectaron muestras de abejas de cuatro colmenares y de una colonia silvestre en la provincia de Granma en Cuba, y las procesaron mediante MG, para lo cual ubicaron 19 puntos anatómicos en las uniones de las venas del ala mesotorácica derecha, realizaron los análisis correspondientes

y encontraron diferencias significativas en la venación de las abejas comerciales respecto a las silvestres. Asimismo, Santos *et al.* (2019), emplearon el mismo método para verificar posibles diferencias entre poblaciones de abejas africanizadas de la región costera y del interior de Piauí en Brasil y lograron diferenciar la sub especie evaluada y verificaron el posicionamiento racial de las abejas africanizadas de Piauí. En la península Ibérica se pudo establecer el padrón de diversidad genética de las abejas *A. mellifera* (Henriques *et al.* 2020) y su estructura poblacional (Chávez-Galarza *et al.*, 2016).

En la actualidad, en la costa norte de Perú y en especial en el ámbito del Proyecto de Irrigación CHAVIMOCHIC se ha incrementado la actividad apícola, con el uso de miles de colmenas, para la polinización de frutales de agro exportación tales palto, arándano, cítricos y mango; por consiguiente, el uso de abejas está directamente relacionado con la productividad de estos cultivos. Por lo tanto, hay necesidad de promover investigaciones, para comprender la diversidad de este recurso biológico, de ahí la importancia de este trabajo que tiene por objetivo, determinar la estructura poblacional de abejas silvestres *Apis mellifera* de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú, mediante el análisis de componentes principales.

Materiales y Métodos

Colección de especímenes de *Apis mellifera*

Se ubicaron 10 colonias silvestres de *Apis mellifera* en cada una de las localidades de Trujillo (2 en la Urbanización Natasha Alta, 4 en la ciudad universitaria UNT, 3 en Urbanización San Andrés, 1 en la

Urbanización San Isidro), Laredo (3 en San Borja, 1 en Galindo, 3 en Conache, 3 en Pampas de San Juan), Casa Grande (3 en Santa Clara, 3 en Mocan, 4 en Licapa) y Virú (4 en el Fundo Talsa, 3 en el Fundo Avo Perú, 3 en Calunga), en la costa del departamento de La Libertad, la colecta se realizó entre noviembre del 2019 a marzo del 2020. Según Yániz *et al.* (2016), de cada colonia se capturaron 10 obreras nodrizas al azar (Sokal & Rohlf, 2015), las que fueron conservadas en frascos de plástico de 100 ml con alcohol al 70% (Triplehorn & Johnson, 2005) y etiquetados según lugar y fecha (Anexo 1), luego las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Entomología, del Pabellón Antonio Samanamud Romero, Sección de Zoología, Facultad de Ciencias Biológicas, ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Trujillo, para el montaje y toma de imágenes de las alas.

Montaje y toma de imágenes de alas anteriores derechas de obreras

Según Chávez-Galarza *et al.* (2016) y Francois *et al.* (2008), de cada 10 obreras nodrizas se escogieron 5 especímenes al azar, de cada muestra colectada según colonia y localidad; se separó el ala anterior derecha, se procedió al montaje en fresco de cada una de las alas en una gota de agua destilada sobre una lámina porta objetos, luego se colocó otra lámina que fueron selladas con esmalte incoloro marca Vogue Fantastic (Anexo 2), después los montajes se dispusieron en una bandeja de plástico según la localidad.

La toma de imágenes de cada una de las alas, se hizo en el formato JPG con la cámara de celular Samsung J6PLUS calibrada con el estereoscopio Euromex (Anexo 3).

Ubicación y digitalización de los puntos anatómicos de referencia en las alas

Las imágenes de las alas de las abejas, se pasaron del archivo del celular a una laptop HP Intel Core i5 y se creó un archivo tps mediante el software tpsUtil64 versión 1,81 (Rohlf, 2008), y se guardaron como imágenes 2D (Anexo 4). En cada una de las alas, contenidas en el archivo tps, y mediante el software tpsDig2 versión 2,32 (Rohlf, 2006), se colocaron 19 puntos anatómicos de referencia (PAR), que según Francois (2007) corresponden a las intersecciones de las venas (Anexo 5). Estos puntos se transformaron en un plano cartesiano bidimensional y fueron almacenadas en el mismo archivo.

Análisis de los datos

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Se creó un registro de datos a partir del archivo tps que fue elaborado en tpsDig 2 versión 2,32 con los 19 PARS digitalizados y se identificaron a los individuos según apiario.

Posteriormente con el programa MorphoJ (Klingenberg, 2011), se ingresó el registro de datos y se clasificaron a todos los especímenes según apiario de procedencia. Se realizó el análisis de procrustes (Anexo 6), se creó una matriz de covarianza y se hizo el análisis de componentes principales, para describir las variaciones morfológicas entre los especímenes.

Resultados

Con el análisis se obtuvieron 34 componentes principales, los dos primeros explicaron el 30,85% de la varianza total, el primero con 17,34% y el segundo con 13,51% (Tabla 1). A partir de 19 Puntos Anatómicos de Referencia (PARS) en el ala derecha anterior de *A. mellifera* casta obrera, se demostró una superposición importante entre los individuos colectados de distintas

colmenas de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú (Fig.1). Asimismo, en los esquemas de contorno deformado de los CP se observa una diferencia no significativa entre el extremo negativo del CP1 (Fig. 2) y el extremo positivo del CP1 (Fig. 3).

El solapamiento entre los puntos conformantes brinda la certeza de que no hay diferencias en la conformación morfométrica de los individuos analizados, esto explicaría que los especímenes analizados de las distintas colmenas de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú comparten las mismas características morfológicas.

Tablas y figuras

Tabla 1. Los primeros diez valores propios y varianza del análisis de componentes principales del ala anterior derecha de abejas obreras *Apis mellifera* L. de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú. La libertad, Perú.

Componentes principales	Valores propios	Varianza %	Acumulativa %
1	0,00014167	17,34	17,34
2	0,00011035	13,51	30,85
3	0,00009087	11,12	41,98
4	0,00006416	7,85	49,83
5	0,0000464	5,68	55,51
6	0,00004475	5,47	60,99
7	0,00003659	4,48	65,47
8	0,00003433	4,20	69,68
9	0,00002974	3,64	73,32
10	0,00002444	2,99	76,31

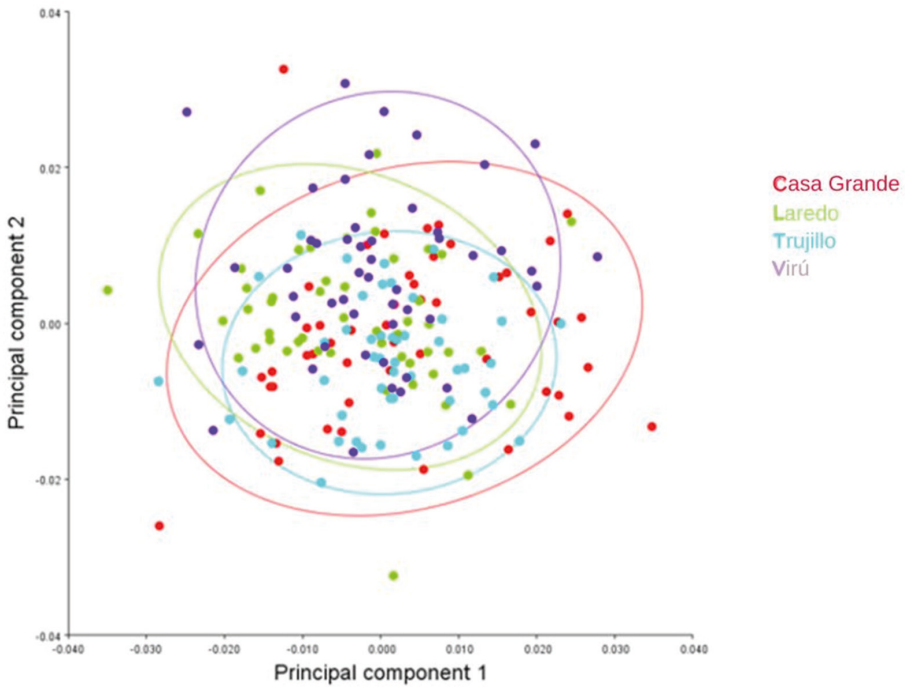


Fig. 1. Diagrama de dispersión del análisis de componentes principales de las coordenadas cartesianas de 19 Puntos Anatómicos de Referencia de las alas derechas anteriores de obreras de *Apis mellifera* L. de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú. La Libertad, Perú.

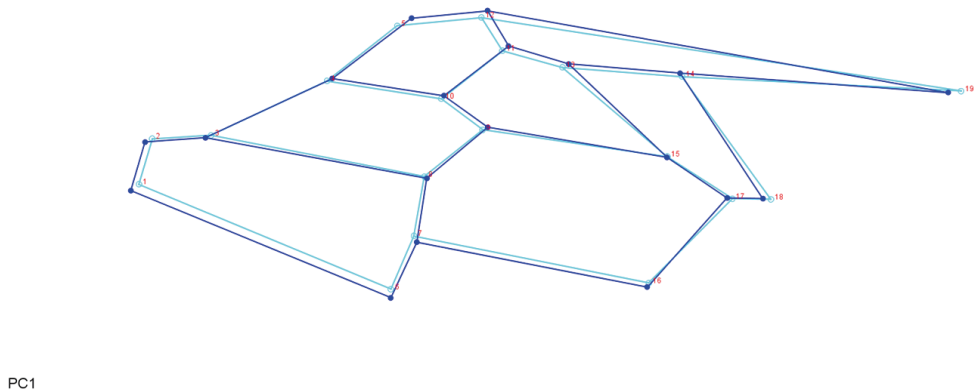
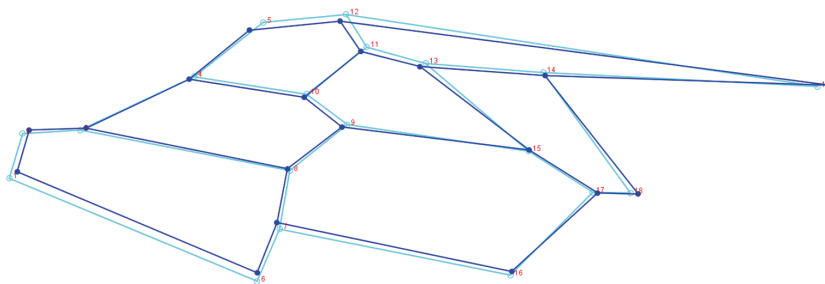


Fig. 2. Esquema de contorno deformado de las alas anteriores derechas de las alas anteriores derechas de *Apis mellifera* L. de Trujillo, Laredo Casa Grande y Virú, La Libertad, Perú, en el extremo más negativo del CP1 (-0,035)



PC1

Fig. 3. Esquema de contorno deformado de las alas anteriores derechas de las alas anteriores derechas de *Apis mellifera* L. de Trujillo, Laredo Casa Grande y Virú, La Libertad, Perú, en el extremo más positivo del CP (0,035)

Discusión

De acuerdo con el análisis de componentes principales (Tabla 1), se observa que los dos primeros componentes explican el 30,85% de la varianza acumulativa de deformaciones de las alas mesotorácicas derechas de las obreras *A. mellifera* de los cuatro lugares donde se colectaron las muestras, el primero con 17,34% y el segundo con 13,51% de varianza respectivamente, estos componentes demuestran la posibilidad en la baja variación de la forma entre todos los especímenes; al respecto, Salatnaya *et al.* (2019), con el ACP para el caso de las abejas con aguijón del género *Tetragonula*, encontraron que solo dos componentes principales alcanzan el 85,8%, por tanto, esto indica diversidad expresada en tres especies diferentes, *Tetragonula chlypearis*, *T. sapiens*, *T. biroii*; cada una de ellas asociadas a las características geográficas del lugar que habitan.

En la fig. 1, se demuestra que a partir de contrastar los 19 PARS, ubicados en el ala anterior derecha de las abejas obreras, hay una evidente superposición de las

elipses de confianza que representan a las abejas obreras de cada una de las cuatro localidades, lo que indicaría que las colonias contienen las mismas características morfológicas. Los datos analizados, teniendo en consideración las localidades de donde provienen, mediante el ACP, indican un solapamiento significativo. Según Whinemiller (1991), una semejanza en la morfología, podría estar relacionado con el nicho ecológico, por lo que las abejas investigadas al compartir el mismo macro hábitat, de la costa del departamento de La Libertad, en consecuencia, en la zona de estudio predominan abejas que comparten las mismas características fenotípicas (Marín-Leyva *et al.* 2019).

Asimismo, en la fig. 1, las elipses que representan a las abejas de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú se solapan, sobre esto, De Souza *et al.* (2015), lograron diferenciar grupos de abejas reinas criadas in vitro, abejas reinas naturales y obreras naturales; en estos casos el análisis de componentes principales fue determinante para identificar los taxones o castas según su crianza. Con una técnica similar y

complementadas con caracterización genética, Özdiil *et al.* (2022), encontraron varias sub especies de abejas obreras que se diferenciaron notablemente en distintas localidades de Tracia en Turquía, por lo que atribuyeron a los accidentes geográficos de la zona. En el presente trabajo las colonias de abejas se distribuyeron en hábitats muy similares de la costa de La Libertad, Perú.

En las figs. 2 y 3 se observa la poca diferencia en la variación de formas de estas abejas, de un extremo positivo a un extremo negativo (-0, 035 y 0, 035) del componente principal 1; es decir, que a pesar de ser extremos relativamente lejanos los esquemas de contorno de las alas no se deforman demasiado con respecto al otro extremo, este resultado también apoyaría la evidencia que las abejas investigadas serían poblaciones de características morfológicas similares. Por esta misma técnica Abed *et al.* (2021), hallaron una gran diferencia significativa en la forma del ala anterior derecha entre las sub especies endémicas *Apis mellifera intermissa* y *A. m. sahariensis*; de igual manera Aglagane *et al.* (2022), encontraron diferencias significativas en cuanto a la forma de las alas, de cuatro poblaciones respecto a las subespecies *A. m. sahariensis*, *A. m. intermissa*, debido posiblemente a un proceso de hibridación natural en el Sahara, Marruecos.

Los datos procesados a partir de PARS, en las alas mesotorácicas derechas de las abejas obreras, mediante morfometría geométrica en este trabajo, son significativos para determinar la variabilidad morfológica de las poblaciones de abejas en la costa de La Libertad; de manera similar Barour & Baylac (2016), trabajaron con la finalidad de discriminar a tres sub especies, *A. m. intermissa* y *A. m. sahariensis* de Argelia y, *A. m. capensis* de Sudáfrica y hallaron tasas de clasificación de validación cruzada

muy altas. Asimismo, Dolatti *et al.* (2013), basados en las variables de forma de las alas delanteras, encontraron diferencias significativas en poblaciones de abejas europeas en nueve localidades de Irán; del mismo modo, Masaquiza *et al.* (2023) en Cuba, reportaron que el 96% de abejas procesadas y con un patrón bien definido de la forma de las alas, las clasificaron como híbridos de este país con una gran similitud con *A. m. mellifera*, sin presencia de abejas africanizadas. Además, Franco *et al.* (2008), con el procesamiento de las alas por morfometría geométrica, corroboraron la eficiencia para determinar las características de las abejas africanizadas en Brasil; se debe de tener en cuenta que estos ápidos también están presentes en la costa norte de Perú.

Conclusiones

El análisis de componentes principales demuestra que las colonias silvestres de *Apis mellifera* L. de las localidades de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú son muy homogéneas genéticamente.

Agradecimientos

Al Ing. Segundo Chacón Briones, Sra. Delicia Tello Cotrina, Marcos Eduardo Vásquez Sarachaga y Sr. Andrés Ventura Mendoza por el apoyo en la ubicación de las colmenas silvestres

Contribución de los autores

R.R.: Concepción, análisis e interpretación de los resultados y aprobación de la versión final. G.A.: Análisis e interpretación de los resultados y aprobación de la versión final.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Literatura citada

- Abed, F.; B. Bachir- Bouiadjra; L. Dahloum; A. Yakubu; A. Haddad & A. Homrani.** 2021. Procruste analysis of forewing shape in two endemic honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa* and *A. m. sahariensis* from the Northwest of Algeria. *Biodiversitas*, 22(1), 154-164. doi:<https://doi.org/10.13057/biodiv/d220121>
- Aglagane, A. ; A. Tofilski; O. Er-Rguibi; E. Laghzaoui; L. Kimdil; E. El Mouden; S.Fuchs; A. Oleksa; A. Aamiri & M. Aourir.** 2022. Geographical Variation of Honey Bee (*Apis mellifera* L. 1758) Populations in South-Eastern Morocco: A Geometric Morphometric Analysis. *Insects*, 13(3), 288. doi:<https://doi.org/10.3390/insects13030288>
- Aldana, E.; E. Heredia-Coronado; F. Avendaño-Rangel; E. Lizano; J. Concepción; R. Bonfante-Cabarcas; C. Rodríguez-Bonfante & M. Pulido.** 2011. Análisis morfométrico de *Panstrongylus geniculatus* de Caracas, Venezuela. *Biomedica*, 31, 108-117. doi:[10.7705/biomedica.v31i1.341](https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i1.341)
- Barour, C. & M. Baylac.** 2016. Geometric morphometric discrimination of the three African honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa*, *A. m. sahariensis* and *A. m. capensis* (Hymenoptera, Apidae): Fore wing and hind wing landmark configurations. *Journal of Hymenoptera Research*, 52, 61-70. doi:<https://doi.org/10.3897/jhr.52.8787>
- Benitez, L.; A. Rodríguez; A. Martínez & E. Mederos.** 2014. Descripción del diseño de venación del ala anterior de la abeja de la miel (*Apis mellifera*) en Granma, Cuba. *Apiciencia*, 16(1), 1 -11. https://www.researchgate.net/publication/313305604_DESCRIPCION_DEL_DISENO_DE_VENACION_DEL_ALA_ANTERIOR_DE_LA_ABEJA_DE_LA_MIEL_Apis_mellifera_EN_GRANMA_CUBA
- Calle, D.; M. Quiñones; H. Erazo & N. Jaramillo.** 2008. Discriminación por morfometría geométrica de once especies de *Anopheles* (*Nyssorhynchus*) presentes en Colombia. *Biomédicas*, 28, 3741-385. <http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v28n3/v28n3a07.pdf>
- Cárdenas, H.** 2018. Análisis de la variación fenotípicas de manchas costales de *Anopheles* (*Nyssorhynchus*) en Colombia. [Tesis de doctorado, Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/14359/CB-0575195.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chávez-Galarza, J.; C. Neves; J. Teixeira; D. Henriques; T. Franco y M. Pinto.** 2016. Estrutura populacional da abelha ibérica (*Apis mellifera iberiensis*) inferida por análise de morfometria geométrica em obreiras.. Libro de Resúmenes del IV Congreso Ibérico de Apicultura , Salamanca. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/14541/1/Resumo%20Chavez-Galarza.pdf>
- Da Siveira, B.** 2011. Morfometria geométrica comparativa de asas de Sarcophagidae (Diptera) de interesse forense: uma ferramenta eficaz para a identificação? [Tese de mestrado, Universidade Federal do Paraná]. <https://acervodigital.ufrpr.br/bitstream/handle/1884/28308/R%20-%20D%20-%20BEATRIZ%20ERN%20DA%20SILVEIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De Souza, D. A.; Y. Wang; O. Kaftanoglu; D. De Jong; G.V. Amdam; S.L. Gonçalves & T.M. Franco y.** 2015. Morphometric Identification of Queens, Workers and Intermediates in *In Vitro* Reared Honey Bees (*Apis mellifera*). *PLoS ONE*, 10(4), 1-14. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?type=printable&id=10.1371/journal.pone.0123663>
- Dolatti, L.; J.N. Rafie & H. Kholesro.** 2013. Landmark-Based morphometric study in the fore and hind wings of an iranian race of european honeybee (*Apis mellifera meda*). *Journal of Apicultural Science*, 57(2), 187-196. doi:<https://doi.org/10.2478/jas-2013-0028>
- Espinoza-Donoso, S.; M. Angulo-Montoya; D. Lemic & H. Benitez.** 2020. Assessing the influence of allometry on sexual and non-sexual traits: An example in *Cicindelidia trifasciata* (Coleoptera: Cicindelinae) using geometric morphometrics. *Zoologischer Anzeiger*, 287, 61-66. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcz.2020.05.009>
- Francois, T.** 2007. Variabilidade genético-morfológica em populações neotropicais de *Apis mellifera*. [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo]. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/17/17135/tde-07042008-075730/publico/TeseTiagoMFrancoy.pdf>
- Francois, T.M. & V.L. Imperatriz.** 2010. A morfometria geométrica de asas e a identificação automática de espécies de abelhas. *Oecologia Australis*, 14(1), 317 - 321. doi:[10.4257/oeco.2010.1401.20](https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1401.20)
- Francoy, T.M.; D. Wittmann; M. Drauschke; M. Drauschke; S. Müller; V. Steinhage; M. Bezerra-Laure; D. DeJong & L.S. Gonçalves.** 2008. Identification of Africanized honey bees through wing morphometrics: two fast and efficient procedures. *Apidologie*, 39(5). doi:<https://doi.org/10.1051/apido:2008028>

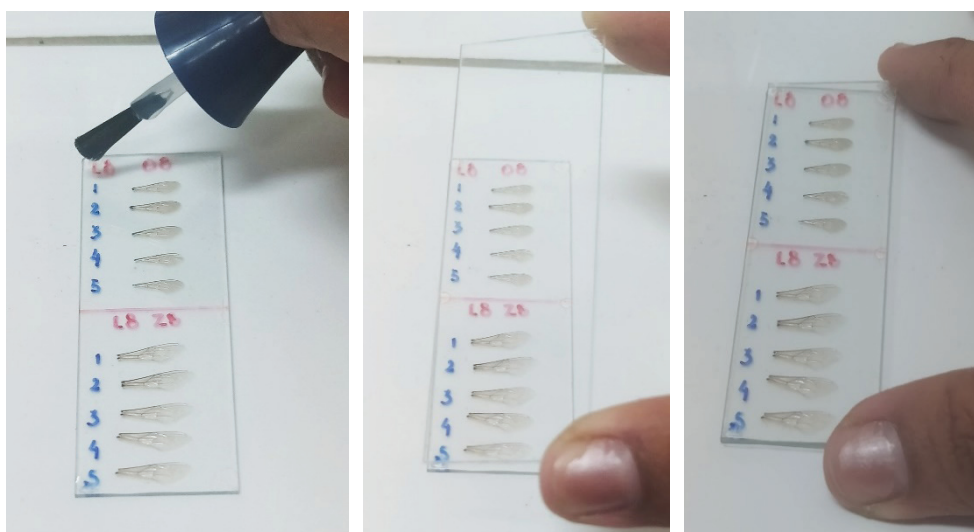
- Garzón, M.; I. Alem & N. Schweigmann.** 2016. Morfometría geométrica aplicada a la distribución geográfica de culícidos. En C. Berón, R. Campos, R. Gleisser, L. Diaz Nieto, O., Salomón & N. Schweigmann (Eds). Investigaciones sobre mosquitos de Argentina (págs. 72- 82). https://www.researchgate.net/publication/325996259_Investigaciones_sobre_mosquitos_de_Argentina
- Henriques, D.; J. Chavez- Galarza; J. Teixeira; H. Ferreira; C. Neves; T. Franco & M. Pinto.** 2020. As Asas da Abelha Ibérica Informam Sobre o Padrão de Diversidade Genética Existente na Península Ibérica. *O Apicultor*(108), 1-5. http://sites.esa.ipb.pt/pdf/apinto5_20.pdf
- Jaramillo-Ocampo, N.** 2011. Morfometría geométrica: principios teóricos y métodos de empleo. En A. M. Omar Triana Chávez, Fronteras de investigación en enfermedades infecciosas. Modelo de enfermedad de Chagas. (págs. 69-87). Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia. https://www.researchgate.net/publication/237522938_Morfometria_geometrica_principios_teoricos_y_métodos_de_empleo?enrichId=rgreq-5d3ee770f1d3e9abd88a4e6745a1f08bXXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIzNzUyMjkzODtBUzoxMDE3Nzk0Njc0MDcZnZdA-MTQwMTI3NzUyNDk2Mw%3D%3D
- Klingerberg, C.** 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric. *Molecular Ecology Resources*, 11, 353-357. doi: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x
- Lopes, M.** 2009. Discriminação morfométrica de 26 subespécies de *Apis mellifera* L. e abelhas africanizadas por técnicas de morfometria tradicional, morfometria geométrica e sistema ABIS de identificação automática de espécies. [Dissertação de mestrado, Universidade de Sao Paulo]. https://www.ffclrp.usp.br/imagens_defesas/02_05_2013_16_03_56__45.pdf
- Macedo, M.** 2017a. Morfometria geométrica alar como ferramenta para a identificação de três espécies de califorídeos (Diptera:Calliphoridae) no Cerrado Brasileiro. *EntomoBrasilis*, 10(1), 9-13. doi:10.12741/ebrasilis.v10i1.655
- Macedo, M.** 2017b. Morfometria geométrica alar como ferramenta para a identificação de *Lucilia sericata* e *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae). *Rev. Bras. Crimin.*, 6(1), 62-65. doi:<http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v6i1.142>
- Marín-Leyva, A.H.; M.T. Alberdi; M.L. García-Zepeda; J. Ponce-Saavedra; P. Schaaf; J. Arroyo-Cabrales & M. Bastir.** 2019. Morfometría geométrica en elementos óseos postcraneales de los caballos del Pleistoceno tardío en México: implicaciones taxonómicas y ecomorfológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(2), 195-206. <https://www.redalyc.org/journal/572/57265251005/html/>
- Martinez, L.** 2018. Morfometría geométrica en las alas de *Aedes aegypti* en dos poblaciones endémicas de dengue en Colombia. [Tesis de pre grado, Universidad de la Salle]. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1034&context=biologia>
- Masaquiza, D.; M.O. Ferrán; S. Guamán; E. Naranjo; M. Vaca; L.M. Curbelo & M. Arenal.** 2023. Geometric Morphometric Analysis of Wing Shape to Identify Populations of *Apis mellifera* in Camagüey, Cuba. *Insects*, 14(3), 306. doi:<https://doi.org/10.3390/insects14030306>
- Moreno-Fonseca, C. & G. Amat-García.** 2016. Morfoecología de gremios en escarabajos (Coleoptera: Passalidae) en un gradiente altitudinal en robleales de la Cordillera Oriental, Colombia. *Rev. Biol. Trop.*, 64(1), 305-319. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44943437025>
- Özdil,F.; D. Oskay; R. Işık; S.Yatkin; A. Aydin & A.Güler.** 2022. Morphometric and genetic characterization of honey bees. *Journal of Apicultural Science*, 66(1), 67-83. doi:<http://dx.doi.org/10.2478/jas-2022-0005>
- Paredes, P.** 2015. Morfometría geométrica aplicada a estudos sobre a biología e a diversidade no genero *Gynaikothrips* (Thysanoptera:Phlaeothripidae). [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia]. <http://www2.uesb.br/ppg/ppggbc2/wp-content/uploads/2017/12/Priscila-watermark.pdf>
- 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. <https://www.sbmorphometrics.org/soft-data-acq.html>
- Rohlf, F. J.** 2008. tpsUtil, file utility program. version 1.40. Department of Ecology and Evolution, StateUniversity of New York at Stony Brook. <https://www.sbmorphometrics.org/soft-utility.html>
- Romero-Zuñiga, R.; J. Chamarro-Rengifo & C. Lopes-Andrade.** 2018. Morfometría comparada de las tegminas de saltamontes (Orthoptera: Tettigonidae). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 22(1), 151-162. doi:10.17151/bccm.2018.22.1.13

- Salatnaya, H.; M. F. Asnath; C. Sumantri; Widiatmaka & S. Kahoho.** 2019. Diversity of Stingless Bees Based on Principal Component Analysis in Halmahera Island, Indonesia. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 9, 262-268. doi:10.17265/2161-6256/2019.04.006
- Santos, F.; D. Costa; A. Azevedo; J. Guimarães; J. do Nascimento; L. Andrade; J. Verzignassi; F. Paludo; P. Bezerra; J. Gomes & J. Da Silva.** 2019. Morfometría geométrica das asas permite verificar o posicionamento racial de abelhas africanizadas. *Pubvet*, 13(11), 1-7. doi:<https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n11a453.1-7>
- Sokal, R. & F. Rohlf.** 2015. *Introducción a la Bioestadística*. Reverté S.A.
- Toro, M.; G. Manriquez & I. Suazo.** 2010. Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. *Int. J. Morphol.*, 28(4), 977-990. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v28n4/art01.pdf>
- Triplehorn, C. & N. Johnson.** 2005. Borror and DeLong's introduction to the study of insects. https://www.academia.edu/30669150/Borror_and_DeLong_2005_Study_of_Insects
- Whinemiller, K.** 1991. Ecomorphological Diversification in Lowland Freshwater Fish Assemblages from Five Biotic Regions. *Ecological Society of America*, 61(4), 343-365. doi:<https://doi.org/10.2307/2937046>
- Yániz, J. ; E. Ángel; P. Martín-Ramos; E. Sales & P. Santolaria,** 2016. Caracterización de la abeja melífera en la provincia de Huesca. *Lucas Mallada*, 18, 257-271. https://www.researchgate.net/publication/318987705_Caracterizacion_de_la_abeja_melifera_en_la_provincia_de_Huesca

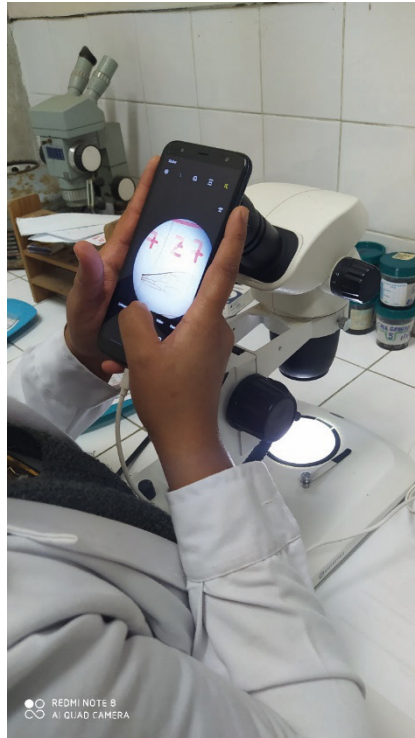
ANEXOS



Anexo 1. Frascos de plástico de 100 ml con alcohol al 70% y etiquetados, con obreras de *Apis mellifera* L. procedentes de colmenas de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú. La Libertad, Perú.



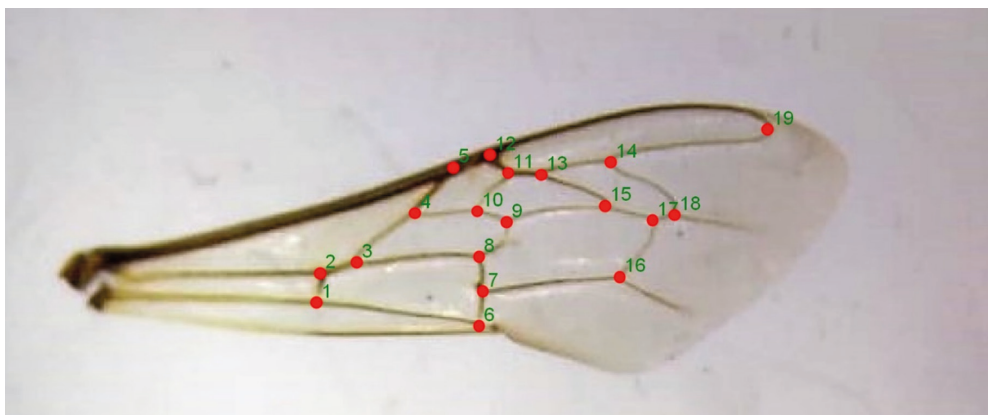
Anexo 2. Montaje en fresco en láminas porta objetos de las alas de abejas obreras de *Apis mellifera* L. procedentes de colmenas de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú. La Libertad, Perú.



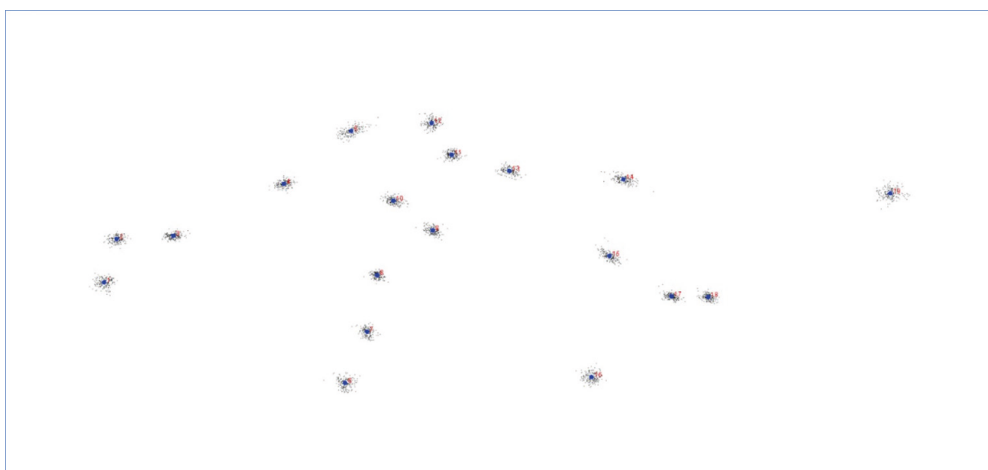
Anexo 3. Toma de imágenes de las alas de obreras de *Apis mellifera* L. procedentes de colmenas de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú. La Libertad, Perú; mediante la cámara de Samsung J6Plus calibrado con el estereoscopio Olympus.

https://drive.google.com/file/d/1cMNge67zR10h8Ns_QPjtCPdyfnH7Ni7T/view?ts=64b56c15&pli=1

Anexo 4. Archivo TPS que contiene a las imágenes en 2D de alas de obreras de *Apis mellifera* L., procedentes de colmenas de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú. La Libertad, Perú



Anexo 5. Puntos de referencia en ala anterior derecha de obreras de *Apis mellifera* L., procedentes de colmenas de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú. La Libertad, Perú.



Anexo 6. Análisis de procrustes en ala anterior derecha de obreras de *Apis mellifera* L., procedentes de colmenas de Trujillo, Laredo, Casa Grande y Virú. La Libertad, Perú.

