

<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v72i1.59197>

## Identificación taxonómica mediante estadística multivariada de la morfometría en murciélagos panameños *Carollia* (Chiroptera: Phyllostomidae)

María Morales<sup>1,2</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-4265-5510>  
Jacobó Araúz<sup>1</sup>;  <https://orcid.org/0000-0003-4143-8300>  
Jeancarlos Abrego L.<sup>1,3</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-9576-9175>  
Nelson Guevara<sup>2</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-3200-6648>  
Julio Trujillo<sup>4,5</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-3664-8058>  
Gaspar Bruner-Montero<sup>6,7</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-4614-0338>  
Emilio Romero<sup>8\*</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-3262-0656>  
Yostin Añino<sup>5,6,8,9</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-8870-8155>

1. Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá; mariiaisa14@gmail.com, jacobó.arauz@up.ac.pa; jeanscarlos1705@gmail.com
2. Fundación Biomundi, Ciudad de Panamá, Panamá; nelson2295@hotmail.com
3. Departamento de Genética y Biología Molecular, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá.
4. Departamento de Matemática, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá; julio.trujillo@up.ac.pa
5. Programa de Maestría en Estadística Aplicada, Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá; yostin0660@gmail.com
6. Estación Científica Coiba (COIBA AIP), Calle Gustavo Lara, Edificio 145B, Ciudad del Saber, 0843-01853 Clayton, Panamá; gbrunerm@gmail.com
7. Sistema Nacional de Investigación (SNI), SENACYT, Ciudad del Saber, Clayton 0843-03081, Panamá.
8. Departamento de Fisiología y Comportamiento Animal, Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá; emilio-romero2011@gmail.com (\*Correspondencia)
9. Museo de Invertebrados G.B. Fairchild, Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá.

Recibido 13-III-2024. Corregido 11-VII-2024. Aceptado 28-X-2024.

### ABSTRACT

#### Taxonomic identification using multivariate morphometric statistics in Panamanian *Carollia* bats (Chiroptera: Phyllostomidae)

**Introduction:** *Carollia* is characterized by the difficulty in identifying individuals from different species. In Panama, no study has addressed the accurate classification and identification of this genus; however, molecular and phylogenetic studies conducted in other regions of the Americas highlight the challenges of morphological differentiation. Taxonomic keys for identifying this genus tend to vary, complicating species identification in Panamanian localities.

**Objective:** To evaluate the external morphometric and morphological characteristics of *Carollia* specimens to facilitate species identification through multivariate statistical techniques.



**Methods:** We used existing data matrices, which were updated in the field from October 2022 to January 2023 using mist nets. External morphometric measurements (tail, forearm, hand wing, tibia, calcaneus, tragus, hair color, and body size) and individual characteristics were recorded. A total of 263 specimens representing the four species reported in Panama were documented. We used univariate statistics to compare each characteristic across species. Subsequently, we applied multivariate analyses, including principal component analysis (PCA), linear discriminant analysis (LDA), quadratic discriminant analysis (QDA), and partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), to identify the species based on external morphological and morphometric characteristics. Decision trees were also used for species classification.

**Results:** Linear discriminant analysis (LDA) and decision trees proved to be the best methods for species classification, achieving up to 99% accuracy. The most relevant characteristics for classification were tail and forearm lengths.

**Conclusion:** Morphometric characteristics alone do not provide sufficient discrimination among species. However, when parameters are analyzed using multivariate models, the discriminatory accuracy is significantly improved.

**Key words:** principal component analysis; discriminant analysis; decision trees.

## RESUMEN

**Introducción:** *Carollia* se caracteriza por la dificultad de identificar a los individuos de las diferentes especies. En Panamá no se ha realizado un estudio sobre la clasificación y la identificación correctas de las mismas; sin embargo, en otras regiones de América se han realizado estudios moleculares y filogenéticos que evidencian la dificultad de diferenciarlas morfológicamente. Las claves taxonómicas para la identificación de este género suelen variar, dificultando la identificación en localidades panameñas.

**Objetivo:** Evaluar las características morfométricas y morfológicas externas de especímenes de *Carollia* para facilitar la identificación de especies mediante técnicas de estadística multivariada.

**Métodos:** Utilizamos matrices de datos previas, las cuales fueron actualizadas en campo desde octubre 2022 hasta enero 2023 usando redes de niebla. Registramos medidas morfométricas externas (cola, pata, antebrazo, tibia, calcáneo, trago, color de pelaje y tamaño corporal), así como características propias de cada individuo. Registramos 263 especímenes pertenecientes a las cuatro especies reportados para Panamá. Implementamos estadística univariada para comparar cada una de las características entre las especies. Posteriormente usamos análisis multivariantes como análisis de componentes principales (PCA), análisis discriminante lineal (LDA) y cuadrático (QDA), así como un análisis discriminante de mínimos cuadrado-parciales (PLS-DA) para identificar las especies a través de sus características morfológicas y morfométricas externas. Adicionalmente empleamos árboles de decisión para la clasificación de especies.

**Resultados:** El análisis discriminante lineal (LDA) y los árboles de decisión resultaron ser la mejor opción para la clasificación de las especies hasta con un 99 % de eficiencia. Las características más relevantes para tales calificaciones son la longitud de la cola y del antebrazo.

**Conclusión:** Las características morfométricas por sí solas no permiten una discriminación adecuada de las especies. Sin embargo, al analizar los parámetros mediante modelos multivariados, la precisión de la capacidad discriminatoria mejora significativamente.

**Palabras clave:** análisis de componentes principales; análisis discriminante; árboles de decisión.

## INTRODUCCIÓN

Los murciélagos (Mammalia: Chiroptera) son el segundo orden de mamíferos más diverso que existe, solo superado por los roedores (orden Rodentia) (Jones et al., 2009). Este grupo de mamíferos voladores ha sido muy estudiado en el Neotrópico, especialmente en tópicos como ecología, diversidad y composición de comunidades (Salgado-Mejía et al., 2021), en donde disponen de extensas

distribuciones geográficas, destacando la Familia Phyllostomidae como la más abundante y común en la región Neotropical (Jiménez-Ortega, 2013). Esta familia ha experimentado cambios taxonómicos como resultado de los patrones de variación filogenética y biogeográfica (Basantes-Garcés, 2018). Además, ciertos miembros destacados de esta familia, como el género *Carollia* se han caracterizado por la dificultad asociada a su identificación (Murillo-García, 2014).

Las especies del género *Carollia* habitan desde matrices de bosques secos tropicales hasta bosques muy húmedos montanos, con registros hasta 3 000 m.s.n.m. (Cuartas et al., 2001) y se distribuyen desde Centroamérica hasta el norte de Suramérica, siendo uno de los géneros más comunes y abundantes (Ruelas & López, 2017). La dificultad para identificar las especies de este género se debe a que los caracteres utilizados en las claves taxonómicas son muy parecidos entre las especies, basándose en características morfológicas, las cuales pueden variar dependiendo de las zonas en donde habitan (Solari & Baker 2006). Entre las especies con mayor dificultad para identificar están *Carollia brevicauda* y *Carollia perspicillata*, las cuales comparten localidades y características morfológicas muy parecidas, llevando a taxónomos a utilizar estudios moleculares para la debida identificación (Zurc & Velazco, 2010).

Las claves taxonómicas utilizadas para la identificación de este género en la actualidad utilizan caracteres cuantitativos (ej.: longitud de antebrazo) y cualitativos (ej.: color de pelo); dichos caracteres pueden variar de acuerdo con la clave utilizada (Muñoz et al., 2004), lo que manifiesta la variación interespecífica que posee este género (Ruelas & López, 2017). Además, las principales claves utilizadas en Panamá (Díaz et al., 2021; Reid, 2009; Timm et al., 1999; Wilson & Mittermeier, 2019; York et al., 2019), no fueron diseñadas con especímenes de localidades panameñas, lo que aporta aún más al sesgo taxonómico en la identificación de especies, considerando las variaciones intra-específicas. Tanto los caracteres cuantitativos y cualitativos de estas claves taxonómicas son utilizados de forma puntual, es decir, no se contemplan las interacciones que podrían tener estas variables para un mayor poder discriminante de especies (Palacio et al., 2020). Una alternativa para optimizar el uso de caracteres morfológicos externos cualitativos y cuantitativos, podría ser la utilización de técnicas estadísticas multivariadas que intentan encontrar patrones de similitud y diferencias entre objetos (en nuestro caso especies) sobre la base de las variables utilizadas (Palacio et al., 2020).

Considerando el sesgo que poseen las claves utilizadas en la actualidad para la identificación de *Carollia* en Panamá, en este estudio evaluamos las características morfométricas externas para la identificación de especies mediante técnicas estadísticas multivariadas. La finalidad es proporcionar una alternativa que permita de una mejor forma la identificación de las especies de este género en localidades panameñas, especialmente las especies *C. brevicauda* y *C. perspicillata*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestras e identificación taxonómica:

Considerando que el interés de la investigación es validar el uso de métodos estadísticos multivariados para la identificación de especies, se partió de una base de datos existente. Esta base de datos fue suministrada por la Fundación Biomundi, la cual ha investigado ensamblajes de murciélagos en distintas localidades de Panamá. La base de datos fue actualizada con recolectas realizadas durante octubre 2022 hasta enero 2023. Durante las giras se colocaron tres redes de niebla de 9 y 12 m de largo y 2.5 m de alto. Tomando en consideración la vegetación de la zona, las redes fueron ubicadas en diferentes senderos, espacios abiertos y áreas cercanas a fuentes de agua. Las redes fueron abiertas desde las 18:00 hasta 24:00 horas según lo recomendado por Bracamonte (2018). La revisión de las redes se realizó cada 30-45 min según la actividad de captura. Se registraron medidas morfométricas externas, así como características propias de cada individuo (Tabla 1).

**Análisis de datos:** El estudio se basó en 263 registros de tres de las cuatro especies del género *Carollia*. Considerando que la especie *Carollia sowelli*, posee pocos especímenes registrados y medidos, esta especie fue excluida de los análisis. Se realizó un análisis exploratorio a fin de corroborar si existían diferencias significativas en los parámetros morfofuncionales (cola, pata, antebrazo, pata, tibia, calcáneo, trago y tamaño corporal), entre las especies

**Tabla 1**

Características morfológicas externas registradas para cada individuo de *Carollia* colectado. / **Table 1.** External morphological characteristics recorded for each *Carollia* individual collected.

Variable	Unidad	Tipo	Sub-tipo	Escala
Color del pelo	Castaño, Oscuro o Blanco	Cualitativa	Nominal	Nominal
Largo del antebrazo	Milímetros (mm)	Cuantitativa	Continua	Razón
Largo del trago	Milímetros (mm)	Cuantitativa	Continua	Razón
Largo de la oreja	Milímetros (mm)	Cuantitativa	Continua	Razón
Largo de la pata	Milímetros (mm)	Cuantitativa	Continua	Razón
Tamaño del cuerpo	Milímetros (mm)	Cuantitativa	Continua	Razón
Largo del calcáneo	Milímetros (mm)	Cuantitativa	Continua	Razón
Peso	Gramos (g)	Cuantitativa	Continua	Razón
Edad	Jóvenes-Adulto	Cualitativa	Ordinal	Ordinal
Sexo	Hembra-Macho	Cualitativa	Nominal	Nominal

*C. perspicillata*, *Corallia castanea* y *C. brevicauda*. Para ello se agruparon los datos de longitud, sexo y especie para cada una de las estructuras morfológicas mencionadas y se empleó un modelo lineal generalizado con distribución gamma (Tabla 1). Cabe destacar que este grupo de análisis fue aplicado a los adultos y a los juveniles por separado, considerando que, al desconocer la edad exacta de los juveniles, las variaciones asociadas a la edad podrían influir en el resultado. Se evaluó exploratoriamente también las variables morfométricas externas y su interacción mediante un análisis de componentes principales (PCA), utilizando los paquetes FactoMineR (Lê et al., 2008) y ggplot2 (Wickham et al., 2016).

Considerando que *C. castanea*, posee características morfométricas con diferencias significativas de las otras dos especies, solo se procedió a profundizar en análisis discriminantes entre *C. perspicillata* y *C. brevicauda*. Un análisis discriminante lineal (LDA) y cuadrático (QDA) se emplearon en el entorno estadístico R para investigar cómo las características morfológicas contribuyen a la identificación de diferentes especies de estos murciélagos. En nuestros análisis, utilizamos la longitud de las siguientes características morfológicas: cuerpo, antebrazo, trago, orejas, cola, pata, tibia, calcáneo. Para llevar a cabo este análisis, empleamos la función “createDataPartition” para dividir los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba. Aproximadamente el 60 % de los datos

se destinaron al conjunto de entrenamiento, mientras que el 40 % restante se asignó al conjunto de prueba. Se procedió a estimar los estadísticos descriptivos de preprocesamiento, tales como la media y desviación estándar, utilizando la función “preProcess” en los datos de entrenamiento. Estos parámetros se aplicaron tanto a los datos de entrenamiento como a los de prueba, garantizando una normalización uniforme. Luego, se realizaron predicciones en el conjunto de prueba para los modelos QDA y LDA.

La evaluación del desempeño de ambos modelos se llevó a cabo calculando la precisión, la cual se obtuvo comparando las clases predichas con las clases reales. Para llevar a cabo los análisis mencionados, utilizamos el paquete *caret* (Kuhn, 2008) para la partición de datos y la creación de modelos, *MASS* y *klaR* para la implementación de los modelos LDA y QDA, y *ggplot2* para la visualización de los resultados. Adicionalmente, se realizó un análisis discriminante de mínimos cuadrado-parciales (PLS-DA) con el paquete *MetaboAnalyst* en R (Chong et al., 2019). Para cada uno de los modelos de análisis discriminantes se utilizó exclusivamente los adultos indistintamente del sexo de los individuos.

Finalmente, se empleó el uso de árboles de decisión, para ello, se agruparon los datos por sexo. El análisis consistía en el uso exclusivo de variables morfométricas y se confeccionaron 2 árboles. Para la elaboración de estos fue necesario preparar conjuntos de entrenamiento

y prueba (50 % de los datos). Mediante el uso de la librería `DecisionTreeClassifier` se instancio un objeto, estableciendo los parámetros deseados (criterio de división y la profundidad máxima) para su posterior entrenamiento. Luego, se evaluó el rendimiento del modelo utilizando los datos de prueba (50 %, resto de datos) y se calculó la precisión (accuracy) del modelo. La visualización se realizó con la librería `export_graphviz`. Esta sección de los análisis fue realizada en Python.

## RESULTADOS

### Estadística univariada en la comparación de características morfométricas externas:

Un total de 263 especímenes pertenecientes a las especies *C. perspicillata*, *C. brevicauda* y *C. castanea* fueron analizados mediante comparaciones de media en cuanto a las características morfométricas externas (cola, pata, antebrazo, tibia, calcáneo, trago y tamaño corporal), dando como resultado que no existen diferencias significativas de ninguna de estas características entre los sexos, no obstante si existen diferencias significativas entre las especies, por ejemplo las únicas características que no poseen diferencias significativas entre las especies en adultos son la oreja y el trago, características que en juveniles, junto a la tibia y pata no son diferentes entre las especies (Tabla 2, MST1, MSF1). *C. castanea* es la especie más pequeña en cuanto a sus dimensiones morfológicas.

### Evaluación exploratoria de las variables morfométricas externas y su interacción mediante un PCA:

En los análisis de componentes principales de las variables morfométricas en adultos, las dos primeras dimensiones (PC1 y PC2) explican el 50 % de la variabilidad observada (MSF2A). El biplot indican que las variables morfométricas relacionadas a las patas y cola poseen una alta relación entre sí, a su vez, que las variables antebrazo, tibia y cuerpo presentan una tendencia similar. Estas variables presentan sus mayores puntuaciones en *C. perspicillata*. En el caso del calcáneo y la oreja, estas variables presentan una tendencia

parecida y que favorece las mayores puntuaciones hacia la especie *C. brevicauda*. Las características morfométricas tienden a ser mucho más pequeñas en *C. castanea*. En resumen, las características, más relevantes podrían estar asociadas a la longitud de la cola, antebrazo, oreja y coloración.

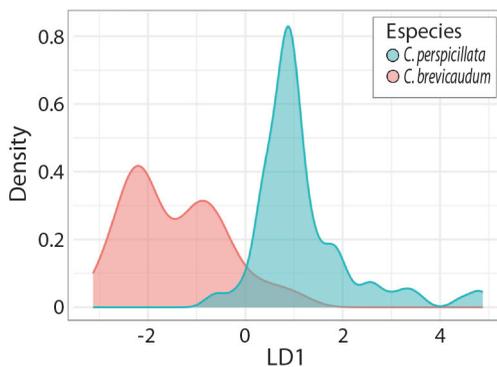
En el caso de los jóvenes, las dos primeras dimensiones (PC1 y PC2) explican el 56 % de la variabilidad (MSF2B). Este biplot presenta el mismo patrón que en los adultos y el hecho que presente una mayor representación de la variabilidad se debe a que existe mayor grado de diferencia entre las características morfométricas, en donde *C. castanea* es la especie con menor tamaño. Es importante destacar que estas características presentan mayor variabilidad por el estado de desarrollo que podría estar presentando cada individuo indistintamente de la especie.

**Tabla 2**

Comparación de variables morfométricas externas entre *Carollia perspicillata*, *Carollia castanea* y *Carollia brevicauda*. / **Tabla 2.** Comparison of external morphometric variables between *Carollia perspicillata*, *Carollia castanea* and *Carollia brevicauda*.

Edad	Características	Sexo (p - valor)	Especie (p - valor)
Adulto	Calcáneo	0.623	< 0.001
	Cuerpo	0.587	< 0.001
	Antebrazo	0.294	< 0.001
	Cola	0.094	< 0.001
	Oreja	0.163	0.098
	Pata	0.632	< 0.001
	Tibia	0.848	< 0.001
Jóvenes	Trago	0.142	0.164
	Calcáneo	0.426	0.007
	Cuerpo	0.391	< 0.001
	Antebrazo	0.786	< 0.001
	Cola	0.087	0.011
	Oreja	0.999	0.824
	Pata	0.053	0.138
	Tibia	0.512	0.064
	Trago	0.458	0.559

**Evaluación discriminante de las variables morfométricas externas mediante Análisis Discriminantes Lineales (LDA) y Cuadráticos (QDA):** A diferencia del PCA, los análisis discriminantes se basan en la inclusión de individuos a un grupo en particular, excluyéndolo del resto de los grupos en cuanto al modelo de clasificación discriminante utilizado. Los individuos de las dos especies analizadas mediante características morfométricas arrojaron una efectividad superior al 78 % (Fig. 1). Los coeficientes de discriminantes lineales indicaron que ciertas características morfológicas, como la longitud de la cola, tibia y antebrazo, pueden influir en la discriminación de especies, de hecho, solo fue posible proyectar un eje discriminante (LD1), lo que indica que existe una separación clara y efectiva entre los grupos (especies) que se están estudiando, utilizando solo una combinación lineal de variables predictoras para lograr esta separación. Tanto los QDA (73 %), como PLS-DA (60 %), presentan menor rendimiento que el LDA.



**Fig. 1.** Discriminación entre especies de murciélagos según sus características morfológicas. / **Fig. 1.** Discrimination between bat species according to their morphological characteristics.

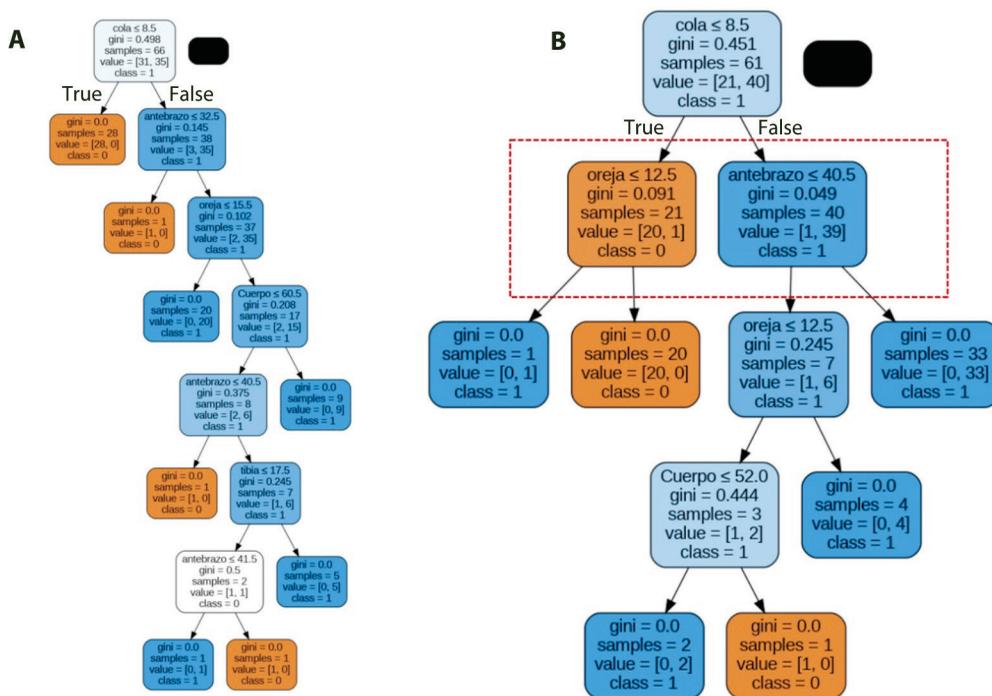
**Uso de Árboles de decisión para la clasificación de especies mediante la evaluación jerarquizada de las variables morfométricas y coloración:** La precisión de clasificación en los árboles de decisión para las hembras (76 %) fue inferior a los machos (99 %) (Fig. 2). Tanto en el

caso de los machos como en las hembras, la cola y el antebrazo resulta ser la característica con mayor importancia para la debida discriminación de individuos entre las especies.

## DISCUSIÓN

En Panamá existen claves taxonómicas para los murciélagos; sin embargo, necesitan ser actualizadas, complicando la clasificación correcta; además, existen diversas claves de diferentes autores que dificultan aún más esta labor. Ruelas & López (2017), mencionan en su estudio que en la diferenciación entre *C. perspicillata* y *C. brevicauda*, existe mucha ambigüedad, lo que puede conllevar a identificaciones erróneas, justificadas en la morfología externa. En las claves taxonómicas de murciélagos, para el género *Carollia*, el pelo es la primera característica para diferenciar a las especies. Utilizando el pelo de color marrón para *C. castanea* y separando a las demás especies como grises. Sin embargo, para esta especie pueden variar, pero se mantienen como castaño con diferentes tonalidades, en cambio, para *C. perspicillata* la coloración de su pelaje varía de acuerdo a la región donde se encuentre; *C. perspicillata* no mostró similitudes en los patrones de coloración.

La segunda característica más importante para separar a las especies de *Carollia* es el tamaño del antebrazo, con un rango de 39-45 mm en las claves (Díaz et al., 2021; Reid, 2009; Timm et al., 1999; Wilson & Mittermeier, 2019; York et al., 2019) sin embargo, se encuentran especies con antebrazos de igual longitud, identificadas erróneamente, dando resultados incorrectos al separarlas. En este proyecto se tomaron en cuenta diez variables morfológicas de las tres especies con el objetivo de encontrar una que pueda dividir a las especies de manera efectiva. Chaves (1985) menciona que *C. perspicillata* y *C. brevicauda*, son especies imposibles de diferenciar por las características que Pine (1972) propuso, sin embargo, Zurc y Velasco (2010) en su estudio encontraron que las dos especies se pueden diferenciar por el molar inferior que es más estrecho en *C. brevicauda*,



**Fig. 2.** Modelo de árbol de decisión para la clasificación de especies de murciélagos del género *Carollia*. **A.** Hembras. **B.** Machos. Nota: *Carollia perspicillata* (azul) y *Carollia brevicauda* (naranja). / **Fig. 2.** Decision tree model for the classification of bat species of the genus *Carollia*. **A.** Females. **B.** Males. Note: *Carollia perspicillata* (blue) and *Carollia brevicauda* (orange).

y en *C. perspicillata* los dientes inferiores son delgados y alargados, estos autores también, resaltan que la cantidad de pelo disperso en los antebrazos de *C. perspicillata* es un carácter variable en cada murciélago, dado que *C. brevicauda*, presenta pelaje más denso y visible en comparación, este carácter es muy ambiguo para su debida diferenciación entre *C. brevicauda* y *C. perspicillata*. La clasificación mediante patrones de coloración puede ser bastante subjetiva, lo que podría conducir a errores, en caso de *C. castanea* que es la especie con una coloración “particular distintiva”, otras características ofrecen mejor poder de clasificación como lo es un tamaño más pequeño, con un antebrazo menor de 38 mm, a diferencia de *C. brevicauda* y *C. perspicillata*, que generalmente tienen un antebrazo superior a 39 mm.

Dentro de las variables morfométricas más importantes en la clasificación de especies de

murciélagos está el antebrazo, este en los adultos posee valores muy parecidos entre las especies, particularmente entre *C. brevicauda* y *C. perspicillata*, especies que en la literatura son más difíciles de separar entre sí en el género *Carollia* (Pabón & Acevedo, 2020). Se observa una mayor variabilidad en los valores encontrados en los jóvenes en comparación con los adultos. Esta disparidad puede atribuirse al hecho de que los jóvenes aún no han alcanzado su pleno desarrollo, lo que provoca variaciones en el tamaño corporal y en diferentes estructuras. A medida que alcanzan la etapa adulta, las medidas morfométricas externas tienden a estandarizarse conforme a las características biológicas de cada especie.

El hecho de que existan diferencias significativas entre las características morfométricas externas de las especies *C. perspicillata*, *C. castanea* y *C. brevicauda*, se debe a que la talla de



*C. castanea* es menor a las otras dos especies, las cuales entre sí, presentan valores muy similares en cuanto al tamaño de sus estructuras por lo que usar valores puntuales como rangos podría generar una identificación incorrecta. En el caso de *C. sowelli*, los valores promedio en cuanto al tamaño corporal (45 mm) y del antebrazo (40 mm) parecen ser muy cercanos a los valores de las otras tres especies estudiadas, e inclusive esta especie es aún más difícil de identificar, tomando en cuenta que su diferenciación se basa en características moleculares. A las tres especies se le debe hacer un análisis más profundo, como las técnicas multivariantes, complementando la interacción entre las variables y ofrecer la posibilidad de un aumento en el poder discriminante incluyendo otras variables morfométricas y morfológicas.

Las especies *C. perspicillata* y *C. brevicauda* poseen muchas más similitudes morfométricas, no obstante, las variables antebrazo, cola, pata y oreja podrían generar una ruta para optimizar la discriminación de los distintos individuos en las especies estudiadas. En general podemos mencionar que los análisis discriminantes, principalmente el LDA, sugieren que las variables morfológicas externas aportan de forma conjunta una buena cantidad de información para la debida clasificación de las especies, pese a esto, se requieren métodos aún más sofisticados para la optimización de estas clasificaciones en base a la información contenida en las variables, motivo por el cual se aplicó otro método multivariante discriminante jerarquizado como lo son los árboles de decisión. Finalmente, los árboles de decisión muestran una precisión de clasificación superior para los machos en comparación con las hembras. La cola se destaca como la variable más influyente en los modelos de clasificación, seguida por la longitud del antebrazo.

En conclusión, aunque existen otras formas de identificar especies, como la dentición molar y análisis genéticos, esta investigación se basa en características morfológicas externas, siendo esta la forma típica de identificación. Las claves taxonómicas de otras regiones podrían llevar a confusiones al identificar especímenes

panameños. Por lo tanto, nuestro objetivo fue proporcionar una clave basada en características morfológicas externas específicamente adaptada a las especies panameñas, con el fin de determinar la suficiencia rigurosa de las características de morfometría. Nuestro análisis demuestra que las características morfométricas por sí solas no tienen la capacidad de discriminar especies de manera efectiva. Sin embargo, el empleo de múltiples parámetros analizados a través de modelos multivariantes nos ha permitido obtener un poder discriminante más preciso.

**Declaración de ética:** los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

Ver material suplementario  
a55v72n1-suppl1

## REFERENCIAS

- Basantes-Garcés, M. (2018). *Caracterización morfológica y morfométrica del murciélago de orejas redondas de cabeza rayada Tonatia saurophila (Phyllostomidae: Chiroptera)*. [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/20684>
- Bracamonte, J. C. (2018). Protocolo de muestreo para la estimación de la diversidad de murciélagos con redes de niebla en estudios de ecología. *Ecología Austral*, 28(2), 446–454. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.2.0.272>
- Chaves, J. G. (1985). *Morfometría y sistemática de murciélagos del género Carollia Gray, 1838 (Phyllostomidae, Carollinae)*. [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad Nacional de Colombia.
- Chong, J., Yamamoto, M., & Xia, J. (2019). MetaboAnalystR 2.0: From Raw Spectra to Biological Insights. *Metabolites*, 9(3), 57. <https://doi.org/10.3390/metabo9030057>

- Cuartas, C., Muñoz, J., & González, M. (2001). Una nueva especie de *Carollia*, Gray, 1838 (Chiroptera: Phyllostomidae) de Colombia. *Revista Actualidades Biológicas*, 23(75), 63–73. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329609>
- Díaz, M. M., Solari, S., Gregorin, R., Aguirre, L. F., & Barquez, R. M. (2021). *Clave de Identificación de los murciélagos Neotropicales*. Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina.
- Jiménez-Ortega, A. (2013). *Conocimiento y conservación de los murciélagos Filostómidos (Chiroptera: Phyllostomidae) y su utilidad como bioindicadores de la perturbación de los bosques neotropicales*. [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid]. Repositorio Biblios-e Archivo: Repositorio Institucional de la UAM . <http://hdl.handle.net/10486/660180>
- Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R., & Racey, P. A. (2009). Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research*, 8, 93–115. <https://doi.org/10.3354/esr00182>
- Kuhn, M. (2008). Building Predictive Models in R Using the caret Package. *Journal of Statistical Software*, 28(5), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v028.i05>
- Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Muñoz, J., Cuartas-Calle, C. A., & Gonzalez, M. (2004). Se describe una nueva especie de murciélago del género *Carollia* Gray, 1838 (Chiroptera: Phyllostomidae) de Colombia. *Actualidades Biológicas*, 26(80), 80–90. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329461>
- Murillo-García, O. (2014). Short-tailed bats (*Carollia*: Phyllostomidae) from Gorgona National Natural Park (Colombia) and its biogeographical implications. *Revista de Biología Tropical*, 62(S1), 435–445. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.16370>
- Pabón, F., & Acevedo, A. (2020). Differences In body mass among the frugivorous bats *Artibeus lituratus* and *Carollia perspicillata* (Chiroptera: Phyllostomidae) from an urban and a peri-urban area of Cúcuta, Colombia. *Mammalogy Notes*, 6(2),163. <https://doi.org/10.47603/mano.v6n2.163>.
- Palacio, F. X., Apodaca, M. J., & Crisci, J. V. (2020). *Análisis multivariado para datos biológicos: Teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R* (1a ed). Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
- Pine, R. (1972) The bats of the genus *Carollia* Texas Agricultural Experiment Station. *Technical Monograph*, 8, 1–125.
- Reid, F. A. (2009). *A field guide to the mammals of Central America & Southeast Mexico* (2nd ed). Oxford University Press.
- Ruelas, D., & López, E. (2017). Análisis morfogeométrico de las especies peruanas de *Carollia* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Mastozoología Neotropical*, 25(2), 419–438. <https://doi.org/10.31687/saremMN.18.25.2.0.03>
- Salgado-Mejía, F., López-Wilchis, R., Guevara-Chumacero, L. M., Valverde-Padilla, P. L., Martínez del Río, P. C., Porto-Ramírez, S. L., Rojas-Martínez, I., & Sámano-Barbosa, G. A. (2021). Characterization of assemblages in neotropical cave dwelling bats based on their diet, wing morphology, and flight performance. *Therya*, 12(3), 435–447. <https://doi.org/10.12933/therya-21-1075>
- Solari, S., & Baker, R. J. (2006). Mitochondrial DNA Sequence, Karyotypic, and Morphologic Variation in the *Carollia castanea* Species Complex (Chiroptera: Phyllostomidae) with Description of a New Species. *Occasional Papers. Museum of Texas Tech University*, (254), 1–16. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.156889>
- Timm, R. M., Laval, R. K., & Rodríguez, H. (1999). Clave de campo para los murciélagos de Costa Rica. *Brenesia*, 52, 1–32.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* (2nd ed.). Springer International Publishing.
- Wilson, D. E., & Mittermeier, R. A. (Eds.). (2019). *Handbook of the mammals of the world* (Vol. 9). Lynx Editions.
- York, H. A., Rodríguez-Herrera, B., Laval, R. K., Timm, R. M., & Lindsay, K. E. (2019). Field key to the bats of Costa Rica and Nicaragua. *Journal of Mammalogy*, 100(6), 1726–1749. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz150>
- Zurc, D., & Velazco, P. M. (2010). Análisis morfológico y morfométrico de *Carollia colombiana* Cuartas et al., 2001 y *C. monohernandezii* Muñoz et al., 2004 (Phyllostomidae: Carollinae) en Colombia. *Chiroptera Neotropical*, 16(1), 567–572.