



BIOACÚSTICA DE MURCIÉLAGOS EN EL RÍO VILCANOTA- URUBAMBA, CUSCO

Antony A. RIVERA GARCÍA^{1,2,3*}, Nick A. BARRIGA SALAS^{1,3}, Eliana A.
LÓPEZ FUENTES^{1,3}

¹ Centro de Investigación Vertebrate UNSAAC, Av. De la Cultura, Nro. 733, Cusco – Perú.

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos – UNMSM, Facultad de Ciencias Biológicas,
Unidad de Posgrado, Lima, Perú.

³ Museo de Biodiversidad del Perú – MUBI, Urb. Mariscal Gamarra A-61, Zona 2, Cusco –
Perú.

* Correo de correspondencia: riveraantony95@gmail.com

RESUMEN

Se presenta una guía de los pulsos de ecolocalización de 42 especies de murciélagos registrados en ocho estaciones ubicadas cercanas al río Vilcanota-Urubamba, región Cusco. Los objetivos incluyeron la optimización en la obtención de grabaciones acústicas limpias específicas para cada especie y el desarrollo de una biblioteca acústica en Perú. Se presenta el túnel de vuelo como una técnica más eficaz que la caja de vuelo, al permitir el vuelo sostenido en una sola dirección y la captura de pulsos de buena calidad. No se identificaron relaciones taxonómicas definidas basadas en los pulsos de ecolocalización; La variación de la forma de los pulsos de ecolocalización fueron explicadas por las variables Frecuencia pico y ancho de banda según el PCA. El Cluster formó cuatro grupos acústicos sin alguna relación clara entre características taxonómicas, evolutivas o ecológicas. Alimentar bibliotecas acústicas como “Mashu Perú”, será crucial para poder describir de manera más precisa los pulsos de ecolocalización de cada especie, comprender mejor la plasticidad de la bioacústica y su sensibilidad ante factores metodológicos, ambientales y geográficos, resultado de esto queda un precedente para

futuras investigaciones y colaborando con estrategias de conservación de los murciélagos.

PALABRAS CLAVE: Bioacústico, murciélagos, pulsos de ecolocalización, túnel de vuelo.

BIOACOUSTICS OF BATS IN VILCANOTA-URUBAMBA RIVER, CUSCO

ABSTRACT

A guide to the echolocation pulses of 42 bat species recorded at eight stations near the Vilcanota-Urubamba River, Cusco region, is presented. The objectives included optimizing the collection of clean, species-specific acoustic recordings and developing an acoustic library in Peru. The flight tunnel is proposed as a more effective technique than the flight box, as it allows sustained flight in a single direction and the capture of high-quality pulses. No defined taxonomic relationships based on echolocation pulses were identified. The variation in pulse shape was explained by the variables peak frequency and bandwidth, according to the PCA analysis. Cluster analysis formed four acoustic groups with no clear relationship to taxonomic, evolutionary, or ecological traits. Feeding acoustic libraries such as "Mashu Peru" will be crucial to more accurately describe the echolocation pulses of each species, better understand bioacoustic plasticity, and its sensitivity to methodological, environmental, and geographic factors. This study establishes a precedent for future research while contributing to bat conservation strategies.

KEYWORDS: Bioacoustics, bats, echolocation pulses, flight tunnel

INTRODUCCIÓN

La región de Cusco se distingue por su geografía compleja, caracterizada por cadenas montañosas y extensas áreas de selva, complementada por importantes cuerpos de agua como el río Vilcanota-Urubamba. Este río es crucial para la agricultura y el desarrollo regional (Chávez *et al.*, 2005) y, a pesar de enfrentar desafíos ambientales como la acumulación de desechos, mantiene una notable resiliencia. Ofrece una amplia variedad de hábitats que sostienen una rica biodiversidad, desde los valles interandinos hasta las selvas bajas.

Dentro de esta biodiversidad, los murciélagos representan uno de los órdenes más diversos de mamíferos, constituyendo el 30% de la mastofauna en Perú (Pacheco *et al.*, 2021) con 195 especies registradas (Velazco, 2023). A pesar de su papel ecológico fundamental en la dispersión de semillas, polinización y control de plagas (Kunz & Parsons, 2009), la falta de información sobre los murciélagos constituye una gran amenaza para sus comunidades a lo largo del río Vilcanota. La ausencia de medidas de conservación efectivas fuera de las áreas naturales protegidas agrava esta situación. Comprender la composición de las comunidades de murciélagos en los ecosistemas naturales y afectados cercanos al río es esencial para abordar estos desafíos de conservación.

La bioacústica está emergiendo como una herramienta innovadora para el estudio de murciélagos, especialmente para aquellas especies que no son fácilmente capturables con redes de neblina (Fenton *et al.*, 2016; Fernández *et al.*, 2016; Ossa, 2010). Esta metodología no solo amplía el conocimiento sobre las comunidades de murciélagos, sino que también permite crear bibliotecas acústicas que hacen falta en Perú para la referencia y comparación de los pulsos de llamadas de ecolocalización. La presencia de numerosas especies crípticas en la re-

gión subraya la necesidad de incrementar la información acústica disponible que sirva de evidencia para diferenciar las especies de los complejos de especies aún desconocidos, lo que contribuirá significativamente a la conservación y gestión de la biodiversidad local.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en ocho estaciones a lo largo del río Vilcanota-Urubamba, región Cusco, Perú, con el propósito de obtener una muestra representativa de las comunidades de murciélagos en cinco ecosistemas (Tabla 1) según la clasificación de MINAM (2021). Las localidades se distribuyeron en tres provincias de la región del Cusco: Calca, Urubamba y La Convención (Figura 1) y se encuentran en elevaciones entre 631 y 3023 m s.n.m. (Tabla 1) Las estaciones de muestreo fueron seleccionadas por su accesibilidad y por la conveniencia de los puntos de monitoreo del gasoducto de Camisea en la parte norte de la provincia de La Convención. El nombre de las estaciones estuvo relacionado con su ubicación en las provincias.

El clima en la región de estudio es influenciado por la cordillera de Vilcabamba, generando dos zonas climáticas principales:

Zona Andina: Caracterizada por condiciones secas, con una temperatura media anual de 15.7°C y una precipitación anual de 390.3 mm. Esta zona presenta menor vegetación y está influenciada por la estacionalidad marcada por temporadas de sequía y lluvias (SENAMHI, 2012).

Zona Amazónica: Con un clima mucho más cálido, tiene una temperatura media anual de 24.7°C y una precipitación anual de 2350 mm (SENAMHI, 2012). La vegetación es densa y exuberante, influenciada también por la estacionalidad propia de la región.

CAPTURA DE MURCIÉLAGOS Y DETERMINACIÓN DE ESPECIES

Se instalaron 10 redes de neblina de 12 metros de largo, dispuestas en líneas separadas por aproximadamente 50 metros, en áreas libres y propicias para el tránsito de murciélagos. Se intentó abarcar los diferentes estratos verticales del bosque (dosel, subdosel y sotobosque). Estas redes fueron revisadas cada 40 minutos, desde las 18:00 hasta las 00:00 horas. Las redes fueron cambiadas de ubicación a los tres días de su instalación para evitar que los murciélagos reconocieran los lugares de colocación, realizando un esfuerzo de muestreo de seis noches en cada estación (Emmons, 2006; Refulio, 2015).

La determinación taxonómica de los murciélagos capturados se realizó mediante la comparación con claves dicotómicas (Díaz *et al.*, 2021; Gardner, 2007; Mora, 2017, López-Baucells *et al.*, 2016). Además, se extrajeron algunos datos morfológicos (Longitud de Antebrazo, longitud de tibia) y ecológicos (Sexo, edad, estado reproductivo), aprovechando la manipulación de los individuos (Gardner, 2007).

TOMA DE DATOS ACÚSTICOS

Una vez determinadas las especies de los murciélagos en cada estación, se procedió a la grabación de sus llamados de ecolocalización diferenciados. Para ello, se utilizó un túnel adaptado de la metodología del cuarto de vuelo (Rivera-Parra & Burneo, 2013; Siemers, 2004). Este túnel, elaborado con malla raschel, tenía una longitud de 5 metros y un diámetro de 1.85 metros (Figura 2). La finalidad era obtener los pulsos de los llamados de ecolocalización individuales de cada especie.

El procedimiento consistió en liberar al murciélago en un extremo del túnel y grabar sus llama-

dos de ecolocalización desde el otro lado, los individuos permanecieron alrededor de un minuto dentro del túnel de vuelo procurando que vuelen con la finalidad de que emitan pulsos de ecolocalización en fase de búsqueda. Se utilizó un micrófono de ultrasonido modelo Pettersson M-500 Pettersson (Elektronik AB, Suecia) y un smartphone con la aplicación Bat Recorder (Kraus, 2010). Esta metodología permite observar en tiempo real el sonograma con la forma del pulso del llamado de ecolocalización emitido por el murciélago dentro del túnel.

ANÁLISIS DE DATOS

Mediante el programa Avisoft Sas Lab (Avisoft Bioacoustics), se observaron y extrajeron las imágenes de los pulsos de ecolocalización en fase de búsqueda de cada especie. Posteriormente, se utilizó el programa Raven Pro 1.6 (Center for Conservation Bioacoustics, Cornell Lab) para seleccionar al menos 10 pulsos diferenciados y extraer los parámetros acústicos (frecuencia pico, frecuencia inicial, frecuencia final, ancho de banda, duración, intervalo de pulso) de cada especie (Estañol, 2021; Rivera-Parra & Burneo, 2013; Vallejo, 2014; Ugarte, 2020; Fernández *et al.*, 2016; Ossa, 2010). Estos parámetros fueron organizados en una base de datos que permitió diferenciar los valores de cada especie.

Se buscó encontrar relaciones entre los pulsos de ecolocalización de especies taxonómicamente cercanas mediante un análisis de clúster, tomando en cuenta las distancias euclidianas (Collen, 2012). La finalidad era identificar agrupamientos taxonómicos, ecológicos o tróficos entre los pulsos de ecolocalización de las especies encontradas. Para determinar cuál parámetro tenía mayor influencia en la variación de los pulsos de ecolocalización de cada especie, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con los valores de cada parámetro considerado.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo.

Estación	Provincia	Ecosistema	X	Y	Elevación (m)
C1	Calca	Matorral arbustivo	-13.349454	-71.937700	3026 - 2980
C2	Calca	Matorral arbustivo	-13.327297	-71.985851	2923 - 2859
U1	Urubamba	Matorral arbustivo	-13.325515	-72.078324	2862 - 2672
U2	Urubamba	Bosque altimontano de Yunga	-13.179516	-72.477399	2470 - 2420
U3	Urubamba	Bosque montano de yunga	-13.174186	-72.563350	1784 - 1696
LC1	La Convención	Bosque montano de yunga	-13.165936	-72.648444	2431 - 2357
LC2	La Convención	Bosque basimontano de Yunga	-12.545623	-73.136659	1330 - 1205
LC3	La Convención	Bosque de colina alta	-11.995649	-72.986948	631 - 450

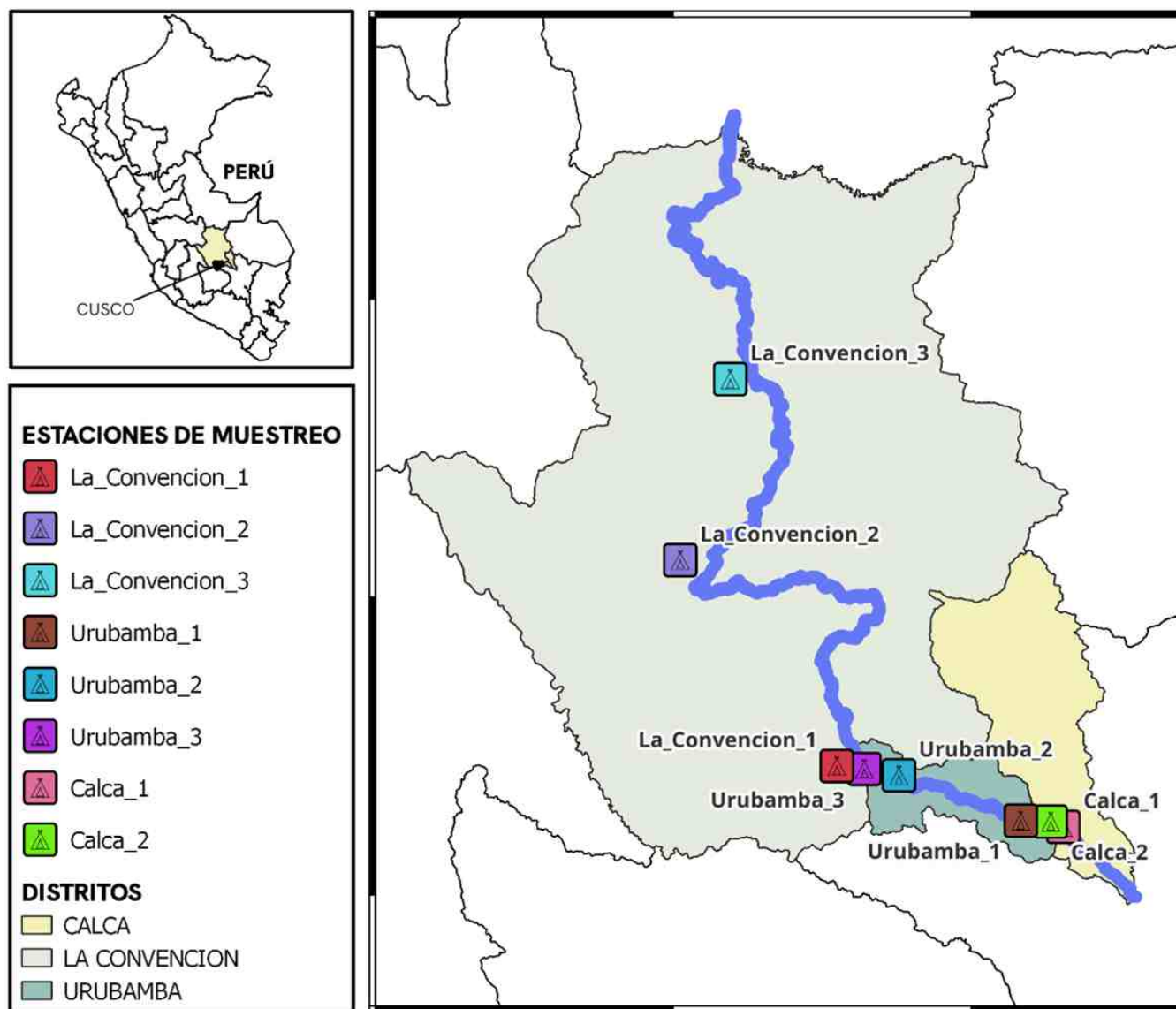


Figura 1. Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo a lo largo del río Vilcanota-Urubamba.



Figura 2. Túnel del vuelo con las especificaciones de sus medidas.

RESULTADOS

Se analizaron los pulsos de ecolocalización de 42 especies con un esfuerzo de muestreo total de 2880 horas/red. La familia Phyllostomidae fue la más abundante con 36 especies, seguida de la familia Vespertilionidae con 5 especies y finalmente una especie de la familia Emballonuridae.

Se extrajeron los valores de los parámetros de 10 pulsos de cada especie en fase de búsqueda, se revisó manualmente un total de 300 archivos de audio (Tabla 2). En algunas especies se pudo extraer los valores de diferentes individuos como las especies del género *Carollia*, *Sturnira*, *Platyrrhinus*, *Desmodus rotundus* y *Anoura peruana*; mientras que en otras sólo se pudo contar con 1 individuo, como fue el caso de *Sphaeronyc-teris toxophyllum*, *Vampyrum spectrum*, *Lasiurus villosissimus* y *Anoura fistulata*. El análisis de clúster reveló la presencia de cuatro grupos (Figura 3), considerando el 60% de disimilaridad basado en la distancia euclidiana. El primero representado en color rosa, incluye especies del género *Myotis* y *Lasiurus villosissimus*, la mayoría de los representantes de la familia Vespertilionidae.

Los grupos 2 (verde) y 3 (celeste) presentan el mayor número de pulsos de ecolocalización de especies registradas, sin alguna relación taxonómica evidente. Desde un enfoque ecológico, agrupan especies con diferentes estrategias tróficas, incluyendo nectarívoras de los géneros *Anoura*, *Choeroniscus*, *Glossophaga* y *Lonchophylla*; así como frugívoras de los géneros *Sturnira*, *Carollia*, *Artibeus*, *Platyrrhinus*. Finalmente, el grupo 4 (morado) reúne tres especies pertenecientes a familias distintas: *Phyllostomus hastatus* (Phyllostomidae), *Cormura brevirostris* (Emballonuridae) y *Eptesicus andinus* (Vespertilionidae).

El ACP (Figura 4A) mostró que el 77.6% de la variabilidad de los pulsos se explicó con los dos primeros componentes. El primer componente principal, con mayor contribución de la frecuencia pico, explicó el 53% de la variabilidad, donde la frecuencia pico es el parámetro que ofrece el valor de frecuencia con mayor intensidad en todo el pulso de ecolocalización. La frecuencia delta explicó el 73% de la variabilidad en el segundo componente principal, lo cual se atribuye a que la frecuencia pico es una variable con un valor diferente en cada especie.

Tabla 2. Valores de los parámetros de los pulsos de ecolocalización de las especies de murciélagos. Low Freq: valor de frecuencia más bajo que se muestra en el espectograma, High Freq: frecuencia más alta alcanzada por el pulso, Delta Freq: variación entre la frecuencia alta y la baja (ancho de banda), Peak Freq: frecuencia de máxima energía, Delta Time: duración de la llamada, IP: intervalo desde el término de un pulso de ecolocalización hasta el inicio del siguiente.

Especies de murciélagos	Low Freq (Hz)	High Freq (Hz)	Delta Freq (Hz)	Peak Freq (Hz)	Delta Time (ms)	IP (ms)
<i>Anoura caudifer</i>	93.1	147.5	53.3	114.5	0.6	42.0
<i>Anoura fistulata</i>	55.2	107.8	48.2	102.3	0.4	31.5
<i>Anoura peruana</i>	43.0	127.7	60.4	89.6	1.0	25.5
<i>Dermanura anderseni</i>	28.7	132.3	102.6	91.8	0.5	38.7
<i>Dermanura glauca</i>	49.5	136.7	87.2	86.8	0.7	37.0
<i>Artibeus lituratus</i>	78.3	113.8	35.2	94.0	0.4	31.6
<i>Artibeus obscurus</i>	44.1	126.3	82.2	87.6	0.7	35.2
<i>Artibeus planirostris</i>	53.0	89.3	36.3	76.2	1.1	42.6
<i>Carollia benkeithi</i>	63.0	105.0	42.0	84.2	0.6	273.9
<i>Carollia brevicauda</i>	66.0	105.6	39.6	87.9	0.5	52.2
<i>Carollia perspicillata</i>	26.4	109.6	83.1	70.4	0.4	42.0
<i>Chiroderma salvini</i>	76.7	109.3	32.6	100.6	0.3	34.8
<i>Chiroderma villosum</i>	31.2	49.2	17.7	40.4	1.1	121.7
<i>Choeroniscus minor</i>	69.5	102.1	32.5	89.3	0.4	18.3
<i>Cormura brevirostris</i>	47.8	113.9	66.1	73.1	0.7	22.5
<i>Desmodus rotundus</i>	52.5	111.0	58.5	77.6	0.6	16.5
<i>Enchisthenes hartii</i>	30.1	56.8	26.8	39.4	1.4	39.9
<i>Eptesicus andinus</i>	53.0	100.0	47.0	84.7	0.5	35.1
<i>Gardnerycteris crenulatum</i>	53.0	127.3	74.3	79.4	0.6	16.5
<i>Glossophaga soricina</i>	49.8	91.2	41.4	73.6	1.2	79.3
<i>Lasiurus villosissimus</i>	66.2	103.9	37.7	87.3	0.7	29.1
<i>Lonchophylla handleyi</i>	87.5	143.0	55.6	110.9	0.5	26.3
<i>Mesophylla macconnelli</i>	53.4	134.6	81.2	83.0	0.7	89.6
<i>Micronycteris megalotis</i>	40.6	121.4	80.9	62.5	1.4	79.1

Tabla 2. Continua.

Especies de murciélagos	Low Freq (Hz)	High Freq (Hz)	Delta Freq (Hz)	Peak Freq (Hz)	Delta Time (ms)	IP (ms)
<i>Myotis cf. ruber</i>	41.2	91.8	50.6	54.9	1.7	29.7
<i>Myotis nigricans</i>	50.2	106.4	56.2	60.9	2.0	159.3
<i>Myotis sp.</i>	63.7	99.2	35.5	84.0	0.8	76.2
<i>Phyllostomus elongatus</i>	33.1	52.2	19.1	44.7	1.3	194.4
<i>Phyllostomus hastatus</i>	73.7	133.3	59.6	108.8	0.6	29.4
<i>Platyrrhinus fusciventris</i>	96.5	135.3	38.8	108.8	0.4	28.6
<i>Platyrrhinus incarum</i>	48.4	98.7	50.2	81.9	0.4	43.0
<i>Platyrrhinus umbratus</i>	54.2	124.0	69.7	86.7	1.4	64.8
<i>Rhinophylla pumilio</i>	78.0	108.8	29.3	96.0	0.4	43.5
<i>Sphaeronicterys toxophylum</i>	23.7	100.4	76.7	40.6	2.5	60.4
<i>Sturnira erythromos</i>	47.1	126.1	78.9	87.3	0.7	49.4
<i>Sturnira giannae</i>	54.9	93.8	38.9	85.5	0.7	136.5
<i>Sturnira oporaphilum</i>	51.6	119.3	67.8	83.3	0.5	45.1
<i>Sturnira tildae</i>	69.4	107.4	38.0	90.2	0.4	115.1
<i>Uroderma bilobatum</i>	62.0	120.7	58.7	93.9	0.6	32.9
<i>Uroderma magnirostrum</i>	62.5	102.3	39.8	83.6	0.8	24.9
<i>Vampyriscus bidens</i>	60.8	116.9	56.1	84.9	0.8	66.8
<i>Vampyrum spectrum</i>	65.0	135.5	70.5	105.0	0.8	50.5

DISCUSIÓN

La aplicación de métodos acústicos en el estudio de ensamblajes de murciélagos es crucial, y la creación de bibliotecas acústicas facilita la comparación de pulsos de ecolocalización. En Perú, a diferencia de otros países latinoamericanos como México (Zamora-Gutiérrez *et al.*, 2016), Ecuador (Rivera-Parra & Burneo, 2013) y Brasil (Arias-Aguilar *et al.*, 2018; López-Baucells *et al.*, 2016), la recopilación de información está en una etapa inicial. Este estudio contribuye significativamente al describir los pulsos de ecolocalización de 42 especies de

murciélagos en la región del Cusco, estableciendo una base para futuras investigaciones.

En comparación con el trabajo de Ugarte (2020), que exploró la bioacústica de murciélagos en la costa sur del Perú utilizando diferentes metodologías y caracterizó los pulsos de ecolocalización de las especies presentes en esos hábitats, los datos acústicos obtenidos en este estudio brindan a detalle los pulsos de ecolocalización de 42 especies registradas en diferentes ecosistemas de sierra y selva a lo largo del río Vilcanota en la región de Cusco, los cuales están disponibles en la plataforma Mashu (<https://mashuperu.org/>), donde pueden ser consultados y utilizados para com-

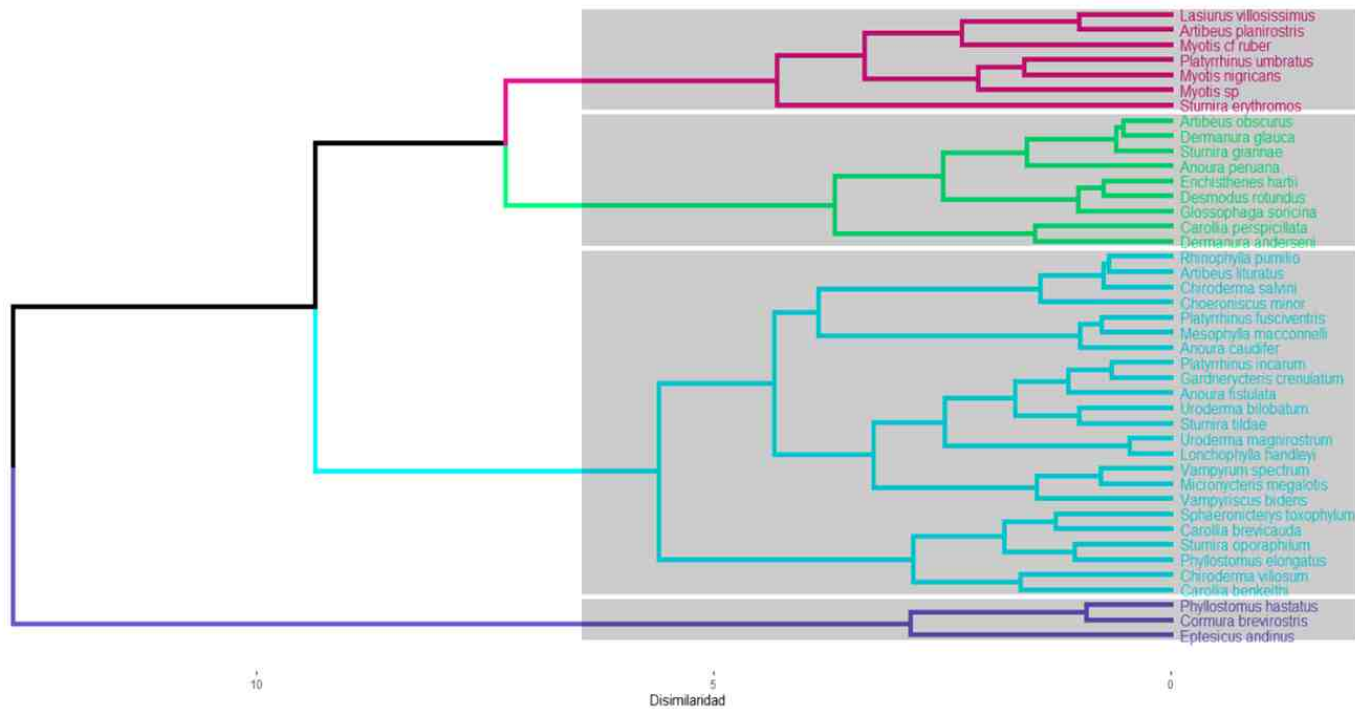


Figura 3. Dendrograma que muestra los 4 grupos al 60% de disimilitud de distancia euclidiana.

paraciones en investigaciones futuras, contribuyendo así al enriquecimiento y expansión de la biblioteca acústica de murciélagos en el Perú.

El análisis acústico se benefició de una identificación precisa de las especies de murciélagos, registrando los llamados de 36 especies de filostómidos, un grupo difícil de detectar mediante grabación pasiva (Yoh *et al.*, 2020). Para mejorar la calidad de los registros, se utilizó un túnel de vuelo, lo que permitió obtener pulsos de ecolocalización de alta calidad al mantener a los murciélagos en vuelo durante aproximadamente un minuto. Esta metodología supera las limitaciones de la caja o carpa de vuelo (Rivera-Parra, 2011; Estrada-Villegas, 2018), ya que evita que los individuos se posen en las esquinas del recinto y garantiza la grabación de su ecolocalización en vuelo sostenido. Además, facilita que el murciélago permanezca en movimiento en dirección al micrófono de ultrasonido, optimizando la captura de los pulsos. La desventaja de esta metodología es el transporte del túnel a zonas de difícil acceso, por los materiales con

los cuales se ha construido y las dimensiones del túnel, esto se presenta como un reto y perspectiva a futuro para optimizar los materiales de la fabricación de este.

Los resultados del análisis de clúster identificaron cuatro grupos sin una relación clara con rasgos taxonómicos, evolutivos o ecológicos específicos, lo cual puede atribuirse a la plasticidad de los pulsos de ecolocalización, influenciada por el entorno y los hábitos alimenticios (Ugarte, 2020). La variabilidad también está afectada por la metodología utilizada (Vallejo, 2014; Kalko, 2004). Por ello, es fundamental continuar enriqueciendo las bibliotecas acústicas con registros obtenidos de individuos provenientes de diversas localidades, a fin de minimizar los sesgos asociados a la metodología utilizada y a las variaciones ambientales.

La frecuencia pico se destacó como la variable que mejor explica la variabilidad de los pulsos de ecolocalización (Figura 4B), siendo un parámetro clave para distinguir los pulsos de distintas especies. Así mismo, en entornos den-

sos, los murciélagos emiten pulsos de alta frecuencia y corta duración, mientras que en espacios abiertos utilizan frecuencias más bajas y pulsos de mayor duración. En contraste, el intervalo de pulso (interpulso) fue menos relevante, posiblemente debido a la variabilidad en los periodos de ecolocalización en ambientes no controlados y al estrés de la manipulación. Según Kraker-Castañeda *et al.* (2018), los murciélagos ajustan el tiempo de emisión de sus pulsos de ecolocalización en función del espacio en el que se encuentran volando, lo que sugiere que este parámetro es altamente variable.

Este estudio no solo avanza en la creación de

una biblioteca acústica en Perú, sino que también proporciona una guía rápida con los pulsos de ecolocalización de cada especie registrada en este estudio (Figura 5), información valiosa sobre la variabilidad y plasticidad de los pulsos de ecolocalización de los murciélagos, sentando las bases para investigaciones futuras y la conservación de estas especies. Conforme a esto se recomienda avanzar en los análisis y recopilación de audios de llamados sociales, para esto identificar dormitorios, sitios de forrajeo, cuevas y demás lugares ocupados por colonias de murciélagos para ir conociendo cada vez más sobre su ecología y comportamiento

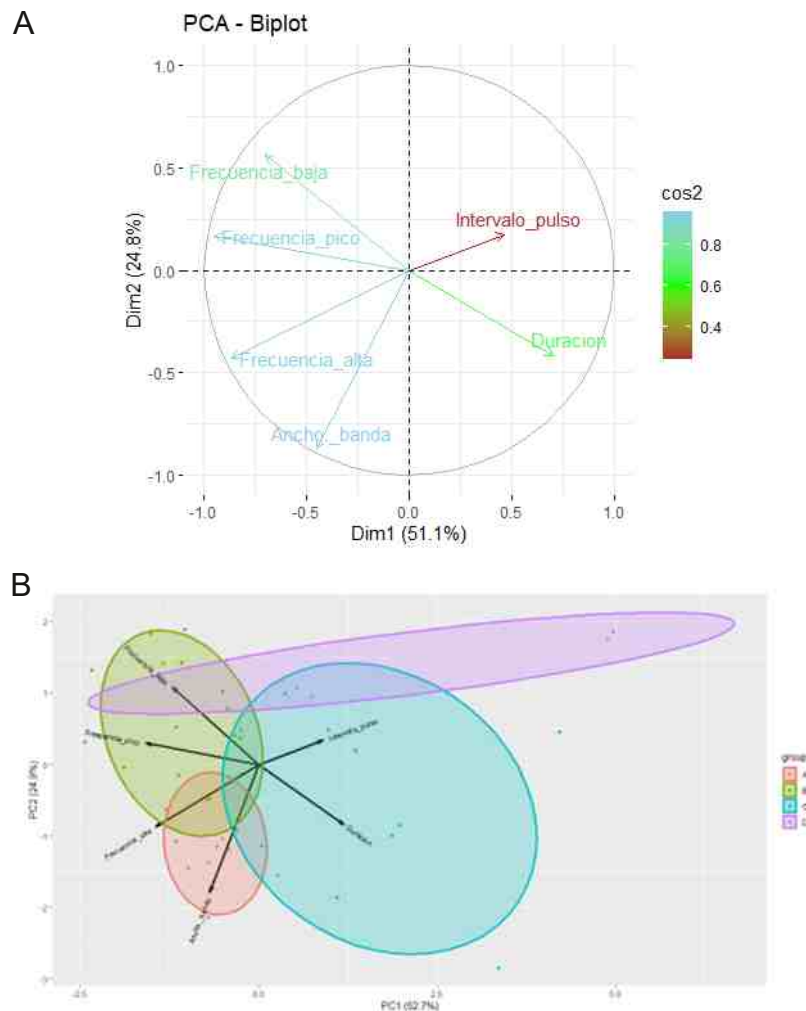


Figura 4. A. PCA que muestra el efecto de los parámetros de los pulsos de ecolocalización en la variación entre las especies. PCA biplot para explicar las agrupaciones de las especies relacionados con los parámetros que ejercen mayor variabilidad en cada grupo.

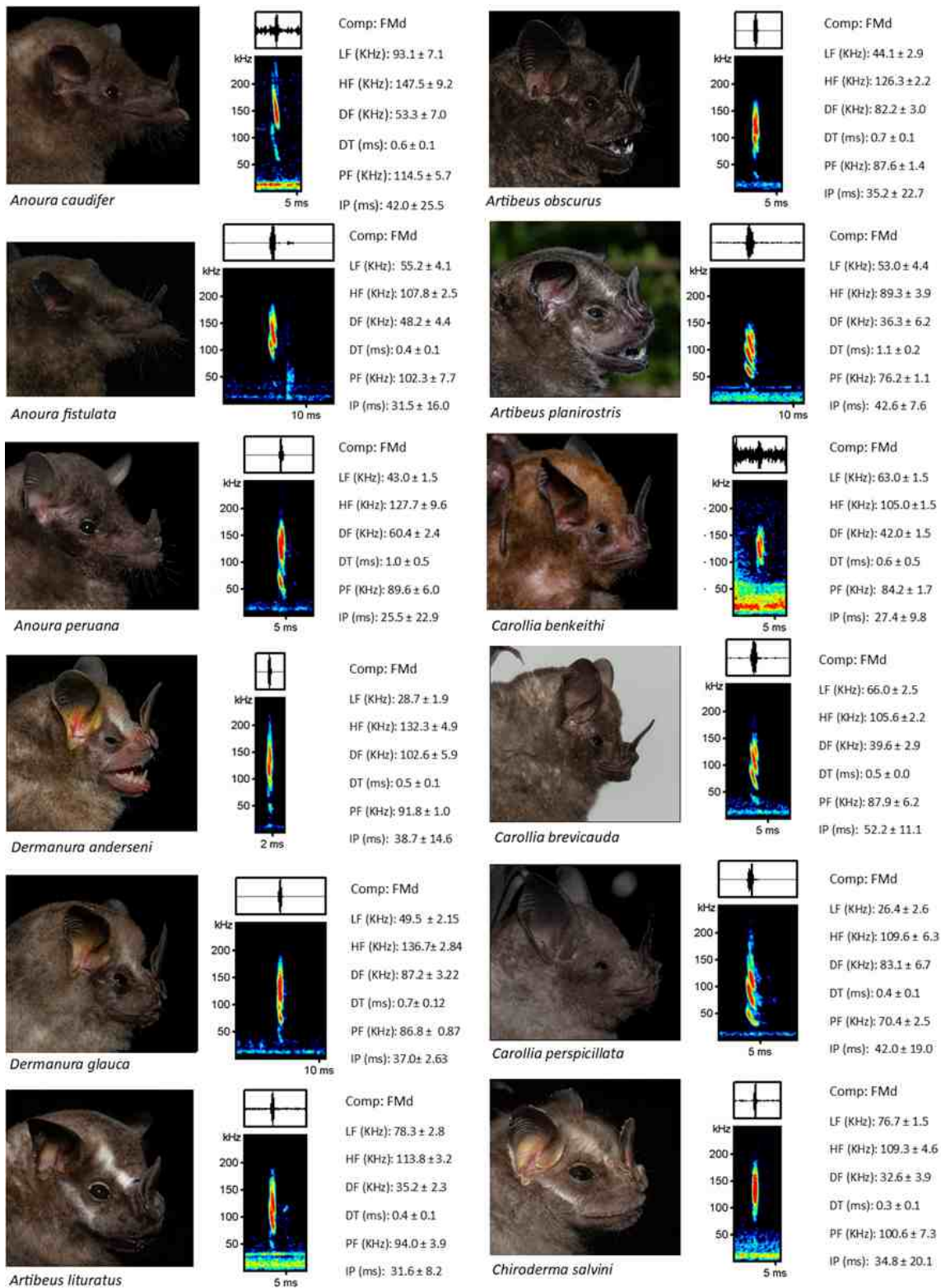


Figura 5. Pulsos de ecolocalización de 42 especies de murciélagos con valores de los parámetros más la desviación estándar. LF: frecuencia baja, HF: frecuencia alta, DT: duración, PF: Frecuencia pico, IP: Interpulso y Comp: componente del pulso de ecolocalización; frecuencia constante “FC”, cuasi constante “FQC” o modulada “FM”, con sus variaciones descendiente “d” o ascendente “a”.

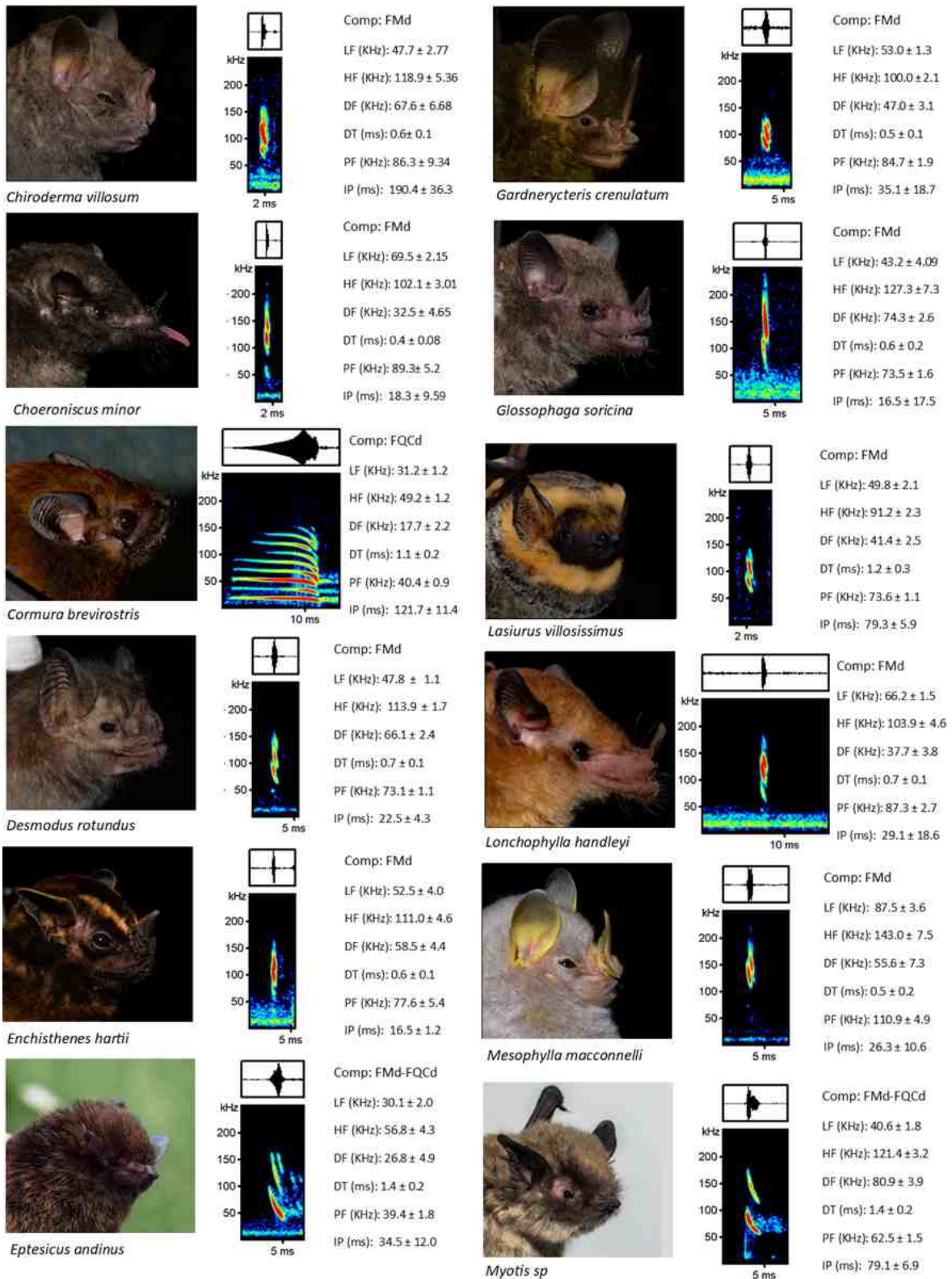


Figura 5. Continua. LF: frecuencia baja, HF: frecuencia alta, DT: duración, PF: Frecuencia pico, IP: Interpulso y Comp: componente del pulso de ecolocalización; frecuencia constante “FC”, cuasi constante “FQC” o modulada “FM”, con sus variaciones descendiente “d” o ascendente “a”.

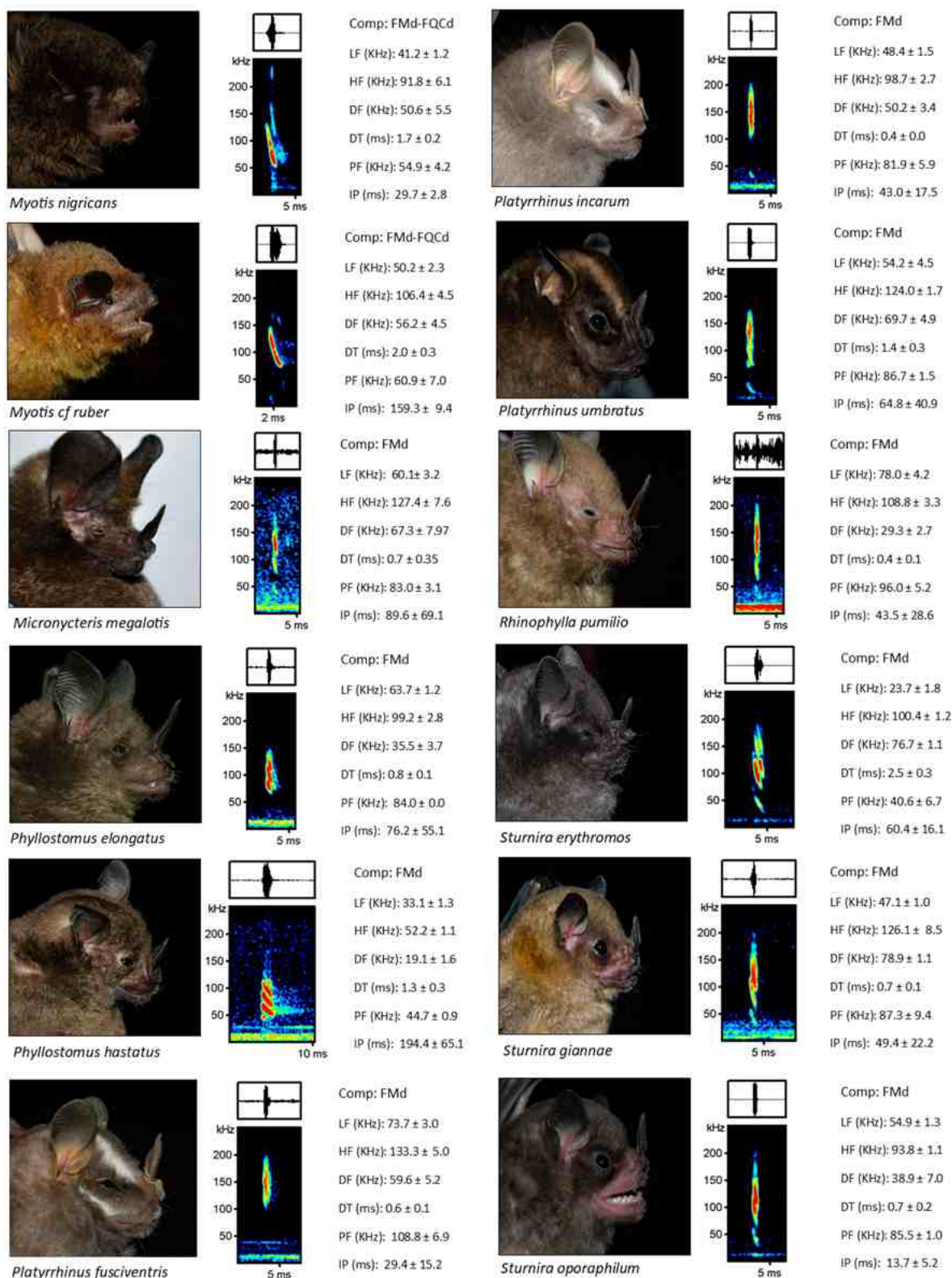


Figura 5. Continua. LF: frecuencia baja, HF: frecuencia alta, DT: duración, PF: Frecuencia pico, IP: Interpulso y Comp: componente del pulso de ecolocalización; frecuencia constante "FC", cuasi constante "FQC" o modulada "FM", con sus variaciones descendente "d" o ascendente "a".

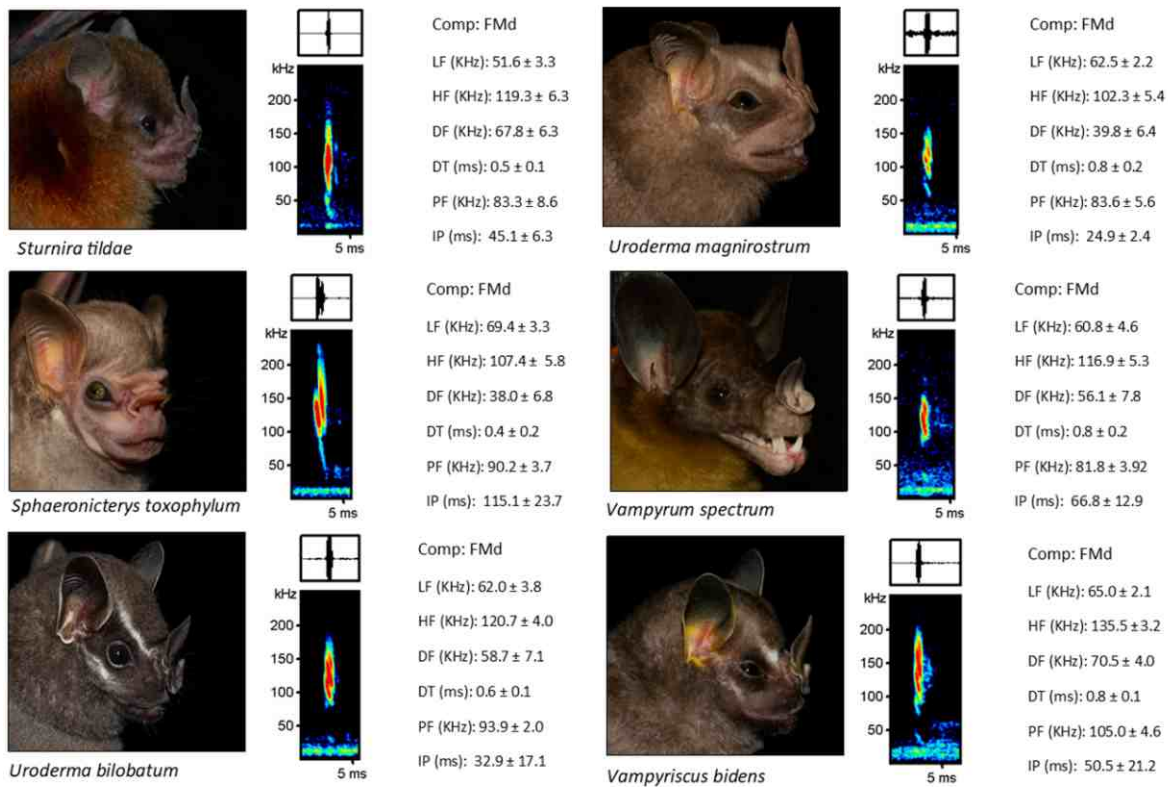


Figura 5. Continua. LF: frecuencia baja, HF: frecuencia alta, DT: duración, PF: Frecuencia pico, IP: Interpulso y Comp: componente del pulso de ecolocalización; frecuencia constante “FC”, cuasi constante “FQC” o modulada “FM”, con sus variaciones descendiente “d” o ascendente “a”.

CONCLUSIONES

Este estudio caracterizó los pulsos de llamadas de ecolocalización de 42 especies de murciélagos mediante la metodología del túnel de vuelo, revelando diferencias significativas en cada parámetro, lo que sugiere la existencia de pulsos distintivos para cada especie, especialmente en la fase de búsqueda. Se observó que los pulsos de ecolocalización son susceptibles a cambios en condiciones de estrés y en diferentes fases de los llamados, aunque no se abordaron llamadas sociales debido a la limitada disponibilidad de dormideros y cuevas, estos no se pudieron incluir en los análisis interestadísticos. El análisis de agrupamiento mediante Cluster, resultó en cuatro grupos que, a pesar de mostrar relaciones en los parámetros de los pulsos de ecolocalización, no se alinearon con

relaciones taxonómicas o ecológicas. El PCA reveló que el 77.6% de la variabilidad se explica con las dos primeras componentes, destacando la contribución específica de la frecuencia pico en la primera componente. Estos resultados subrayan la importancia de los pulsos de ecolocalización como marcadores distintivos entre especies y resaltan la complejidad en la interpretación de agrupamientos basados en parámetros acústicos, indicando que las relaciones taxonómicas o ecológicas pueden no ser reflejadas de manera directa en estos patrones acústicos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue parcialmente financiado por el programa de financiamiento “yachayninchis wiñarinnanpaq” de la Universidad Nacional de

San Antonio Abad del Cusco, a Joaquín Ugarte por el apoyo en los análisis acústicos, a Jesús Ruiz por el apoyo en la parte estadística y al Dr. José Antonio Ochoa por llevar de la mano esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias-Aguilar, A.; Hintze, F.; Aguiar, L.M.S.; Rufay, V.; Bernard, E.; Pereira, M.J.R. 2018. Who's calling? Acoustic identification of Brazilian bats. *Mammal Research*, 63(3):231–253. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13364-018-0367-z>
- Chávez, W.; Cusiquispe, M.; Apaza, D.; Palomino, C.; Gónzales, R.; Chávez, A., Tupayachi, J.; Olázabal, M.; Sánchez, P., Preguntegui, P.; Paniagua, G.; Zela, G., Alva, M.; Jiménez, L. 2005. *Zonificación Económica Ecológica de la región del Cusco*. Gobierno Regional del Cusco, Cusco. 168pp.
- Collen, A. 2012. *The evolution of echolocation in bats: a comparative approach*. Ph.D. Thesis, University College London, London, England. 432pp.
- Díaz, M.; Renato, S.S.; Aguirre, L.F.; Barquez, R. 2021. *Clave de identificación de murciélagos neotropicales*. Programa de Conservación de Murciélagos de Argentina, Tucumán. 207pp.
- Emmons, L.H.; Swarner, M.J.; Vargas-Espinoza, A.; Tschapka, M.; Azurduy, H.F.; Kalko, E.K.V. 2006. The forest and savanna bat communities of Noel Kempff Mercado National Park (Bolivia). *Revista Boliviana de Ecología*, 19:47–57.
- Estrada-Villegas, S.; Rodríguez, R.; Barboza, K. 2018. *Ecolocación: fundamentos, usos y equipos*. (<http://www.relcomlatinoamerica.net/investigación/bioacústica.html>). Acceso: 25/07/2024.
- Estañol, Y. 2021. *Variación en los pulsos de ecolocalización del murciélago *Corynorhinus townsendii**. Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Fenton, M.B.; Grinnell, A.D.; Popper, A.N.; Fay, R.R. 2016. *Bat Bioacoustics*. Springer Handbook of Auditory Research, New York. 304pp.
- Fernández, I.; Yáñez, J.; Luis, A.; Gonzalo, O.; Rodríguez-San Pedro, A. 2016. Murciélagos de Chile: Lineamientos para su Estudio. *Gestión Ambiental*, 32:5–18.
- Gardner, A. 2007. *Mammals of South America, Volume 1: Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats*. The University of Chicago Press, Chicago. 636pp.
- Kalko, E.K.V. 2004. Neotropical leaf-nosed bats (Phyllostomidae): 'whispering' bats or candidates for acoustic surveys? En: Brigham, R.M.; Kalko, E.K.V.; Jones, G.; Parsons, S.; Limpens, H.J.G.A. (Eds). *Bat echolocation research: tools, techniques, and analysis*. p. 63–69.
- Kunz, T.H.; Parsons, S. (Eds). 2009. *Ecological and behavioral methods for the study of bats*. 2da edición. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. 901pp.
- Kraker-Castañeda, C.; Santos-Moreno, A.; Lorenzo, C.; MacSwiney, G. 2018. Effect of intrinsic and extrinsic factors on the variability of echolocation pulses of *Myotis nigricans* (Schinz, 1821) (Chiroptera: Vespertilionidae). *Bioacoustics*, 1-15.
- Krauss, B. 2010. *Bat Recorder* (Versión 2.0B13) [Aplicación móvil]. Digital Biology. <https://www.digitalbiology.com/BatRecorder/>
- Lopez-Baucells, A.; Bobrowiec, P.; Bernard, E.; Rocha, R. 2016. *Field Guide to Amazonian Bats*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 173pp.
- MINAM. 2021. *Mapa nacional de ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva*. Ministerio del Ambiente, Lima. 116pp.
- Mora, J.M. 2017. *Clave para la Identificación de las Especies de Murciélagos de Honduras*.

- Ceiba*, 54(2):93–117. DOI: <https://doi.org/10.5377/ceiba.v54i2.3283>
- Ossa, G. 2010. *Métodos bioacústicos: una aproximación a la ecología de comunidades de murciélagos en las eco-regiones mediterránea y el bosque templado de Chile*. Tesis, Pontificia Universidad Católica de Chile. 143pp.
- Pacheco, V.; Diaz, S.; Graham-Angeles, L.; Flores-Quispe, M.; Calizaya-Mamani, G.; Ruelas, D.; Sánchez-Vendizú, P. 2021. Lista actualizada de la diversidad de los mamíferos del Perú y una propuesta para su actualización. *Revista Peruana de Biología*, 28(4). DOI: <https://doi.org/10.15381/RPB.V28I4.21019>
- Refulio, S.M. 2015. *Diversidad de murciélagos a lo largo de una gradiente altitudinal en las yungas de la cuenca de río Pampa Hermosa (Junín, Perú)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas, Lima, Perú. 75pp.
- Rivera-Parra, P.; Burneo, S. 2013. Primera biblioteca de llamadas de ecolocación del Ecuador. *Therya*, 4(1):79–88. DOI: <https://doi.org/10.12933/therya-13-104>
- Rivera-Parra, P. 2011. *Caracterización de la fauna de quirópteros del Parque Nacional Yasuní en base a llamadas de ecolocación*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Siemers, B.M. 2004. Bats in the field and in a flight cage: recording and analysis of their echolocation calls and behavior. En: Brigham, R.M.; Kalko, E.K.V.; Jones, G.; Parsons, S.; Limpens, H.J.G.A. (Eds). *Bat echolocation research: tools, techniques, and analysis*. p. 107-113.
- SENAMHI. 2012. *Caracterización climática de las regiones Apurímac y Cusco*. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú (Ed). Primera edición. 114pp.
- Ugarte, J.A. 2020. Clave de identificación por ecolocación de 20 especies de murciélagos del suroeste de Perú. *Ciencia & Desarrollo*, 27:37–48. DOI: <https://doi.org/10.33326/26176033.2020.27.996>
- Vallejo, A. 2014. *Caracterización de llamadas de ecolocación e historia natural de tres especies del género Anoura (Chiroptera: Phyllostomidae)*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Quito, Ecuador. 83pp.
- Velazco, P.M. 2023. *Murciélagos del Perú / Bats of Peru*. (http://www.paulvelazco.com/murcielagos_peru.html). Acceso: 17/10/2023.
- Yoh, N.; Syme, P.; Rocha, R.; Meyer, C.F.J.; López-Baucells, A. 2020. Echolocation of Central Amazonian ‘whispering’ phyllostomid bats: call design and interspecific variation. *Mammal Research*, 65(3):583–597. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13364-020-00503-0>
- Zamora-Gutiérrez, V.; López-González, C.; González, M.H.; Fenton, B.; Jones, G.; Kalko, E.K.V.; Puechmaille, S.J.; Stathopoulos, V.; Jones, K. 2016. Acoustic identification of Mexican bats based on taxonomic and ecological constraints on call design. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(9):1082–1091. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12556>

Recibido: 30 de julio de 2024 **Aceptado para publicación:** 18 de diciembre de 2024