

# Diversidad funcional de quirópteros en la Estación Experimental El Padmi, cantón Yanzatza, Zamora Chinchipe, Ecuador

## *Functional diversity of chiroptera in the Experimental Station El Padmi, canton Yanzatza, Zamora Chinchipe, Ecuador*

Manuel Fernando Medina-Piedra<sup>1,\*</sup>, Katusca Valarezo-Aguilar<sup>2</sup> y Christian Alberto Mendoza-León<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Posgrado en Biodiversidad y Cambio Climático, Loja, Ecuador; fmedina2205@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Carrera de Ingeniería Ambiental, Loja, Ecuador; katusca.valarezo@unl.edu.ec, christian.a.mendoza@unl.edu.ec

\* Autor para correspondencia: fmedina2205@gmail.com

Fecha de recepción del manuscrito: 23/09/2023    Fecha de aceptación del manuscrito: 16/06/2024    Fecha de publicación: 30/06/2024

**Resumen**—En América Latina y El Caribe, las actividades agropecuarias y en general las actividades antrópicas están alterando los hábitats lo que conduce a una reducción de la biodiversidad que afecta de manera directa a la diversidad e interacciones ecológicas de los murciélagos. Para entender mejor estas interacciones y cómo las diferencias en morfología y comportamiento afectan su función ecológica, la adopción del enfoque de la diversidad funcional es crucial. Este estudio tiene como objetivo analizar la diversidad taxonómica y funcional de murciélagos en la Estación Experimental El Padmi, en la Amazonia ecuatoriana. Se dividió la zona en tres áreas de vegetación: jardín botánico, pastizal y bosque. En cada área, se estableció un transecto de 300 metros con 8 redes de neblina para capturar murciélagos, registrando individuos y midiendo características morfológicas. Mediante programas como R, Past, FDiversity e Info Stat, se evaluó la diversidad, abundancia e índices de diversidad funcional de las comunidades de murciélagos en las tres coberturas vegetales. Se capturaron en total 178 individuos pertenecientes a 9 géneros y 14 especies de la familia Phyllostomidae. Los géneros más diversos resultaron ser *Carollia* y *Artibeus*. En términos de diversidad funcional, el bosque mostró valores medios de uniformidad, divergencia y dispersión funcional. Esto sugiere que el área tiene capacidad para sostener una variada gama de especies de murciélagos, lo que a su vez indica la existencia de recursos a ser explotados. Sin embargo, esta área también presenta cierto nivel de vulnerabilidad a la introducción de especies invasoras como gatos, cotorras y especies vegetales introducidas en estos nichos. En términos generales, las tres áreas vegetales presentaron valores de diversidad funcional similares, indicando que hay recursos subutilizados y una eficiencia relativamente baja en la productividad del ecosistema. Esto pone de manifiesto la importancia de comprender y gestionar adecuadamente las interacciones entre las especies y su entorno para preservar la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas.

**Palabras clave**—Murciélagos, Índices de diversidad, Riqueza funcional, Uniformidad funcional, Divergencia funcional y Dispersión funcional.

**Abstract**—In Latin America and the Caribbean, agricultural activities and anthropogenic activities are generally altering habitats, leading to a reduction in biodiversity. This directly affects the diversity and ecological interactions of bats. To understand these interactions and how differences in morphology and behavior affect their ecological function, the adoption of the functional diversity approach is crucial. The study aims to analyze the functional diversity of bats in the El Padmi Experimental Station in the Ecuadorian Amazon. The area was divided into three vegetation areas: botanical garden, grassland and forest. In each area, a 300-meter transect was established with 8 mist nets, recording bat individuals and measuring morphological characteristics. Using programs such as R, FDiversity and Info Stat, the functional diversity of the bat communities in the three vegetation covers was evaluated. A total of 178 individuals belonging to 9 genera and 14 species of the Phyllostomidae family were captured. The most diverse genera were *Carollia* and *Artibeus*. In terms of functional diversity, the forest showed mean values of evenness, divergence and functional dispersion. This suggests that the area has the capacity to support a varied range of bat species, indicating the existence of resources to be exploited. It also presents some level of vulnerability to the introduction of invasive species into these niches. The three vegetation areas presented similar functional diversity values, indicating that there are underutilized resources and relatively low efficiency.

**Keywords**—Bats, Diversity indices, Functional richness, Functional equitability, Functional divergence and Functional dispersion.

## INTRODUCCIÓN

En un mundo afectado por un cambio global sin precedentes, impulsado por factores sinérgicos como el au-

mento poblacional, la contaminación, el uso de energías no renovables y el cambio de uso de suelo, se ha creado una red compleja de efectos que aumenta los impactos del cambio

climático y amenaza la integridad de los ecosistemas (Ipinza et al., 2021; Pisanty, 2006). Conocemos que la biodiversidad juega un papel fundamental en el desarrollo de las sociedades y su conservación debería ser una preocupación prioritaria para la humanidad (Ipinza et al., 2021). No obstante, en la actualidad, a nivel mundial gran parte de la biodiversidad se encuentra en un estado crítico, se estima que hasta un millón de especies de plantas y animales están en peligro de extinción, principalmente debido a las actividades humanas (Pérez, 2020). Dentro de los animales amenazados, se encuentra taxones que son piezas claves para la salud, equilibrio y funcionamiento de los ecosistemas, como es el caso del orden de los quirópteros (Burneo y Tirira, 2014), estos mamíferos alados son esenciales para el mantenimiento de la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas debido a que estos desempeñan múltiples papeles ecológicos, que abarcan desde la polinización y dispersión de plantas, hasta el control de poblaciones de insectos (Kunz et al., 2011). Sin embargo, la presión ejercida por la transformación del paisaje y otros factores antropogénicos ejerce un impacto palpable en la funcionalidad, composición y estructura de las comunidades de este orden (García-Morales et al., 2016; Ramírez, 2017). La alteración del hábitat conlleva una disminución en la disponibilidad de alimento, refugio y sitios de cría para los murciélagos (Durán y Pérez, 2015); además, esta transformación de los ecosistemas afecta las estrategias de forrajeo y el uso de recursos disponibles para los diferentes gremios tróficos de los murciélagos (Jackson & Fahrig, 2014).

En el Neotrópico, los murciélagos representan hasta el 50 % de la fauna de mamíferos asociada a los bosques siempre verdes de tierras bajas, donde algunas localidades pueden llegar a registrar hasta 110 especies (Emmons y Voss, 1996; Engstrom y Lim, 2001). Factores como el tamaño (Willig et al., 2003), las especializaciones fisiológicas y morfológicas (Swartz et al., 2003), las estrategias de forrajeo (Dumont, 2003; Soriano, 2000) y las diferencias en el uso de refugios (Kunz y Lumsden, 2003), han sido utilizados para explicar la gran diversidad taxonómica de este grupo. Además, debido a que algunas especies presentan requerimientos de hábitat más específicos que otras, la presencia de estas especies puede ser un importante indicador ambiental, al responder de una manera predecible a una gran variedad de estrés (Mora-Fernández y Peñuela-Recio, 2013).

En la búsqueda de comprender la compleja relación entre la diversidad biológica y el funcionamiento de los ecosistemas, varios autores han aportado investigaciones significativas para entender cómo las especies interactúan con su entorno (González et al., 2015). Mientras que estudios como los desarrollados por Halffter y Moreno (2001) y Hooper et al. (2005) se han centrado en explorar la relación entre la diversidad de especies y la estructura de los ecosistemas, otros autores, como Chapin et al. (2000), Feld et al. (2009) y Dirzo et al. (2014) han analizado la relación entre la diversidad de especies y su función de los ecosistemas. Además, enfoques más tradicionales de diversidad, como la abundancia y la riqueza de especies, han sido explorados por estudios desarrollados por Tilman et al. (1997), Duffy (2002) y Morin (2011). Esta evolución en la comprensión de los roles que cumplen las especies en la funcionalidad del ecosistema ha reemplazado la noción simplificada de que todas las especies son igualmente importantes en términos de su función en el

ecosistema (Chávez, 2004).

En esta línea, en la actualidad recibe mayor interés la diversidad funcional y evolutiva como un enfoque fundamental para comprender cómo las especies interactúan con su entorno y cómo su variabilidad morfológica y comportamental puede influir en su papel ecológico (Tilman et al., 1997; Mouchet et al., 2010; Cadotte et al., 2011). Autores como Díaz y Cabido (2001), Naeem y Wright (2003) y Córdova y Zambrano (2015) han destacado la importancia de considerar la diversidad funcional como un componente clave para entender la relación entre biodiversidad y los procesos ecológicos.

El análisis de la diversidad funcional, nos brinda la capacidad de evaluar cómo distintas especies de murciélagos cumplen funciones ecológicas en gradientes de degradación de los bosques, lo que nos da la oportunidad de comparar la salud de diversos ecosistemas y entender cómo los quirópteros reaccionan ante las alteraciones ambientales (Jones et al., 2009; Santos y Tellería, 2006). Entender la diversidad funcional es crucial para la conservación de los murciélagos y de los ecosistemas en los que desempeñan un papel importante (Kunz et al., 2011). Diversas especies de murciélagos cumplen funciones ecológicas vitales, dentro de las cuales es importante destacar a los murciélagos frugívoros, como parte de los grupos tróficos, funcionan como indicadores eficaces de los recursos disponibles en su ecosistema, dado que sus requerimientos de hábitat para la búsqueda de alimentos reflejan las condiciones ambientales. Además, este grupo taxonómico puede aportar con pautas para abordar la recuperación de áreas degradadas debido a su contribución en la dispersión de semillas de plantas pioneras. (Charles-Dominique, 1986; Cely y Castillo, 2019).

La composición y funcionamiento de las comunidades ecológicas pueden entenderse a través de los rasgos funcionales de las especies, que son atributos que pueden ser de índole morfológica, fisiológica, conductual o reproductiva de los individuos los cuales tienen un impacto importante en cómo se desenvuelven en su entorno y cómo afectan a niveles más amplios de organización (Violle et al., 2007 y Mokany y Roxburgh, 2008). La diversidad funcional describe el rango, distribución y abundancia de valores característicos de un conjunto de especies en una comunidad (Tilman et al., 1997). Mediante el uso de varios índices de diversidad funcional, es viable identificar y clasificar los seres vivos en función de su entorno y las relaciones que establecen con otros organismos (Petchey y Gaston, 2006). Además, la diversidad funcional en base a los rasgos funcionales de las comunidades proporciona una comprensión eficaz de las características y reacciones de las especies en un ecosistema, en contraste con la diversidad taxonómica (Mokany et al., 2008).

En este estudio, evaluamos la diversidad funcional de los murciélagos al sur de la Amazonía ecuatoriana. Esta región, a pesar de su riqueza biológica, se enfrenta a los desafíos relacionados con de la transformación del paisaje y la pérdida de hábitats (Burneo y Tirira, 2014; Arguero et al., 2012). A través del análisis de la diversidad funcional de los murciélagos, pretendemos analizar los principales índices de diversidad funcional en distintos tipos de cobertura vegetal, buscando conocer las propiedades y respuestas de las especies murciélagos en cada una de las coberturas vegetales estudiadas.

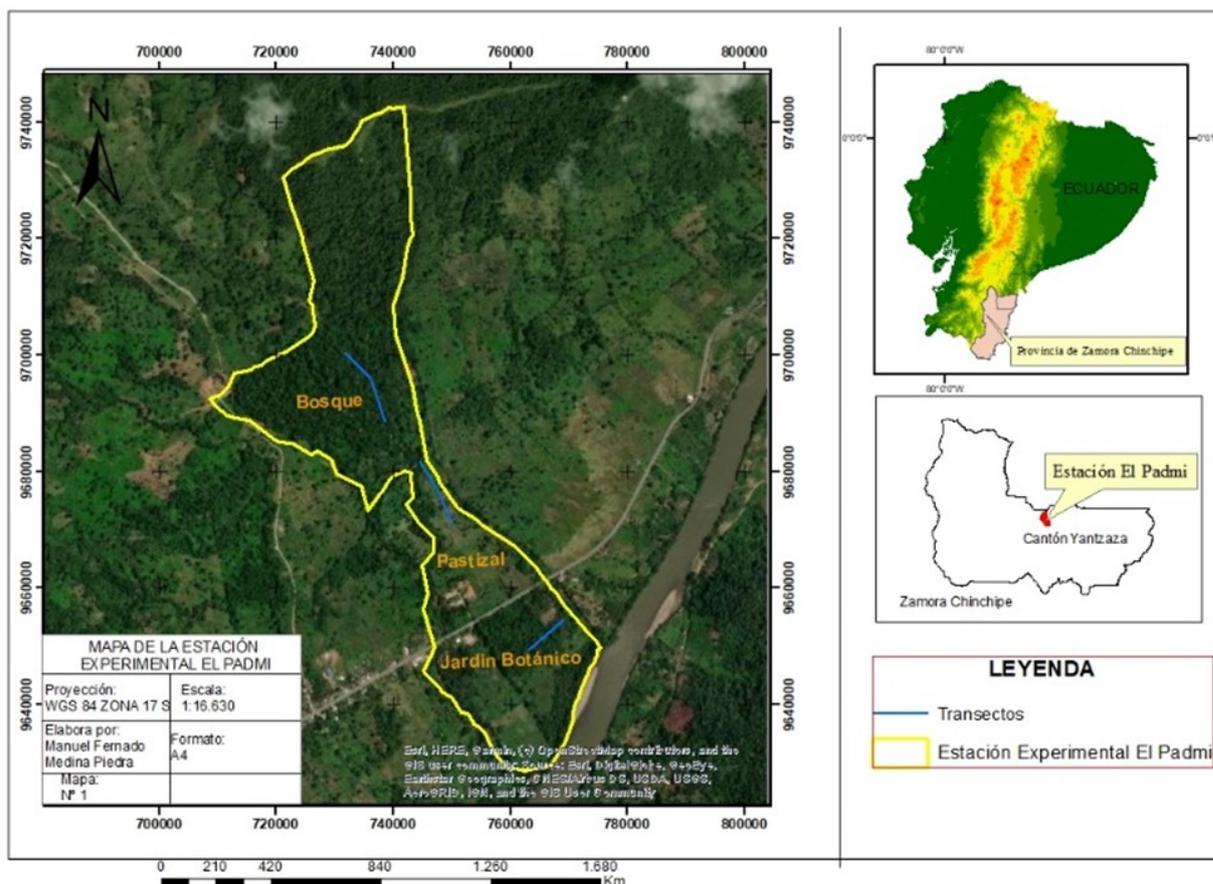


Fig. 1: Ubicación de la Estación Experimental El Padmi en amarillo y transectos de muestreo en azul.

Fuente: Satélite Landsat/Copernicus. (2023). Padmi, Ecuador. [Imagen satelital]. Google Earth.

Esta investigación tuvo como objetivo contribuir a la conservación de los murciélagos y la biodiversidad comprendiendo las diversas funciones que cumplen y su interacción con el ecosistema entendiendo los factores que podrían estar afectando al grupo de especies de mamíferos voladores que se encuentran en esta importante área dedicada a la investigación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental El Padmi ubicada al sur de la Región Amazónica Ecuatoriana, en el barrio El Padmi, parroquia Los Encuentros, cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe (Figura 1). El área de estudio tiene una extensión de 103,5 ha y se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM:  $-3.743844^{\circ}\text{E}$  y  $-78.615926^{\circ}\text{S}$ , en un rango altitudinal que va de 775 hasta 1150 m s.n.m.

La Estación Experimental El Padmi presenta un paisaje heterogéneo, abarcando pastizales utilizados como potreros, árboles de sombra, y áreas de bosque natural en las laderas altas al este de la propiedad (Aguirre y León, 2011). Registra una temperatura media anual de  $23^{\circ}\text{C}$ , su precipitación anual es de 1978 mm, siendo el mes lluvioso marzo con 226 mm y el más seco octubre con 132 mm. (Mendoza y Abad, 2002).

La Estación Experimental El Padmi presenta un paisaje heterogéneo, abarcando pastizales utilizados como potreros,

árboles de sombra, y áreas de bosque natural en las laderas altas al este de la propiedad (Aguirre y León, 2011). La temperatura promedio anual es de  $23^{\circ}\text{C}$ , con una precipitación anual de 1978 mm, caracterizado por un clima transicional entre tropical subhúmedo y tropical húmedo. Además, su fisiografía es representativa del corredor fluvial Zamora-Nangaritza, con distintas formas de terreno que van desde áreas planas aluviales hasta laderas muy escarpadas (Universidad nacional de Loja, 2002).

### Metodología

Para el estudio en la Estación Experimental El Padmi se seleccionaron tres tipos de vegetación: Bosque natural de rivera (jardín botánico), pastizal y bosque natural de ladera conforme la clasificación realizada por Quizhpe Tapia y Orellana Fierro, 2011. En cada uno de estos tres tipos de vegetación se estableció un transecto al azar de 300 m, y en cada transecto se ubicaron ocho redes de neblina (cuatro de 6 m y cuatro de 12 m de largo por 2,5 m de alto) con separación de 30 m entre redes.

La captura de murciélagos se realizó desde finales de diciembre de 2022 hasta la primera semana de febrero de 2023, con nueve noches efectivas de muestreo. El muestreo se realizó durante tres noches en cada una de las coberturas vegetales, en horarios de 18H00 a 04H00, durante cada periodo de muestreo se revisaron las redes cada 40 minutos.

Para cada espécimen capturado, se registró la fecha, la ubicación, el número de la red, las condiciones ambientales, el

orden taxonómico, la familia, el nombre científico, el sexo y la presencia de parásitos externos. Además, se tomaron diversas medidas morfométricas, tales como el largo total (LT), el largo cabeza-cuerpo (LCC), el largo de la pata (LP), el largo de la tibia (LTib.), el largo antebrazo (AB), el largo del pulgar (LPul), el largo de la cola (LC), el largo de la oreja (LO), el largo del trago (Ltra), la longitud de la hoja nasal (LH), la longitud mayor del cráneo (LMC), la longitud del calcar (LCal.) y el peso (P). Estas mediciones se efectuaron en la parte dorsal y lateral derecha de cada ejemplar, utilizando un calibrador digital con una precisión de 0,1mm y una balanza manual en gramos para el peso. Todos los especímenes fueron marcados con un corte de pelo en la parte dorsal para evitar su recaptura.

Todos los ejemplares fueron reconocidos hasta el nivel taxonómico de especie, mediante la comparación de cada una de las medidas registradas de las especies capturadas con las medidas morfométricas de las especies descritas en Tirira (2017) y López (2016). por lo que no fue necesario coleccionarlos ni llevarlos al laboratorio para observar fórmulas dentales o características craneales. Todos los individuos fueron catalogados dentro del gremio alimenticio correspondiente, según Kalko *et al.* (1996). Además, para la asignación de gremios tróficos se revisó Guerra (2014), Narváez (2010), Novoa *et al.* (2011) y Tirira (2017).

Los rasgos funcionales se establecieron en base a la clasificación propuesta por Kalko *et al.* (1996), en el cual se caracteriza el uso de recursos con base a los gremios alimenticios de los quirópteros. Los rasgos funcionales considerados en esta investigación y su descripción se muestran en la Tabla 1.

## Metodología

Para el estudio en la Estación Experimental El Padmi se seleccionaron tres tipos de vegetación: Bosque natural de rivera (jardín botánico), pastizal y bosque natural de ladera conforme la clasificación realizada por Quizhpe Tapia y Orellana Fierro, 2011. En cada uno de estos tres tipos de vegetación se estableció un transecto al azar de 300 m, y en cada transecto se ubicaron ocho redes de neblina (cuatro de 6 m y cuatro de 12 m de largo por 2,5 m de alto) con separación de 30 m entre redes.

La captura de murciélagos se realizó desde finales de diciembre de 2022 hasta la primera semana de febrero de 2023, con nueve noches efectivas de muestreo. El muestreo se realizó durante tres noches en cada una de las coberturas vegetales, en horarios de 18H00 a 04H00, durante cada periodo de muestreo se revisaron las redes cada 40 minutos.

Para cada espécimen capturado, se registró la fecha, la ubicación, el número de la red, las condiciones ambientales, el orden taxonómico, la familia, el nombre científico, el sexo y la presencia de parásitos externos. Además, se tomaron diversas medidas morfométricas, tales como el largo total (LT), el largo cabeza-cuerpo (LCC), el largo de la pata (LP), el largo de la tibia (LTib.), el largo antebrazo (AB), el largo del pulgar (LPul), el largo de la cola (LC), el largo de la oreja (LO), el largo del trago (Ltra), la longitud de la hoja nasal (LH), la longitud mayor del cráneo (LMC), la longitud del calcar (LCal.) y el peso (P). Estas mediciones se efectuaron en la parte dorsal y lateral derecha de cada ejemplar, utilizando un calibrador digital con una precisión de 0,1mm y una balan-

za manual en gramos para el peso. Todos los especímenes fueron marcados con un corte de pelo en la parte dorsal para evitar su recaptura.

Todos los ejemplares fueron reconocidos hasta el nivel taxonómico de especie, mediante la comparación de cada una de las medidas registradas de las especies capturadas con las medidas morfométricas de las especies descritas en Tirira (2017) y López (2016). por lo que no fue necesario coleccionarlos ni llevarlos al laboratorio para observar fórmulas dentales o características craneales. Todos los individuos fueron catalogados dentro del gremio alimenticio correspondiente, según Kalko *et al.* (1996). Además, para la asignación de gremios tróficos se revisó Guerra (2014), Narváez (2010), Novoa *et al.* (2011) y Tirira (2017).

Los rasgos funcionales se establecieron en base a la clasificación propuesta por Kalko *et al.* (1996), en el cual se caracteriza el uso de recursos con base a los gremios alimenticios de los quirópteros. Los rasgos funcionales considerados en esta investigación y su descripción se muestran en la **Tabla 1**.

La diversidad funcional de la comunidad de murciélagos presentes en las tres coberturas vegetales de estudio, se calculó con base a siete rasgos funcionales cuantitativos (rasgos morfológicos) y tres cualitativos (relacionados a la historia de vida). Para cada cobertura vegetal se calculó la riqueza funcional (FRic), uniformidad funcional (FEve), índice de divergencia funcional (FDiv) y dispersión funcional (FDis). Los rasgos funcionales fueron considerados en base a lo descrito en la **Tabla 1** y sus cálculos se basó en los índices y fórmulas descritas en la **Tabla 2**, o patrones importantes.

Se generaron dos matrices para obtener los valores de los índices de diversidad funcional. La primera matriz constó de las especies de murciélagos registradas y sus rasgos morfológicos promediados. La segunda matriz contiene las especies, el tipo de vegetación y abundancias. Se considero cada noche de muestreo como las réplicas del estudio y todos individuos registrados por especie. Estas dos matrices, fueron cargadas y fusionadas horizontalmente en el programa FDiviversity (Casanoves *et al.*, 2010), una vez fusionadas se procedió a estandarizar esta matriz fusionada utilizando la distancia de Gower para rasgos categóricos y cuantitativos, lo que nos permitió obtener los índices de diversidad funcional. Para realizar la comparación la diversidad funcional entre las tres coberturas de la Estación Experimental El Padmi; partiendo de los resultados obtenidos de los cuatro índices de diversidad funcional se procedió a aplicar primero la prueba de Levene para homocedasticidad, para luego recurrir a la prueba alternativa no paramétrica de Kruskal-Wallis a través del programa InfoStat versión estudiantil (Di Rienzo *et al.*, 2020). Además, los índices de diversidad funcional fueron representados gráficamente mediante la utilización del programa en Past 4.11 (Dasgupta, 2013).

## RESULTADOS

Se obtuvo un esfuerzo de muestreo de 5400 m<sup>2</sup> red/hora en cada cobertura vegetal seleccionada en la Estación Experimental El Padmi (Jardín Botánico, Pastizal y Bosque).

Se registraron 178 murciélagos distribuidos en nueve géneros y 14 especies pertenecientes a la familia Phyllostomidae, dentro del orden Chiroptera. El género más diverso fue Carollia que presenta el 36,52% de la riqueza, seguida de

**Tabla 1:** Rasgos funcionales morfométricos y de historia de vida para la comunidad de murciélagos del bosque húmedo tropical de la Estación Experimental el Padmi

Rasgos Funcionales	Fundamento de variable como rasgo funcional	Atributo	Definición del atributo
<b>Cuantitativos</b>			
Peso (g)	Relacionado con la búsqueda de alimento, tasa metabólica, cantidad y calidad del recurso alimenticio. Se ha determinado que los murciélagos frugívoros con peso >40 g pueden dispersar semillas más pesadas, es común encontrarlos en ambientes transformados (Saldaña-Vázquez, 2014, Saldaña-Vázquez y Schondub, 2016). Por otra parte, en ambientes de bosques tropicales, mejores condiciones ambientales fomentan el peso en <i>Artibeus lituratus</i> y <i>Artibeus planirostris</i> mejorando las condiciones corporales de los individuos (Chacón-P y Ballesteros, 2019).	Peso en gramos.	Peso del espécimen
Longitud antebrazo (mm)	Esta medida está ligada al tamaño corporal, se ha demostrado una relación positiva entre la longitud del antebrazo y el tamaño de las presas. Estudios en matrices en bosques tropicales concluyeron una relación entre el aumento de talla en murciélagos con disponibilidad de recursos alimenticios (Houston y Jones, 2004).	Valor en milímetros.	Medición tomada desde la base del codo hasta donde se unen los carpos.
Longitud total (mm)	Relacionado con la demanda de recursos tróficos, metabolismo, comportamiento de forrajeo (estrato, sitio) (Gómez-Ortiz y Moreno, 2017).	Valor en milímetros.	Medida desde el inicio de la cola hasta el inicio de la cabeza.
Longitud oreja (mm)	Asociada a la dieta, estrategia de forrajeo, puede ayudar en el vuelo en el control y levantamiento, localización de las presas, dirección y distancia de las señales (Arita y Fenton, 1997; Balcombe y Fenton, 2010; Gardner et al., 2011 b).	Valor en milímetros.	Medida desde la base de la oreja hasta la parte distal.
Longitud trago (mm)	Accesorio de la oreja asociado con la ecolocalización en la dirección, localización y elevación de la señal, y en la orientación en el ambiente (Lawrence y Simmons, 1982; Müller, 2004).	Valor en milímetros.	Medición desde la base del trago hasta el ápice.
Longitud tibia (mm)	Medida que, al igual que longitud de antebrazo está relacionada con el tamaño de los murciélagos, que ayuda a dar maniobrabilidad al uropatagio (Swartz y Middleton, 2008).	Valor en milímetros.	Medida de articulación con el fémur, hasta la articulación con la pata.
Hoja nasal: forma, borde, pelos (FHN, BHN, PHN)	Asociadas con la transmisión en las señales de la ecolocalización, dieta, detección de presas, orientación asociada con los hábitos alimenticios y uso del hábitat, estrategia de forrajeo (Arita, 1990; Arita y Fenton, 1997).	Forma, borde y pelos en milímetros.	Originada entre las narinas y extendida hacia la parte distal de la lanza.
<b>Cualitativos (Rasgos de historia de vida)</b>			
Gremio trófico (1, 2, 3, 4 y 5)	Este aspecto del ensamblaje de murciélagos proporciona información acerca de la partición de recursos y uso de hábitat, la determinación de los gremios proporciona sobre el papel funcional de los murciélagos. Los gremios tróficos están relacionados, en cierto grado, con la dinámica de los ecosistemas (Lobova et al., 2003, Kalko et al., 1996).	1: Frugívoro, 2: Insectívoro, 3: Hematófago, 4: Nectarívoro, 5: Piscívoro.	Basado en información primaria y secundaria en publicaciones indexadas.
Estrategias de forrajeo (EF1, EF2, EF3, EF4, EF5, EF6)	El modo o estrategia para atrapar el alimento, permite a los murciélagos explotar la heterogeneidad del hábitat y generar una mayor partición de recursos en los ecosistemas. Se ha sugerido a mayor diversidad estructural de la vegetación, más recursos y hábitats pueden ser utilizados por los murciélagos, lo que pueden estar vinculados a un mayor número de procesos ecológicos (Mora-Fernández et al., 2013).	EF1: IAR, EF2: NR, EF3: IR, EF4: FS, EF5: FN, EF6: PAR.	Basado en información secundaria (Schnitzler y Kalko, 2001, Suárez-Castro y Montenegro, 2015).
Hábitos de Forrajeo (HF1, HF2, HF3, HF4, HF5, HF6, HF7, HF8, HF9, HF10)	Este comportamiento está relacionado con las condiciones de ecolocalización y estrategia de forrajeo, los murciélagos pueden utilizar, dependiendo del hábitat donde se encuentren, diferentes hábitos de forrajeo para conseguir los recursos alimenticios, lo cual está relacionado con la morfología alar y oídos (Denzinger y Schnitzler, 2013, Luck et al., 2013).	FARAEAF, FAEBD, FBAE-SA, FAEA, FPPEVS, FPPEVF, FPPEVD, FAEA, FA-CAESD	Basado en información secundaria (Denzinger y Schnitzler, 2013, Luck et al., 2013).

**Nota:** Estrategias de forrajeo: IAR= insectívoros aéreos rápidos, NR= nectarívoros recolectores, IR= insectívoros recolectores, FS= frugívoros sedentarios, FN= frugívoros nómadas, PAR= piscívoros aéreos recolectores. Hábitos de forrajeo: FARABA= Forrajadores aéreos de rebúsqueda activa de espacios estrechos de follaje, FABEB= forrajadores aéreos de espacio de borde de dosel, FBAESA= Forrajadores de borde de arrastre espacial sobre la superficie del agua, FAEA= forrajadores aéreos de espacios abiertos, FPPEVS= forrajadores pasivos de espacios estrechos entre la vegetación del sotobosque, FPPEEF= Forrajadores pasivos de espacios estrechos de follaje, FAEA= Forrajadores activos de espacios abiertos, FACAESD= forrajadores aéreos de espacios abiertos entre y sobre el dosel.

**Fuente:** (Acosta Cala, 2019; Peña Peinado, 2021).

**Tabla 2:** Índices de diversidad funcional (IDF) usados en la presente investigación.

IDF	Ecuación	Variables	Definición
<b>Riqueza funcional</b>	$FRic = 2^T$	$T$ = número total de rasgos funcionales	Determina el espacio funcional que ocupa la comunidad ((?)).
<b>Uniformidad funcional</b>	$FEve = \frac{\sum_{j=1}^{S-1} \min\left(\frac{1}{b_j}\right) - \frac{1}{S-1}}{1 - \frac{1}{S-1}}$	$S$ = riqueza de especies $b$ = largo de la distancia entre rasgos funcionales	Establece la uniformidad en la distribución de las abundancias en el espacio funcional ((?)).
<b>Divergencia funcional</b>	$FDiv = \frac{\Delta + \overline{\Delta G}}{\Delta \Delta  + \Delta G}$	$dG$ = distancia euclidiana de cada especie $\Delta d$ = cálculo de las desviaciones estándar de las abundancias	Analiza la distribución de las abundancias a partir del centro de gravedad del espacio funcional ((?)).
<b>Dispersión funcional</b>	$FDis = \sum_{i=1}^S W_i Z_i$	$S$ = riqueza $W_i$ = abundancias relativas de las especies $Z_i$ = distancia de las especies al centroide	Determina la distancia media de cada individuo al centroide, describiendo la heterogeneidad funcional de la comunidad ((?), (?)).



**Fig. 2:** Clasificación de los murciélagos registrados en la Estación Experimental El Padmi, de acuerdo a sus gremios tróficos. Nota: Gremios tróficos registrados nectarívoros recogedores de dosel (NRD), frugívoros recogedores de sotobosque (FRS), frugívoros recogedores de dosel (FRD) y hematófagos recogedores de sotobosque (HRS).

Artibeus con el 25 % de riqueza, Desmodus con el 22,47 %, Uroderma con el 9,55 % mientras que Anoura y Rhinophylla con el 0,56 % cada uno, fueron los géneros menos diversos **Tabla(3)**.

Se identificaron cuatro gremios tróficos **Figura(2)**, nectarívoros recogedores de dosel (NRD), frugívoros recogedores de sotobosque (FRS), frugívoros recogedores de dosel (FRD) y hematófagos recogedores de sotobosque (HRS). El gremio trófico dominante fue FRS con el 64,29 % (n=9) de las especies registradas, seguido de los FRD con 21,43 % (n=3) y los más raros fueron los NRD y HRS con el 7,14 % (n=1), cada uno.

En la Figura 3 se observamos que la riqueza funcional (FRic) de las tres coberturas vegetales presentan valores cercanos a cero, lo que indica que cada uno de estos ecosistemas

posee recursos sin explotar y por ende tienen una baja productividad. El valor más extremo se registró en el jardín botánico, mientras que el pastizal y bosque presentaron valores cercanos entre ellos, siendo el pastizal ligeramente mayor. En cuanto a los valores de uniformidad funcional (Feve) (Figura 3), las tres coberturas presentaron valores medios acercándose a la una uniformidad completa. El bosque presentó el valor más alto, mientras que en el pastizal y jardín botánico los valores de uniformidad funcional fueron medios.

En referencia a la divergencia funcional (FDiv) (Figura 3), se puede observar que las tres coberturas vegetales registraron valores moderadamente altos, lo que indicaría que existe una alta divergencia de especies dominantes y una diferenciación entre sus nichos funcionales, siendo el jardín botánico el ecosistema que presentaría el valor más alto, mientras que el

**Tabla 3:** Especies de murciélagos presentes en la Estación Experimental El Padmi

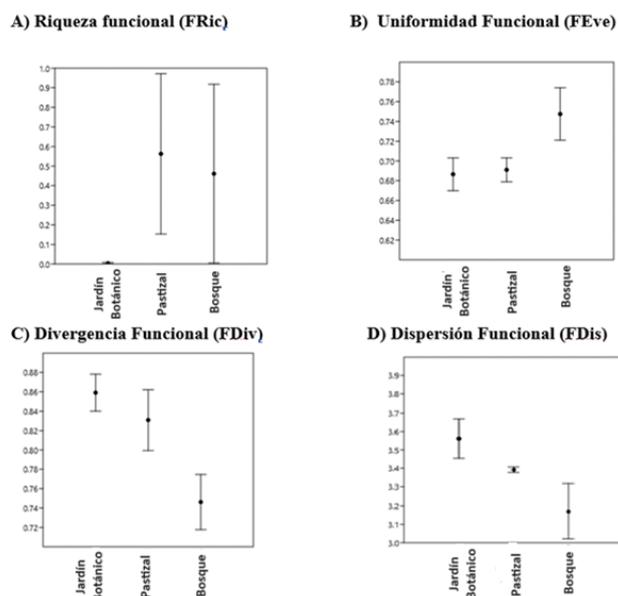
Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Jardín Botánico	Pastizal	Bosque Alto	Total
Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Anoura caudifer</i>	Murciélago rabón ecuatoriano	1	0	0	1
		<i>Artibeus anderseni</i>	Murciélago frutero chico de Andersen	0	0	2	2
		<i>Artibeus lituratus</i>	Murciélago frutero grande	5	6	2	13
		<i>Artibeus obscurus</i>	Murciélago frutero oscuro	1	0	2	3
		<i>Artibeus planirostris</i>	Murciélago frutero de rostro plano	10	10	7	27
		<i>Carollia brevicaudum</i>	Murciélago sedoso de cola corta	16	12	11	39
		<i>Carollia castanea</i>	Murciélago castaño de cola corta	4	2	1	7
		<i>Carollia perspicillata</i>	Murciélago común de cola corta	8	5	6	19
		<i>Desmodus rotundus</i>	Murciélago vampiro común	15	16	9	40
		<i>Enchistenes hartii</i>	Murciélago frutero aterciopelado	1	1	1	3
		<i>Mesophylla macconnelli</i>	Murciélago de Macconnell	1	0	1	2
		<i>Platyrrhinus incarum</i>	Murciélago de nariz ancha incaico	1	1	2	4
		<i>Uroderma bilobatum</i>	Murciélago toldero común	8	4	5	17
		<i>Rhinophylla pumilio</i>	Murciélago frutero pequeño enano	1	0	0	1
<b>Total</b>				<b>72</b>	<b>57</b>	<b>49</b>	<b>178</b>

bosque presentaría el valor más bajo. La dispersión funcional (FDIs) **Figura(3)**, reflejó valores intermedios en las tres coberturas vegetales y al igual que en la divergencia funcional, el jardín botánico presentó los valores más altos que el resto de coberturas, no así el bosque, donde se reportó el menor valor, lo que indicarían que tiene una mediana capacidad de respuesta a las perturbaciones ambientales.

**Tabla 4:** Valores de prueba no paramétrica de *Kruskal-Wallis* para cada índice de diversidad funcional entre las tres coberturas vegetales de la Estación Experimental El Padmi.

Variable	Tratamiento	N	Medias	p
FRic	Bosque	3	0,46	0,2464
	Jardín Botánico	3	3,9E-03	
	Pastizal	3	0,56	
FEve	Bosque	3	0,75	0,2173
	Jardín Botánico	3	0,69	
	Pastizal	3	0,69	
FDiv	Bosque	3	0,75	<b>0,0964</b>
	Jardín Botánico	3	0,86	
	Pastizal	3	0,83	
FDIs	Bosque	3	3,17	0,3821
	Jardín Botánico	3	3,56	
	Pastizal	3	3,39	

**Nota:** *FRic*: Riqueza funcional; *FEve*: uniformidad funcional; *FDiv*: divergencia funcional; *FDIs*: dispersión funcional; y, *p*-valor: Valor de probabilidad.



**Fig. 3:** Media y error estándar de la riqueza funcional (FRic), uniformidad funcional (FEve), divergencia funcional (FDiv) y dispersión funcional (FDIs) de quirópteros en la cada una de las tres coberturas vegetales en la Estación Experimental El Padmi.

La prueba no paramétrica de *Kruskal-Wallis* reveló que no existen diferencias significativas entre los diversos índices, lo que sugiere que las medias de cada uno de los índices

de diversidad funcional obtenidas para el jardín botánico, el pastizal y el bosque no difieren entre ellas **Tabla 4**.

## DISCUSIÓN

Existe una baja diversidad funcional en la Estación Experimental El Padmi, por lo que entendemos que el funcionamiento del ecosistema está estrictamente ligado a un número muy reducido de especies quirópteras que cumplen sus funciones ecológicas en este ecosistema (Homar, 2017).

La comunidad de murciélagos evaluados en el Jardín Botánico presenta una mayor divergencia funcional (FDiv) lo que indica una alta diferenciación del nicho funcional y divergencia entre las especies dominantes como *Carollia brevicaudum*, *Desmodus rotundus* y *Artibeus planirostris*, lo que reduce la competencia y aumenta la eficiencia en el uso de los recursos que se encuentren disponibles con una mayor productividad del ecosistema (Prada-Salcedo *et al.*, 2021 y Villéger *et al.*, 2008). En términos biológicos, se sabe que altas divergencias funcionales reflejan altos grados de especialización de las especies dominantes, independientemente de sus abundancias (Bellwood *et al.*, 2006). En el presente estudio, los valores de divergencia funcional fueron altos, lo que se podría relacionar con la alta dominancia de *Carollia brevicaudum*, y *Artibeus planirostris*, las mismas que presentan hábitos frugívoros.

La comunidad de murciélagos evaluada en la misma cobertura vegetal presenta un valor intermedio de dispersión funcional (FDis) con respecto a los tipos de vegetación evaluados, lo que muestra una mediana diferencia funcional en el nicho y una capacidad moderada de respuesta a las perturbaciones ambientales (Elmqvist *et al.*, 2003; Laliberté y Legendre, 2010; Luck *et al.*, 2013). Esto reduce la competencia de manera moderada (Mason *et al.*, 2005), que conduce a un aprovechamiento de los recursos dentro de la comunidad estudiada, lo que se interpretaría como una mejor productividad del ecosistema y mediana resistencia a especies invasoras (Prada-Salcedo *et al.*, 2021). En cuanto a la riqueza funcional (FRic), la comunidad de murciélagos presentó valores cercanos a cero, lo que sugiere que varios de los recursos no están siendo aprovechados en su totalidad, lo que provocaría una baja eficiencia en la producción del ecosistema (Mason *et al.*, 2005). En los estudios realizados por Lozano (2014) y Mogro (2020) también presentan valores bajos de riqueza funcional, cercanos a los obtenidos en el presente estudio, lo que lo que podría deberse a la alta abundancia de individuo de las especies dominantes y la redundancia funcional de un grupo específico de éstas que pueden suplir los servicios ecosistémicos de otras adaptándose fácilmente a los cambios (García *et al.*, 2016). En la misma cobertura vegetal el grupo de murciélagos evaluados registró un valor intermedio de uniformidad funcional (FEve), lo que indica que las especies cercanas tienen un mismo espacio y sus abundancias son casi similares entre todas las especies (Villéger *et al.*, 2008). Este valor también muestra que el nicho funcional no está siendo ocupado en su totalidad, por lo que posibles especies invasoras puedan ingresar al mismo (Mason *et al.*, 2005).

En cuanto a los valores bajos y medios de los índices de riqueza, uniformidad y dispersión funcional, respectivamente, que presenta la comunidad de quirópteros registrados en el Jardín botánico podrían explicarse debido a otras variables que se describieron como la intervención media del área por la presencia de senderos, extracción de productos no maderables y maderables. Esto pudiera tener dos interpretaciones;

por un lado, pudiera implicar la baja probabilidad de perder un grupo funcional en esta cobertura (Fonseca y Ganade, 2001), pero por otro lado pudiera mostrar una baja eficiencia en la productividad del pastizal (Villéger *et al.*, 2008).

En referencia a la diversidad funcional de la comunidad de murciélagos registrados en la cobertura de pastizal, al igual que el jardín botánico, presenta una alta divergencia funcional lo que coincidiría en una especialización de especies dominantes como *Desmodus rotundus*, *Carollia brevicaudum* y *Artibeus planirostris*, los cuales estarían lejos del centro de rasgos funcionales y tendrían una alta diferenciación de nichos funcionales entre especies, lo que reduce la competencia y aumenta la eficiencia por los recursos.

Además, se puede mencionar que el pastizal presenta valores de uniformidad y dispersión funcional media, indicando que las especies ocupan espacios y poseen abundancias similares, es decir, el nicho funcional no se está ocupando en su totalidad. Esto se traduce en una mediana eficiencia en el aprovechamiento de los recursos, afectando así el funcionamiento de esta cobertura vegetal, lo que daría cabida al ingreso de posibles especies invasoras (Mason *et al.*, 2005). Por otra parte, al igual que las otras dos coberturas, el pastizal presenta valores bajos de riqueza funcional.

Estas condiciones de riqueza funcional baja, uniformidad y dispersión funcional media que presenta la comunidad de murciélagos registrada para el pastizal pudieran estar asociada a la vegetación abierta dominada por especies herbáceas y cuya producción primaria es aprovechada por el ganado vacuno (Quizhpe Tapia y Orellana Fierro, 2011), el cual es el recurso alimenticio de *Desmodus rotundus* lo que explicaría su abundancia. Teniendo en cuenta que el grupo de mamíferos investigados se desplazan largas distancias desde sus refugios hasta las áreas de alimentación, esta área, por encontrarse entre el jardín botánico y el bosque pudiera estar siendo usada como un área de tránsito, lo que explicaría la presencia de 8 especies de murciélagos de hábitos frugívoros registrados en el pastizal (Aguiar y Marinho, 2007; Novoa *et al.*, 2011).

En cuanto a la comunidad de murciélagos registrados para la cobertura vegetal de bosque presenta valores de uniformidad, divergencia y dispersión funcional medios los cuales indican que en esta área existen pares de especies cercanas que comparten el mismo espacio y presentan abundancias casi similares en las especies registradas, además de no ocupar en su totalidad el espacio funcional. Esto produciría una eficiencia media en el aprovechamiento de recursos y el funcionamiento del ecosistema, además de una baja posibilidad de ingresos de especies invasoras (Mason *et al.*, 2005). Por otro lado, se observa divergencia alta, es decir, las especies dominantes están lejos del centro de rasgos funcionales, porque cada una goza de una alta diferenciación funcional, lo que reduce la competencia y aumenta la eficiencia en el uso de los recursos disponibles, provocando una mayor productividad de esta cobertura vegetal (Villéger *et al.*, 2008). Esta mayor diferencia funcional del nicho ayudaría a tener una elevada capacidades de respuesta a posibles perturbaciones ambientales (Elmqvist *et al.*, 2003; Laliberté y Legendre, 2010; Luck *et al.*, 2013) y reduce la competencia (Mason *et al.*, 2005), lo que conduce a un aprovechamiento más eficiente de los recursos dentro de la comunidad de murciélagos registrados en esta cobertura vegetal aportando a una mayor

productividad del ecosistema y resistencia a especies invasoras (Prada-Salcedo et al., 2021).

Se puede complementar mencionado que el bosque presenta en, términos biológicos, la mayor cantidad de especies vegetales, debido a que el grado de intervención es menor, además que el área es de mayor superficie comparado con los otros dos tipos de cobertura vegetal. La diversidad florística de este tipo de bosque está determinada por la presencia de 142 especies, entre los géneros más relevantes se encuentran *Piper*, *Solanum* y *Cecropia*, (Quizhpe Tapia y Orellana Fierro, 2011), convirtiéndolo en un área con una gran producción de recursos tróficos que pueden ser aprovechados por los murciélagos.

En términos generales la riqueza funcional (Fric) presenta un valor cercano a cero en la cobertura vegetal de bosque de ribera (jardín botánico), lo que indicaría que existen recursos sin explotar en esta área, posiblemente por una baja productividad en estos ecosistemas, en referencia a las coberturas de pastizal y bosque de ladera, donde se observa valores intermedios sugiere que el espacio funcional ocupado por la comunidad está aprovechando parcialmente los recursos disponibles. La equitatividad funcional (Feve) indica una uniformidad media en todos los gremios del área de estudio presentando una homogeneidad, lo cual describe que existe una distribución de abundancia en las tres coberturas similares, es decir, las especies están igualmente representadas, datos cercanos presenta Díaz Beltrán, (2021), en su estudio denominado patrones de diversidad funcional de murciélagos en zonobiotomas secos del norte de Colombia, en los siete polígonos o localidades investigadas.

De manera general, se puede decir que existe una baja diversidad funcional para la Estación Experimental El Padmi y que el funcionamiento del ecosistema está estrictamente ligado a un número muy reducido de especies quirópteras (Homar, 2017), resultados similares presenta Díaz Beltrán, (2021), en su estudio, también podríamos mencionar que valores muy similares en los índices de diversidad funcional se observan en el estudio desarrollado por Mogro (2021). Pero se observa que estos valores difieren con los resultados que presenta Escobar, y Maglianesi, (2021) en el que se observa una alta riqueza funcional lo cual se traduciría en una mayor cantidad de recursos explotados, por lo que es importante mantener la cobertura vegetal existente en esta área dedicada a la investigación e iniciar con estrategias de restauración activa o pasiva, a fin de garantizar un equilibrio funcional y una reincorporación de especies que aporten en mejorar la funcionalidad de este ecosistema. Este trabajo contribuye a la comprensión de las funciones ecológicas que tienen los murciélagos dentro de los ecosistemas presentes en la Amazonía sur del Ecuador.

## CONCLUSIONES

Dentro de las tres coberturas vegetales caracterizadas en la Estación Experimental El Padmi el gremio perteneciente a los frugívoros recolectores de sotobosque fue dominante lo que se podría deducir que desarrollan las funciones ecológicas en este ecosistema, además se observa que bosque presenta valores de uniformidad, divergencia y dispersión funcional medios, es decir, el área tiene capacidad para albergar una gran diversidad de especies de murciélagos, el cual brin-

da alta cantidad de recursos que deben ser aprovechados, a su vez presenta un grado de vulnerabilidad al ingreso de especies invasoras a estos nichos

La divergencia funcional es moderadamente alta en el jardín botánico lo que sugiere que las especies dominantes como *Desmodus rotundus*, *Carollia brevicaudum* y *Artibeus planirostris* presentan una alta divergencia, es decir, están lejos del centro de rasgos funcionales, lo que permite la reducción de la competencia y aumenta la eficiencia por los recursos.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la SENESCYT por el valioso respaldo proporcionado para llevar a cabo mi programa de maestría en Biodiversidad y Cambio Climático y permitir generar dentro de este programa la presente investigación. También quiero extender mi gratitud a la Ecóloga Katusca Valarezo Aguilar M.Sc. y al Ing. Christian Mendoza León M.Sc. por su inestimable acompañamiento y asesoría a lo largo de la realización de este trabajo. Su amistad y orientación han sido un sólido apoyo tanto en el ámbito profesional como en el personal. Asimismo, reconozco y agradezco profundamente el apoyo del Ing. Diego Loayza, David Villamagua, Blgo. Camilo Gonzalez, Ing. Vinicio Escudero, Blgo. Wilzon Zuñiga y a cada uno de mis compañeros de aula cuya ayuda durante la fase de campo de este proyecto y en la posterior etapa de análisis estadísticos ha sido esencial para su éxito. Sin lugar a dudas, deseo destacar el apoyo incondicional de Magaly Ximena Chumbi por su respaldo constante y amor brindado.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Manuel Fernando Medina Piedra y Katusca Valarezo Aguilar desarrollaron la metodología; Manuel Fernando Medina Piedra, David Villamagua, Diego Loayza, Vinicio Escudero, Camilo González contribuyeron en la fase de campo; Manuel Fernando Medina Piedra Katusca Valarezo Aguilar y Christian Mendoza León realizaron el análisis de la información, curación de datos, producción de tablas y figuras, además de la redacción del manuscrito y revisión crítica del artículo.

## FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por procedencia propia.

## REFERENCIAS

- Acosta Cala, N. (2019). Grupos funcionales de los murciélagos presentes en la ciudad de Bogotá, DC.
- Aguirre Mendoza, Z., y León Abad, N. (2011). Supervivencia y crecimiento inicial de especies vegetales en el Jardín Botánico de la quinta El Padmi, Zamora, Chinchipe. *Arnaldoa*, 115–122.
- Aguiar, L., y Marinho-Filho, J. (2007). Frugivoría de murciélagos en un remanente de bosque atlántico del sudeste brasileño. *Acta Chiropterologica*, 9(1), 251-260.
- Arita, H.T. (1990). Noseleaf Morphology and Ecological

- Correlates in Phyllostomid Bats. *Journal of Mammalogy*, 71(1), 36-47.
- Arita, H.T., y Fenton, M.B. (1997). Flight and echolocation in the ecology and evolution of bats. *Trends in Ecology and Evolution*, 12(2), 53–58.
- Arguero, A., Jiménez-Roble, O., Sánchez, F., Baile, A., Cadena, G., y Barboza, K. (2012). Observaciones sobre dispersión de semillas por murciélagos en la alta Amazonía del sur de Ecuador. *Publicación especial sobre los mamíferos del Ecuador*, 21, 37-43.
- Balcombe, J.P., y Fenton, M.B. (2010). Eavesdropping by Bats: The Influence of Echolocation Call Design and Foraging Strategy. *Ethology*, 79(2), 158–166.
- Bellwood, D.R., Wainwright, P.C., Fulton, C.J., y Hoey, A.S. (2006). La versatilidad funcional respalda la biodiversidad de los arrecifes de coral. *Actas de la Royal Society B: Ciencias Biológicas*, 273(1582), 101-107.
- Burneo, S.F., y Tirira, D.G. (2014). Murciélagos del Ecuador: un análisis de sus patrones de riqueza, distribución y aspectos de conservación. *Therya*, 5(1), 197-228.
- Burneo, S.F., Proaño, M.D., y Tirira, D.G. (Eds.). (2015). *Plan de acción para la conservación de los murciélagos del Ecuador*. Programa para la Conservación de los Murciélagos del Ecuador y Ministerio del Ambiente del Ecuador, Quito.
- Casanoves, F., Di Rienzo, J.A., y Pla, L. (2010). FDiversity User manual. En *Analysis* (Número December 2015).
- Cadotte, M.W., Carscadden, K., y Mirotchnick, N. (2011). Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1079-1087.
- Cely Gómez, M.A., y Castillo Figueroa, D. (2019). Diet of dominant frugivorous bat species in an oil palm landscape from Colombian Llanos: implications for forest conservation and recovery. *Therya*, 10(2), 149-153. <https://doi.org/10.12933/therya-19-682>
- Chacón-Pacheco, J.J., y Ballesteros-Correa, J. (2019). Mejor condición corporal de *Artibeus lituratus* en fragmentos de bosque seco asociados a sistemas silvopastoriles que en sistemas convencionales de ganadería en Córdoba, Colombia. *Oecologia Australis*, 23(3), 589-605.
- Chacón-Pacheco, J.J., y Ballesteros-Correa, J. (2019). Mejor condición corporal de *Artibeus lituratus* en fragmentos de bosque seco asociados a sistemas silvopastoriles que en sistemas convencionales de ganadería en Córdoba, Colombia. *Oecologia Australis*, 23(3), 589-605.
- Cooper, J.O., Heron, T.E., y Heward, W.L. (2017). Extinción. *Análisis Aplicado de La Conducta*, 534–548. <https://doi.org/10.26741/abaspain/2017/cooper21>
- Córdova-Tapia, F., y Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Ecosistemas*, 24(3), 78-87.
- De Lisio, A. (2020). *El papel de la biodiversidad en la transformación social-ecológica de América Latina*. México: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Denzinger, A., y Schnitzler, H.U. (2013). Bat guilds, a concept to classify the highly diverse foraging and echolocation behaviors of microchiropteran bats. *Frontiers in Physiology*, 4, 164.
- Díaz Beltrán, C.A. (2021). Patrones de diversidad funcional de murciélagos en zonobiotomas secos del norte de Colombia (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Dietz, C., Dietz, I., y Siemers, B. (2006). Wing measurement variations in the five European Horseshoe bat species (Chiroptera: Rhinolophidae). *Journal of Mammalogy*, 87(6), 1241-1251.
- Dirzo, R., Young, H.S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N.J., y Collen, B. (2014). La difunción en el Antropoceno. *Ciencia*, 345(6195), 401–406.
- Díaz, S., y Cabido, M. (2001). Vive la différence: la diversidad funcional de las plantas es importante para los procesos ecosistémicos. *Tendencias en ecología y evolución*, 16(11), 646-655.
- Duffy, J.E. (2002). Biodiversidad y función de los ecosistemas: la conexión del consumidor. *Oikos*, 99(2), 201-219.
- Dumont, E.R. (2003). Bats and Fruit: an ecomorphological approach. Págs. 308-428 en: T. Kunz y H.R. Fenton (Eds.), *Bat Ecology*. The University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Durán, A.A., y Canchila Pérez, S. (2015). Ensamblaje de murciélagos (Mammalia: Chiroptera) en dos zonas del departamento de Sucre, Colombia. *Acta Zoológica Mexicana*, 31(3), 358-366.
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., y Norberg, J. (2003). Diversidad de respuestas, cambio de ecosistemas y resiliencia. *Fronteras en Ecología y Medio Ambiente*, 1(9), 488-494.
- Escobar, F.M., y Maglianesi, M.A. (2021). Diversidad funcional de murciélagos frugívoros en dos fincas de producción ganadera en Guanacaste, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 13(2), e3465-e3465.
- Charles Dominique, P. (1986). Inter-relations between frugivorous vertebrates and pioneer plants: *Cecropia*, birds and bats in French Guyana. In A. Estrada & T.H. Fleming (Eds.), *Frugivores and seed dispersal* (pp. 119-135). Holanda: Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht.

- Feld, C.K., Martins da Silva, P., Paulo Sousa, J., De Bello, F., Bugter, R., Grandin, U., ... y Harrison, P. (2009). Indicadores de biodiversidad y servicios ecosistémicos: una síntesis entre ecosistemas y escalas espaciales. *Oikos*, 118(12), 1862-1871.
- Gardiner, J.D., Codd, J.R., y Nudds, R.L. (2011). An association between ear and tail morphologies of bats and their foraging style. *Canadian Journal of Zoology*, 89, 90-99.
- García-Morales, R., Moreno, C.E., Badano, E.I., Zuria, I., Galindo-González, J., Rojas-Martínez, A.E., y Ávila-Gómez, E.S. (2016). La deforestación impacta la diversidad funcional de los murciélagos en paisajes tropicales. *PLOS ONE*, 11(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166765>
- González-Maya, J.F. (2015). *Conservación, diversidad funcional y riesgo de extinción en mamíferos neotropicales a múltiples escalas*. México DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guerra, N. (2014). Evaluación de la Comunidad de Murciélagos (Orden: Chiroptera) en función de sus gremios alimenticios y edades reproductivas en distintos hábitats de la Estación de Biodiversidad Tiputini. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Licenciada en Ecología Aplicada. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Gómez-Ortiz, Y., y Moreno, C.E. (2017). La diversidad funcional en comunidades animales: una revisión que hace énfasis en los vertebrados. *Animal Biodiversity and Conservation*, 40(2), 165–174.
- Hodgson, J.G., Wilson, P.J., Hunt, R., Grime, J.P., y Thompson, K. (1999). Asignación de tipos funcionales de plantas CSR: un enfoque suave para un problema difícil. *Oikos*, 282-294.
- Homar Rosselló, A. (2018). Comparación de diversidad funcional en comunidades de peces de plataforma de dos ecosistemas del Mediterráneo Occidental.
- Hooper, D.U., Chapin III, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J., y Wardle, D.A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75: 3-35.
- Houston, R. D., Boonman, A. M., y Jones, G. (2004). Do echolocation signal parameters restrict bats' choice of prey? En: *Echolocation in bats and dolphins*, 339-345.
- Ipinza, R., Barros, S., De la Maza, C. L., Jofré, P., y González, J. (2021). Bosques y Biodiversidad. *Ciencia & Investigación Forestal*, 27(1), 101-132.
- Jackson, N.D., y Fahrig, L. (2014). El contexto del paisaje afecta la diversidad genética en una extensión espacial mucho mayor que la abundancia de la población. *Ecología*, 95(4), 871-881.
- Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R., y Racey, P. A. (2009). Carpe noctem: the importance of bats as bio-indicators. *Endangered Species Research*, 8(1-2), 93-115.
- Kalko, E., Handley, C., y Handley, D. (1996). Organization, diversity and long-term dynamics of a Neotropical bat community. Academic Press, 14-26.
- Kunz, T., y Lumsden, L. (2003). Ecology of cavity and foliage roosting bats. En: *Bat Ecology*. Ed. by T. H. Kunz y M. B. Fenton. Chicago: The University of Chicago Press. pp. 3-89.
- Kunz, T.H., de Torrez, E.B., Bauer, D., Lobova, T., y Fleming, T.H. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223(1), 1–38.
- Lawrance, B., y Simmons, J. (1982). Echolocation in Bats: The External Ear and Perception of the Vertical Positions of Targets. *Science*, 218, 481-483.
- Laliberté, E., y Legendre, P. (2010). Un marco basado en la distancia para medir la diversidad funcional a partir de múltiples rasgos. *Ecología*, 91(1), 299-305.
- Lim, B. K., y Engstrom, M. D. (2001). Species diversity of bats (Mammalia: Chiroptera) in Iwokrama Forest, Guyana, and the Guianan subregion: implications for conservation. *Biodiversity & Conservation*, 10, 613-657.
- Lopez, A., et al. (2016). *Field Guide to Amazonian Bats*. Manaus: Editora INPA.
- Lozano, A. (2014). Diversidad funcional y estructura trófica de un ensamble de murciélagos filostómidos en el Parque Nacional Natural Serranía de los Yarigués.
- Luck, G. W., Carter, A., y Smallbone, L. (2013). Changes in Bird Functional Diversity across Multiple Land Uses: Interpretations of Functional Redundancy Depend on Functional Group Identity. *PLOS ONE*, 8(5), e63671. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0063671>
- Luck, G., Lavorel, S., McIntyre, S., y Lumb, K. (2012). Improving the application of vertebrate trait-based frameworks to the study of ecosystem services. *Journal of Animal Ecology*.
- Mason, N.W.H., Mouillot, D., Lee, W.G., y Wilson, J.B. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*, 111, 112–118.
- Mendoza, Z., y Abad, N. L. (2011). Sobrevivencia y crecimiento inicial de especies vegetales en el Jardín Botánico de la quinta El Padmi, Zamora, Chinchipe. Zamora, Zamora Chinchipe, Ecuador: Arnaldoa, 18(2), 115-122.
- Mendoza, V. (2016). Patrones de diversidad taxonómica y funcional de murciélagos en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Maestría en Ciencias de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. El Colegio de la Frontera del Sur. Chiapas-México.

- Mogro Páez, E.A. (2020). Diversidad funcional y gremios alimentarios de murciélagos filostómidos (Chiroptera: Phyllostomidae) de Oglán Alto, cantón Arajuno, Pastaza-Ecuador. (Tesis de licenciatura, Quito: UCE).
- Mokany, K., Ash, J., y Roxburgh, S. (2008). Functional identity is more important than diversity in influencing ecosystem processes in a temperate native grassland. *Journal of Ecology*, 96(5), 884-893. <https://doi.org/10.1111/j.13652745.2008.01395.x>
- Moreno, C.E., y Halffter, G. (2001). Spatial and temporal analysis of  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$  diversities of bats in fragmented landscape. *Biodiversity and Conservation*, 10, 367-382.
- Mouchet, M.A., Villéger, S., Mason, N.W., y Mouillot, D. (2010). Medidas de diversidad funcional: una visión general de su redundancia y su capacidad para discriminar las reglas de las asambleas comunitarias. *Ecología funcional*, 24(4), 867-876.
- Mora-Fernández, C., y Peñuela-Recio, L. (2013). Salud ecosistémica de las sábanas inundables asociadas a la cuenca del río Pauto, Casanare, Colombia. Yoluka ONG, Fundación de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Fundación Horizonte Verde y Ecopetrol S.A.
- Morin, P.J. (2011). *Ecología comunitaria*. Wiley.
- Müller, R. (2004). A numerical study of the role of the tragus in the big brown bat. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(6), 3701-3712.
- Narváez, M. (2010). Análisis del efecto de borde en el patrón de diversidad y abundancia de micromamíferos voladores en la cuenca del río Villano. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Licenciada en Ciencias Biológicas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Naeem, S., y Wright, J.P. (2003). Disentangling biodiversity effects on ecosystem functioning: deriving solutions to a seemingly insurmountable problem. *Ecology Letters*, 6, 567-579.
- Novoa, S., Cadenillas, R., y Pacheco, V. (2011). Dispersión de semillas por murciélagos frugívoros en Bosques del Parque Nacional Cerros de Amotape, Tumbes, Perú. *Mastozoología Neotropical*, 18(1), 81-93.
- Ojeda, D.A., y Loján, A.P. (2010). Herpetofauna de un bosque húmedo tropical en la Estación El Padmi, de la Universidad Nacional de Loja. *ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN Acuicultura*, 1(1), 59.
- Prada-Salcedo, L.D., Wambsganss, J., Bauhus, J., Buscot, F., y Goldmann, K. (2021). La baja dispersión funcional de las raíces mejora la funcionalidad del crecimiento.
- Peña Peinado, J.D. (2021). Aproximación de la diversidad taxonómica y funcional del ensamblaje de murciélagos en un fragmento de bosque seco tropical en La Unión, Sucre, Colombia.
- Pérez-García, J.N. (2020). Causas de la pérdida global de biodiversidad. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(32), 183-198.
- Petchey, O.L., y Gaston, K.J. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9, 741-758.
- Pisanty, I., y Caso, M. (2006). Especies, espacios y riesgos: monitoreo para la conservación de la biodiversidad. Instituto Nacional de Ecología.
- Quizhpe, A., y Orellana, M. (2011). Caracterización florística y estructura de la vegetación natural de la quinta El Padmi, provincia de Zamora Chinchipe. (Tesis de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador).
- Ramírez, A. (2017). Diversity scale-dependent response of Phyllostomidae bats to landscape composition and structure in an urban-rural interface in the Colombian Orinoquia. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Maestría en Conservación y Uso de la Biodiversidad. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Romero, R. (2023). Diversidad funcional de escarabajos peloteros (Coleoptera: Scarabaeinae) en la Estación Experimental El Padmi. Universidad Nacional de Loja. Pág. 18-25.
- Violle, C., Navas, M.L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., y Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892.
- Saldaña-Vázquez, R.A. (2014). Intrinsic and extrinsic factor affecting dietary specialization in Neotropical frugivorous bats. *Mammal Review*, 44, 215-224.
- Saldaña-Vázquez, R. A., y Schondube, J. E. (2016). La masa corporal explica la dominancia de *Artibeus* (Phyllostomidae) en ambientes urbanos. En *Memorias en Extenso del I Congreso de Fauna Nativa en Medios Antropizados* (A. Ramírez-Bautista, y R. Pineda López, eds.). CONACYT-UAQ, México, pp. 23-33.
- Santos, T., y Tellería, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15(2). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/180>
- Sikes, R. S., y Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists. (2016). 2016 Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. *Journal of Mammalogy*, 97(3), 663-688. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw078>
- Soriano, P.J. (2000). Estructura funcional de comunidades de murciélagos en bosques tropicales húmedos y bosques nubosos andinos.
- Swartz, S. M., Freeman, P. W., y Stockwell, E. F. (2003). Ecomorphology of bats: Comparative and experimental approaches relating structural design to ecology. En *Bat Ecology*. Ed. por T. H. Kunz y M. B. Fenton. Chicago: The University of Chicago Press, pp. 257-300.

Swartz, S. M., y Middleton, K. M. (2008). Biomechanics of the bat limb skeleton: scaling, material properties and mechanics. *Cells Tissues Organs*, 187(1), 59-84.

Tapia, F., y Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 24(3), 78-87. <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1077>

Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M., y Siemann, E. (1997). La influencia de la diversidad funcional y la composición en los procesos ecosistémicos. *Ciencia*, 277(5330), 1300-1302.

Tirira, D. (2017). Una guía de campo de los mamíferos de Ecuador: incluidas las islas Galápagos y la zona antártica ecuatoriana. Asociación Ecuatoriana de Mastozoología.

Villéger, S., Mason, N.W., y Mouillot, D. (2008). Nuevos índices multidimensionales de diversidad funcional para un marco multifacético en ecología funcional. *Ecología*, 89(8), 2290-2301.

Violle, C., Navas, M.L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., y Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892.

Voss, R.S., y Emmons, L.H. (1996). Mammalian Diversity in Neotropical lowland rainforest: A preliminary assessment. *Bulletin American Museum Natural History*, 230, 1-115.

Willig, M. R., Patterson, B. D., y Stevens, R. D. (2003). Patterns of range size, richness, and body size in the Chiroptera. En *Bat Ecology* (T. H. Kunz y M. B. Fenton, eds.). University of Chicago Press, Chicago, pp. 580-621.