

CALDASIA

ISSN En línea: 2357-3759

ISSN Impreso: 0366-5232

Publicación anticipada

Este trabajo ha sido aceptado para publicación en Caldasia al haber completado el proceso de evaluación por pares y su respectiva corrección, pero no se ha preparado para diagramación ni corrección de estilo. Por tanto, se pueden encontrar diferencias entre esta versión y la publicación final.

Esta versión está disponible al público, pero recomendamos fuertemente que se haga referencia al pdf final para propósitos de citación.

Early view

This paper has been accepted for publication in Caldasia after completed the peer review process but has not been through the layout and proofreading processes. Thus, differences between this version and the final file may be found.

This version is available for the public, but we strongly encourage use the final pdf for approved citation.

Rasgos funcionales para mamíferos terrestres del sur de México

Functional traits for terrestrial mammals of southern Mexico

CINTIA NATALIA MARTIN-REGALADO ¹, MIGUEL BRIONES-SALAS ^{1*}

¹ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Hornos 1003, Col. Nochebuena, Santa Cruz Xoxocotlán, 71230, Oaxaca, México. cmartinr@ipn.mx, mbriones@ipn.mx.

* Autor para correspondencia.

Citación: Martín-Regalado, C. N. y Briones-Salas, M. 2024. Rasgos funcionales para mamíferos terrestres del sur de México. Caldasia 46(3):xx-xx. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v46n3.107650>

Recibido: 07/Jun/2023 **Aceptado:** 22/May/2024 **Publicación en línea:** 07/Jun/2024

RESUMEN

En los últimos años, los mamíferos se han visto gravemente afectados por la pérdida de hábitat, la cacería furtiva, las especies invasoras y el cambio climático. Estos vertebrados tienen una variedad de roles funcionales que impactan en el funcionamiento de los ecosistemas. Para evaluar

esta diversidad funcional, es necesario contar con una lista de rasgos seleccionados adecuadamente con base en distintas características de los organismos, que tengan un impacto en el ciclo de nutrientes, flujo de energía, procesos ecológicos, polinización, dispersión de frutas y semillas, controladores de plagas, etc., y resulten en servicios ecosistémicos importantes que contribuyan al bienestar humano. Actualmente, la información de rasgos funcionales de mamíferos es dispersa y, en otros casos, no está plenamente justificada la vinculación entre el rasgo y su expresión con la función ecológica en los ecosistemas, ni su relación con las especies interactuantes. A través de la revisión de fuentes bibliográficas se generó una base de datos que incluye 27 rasgos funcionales, trece de tipo morfológico, tres ecológicos, cinco conductuales y seis reproductivos de 217 especies de mamíferos terrestres que habitan en Oaxaca, al sur de México. Para su uso en el análisis de la diversidad funcional, se menciona el significado funcional de los rasgos que se proponen. El uso de estos rasgos para estimar la diversidad funcional ayudará a diseñar estrategias de conservación adecuadas, que permitan mantener la diversidad de mamíferos silvestres y los procesos cruciales que ellos proporcionan a los ecosistemas.

Palabras clave: conservación, diversidad funcional, rasgos biológicos, vertebrados.

ABSTRACT

In recent years, mammals have been severely affected by habitat loss, poaching, invasive species, and climate change. These vertebrates have a variety of functional roles that impact ecosystem functioning. To evaluate this functional diversity, it is necessary to have a list of traits appropriately selected based on different characteristics of the organisms, which have an impact on nutrient cycling, energy flow, ecological processes, pollination, fruit and seed dispersal, pest control, etc., and result in important ecosystem services that contribute to human well-being.

Currently, the information on functional traits of mammals is dispersed and, in other cases, the link between the trait and its expression with the ecological function in ecosystems, nor its relationship with the interacting species, is not fully justified. Through the review of bibliographic sources, a database was generated that includes 27 functional traits, thirteen morphological, three ecological, five behavioral, and six reproductive of 217 species of terrestrial mammals that live in Oaxaca, southern Mexico. For use in the analysis of functional diversity, the functional meaning of the 27 proposed traits is mentioned. The use of these traits to estimate functional diversity will help design appropriate conservation strategies that allow for maintaining the diversity of wild mammals and the crucial processes they provide to ecosystems.

Keywords: biological traits, conservation, functional diversity, vertebrates.

INTRODUCCIÓN

Los rasgos funcionales son útiles para comprender distintos procesos ecológicos, así como para dirigir la gestión de los ecosistemas (Laureto *et al.* 2015). Tradicionalmente para establecer áreas a conservar, los estudios se han basado, principalmente, en conocer la riqueza de especies, o bien, en el análisis de la diversidad taxonómica de alguno o algunos grupos biológicos presentes en un área determinada (Devictor *et al.* 2010, Dreiss *et al.* 2015). Sin embargo, existen otras dimensiones de la diversidad que analizan la historia evolutiva y las funciones ecológicas de las especies que componen a las comunidades. Estudios recientes han revelado una incongruencia entre la diversidad taxonómica, la filogenética y la funcional (Devictor *et al.* 2010, Martín-Regalado *et al.* 2022), lo que demuestra que obviar alguna de estas dimensiones podría ser determinante para la selección de sitios de conservación biológica.

Varios estudios muestran la importancia de analizar a las comunidades biológicas desde el punto de vista de las funciones que desempeñan las especies, más allá de solo el número de

especies (Li *et al.* 2022, Ortega-Martínez *et al.* 2020, Weideman *et al.* 2020). Por ejemplo, dos comunidades conformadas cada una por diez especies de roedores, en la primera todas son de hábitos omnívoros, mientras que, en la segunda, cinco son omnívoras, tres granívoras y dos insectívoras, el resultado es que la comunidad con mayor diversidad de gremios contribuye a una mayor cantidad de funciones en el ecosistema. Esto se debe a que la presencia o ausencia de especies que realizan una función determinada afecta directamente la estructura de los ecosistemas y su óptimo funcionamiento (Gómez-Ortiz y Moreno 2017).

Dentro de los vertebrados, los mamíferos desempeñan roles funcionales cruciales para que funcionen los ecosistemas, por ejemplo, los grandes mamíferos herbívoros como *Tapirella bairdii* (Gill, 1865) y carnívoros como *Panthera onca* (Linnaeus, 1758) tienen efectos significantes en los productores primarios de los ecosistemas terrestres porque pueden controlar poblaciones de sus presas, regulando el número de individuos en una población; mientras que, los mamíferos voladores como *Artibeus jamaicensis* Leach, 1821, *Leptonycteris yerbabuenae* Martínez y Villa, 1940 y *Tadarida brasiliensis* (I. Geoffroy Saint-Hilaire, 1824) son importantes polinizadores, dispersores de frutas y consumidores de artrópodos porque ayudan a la recuperación de la vegetación y controlan poblaciones de invertebrados (Martín-Regalado y Briones-Salas 2024). En cuanto a otros pequeños mamíferos, como *Dipodomys phillipsii* Gray, 1841 es considerado un importante depredador y dispersor de semillas (Lacher *et al.* 2019, Martín-Regalado y Briones-Salas 2024).

El estudio de la diversidad funcional de las comunidades ecológicas es relativamente reciente, pero su aplicación es de suma importancia para conocer la relación entre la diversidad, la estructura y el funcionamiento de las comunidades en los ecosistemas (Cadotte *et al.* 2011, Gómez-Ortiz y Moreno 2017). Para analizarla, ya sea a través de la cantidad de gremios, grupos

funcionales o con análisis multivariados e índices, se requiere contar con rasgos funcionales de los organismos.

Los rasgos funcionales son características morfológicas, fisiológicas, anatómicas, bioquímicas y de comportamiento de individuos o especies que influyen directa o indirectamente en la labor que realizan en el funcionamiento de los ecosistemas (McGill *et al.* 2006, Villéger *et al.* 2010, Mouillot *et al.* 2013); además, tienen un papel importante en el desempeño de los organismos (crecimiento, supervivencia, reproducción y dispersión) y están relacionados con los procesos ecosistémicos (flujo de materia y energía), la estabilidad de los ecosistemas (resistencia y resiliencia), las interacciones biológicas (intra e interespecíficas) y/o modificaciones de los hábitats (Hooper *et al.* 2005, McGill *et al.* 2006, Violle *et al.* 2007, Villéger *et al.* 2010).

La atención por contar con rasgos funcionales se ha centrado principalmente en plantas, aves y anfibios (Salgado-Negret 2016, Mayani-Parás *et al.* 2023). Para los mamíferos en cambio, son escasas las guías que reúnen rasgos apropiados para medir su diversidad funcional (Gómez-Ortiz y Moreno 2017, Gómez-Ortiz *et al.* 2019). La selección de los rasgos funcionales a utilizar en una investigación está determinada por la pregunta de investigación; dada la alta variación en hábitos, formas, tamaños de las especies de mamíferos, una gran cantidad de rasgos pueden ser propuestos. Sin embargo, para que los rasgos sean útiles, éstos deben de cumplir con ciertos criterios, por ejemplo, deben ser factibles de obtener en colecciones biológicas y literatura científica; durante trabajo de campo las mediciones en individuos vivos deben ser de fácil obtención; además, estos deben tener un significado funcional e impacto en los ecosistemas (Gómez-Ortiz *et al.* 2019).

Por ejemplo, para determinar las respuestas de los mamíferos voladores en fragmentos de bosque tropical seco, se han utilizado rasgos morfométricos como: longitud del antebrazo, longitud de los dígitos tres y cinco, además de historia de vida como: dieta y estrategia de

forrajeo (Castillo-Figueroa y Pérez-Torres 2018). Por otra parte, también se han utilizado rasgos morfológicos como longitud del antebrazo y masa corporal para conocer la diversidad funcional de murciélagos en fincas de producción ganadera, obteniendo que los murciélagos frugívoros explotan una gran cantidad de recursos lo cual evidencia la importancia de su conservación para el mantenimiento de comunidades ecológicas en ecosistemas antrópicos (Escobar y Maglianesi 2021). Los murciélagos presentan una gran diversidad de características y muchas no se han incluido en estudios de diversidad funcional, por ejemplo, las formas alares, las cuales están relacionadas con sus tipos y capacidad de vuelo y tienen un impacto en la captura de alimento (Ospina-Garcés y Mac Swiney 2024). Recomendamos revisar el trabajo de Castillo-Figueroa y Pérez-Torres (2021) para obtener otros rasgos biológicos potenciales para murciélagos neotropicales.

Para los mamíferos pequeños, particularmente ratones, se han sido utilizado rasgos morfológicos como: longitud total, longitud de la cola, longitud de la pata, longitud de la oreja, peso, y ancho del arco zigomático y rasgos ecológicos como: hábitat, patrón de actividad, dieta y número de crías por camada, con el objetivo de estimar los patrones espaciales de la diversidad funcional y la riqueza de especies. Los resultados encontrados en este estudio mostraron una incongruencia entre estas dos dimensiones (Martín-Regalado *et al.* 2019).

Por su parte, en trabajos donde se han utilizado a todos los mamíferos como grupo de estudio, se seleccionaron como rasgos funcionales: la masa corporal, el nicho trófico (herbívoro, carnívoro, omnívoro) y el tipo de hábitat (terrestre, acuático, arbóreo, fosorial y volador), con el fin de conocer los patrones espaciales de la diversidad funcional de mamíferos terrestres. Como resultado se observó una variación espacial entre la riqueza de especies y la diversidad funcional (González-Maya *et al.* 2016). Por otro lado, Mayani-Parás *et al.* (2013), hicieron una clasificación de grupos funcionales y seleccionaron seis rasgos funcionales de mamíferos,

obteniendo 35 grupos funcionales que se concentraron en nueve grupos más amplios según su hábito alimentario.

Determinar los rasgos funcionales adecuados en sitios de alta diversidad de mamíferos como lo es el estado de Oaxaca (Briones-Salas *et al.* 2015), al sur de México, ayudará a conocer no sólo el papel funcional de las especies de mamíferos en los diferentes ecosistemas, sino también a proponer estrategias integrales de conservación para garantizar la preservación de la riqueza de especies y de las funciones ecológicas. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es presentar una guía de rasgos funcionales con relevancia ecológica y describir su significado funcional, además de proporcionar una base de datos donde se compila información de rasgos funcionales de mamíferos, el cual será útil para cuantificar la diversidad funcional de este grupo biológico. Sin duda, la función de cada especie en el ecosistema es importante, por lo tanto, recopilar los rasgos adecuados y de manera precisa (por ejemplo, hábitos alimentarios, preferencias de hábitat, patrón de actividad, conducta social, tamaño corporal y longevidad) ayudará a conocer con mayor exactitud el papel ecológico de las especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estado de Oaxaca se ubica al sur de México, entre las coordenadas geográficas 15°39' y 18°39' Norte y 93°52' y 98°32' Oeste. Tiene una superficie de 95 364 km², lo que representa el 4.8 % del territorio nacional (García-Mendoza *et al.* 2004) (Fig. 1). La topografía es heterogénea, con elevaciones que van desde el nivel del mar hasta los 3600 m de altitud. El estado presenta 26 tipos de climas, desde cálido y seco en la planicie costera del Pacífico hasta frío y húmedo en las cimas de las montañas (Trejo 2004), a los cuales se le asocia 26 tipos de vegetación agrupados bajo un criterio fisionómico-florístico (Torres-Colín 2004). Debido a su compleja orografía, el

territorio se ha dividido en doce subprovincias fisiográficas que se distinguen por sus particulares rasgos geomorfológicos (Ortiz-Pérez *et al.* 2004). Oaxaca alberga una extraordinaria diversidad biológica, en cuanto a mamíferos terrestres, con 217 especies, incluidas en 119 géneros, 29 familias y once órdenes (Briones-Salas *et al.* 2015).

Base de datos y rasgos funcional

Partiendo de los trabajos de González-Maya *et al.* (2016), Gómez-Ortiz y Moreno (2017), Castillo-Figueroa y Pérez-Torres (2018), Gómez-Ortiz *et al.* (2019), Castillo-Figueroa y Pérez-Torres (2021), Escobar y Maglianesi (2021), y Martín-Regalado *et al.* (2022), se realizó una lista de rasgos funcionales de mamíferos. Los rasgos funcionales fueron clasificados en cuatro grupos: 1) rasgos morfológicos, que sigue las definiciones propuestas por Álvarez-Castañeda *et al.* (2017), 2) rasgos reproductivos, 3) rasgos ecológicos, y 4) rasgos conductuales, los cuales provienen de Gómez-Ortiz y Moreno (2017) y Gómez-Ortiz *et al.* (2019). Finalmente, dos rasgos conductuales, el área de alimentación y el modo de forrajeo siguen los conceptos de Denzinger y Schnitzler (2013) y Schnitzler y Kalko (2001), respectivamente. Se descartaron aquellos rasgos de los que no se encontró información o significado funcional, por ejemplo, longitud del cráneo, presencia de surco en los dientes incisivos y ciclo estral. La información de los rasgos funcionales se tomó de literatura especializada (Reid 2009, Aranda 2012, Ceballos 2014, Guevara *et al.* 2015, Ortega *et al.* 2022) y de las monografías publicadas en la serie *Mammalian Species*.

RESULTADOS

En este trabajo se proponen 27 rasgos funcionales que cumplen con los criterios de: medibles, accesibles, con información y relación rasgo-ambiente. Estos rasgos funcionales corresponden a trece morfológicos, seis reproductivos, tres ecológicos, y cinco conductuales (Tabla 1). Además,

para cada una de las 217 especies de mamíferos que se distribuyen en Oaxaca, al sur de México, se provee información de los 27 rasgos funcionales (Material Suplementario).

Descripción de los rasgos funcionales:

1. Rasgos morfológicos. Son características medibles de las especies y están relacionadas con procesos ecosistémicos como flujo de energía, reciclaje de nutrientes, capacidad de desplazamiento y uso de hábitat. Todas las medidas morfológicas se reportan en milímetros (mm).

- a. Masa corporal.* El peso de los ejemplares en gramos.
- b. Longitud total.* Con el ejemplar colocado en una superficie plana, con el vientre hacia arriba y sin estirarlo, se mide desde la punta de la nariz hasta la punta de la cola vertebral, sin incluir los pelos de la punta de la cola.
- c. Longitud de la cola.* Desde la base de la cola (se recomienda en posición dorsal, colocar la cola perpendicular al cuerpo del ejemplar) hasta la punta de la cola, sin incluir los pelos de la punta.
- d. Longitud de la pata.* Se mide desde el borde trasero del talón hasta la punta de la uña del dedo más largo, de preferencia de la pata trasera derecha.
- e. Longitud de la oreja.* Desde la comisura a la punta de la oreja.
- f. Longitud del antebrazo.* Desde el codo hasta los metacarpales.
- g. Anchura zigomática.* La máxima anchura dentro de los márgenes exteriores del arco cigomático.
- h. Longitud de la bula timpánica.* Se considera desde la proyección mastoidea más posterior de la bula hasta el punto anterior.

- i. Carga alar.* Se obtiene al dividir la masa corporal entre el área alar. Esta se encuentra relacionada con la presión aerodinámica sobre las alas. Este concepto se basa en la propuesta de Ortiz-Ramírez *et al.* (2009).
- j. Uropatagio.* Es la forma del uropatagio en los quirópteros y puede estar ausente o reducido: presenta uropatagio, pero de forma reducida; conspicuo: presenta uropatagio, pero con una muesca; o completo: el uropatagio se encuentra unido (Fig. 2).
- k. Cola.* Hace referencia a la posición de la cola con respecto al uropatagio en los quirópteros y puede estar ausente: no presenta cola; embebido: el 50 % de la cola se encuentra dentro del uropatagio; o libre: el 50 % de cola se encuentra fuera del uropatagio (Fig. 3).
- l. Hoja nasal.* Hace referencia a la forma de la hoja nasal en los quirópteros y puede estar ausente: no presenta hoja nasal; rudimentario: la hoja nasal es menor al 50 % del tamaño del rostro; o desarrollado: la hoja nasal es mayor al 50 % del tamaño del rostro (Fig. 4).
- m. Presencia de abazones.* Sacos o bolsas que se encuentran a los lados de la boca, pueden ser internos o externos.

2. *Rasgos reproductivos.* Hacen referencia al éxito reproductivo, demanda de recursos alimenticios y ecológicos.

- a. Tamaño de camada.* Se refiere al número de crías en cada parto.
- b. Periodo de gestación.* El tiempo que dura la gestación.
- c. Cuidado parental.* El tiempo que invierten los padres al cuidado de las crías para aumentar el éxito de sobrevivencia.
- d. Presencia de marsupio.* Bolsa que poseen algunos mamíferos en la región posteroventral.

e. *Madurez sexual*. Definida como la edad en que los individuos son capaces de reproducirse.

f. *Longevidad*. Se refiere al período de vida de la especie.

3. Rasgos ecológicos

Estos rasgos se relacionan con los servicios ecosistémicos que proporcionan los mamíferos (por ejemplo, polinización, dispersión de frutas, control de plagas), y el uso de espacio ecológico y la temporalidad.

a. *Dieta*. Hace referencia al principal alimento que consumen los organismos y pueden ser: artropodívoro, carnívoro, frugívoro, granívoro, hematófago, herbívoro, insectívoro, nectarívoro, piscívoro, polinívoro, o una combinación de varias dietas.

b. *Hábitos de vida*. El espacio usado por cada especie donde permanece la mayor parte de su tiempo o realiza sus principales actividades y puede ser: acuático, arborícola, cavador, saxícola, semiacuático, semiarborícola, terrestre, volador, o una combinación de varios hábitats.

c. *Patrón de actividad*. Hace referencia al momento del día en el que la especie realiza la mayor parte de sus actividades y puede ser: diurno, nocturno, crepuscular o catemeral.

4. *Rasgos conductuales*. Estos rasgos hacen referencia al comportamiento de los individuos y tienen impacto en el éxito reproductivo.

a. *Migración*. Movimiento estacional y cíclico de los mamíferos, relacionado con la disponibilidad de alimento, éxito reproductivo, etc.

b. *Conducta social*. Hace referencia al comportamiento social que pueden tener los mamíferos y pueden ser: solitarios, parejas, manadas o grupos de caza.

- c. *Área de alimentación*: Se refiere al espacio donde se alimentan: espacio abierto, borde de la vegetación, entre la vegetación, o sobre la superficie del agua.
- d. *Modo de forrajeo*. Es la manera en que capturan a sus presas: aéreo, aéreo recolector, o arrastre.
- e. *Ámbito hogareño*. Es el área dentro de la cual un organismo se mueve para adquirir recursos que incrementan su supervivencia.

DISCUSIÓN

A diferencia de la estimación de la diversidad taxonómica, la estimación de la diversidad funcional requiere de información adicional de cada especie, más allá de la identidad taxonómica y abundancia. Esta es una limitante para que el análisis de la diversidad funcional se incorpore en evaluaciones temporales y espaciales de las comunidades de mamíferos. Por lo tanto, en esta guía se provee de información de 27 rasgos funcionales, separados en reproductivos, morfológicos, ecológicos y conductuales, con justificación ecológica de las mediciones y/o categorías a determinar de las especies. Además, a diferencia de otros trabajos, se proporciona una base de datos que contiene información de esos rasgos funcionales para las 217 especies de mamíferos terrestres que habitan en Oaxaca, al sur de México. Esta es la primera contribución para lograr una base de datos de acceso abierto de rasgos de mamíferos mexicanos, y consideramos que esta información permitirá un avance en el estudio de la diversidad funcional de mamíferos, debido a que ya no será necesario buscar en diferentes fuentes bibliográficas información de los rasgos funcionales. Por lo anterior, visualizamos este trabajo como un primer paso hacia una guía integradora de rasgos funcionales de mamíferos útil para abordar cuestiones ecológicas asociadas a los mamíferos. Sin embargo, aún faltan evaluar las correlaciones entre los rasgos como lo han mencionado otros trabajos (Castillo-Figueroa y Pérez-Torres 2021).

Es importante tener en cuenta que el número y tipo de rasgos funcionales son elementos importantes en los análisis debido a que presentan un efecto drástico en la estimación de la diversidad funcional. Por ejemplo, si se incluyen pocos rasgos funcionales, se incrementa la probabilidad de encontrar especies redundantes en los ecosistemas (Gómez-Ortiz *et al.* 2019). No existe un número mínimo de rasgos; sin embargo, es recomendable identificar los de tipo cualitativo y cuantitativo para tener mejores resultados y utilizar características que definan un conjunto óptimo de rasgos funcionales, de manera que se brinde una compensación entre la relevancia funcional de las especies y su facilidad de medición (Mouillot *et al.* 2007, Tsianou y Kallimanis 2016, Gómez-Ortiz *et al.* 2019).

En la última década, el estudio de la diversidad funcional ha tenido un crecimiento acelerado, debido a que esta dimensión no toma a las especies por igual e incluye información de éstas a través de sus rasgos funcionales (Gómez-Ortiz *et al.* 2019). Por ejemplo, se han analizado los patrones geográficos de la diversidad funcional resaltando la importancia de considerar esta dimensión en la conservación de la biodiversidad (*e.g.*, Sun *et al.* 2022, Tanshi *et al.* 2022, Martín-Regalado *et al.* 2022). En una escala local, García-Morales *et al.* (2016) analizaron el efecto de la pérdida de bosque en la riqueza de especies, abundancia y diversidad funcional de murciélagos neotropicales, encontrando que estas dimensiones se relacionan positivamente con la cobertura vegetal. Asimismo, Magioli *et al.* (2016) evaluaron la diversidad funcional de los mamíferos en diferentes tipos de vegetación, encontrando que la cantidad de funciones ecológicas realizadas por especies de mamíferos dentro de paisajes agrícolas y fragmentados fue similar a la de áreas prístinas y paisajes más preservados.

Es evidente que la diversidad funcional es una herramienta útil que será vital en la toma de decisiones de conservación y preservación de ecosistemas funcionales, debido, a que puede ayudar a las autoridades ambientales a planear mejores sitios a conservar, no solamente por el

número de especies que presenta sino también por las funciones que desempeñan en un ecosistema determinado (Mammola *et al.* 2021). Así que, es posible que sitios con pocas especies puedan identificarse como prioritarios por la presencia de ciertas especies que tienen papeles determinantes en el funcionamiento de los ecosistemas (Cadotte *et al.* 2011).

Consideramos que esta guía permitirá la adecuada selección y justificación de los rasgos funcionales para la cuantificación de la diversidad funcional de mamíferos silvestres en los bosques y selvas del sur de México, así como de hábitats con alguna perturbación antrópica, propiciándose a futuro comparaciones con otros estudios y bases de datos. Por lo tanto, la lista de rasgos será útil para contestar preguntas sobre la diversidad funcional de mamíferos, por ejemplo, ¿dónde existe la mayor diversidad funcional de los diferentes grupos de mamíferos?, ¿hay una relación entre la diversidad funcional de mamíferos y otras dimensiones de la biodiversidad?, ¿la diversidad funcional medida con rasgos funcionales tomados de ejemplares colectados en campo varía con rasgos tomados de la literatura?, ¿cuál es la importancia de la diversidad funcional en dilucidar los procesos de ensamblaje de las comunidades de mamíferos?, y ¿cuáles factores bióticos y abióticos influyen en la diversidad funcional de mamíferos?. Finalmente, consideramos que el significado de algunos rasgos funcionales que se proponen en este estudio podría ser utilizados para otros grupos biológicos.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

CNM-R concepción del estudio. CNM-R y MB-S búsqueda de información, análisis de datos y escritura del documento.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto fue parcialmente apoyado por la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP: 20200797) del Instituto Politécnico Nacional. Agradecemos a C. E. Moreno, I. Ortega Martínez y E. Galindo por los comentarios al manuscrito. A M. C Lavariega por proporcionar las imágenes que se presentan en este documento. CNM-R agradece al CONACYT por la beca “Estancias Posdoctorales Mujeres Indígenas 2022”. MB-S agradece a la Comisión de Operación y Fomento a las Actividades Académicas (COFAA), al Programa de Estímulos al Desempeño a la Investigación (EDI) del Instituto Politécnico Nacional, así como al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) por su apoyo y reconocimiento.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

LITERATURA CITADA

Álvarez-Castañeda ST, Álvarez T, González-Ruiz N. 2017. Guía para la identificación de los mamíferos de México. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press.

Aranda M. 2012. Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Briones-Salas M, Cortes-Marcial M, Lavariega MC. 2015. Diversidad y distribución geográfica de los mamíferos terrestres del estado de Oaxaca, México. *Rev. Mex. Biodivers.* 86(3):685-710. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.07.008>.

Cadotte MW, Carscadden K, Mirotnick N. 2011. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *J. Appl. Ecol.* 48(5):1079-1087. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02048.x>.

Castillo-Figueroa D, Pérez-Torres J. 2018. Respuestas funcionales de murciélagos asociados a fragmentos de bosque seco tropical en Córdoba (Colombia): implicaciones del tipo de manejo en sistemas de ganadería extensiva. *Rev. Biodivers. Neotrop.* 8(3):197-211. doi: <http://dx.doi.org/10.18636/bioneotropical.v8i3.724>

Castillo-Figueroa D, Pérez-Torres J. 2021. On the development of a trait-based approach for studying Neotropical bats. *Pap. Avulsos Zool.* 61. doi: <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2021.61.24>.

Ceballos G. 2014. *Mammals of Mexico*. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press.

Denzinger A, Schnitzler HU. 2013. Bat guilds, a concept to classify the highly diverse foraging and echolocation behaviors of microchiropteran bats. *Front. Physiol.* 4:1-15. doi: <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00164>.

Devictor V, Mouillot D, Meynard C, Jiguet F, Thuiller W, Mouquet, N. 2010. Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: the need for integrative conservation strategies in a changing world. *Ecol. Lett.* 13(8):1030-1040. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01493.x>.

Dreiss LM, Burgio KR, Cisneros LM, Klingbeil BT, Patterson BD, Presley SJ, Willig MR. 2015. Taxonomic, functional, and phylogenetic dimensions of rodent biodiversity along an extensive tropical elevation gradient. *Ecography*. 38:876-888. doi: <https://doi.org/10.1111/ecog.00971>.

Escobar FM, Maglianesi MA. 2021. Diversidad funcional de murciélagos frugívoros en dos fincas de producción ganadera en Guanacaste, Costa Rica. *UNED Res. J.* 13(2):e3465-e3465. doi: <https://doi.org/10.22458/urj.v13i2.3465>.

García-Mendoza A, Ordoñez MJ, Briones-Salas M, editores. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza y World Wildlife Fund.

García-Morales R, Moreno CE, Badano EI, Zuria I, Galindo-González J, Rojas-Martínez AE, Ávila-Gómez ES. 2016. Deforestation impacts on bat functional diversity in tropical landscapes. *PloS ONE*. 11(12):e0166765. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166765>.

Gómez-Ortiz Y, Moreno CE. 2017. La diversidad funcional en comunidades animales: una revisión que hace énfasis en los vertebrados. *Anim Biodivers Conserv*. 40(2):165-174. doi: <https://doi.org/10.32800/abc.2017.40.0165>.

Gómez-Ortiz Y, Martín-Regalado CN, Ortega-Martínez IJ, Pérez-Hernández CX. 2019. La diversidad funcional de las comunidades ecológicas. En: Moreno CE, editor. *La biodiversidad en*

un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex. p. 237-263.

González-Maya JF, Víquez RLR, Arias-Alzate A, Belant JL, Ceballos G. 2016. Spatial patterns of species richness and functional diversity in Costa Rican terrestrial mammals: implications for conservation. *Divers. Distrib.* 22(1):43-56. doi: <https://doi.org/10.1111/ddi.12373>.

Guevara L, Cervantes FA, Sánchez-Cordero V. 2015. Riqueza, distribución y conservación de los topos y las musarañas (Mammalia, Eulipotyphla) de México. *Therya*. 6(1):43-68. doi: <https://doi.org/10.12933/therya-15-211>.

Hooper DU, Chapin FS, Ewel JJ, Hector A, Inchausti P., Lavorel, S. Lawton JH, Lodge DM, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad AJ, Vandermeer J, Wardle DA. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecol Monogr.* 75(1):3-35. doi: <https://doi.org/10.1890/04-0922>.

Lacher JTE, Davidson AD, Fleming TH, Gómez-Ruiz EP, McCracken GF, Owen-Smith N, Peres CA, Vander Wall, B. 2019. The functional roles of mammals in ecosystems. *J Mammal.* 100(3):942-964. doi: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyy183>.

Laureto LMO, Cianciaruso MV, Samia DSM. 2015. Functional diversity: an overview of its history and applicability. *Nat. Conserv.* 13(2):112-116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.11.001>.

Li X, Hu W, Bleisch WV, Li Q, Wang H, Lu W, Sun J, Zhang F, Ti B, Jiang X. 2022. Functional diversity loss and change in nocturnal behavior of mammals under anthropogenic disturbance.

Conserv. Biol. 36(3):e13839. doi: <https://doi.org/10.1111/cobi.13839>.

Magioli M, Ferraz KMPMDB, Setz EZF, Percequillo AR, Rondon MVDSS, Kuhnen VV, Canhoto CDS, Alemida DSKA, Zukeran KC, Fregonezi GDL, Alves DPH, Ferreira MK, Ribeiro MC, Schmidt VPM, Lehmann CL, Rodrigues, M. G. 2016. Connectivity maintain mammal assemblages functional diversity within agricultural and fragmented landscapes. *Eur. J. Wildl. Res.* 62:431-446. doi: <https://doi.org/10.1007/s10344-016-1017-x>.

Mammola S, Carmona CP, Guillerme T, Cardoso, P. 2021. Concepts and applications in functional diversity. *Funct. Ecol.* 35(9):1869-1885. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13882>.

Martín-Regalado CN, Briones-Salas M, Lavariega MC, Moreno CE. 2019. Spatial incongruence in the species richness and functional diversity of cricetid rodents. *PLoS ONE*. 14(6):e0217154. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217154>.

Martín-Regalado CN, Briones-Salas M, Moreno CE, Sánchez-Rojas G. 2022. Identifying areas for multidimensional biodiversity conservation, with a case study in Oaxaca, Mexico. *Perspect. Ecol. Conserv.* 20(4):369-376. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.08.006>.

Martín-Regalado CN, Briones-Salas M. 2024. ¿Qué hacen los mamíferos en los ecosistemas?. *Therya ixmana*. 3(2):47-48. doi: https://doi.org/10.12933/therya_ixmana-24-462.

Mayani-Parás F, Moreno CE, Escalona-Segura G, Botello F, Munguía-Carrara M, Sánchez-Cordero V. 2023. Classification and distribution of functional groups of birds and mammals in Mexico. *PloS ONE*.18(11):e0287036. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287036>.

McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M. 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends Ecol. Evol.* 21(4):178-185. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.02.002>.

Mouillot D, Dumay O, Tomasini JA. 2007. Limiting similarity, niche filtering and functional diversity in brackish lagoon fish communities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 71(3-4):443-456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.08.022>.

Mouillot D, Graham NAJ, Villéger S, Mason NWH, Bellwood DR. 2013. A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends Ecol Evol*. 28(3):167-177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.004> PMID:23141923.

Ortega-Martínez IJ, Moreno CE, Ríos-Díaz CL, Arellano L, Rosas F, Castellanos I. 2020. Assembly mechanisms of dung beetles in temperate forests and grazing pastures. *Sci. Rep.* 10(391):1-10. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57278-x>.

Ortega J, Mac Swiney GMC, Zamora GV. 2022. Compendium of echolocation calls of Mexican insectivorous bats. Ciudad de México, México: Asociación Mexicana de Mastozoología A.C. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Ortiz-Pérez MA. 2004. Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. En: García-Mendoza A, Ordoñez MJ, Briones-Salas M, editores. *Biodiversidad de Oaxaca*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza y World Wildlife Fund. p. 43-54.

Ortiz-Ramírez D, Villalobos F, Arita-Watanabe H. 2009. La morfología alar en cuatro especies de murciélagos insectívoros de Yucatán. Comparación de dos métodos de obtención de parámetros morfológicos. En: Cervantes FA, Moncada YH, Vargas Cuenca J, editores. *60 años de la Colección Nacional de Mamíferos del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Aportaciones al conocimiento y conservación de los mamíferos mexicanos*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. p. 103-108.

Ospina-Garcés SM, Mac Swiney GMC. 2024. Las alas no son como las pintan. *Therya ixmana*. 3(2):54-55. doi: https://doi.org/10.12933/therya_ixmana-24-474.

Reid FA. 2009. *A field guide to the Mammals of Central America and Southeast Mexico*. Oxford University Press: NY, New York. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195343229.001.0001>.

Salgado-Negret BE. (ed). 2016. *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones.*: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Schnitzler HU, Kalko EKV. 2001. Echolocation by insect-eating bats: We define four distinct functional groups of bats and find differences in signal structure that correlate with the typical echolocation tasks faced by each group. *Bioscience*. 51(7):557-569. doi: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0557:EBIEB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0557:EBIEB]2.0.CO;2).

Sun X, Huang N, Zhou W. 2022. Geographical patterns in functional diversity of Chinese terrestrial vertebrates. *Diversity*. 14(11):987. doi: <https://doi.org/10.3390/d14110987>

Tanshi I, Obitte BC, Monadjem A, Rossiter SJ, Fisher-Phelps M, Kingston, T. 2022. Multiple dimensions of biodiversity in paleotropical hotspots reveal comparable bat diversity. *Biotropica*. 54(5):1205-1216. doi: <https://doi.org/10.1111/btp.13143>.

Torres-Colín R. 2004. Tipos de vegetación. En: García-Mendoza A, Ordoñez MJ, Briones-Salas M, editores. *Biodiversidad de Oaxaca*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza y World Wildlife Fund. p.105-117.

Trejo, I. 2004. Clima. En: García-Mendoza A, Ordoñez MJ, Briones-Salas M, editores. *Biodiversidad de Oaxaca*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza y World Wildlife Fund. p. 67-85.

Tsianou MA, Kallimanis AS. 2016. Different species traits produce diverse spatial functional diversity patterns of amphibians. *Biodiversity Conserv.* 25(1):117-132. doi:

<https://doi.org/10.1007/s10531-015-1038-x>.

Villéger S, Miranda JR, Hernández DF, Mouillot, D. 2010. Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. *Ecol. Appl.*

20(6):1512-1522. doi: <https://doi.org/10.1890/09-1310.1>.

Violle C, Navas ML, Vile D, Kazakou E, Fortunel C, Hummel I, Garnier E. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos.* 116(5):882-892. doi: [https://doi.org/10.1111/j.0030-](https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x)

[1299.2007.15559.x](https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x).

Weideman EA, Slingsby JA, Thomson RL, Coetzee BTW. 2020. Land cover change homogenizes functional and phylogenetic diversity within and among African savanna bird assemblages. *Landsc Ecol.* 35:145-157. doi: <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00939-z>.

Figura 1. Ubicación geográfica del estado de Oaxaca, sur de México.

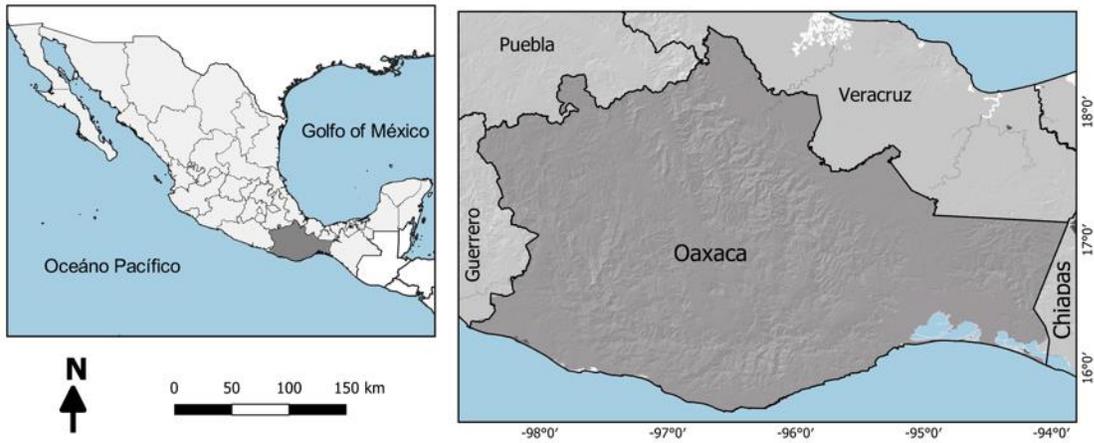


Figura 2. Morfometría del uropatagio: ausente (a), reducido (b), conspicuo (c), y completo (d).

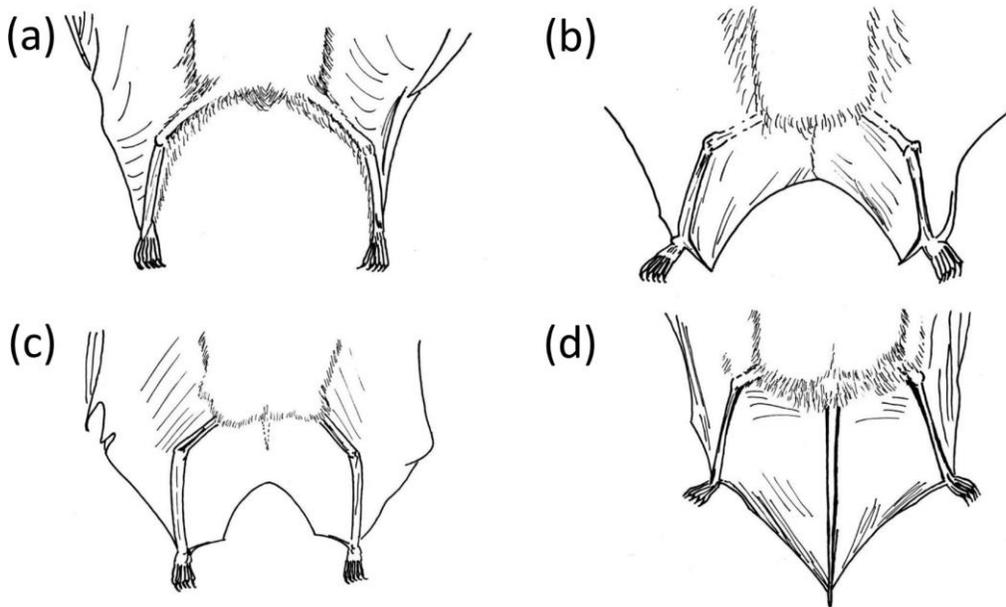


Figura 3. Morfometría de la cola: ausente (a), embebido (b), y libre (c).

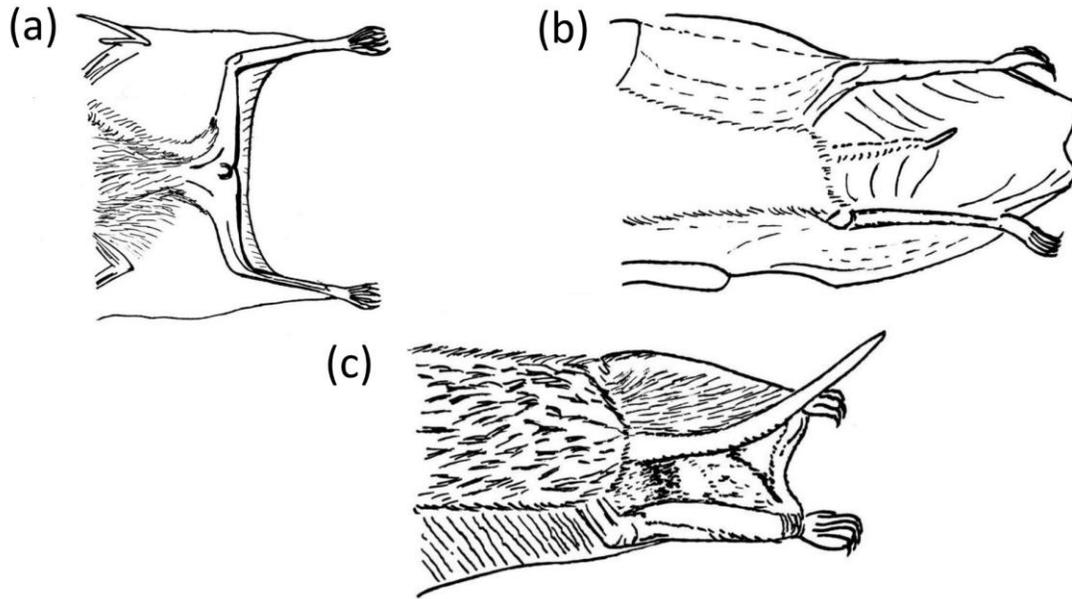


Figura 4. Morfometría de la hoja nasal: ausente (a), rudimentario (b), y desarrollado (c).

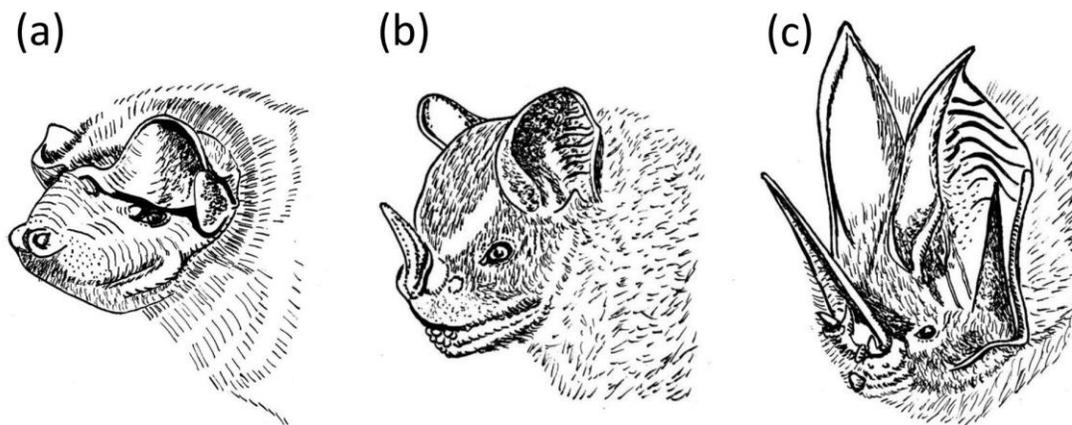


Tabla 1. Lista de rasgos funcionales propuestos para el estudio de mamíferos terrestres. Órdenes: Didelphimorphia, Cingulata, Pilosa, Lagomorpha, Rodentia, Carnivora, Soricomorpha, Chiroptera, Primates, Artiodactyla, y Perissodactyla. * Modificado de Gómez-Ortiz y Moreno (2017).

Rasgos funcionales	Unidad/Categorías	Valor	Significado funcional	Sugerencia de uso en órdenes:
Rasgos morfométricos				
Masa corporal	g	Cuantitativo	Demanda de espacio ecológico y obtención de alimento.*	Todos los órdenes
Longitud total	mm	Cuantitativo	Demanda de espacio ecológico y obtención de alimento.*	Todos los órdenes
Longitud cola	mm	Cuantitativo	Habilidad para conseguir alimento, explorar hábitats, desplazamiento y evadir depredadores.*	Todos los órdenes
Longitud pata	mm	Cuantitativo	Habilidad para conseguir alimento, explorar hábitats, desplazamiento y evadir depredadores.*	Todos los órdenes
Longitud oreja	mm	Cuantitativo	Eficiencia auditiva, eficiencia fisiológica, equilibrio en el vuelo.*	Todos los órdenes
Longitud antebrazo	mm	Cuantitativo	Eficiencia de vuelo.	Chiroptera
Longitud arco cigomático	mm	Cuantitativo	Eficiencia en la captura y transporte de alimento.	Todos los órdenes
Longitud bula timpánica	mm	Cuantitativo	Eficiencia auditiva, escape de depredadores y obtención de alimento.	Todos los órdenes

Carga alar	mm	Cuantitativo	Velocidad y maniobrabilidad de vuelo, uso de hábitat y obtención de alimento.*	Chiroptera
Morfometría del uropatagio	ausente reducido conspicuo completo	Categorico	Eficiencia de localización de recursos alimenticios y de vuelo.	Chiroptera
Morfometría de la cola	ausente embebido libre	Categorico	Eficiencia en la obtención de alimento.	Chiroptera
Morfometría de la hoja nasal	ausente rudimentario desarrollado	Categorico	Eficiencia de localización de recursos alimenticios y maniobrabilidad de vuelo.	Chiroptera
Abazones	ausente presente	Categorico	Habilidad para trasportar alimento.	Rodentia
Rasgos reproductivos				
Número de crías por camada	número	Cuantitativo	Éxito reproductivo, demanda de recursos alimenticios y espacio ecológico.*	Todos los órdenes
Periodo de gestación	número	Cuantitativo	Demanda de recursos alimenticios y espacio ecológico, protección de las crías.*	Todos los órdenes
Cuidado parental	número	Cuantitativo	Éxito de supervivencia de las crías.*	Todos los órdenes
Marsupio	ausente presente	Categorico	Éxito de supervivencia de las crías.	Didelphimorphia
Madurez sexual	meses	Cuantitativo	Éxito reproductivo, demanda de recursos alimenticios y espacio ecológico.*	Todos los órdenes
Longevidad	años	Cuantitativo	Demanda de recursos alimenticios.*	Todos los órdenes

Rasgos ecológicos				
Dieta	artropodívoro carnívoro frugívoro granívoro hematófago herbívoro insectívoro nectarívoro piscívoro polinívoro	Categorico	Uso de recursos alimenticios.	Todos los órdenes
Hábitos de vida	acuático arborícola cavador saxícola semiacuático semiarborícola terrestre volador	Categorico	Uso de recursos alimenticios y espacio ecológico.*	Todos los órdenes
Patrón de actividad	diurno nocturno crepuscular catemeral	Categorico	Uso de recursos alimenticios, territorialidad y obtención de pareja en un espacio temporal.	Todos los órdenes
Rasgos conductuales				
Migración	ausente presente	Categorico	Demanda de recursos alimenticios, espacio ecológico y reproducción.*	Chiroptera
Conducta social	solitarios parejas manadas grupos de caza	Categorico	Demanda de recursos alimenticios, espacio ecológico, éxito reproductivo y protección de las crías.*	Todos los órdenes

Área de alimentación	espacio abierto borde de la vegetación entre la vegetación sobre superficie del agua	Categorico	Eficiencia en la captura de alimento.	Chiroptera
Modo de forrajeo	aéreo aéreo recolector arrastre	Categorico	Eficiencia en la captura de alimento.	Chiroptera
Ámbito hogareño	km ²	Cuantitativo	Sitio espacial donde desarrollan actividades reproductivas, etc.	Todos los órdenes
