

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“PERTINENCIA DE LOS MAMÍFEROS COMO INDICADORES
DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA EN LAS EVALUACIONES
AMBIENTALES”**

Presentada por:

Erika Paliza Garcia

Trabajo Monográfico para Optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO

Lima - Perú

2018

INDICE GENERAL

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. EVALUACIONES AMBIENTALES	3
2.1.1. Generalidades	3
2.1.2. Tipos	3
2.2. LOS MAMÍFEROS	9
2.2.1. Generalidades	9
2.2.2. Diversidad y Adaptaciones.....	10
2.2.3. Distribución y estado de conservación	12
2.2.4. Importancia.....	13
2.2.5. Mamíferos en Perú.....	14
2.3. DIVERSIDAD BIOLÓGICA.....	15
2.3.1. Concepto	15
2.3.2. Tipos de diversidad biológica y su medición	16
2.3.3. Diversidad Funcional.....	22
2.3.4. Variaciones en la diversidad biológica	23
2.3.5. Diversidad y conservación	24
2.4. INDICADORES DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA.....	26
2.4.1. Generalidades	26
2.4.2. Criterios para su elección.....	28
2.5. MAMÍFEROS COMO INDICADORES DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA ..	31
2.5.1. Tipos de indicadores en mamíferos	31
2.5.2. El uso de mamíferos como indicadores	33
III. DISCUSIONES	39
IV. CONCLUSIONES	42
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

RESUMEN

Los mamíferos es un grupo con una gran diversidad morfológica, su capacidad para adaptarse a diferentes ambientes ha hecho que puedan ocupar casi todos los ecosistemas del planeta. Esta variedad de formas les permite utilizar diferentes recursos, formando parte de varios grupos funcionales.

La pérdida de biodiversidad se ha convertido en una preocupación para los conservacionistas ya que el deterioro de los ecosistemas afecta su capacidad para brindar servicios ambientales. Es por esto que actualmente se elaboran diferentes evaluaciones para describir el estado del ambiente en un espacio determinado y sus posibles variaciones en el tiempo. Para la caracterización del estado de la diversidad biológica de un ambiente, se suelen evaluar solo algunos componentes del sistema, ya que el esfuerzo necesario relacionado principalmente a los aspectos económicos, de información y tiempo, es limitante para su ejecución. Esta situación ha llevado al uso de indicadores de diversidad, los cuales facilitan la obtención de información sobre el estado del ecosistema, en términos de diversidad biológica.

La importancia de los mamíferos como indicadores de diversidad aún es un tema en debate. En el presente documento se ha realizado una revisión bibliográfica del uso de los mamíferos como indicadores. De acuerdo a lo encontrado en la bibliografía se puede decir que la utilidad de los mamíferos como indicadores de diversidad depende del nivel de diversidad biológica que se esté midiendo y del grupo de mamíferos considerado. Los mamíferos pequeños (roedores o quirópteros) parecen ser más útiles para predecir la diversidad total en el estudio de la diversidad alfa de una comunidad. De la misma manera, en el estudio de la diversidad beta, los mamíferos pequeños, que tiene alta tasa de recambio de especies a escala espacial, son muy útiles para indicar diversidad de hábitats. Los mamíferos mayores, por otro lado, parecen no detectar muy bien cambios en el ambiente, o predecir la diversidad de otros grupos biológicos, pero son muy útiles para establecer programas de conservación.

Palabras clave: Mamíferos, especies indicadoras, diversidad biológica, riqueza, evaluaciones ambientales, especies clave

ABSTRACT

Mammals possess great morphological diversity. The capacity of the species of this group to adapt to different environments, has allowed them to inhabit almost every ecosystem on earth. This variety of forms, allows them to use different resources, belonging to different functional groups.

Biodiversity loss has become a rising concern to conservationists because the ecosystem deterioration affects its capacity of offering ecosystem services. Is because of this that currently environmental assessments are made in all fields of development, in order to describe the state of the environment in a determinate area and its variations over time. To characterize the state of the biological diversity on an environment is common to evaluate only some ecosystems components, because the effort, not only economically but in information and time are limiting factors for its accomplishment. This situation has led to the use of diversity indicators which facilitate obtaining information on the state of the ecosystem, in terms of biological diversity.

Importance of mammals as biodiversity indicators is still a subject under debate. A bibliographic review of the use of mammals as indicators is presented in this document. According to what is found in the literature, the usefulness of mammals as indicators of diversity depends on the level of biological diversity that is being measured, and the group of mammals considered. Small mammals seem to be more useful for predicting total diversity in the study of a community's alpha diversity. In the same way, in the study of beta diversity, small mammals, are very useful to indicate diversity of habitats, because they have a high rate of species turnover on a spatial scale. Larger mammals, on the other hand, do not seem to detect changes in the environment or to predict the diversity of other biological groups, but they are very useful to establish conservation programs.

Key words: Mammals, indicator species, biological diversity, species richness, environmental assessments, key species, flagships.

I. INTRODUCCION

En la actualidad nos enfrentamos a una acelerada desaparición de las áreas naturales del planeta, pérdida de la diversidad genética y de especies debido a la destrucción de los hábitats naturales (Diéguez 2014). El ser humano, al igual que el resto de los seres vivos, depende de los ecosistemas y su dinámica, al proveer de servicios, tales como suministros de alimentos, posibilidades de recreo y turismo y fuentes de madera, medicamentos, energía entre otros (Viota y Maraña 2010; IFC 2012). Así, la pérdida de biodiversidad afecta las funciones de los ecosistemas, haciendo que estos sean más vulnerables a los impactos y las alteraciones, tengan menos capacidad de recuperación y sean menos aptos para suministrar a los seres humanos los servicios necesarios (Uribeondo 2007).

El reconocimiento de esta realidad está creciendo, pero es necesario que las autoridades inviertan más recursos en solucionar esta problemática, tanto a nivel regional, nivel de país y a nivel global. Actualmente, las autoridades y empresas privadas realizan evaluaciones ambientales que abordan el tema de la pérdida de diversidad biológica, aspectos ambientales, socioeconómicos, culturales y de salud humana interrelacionados. Estas evaluaciones analizan las consecuencias de la implementación de distintos proyectos de desarrollo, no solo determinando los posibles impactos, sino también sus efectos acumulativos y globales; incorporando, entre otros, aspectos relacionados con diversidad biológica en la adopción de decisiones y/o de planificación ambiental.

Dentro de estas evaluaciones ambientales, las evaluaciones de diversidad biológica no pueden realizarse con todas las especies de plantas y animales presentes en un área, si no que se deben tomar en cuenta aquellos grupos que mejor caracterizan a los ecosistemas. Los indicadores o bioindicadores son especies o grupos taxonómicos mayores cuyas características particulares son útiles para medir variaciones en la estructura y dinámica de los ecosistemas.

El presente documento intenta resaltar la importancia del uso de los grupos de mamíferos como indicadores de diversidad biológica en diferentes ecosistemas y a diferentes escalas. Además, se toman en cuenta los diferentes niveles de diversidad. Se exponen diferentes criterios de selección de especies indicadoras para su uso en las evaluaciones ambientales, de acuerdo a diferentes características fisiológicas y ecológicas y de comportamiento. Además, se muestran las ventajas y desventajas que presentan los grupos de mamíferos al ser utilizados como indicadores. También se hace una diferenciación entre lo que es un indicador de diversidad y un indicador de procesos ecológicos, y se ofrecen ejemplos del uso de mamíferos en ambos casos.

II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1. EVALUACIONES AMBIENTALES

2.1.1. Generalidades

Las evaluaciones ambientales son procedimientos de investigación y análisis que buscan caracterizar la situación ambiental de un espacio determinado. De acuerdo al tipo de evaluación estas suelen incluir información física, biológica (flora y fauna) y social del área del área evaluada.

2.1.2. Tipos

a. Línea Base

Muestra el punto de partida de las condiciones ambientales, sin intervenciones que se originen de un proyecto, obra o actividad sobre un espacio determinado. La línea base ambiental permite conocer y entender el entorno donde se desarrollará la actividad, que es necesario evaluar o analizar a través de las variables o los factores ambientales que lo conforman. Se puede definir como los valores iniciales de las variables y procesos a modificar con la presencia de un proyecto o intervención (Espinoza 2002; Rascón 2007; SEMARNAT 2015).

Debido a que los estudios de línea de base describen al detalle el estado de un ambiente, necesariamente deben presentar un alcance multidisciplinario. Estos estudios abarcan diversas disciplinas, tales como hidrología, biología, química, hidrogeología, ingeniería civil, estadística, economía, arqueología, antropología y sociología. El producto final de las actividades de línea de base debe ser de naturaleza muy práctica y de fácil entendimiento.

Los estudios de línea de base no constituyen una actividad académica que abarca todos los aspectos posibles, sino que abarca aquellos aspectos que puedan dar un entendimiento claro del estado actual del ambiente. El lapso durante el cual se deben adquirir o generar y analizar los datos, normalmente es demasiado breve como para realizar una investigación rigurosa y el alcance es demasiado amplio.

b. Evaluación de Impacto Ambiental

La evaluación de impacto ambiental es un proceso singular e innovador cuya operatividad y validez como instrumento para la protección y defensa del medio ambiente está recomendado por diversos organismos internacionales. De acuerdo con la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (MINAM 2009), la evaluación de impacto ambiental es un “proceso participativo, técnico administrativo, destinado a prevenir, minimizar, corregir y/o mitigar e informar acerca de los potenciales impactos ambientales negativos que pudieran derivarse de las políticas, planes, programas y proyectos de inversión, y asimismo, intensificar sus impactos positivos”. Este proceso es avalado por la experiencia acumulada en países desarrollados, que lo han incorporado a su ordenamiento jurídico desde hace años.

Se puede decir que el EIA:

- Es un proceso de advertencia temprana que verifica el cumplimiento de las políticas ambientales.
- Es la herramienta preventiva mediante la cual se evalúan los impactos negativos y positivos que las políticas, planes, programas y proyectos generan sobre el medio ambiente, y se proponen las medidas para ajustarlos a niveles de aceptabilidad
- La EIA ayuda a la resolución de problemas en el proceso de toma de decisiones, no la reemplaza, sino que provee las bases para decisiones más informadas respecto a los impactos positivos y negativos sobre el medio ambiente.

- La efectividad del proceso de EIA depende del grado de prioridad nacional, regional o local que tenga la calidad ambiental.

El término impacto se utiliza para describir los efectos ambientales resultantes de los proyectos de ingeniería, de obras o actividades humanas de cualquier tipo, tanto incluyendo los impactos causados por los procesos productivos, como los productos de esa actividad. También se emplea, para describir afectaciones que pueden provenir de una determinada instalación a ser implantada como consecuencia de un conjunto de acciones humanas.

Las evaluaciones de impacto ambiental no consiguen el desarrollo sostenible “per se”, pero brindan información importante para guiar a los responsables de la toma de decisiones en esa dirección. Entre otros aspectos de importancia, en la mayoría de casos estos documentos incorporan los costos de las medidas de protección ambiental y brinda diversas alternativas para minimizar los impactos generados.

Dentro de una evaluación de impacto, la descripción de las comunidades bióticas es probablemente el aspecto que más tiempo y esfuerzo requiere. Las comunidades varían considerablemente en complejidad en cada ecosistema, desde aquellas que presentan una diversidad de taxas limitada como es el caso de algunos desiertos, hasta ecosistemas complejos como lo bosques tropicales.

La inclusión de un listado de todas las especies presentes no resulta la mejor práctica en la preparación de las evaluaciones de impacto ambiental. En este sentido, el nivel de detalle de las descripciones debe ser adecuado para satisfacer las necesidades de cada caso en cuestión y se debe limitar a información útil en la toma de decisiones. Ciertos hábitats o comunidades bióticas probablemente requieran tratamientos más detallados que otros, especialmente aquellos que presentan una gran diversidad de especies o que poseen individuos con algún grado de amenaza para su conservación.

Las evaluaciones de impacto ambiental frecuentemente requieren el estudio de las comunidades biológicas en campo para lo cual se pueden usar diferentes técnicas. Entre las metodologías de estudio de la fauna están aquellas que contemplan la detección directa de los individuos, ya sea por avistamiento, captura, restos de animales, o por estimaciones indirectas basadas en indicadores de presencia o actividad como lo son huellas, fecas, nidos, etc. También existen técnicas complejas de captura-marcaje-recaptura que permiten estimar en forma precisa la densidad y composición etérea de las poblaciones. La metodología a utilizar debe ser definida de acuerdo con el tipo de ecosistema, el proyecto a realizarse y los objetivos del estudio.

c. Plan de Monitoreo

El monitoreo o seguimiento es una evaluación periódica para conocer tendencias del comportamiento de un sistema a través del tiempo. De acuerdo con Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (MINAM 2009) el monitoreo es la “obtención espacial y temporal de información específica sobre el estado de las variables ambientales, funcional a los procesos de seguimiento y fiscalización ambiental”.

Dentro de los planes de monitoreo de proyectos realizados en espacios naturales se debe incluir un monitoreo de la biodiversidad. Este es necesario para describir la dinámica de las comunidades y ecosistemas naturales, conocer las consecuencias de la influencia humana y predecir o prevenir cambios no deseados. Un sistema de monitoreo de la diversidad biológica debe incluir acciones sistemáticas de observación de variables ligadas a la biodiversidad en sus distintos niveles. Estas mediciones deben permitir, por un lado realizar una valoración del estado y la evolución de cada variable, y por otro lado realizar una evaluación integral de los cambios que puedan resultar de las intervenciones realizadas al sistema. De manera general, se busca que un monitoreo proporcione información biológica básica para la toma de decisiones con márgenes razonables de certeza.

Un aspecto importante en todo monitoreo es la temporalidad. Un monitoreo se realiza en intervalos repetidos de tiempo para proveer la información de base y registrar cambios en el tiempo. Para esto es necesario contar con información de línea base sobre la biodiversidad del área de estudio, la cual, normalmente, forma parte de la evaluación de impacto ambiental.

Un sistema de monitoreo debe tomar en consideración:

- Preguntas clave: ¿qué se quiere monitorear?, ¿Cada cuánto tiempo? ¿Para qué se quiere monitorear?
- Parámetros medibles con relación al estado de la biodiversidad que se quiere evaluar
- Información confiable del estado de la biodiversidad en períodos de tiempo regulares
- Análisis del estado de la biodiversidad
- Evaluación de tendencias y cambios en el sistema monitoreado

El monitoreo, sea o no parte de un estudio ambiental, puede tener dos orientaciones:

Monitoreo para la conservación: El monitoreo, desde el punto de vista de la conservación, se aplica a aquellos ecosistemas que se encuentren bien conservados y protegidos de las intervenciones humanas y que requieran mantener la composición, estructura y función de la biodiversidad de un sitio determinado.

Para realizar un monitoreo de biodiversidad con miras a la conservación es importante contar con cierta información:

- a. Información básica sobre el/los ecosistemas que se quieren conservar. En la mayoría de los casos no se cuenta con suficiente información acerca del

sistema a conservar, ni se puede conocer si este se encuentra en su estado original o ha sufrido perturbaciones previas. Para tener un programa más eficiente, el monitoreo debe estar orientado al mantenimiento de las funciones o procesos que se dan en el ecosistema.

- b. Tipo de perturbaciones naturales a que está sujeto el ecosistema. En el caso de perturbaciones antrópicas, es necesario estudiarlas a fondo y sus posibles repercusiones.
- c. Ecología e historia natural de las especies clave y amenazadas para poder monitorear los cambios en el tiempo y el espacio. En el caso que existan especies amenazadas es necesario conocer, además de su ecología, su estado poblacional y la relación con otras especies del ecosistema. Esto es muy importante si lo que se pretende es conservar estas especies y aumentar el tamaño de sus poblaciones.

Monitoreo para la restauración: La restauración ecológica es un campo que está desarrollándose rápidamente y adquiriendo importancia en el ámbito ambiental. Actualmente una de las herramientas más importantes de la conservación es la restauración de aquellos ecosistemas que se encuentran alterados (Walker et al., 2007; Sanchez et al., 2005). Una limitante de la restauración es que es más compleja y más costosa que la conservación de ecosistemas saludables, por eso aún se cuenta con pocos proyectos de restauración en el país. Para el monitoreo desde el punto de vista de la restauración, es importante contar con información adecuada en cuatro aspectos principales:

1. Información básica sobre el ecosistema original que se quiere restaurar. En la mayoría de los casos no se tiene un conocimiento suficiente de las características del ecosistema original. Para cumplir con los objetivos de la restauración ecológica es importante conocer los procesos o funciones más importantes que ocurrían en el ecosistema original.
2. Conocer los patrones de sucesión tanto natural como antrópica. Conocer los procesos de recambio de especies y de interrelaciones entre las especies para utilizar la dinámica del ecosistema en su propia recuperación. Las

descripciones sobre la sucesión de un ecosistema a restaurar generalmente son generadas mediante inferencias de estudios realizados en ecosistemas similares o adyacentes, por lo que el diseño de los proyectos no es exacto.

3. Evaluar posibles barreras para la restauración. En algunos ecosistemas existen barreras para la restauración. Las barreras pueden ser físicas (como escasez de agua o luz), químicas (como escasez de nutrientes o toxicidad de suelos), mecánicas (como la compactación de suelos) o biológicas (como la ausencia de dispersores de semillas, presencia de depredadores de semillas).
4. Conocer la ecología de las especies que se van a utilizar y las relaciones con otras especies: hay especies que pueden servir como facilitadoras de la regeneración y deberían utilizarse para disparar los procesos de regeneración. Aquí hay que enfatizar que siempre es necesario minimizar la intervención humana y maximizar la contribución de los procesos naturales.

2.2. LOS MAMÍFEROS

2.2.1. Generalidades

Los mamíferos (Clase Mammalia) constituyen una de las cinco principales clases de vertebrados, siendo las otras: aves, reptiles, anfibios y peces. Se les llama mamíferos por presentar glándulas mamarias, utilizadas por las hembras para alimentar a sus crías. Los mamíferos aparecieron aproximadamente en el límite Triásico-Jurásico, hace unos 215 millones de años en el supercontinente de Pangea, y alcanzaron importancia después de la extinción de los dinosaurios hace 70 millones de años (Bonaparte 2014).

Esta clase comprende animales cuyo cuerpo está cubierto por pelo, que actúa como una barrera aislante de la temperatura ambiental, lo que permite que se pueda mantener constante la temperatura corporal la que es regulada por un mecanismo cerebral. Se diferencian de otros animales también por la forma del cráneo, el desarrollo y la especialización de las piezas dentales (Tirira 2007; Reis et al., 2006). Tienen respiración pulmonar y corazón con cuatro cavidades; su fecundación y desarrollo embrionario es interno; todos son vivíparos, exceptuando a los monotremas que son ovíparos.

Todos los mamíferos son endotermos y comparten tres rasgos únicos, no encontrados en otros animales:

- Presencia de pelo, que en los cetáceos solo está presente en los estados más tempranos del desarrollo.
- Presencia de glándulas mamarias bajo la piel sobre el lado ventral del cuerpo, que producen la leche para amamantar a las crías.
- Presencia de tres huesos en el oído medio.

2.2.2. Diversidad y Adaptaciones

Los mamíferos incluyen aproximadamente 5416 especies vivas asignadas a 29 órdenes, 153 familias y 1 229 géneros conocidos en el año 2006, de acuerdo con la publicación *Mammal Species of the World* (2006). Sin embargo, para el año 2017, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) y los científicos a nivel mundial que colaboran con esta institución, tienen registradas 5567 especies aceptadas de mamíferos en todo el planeta (IUCN, 2017).

Los mamíferos, como grupo se dividen en: Prototheria y Theria (Metatheria y Eutheria).

- *Prototheria*. Comprende a los mamíferos más primitivos que se caracterizan por ser ovíparos; su cara se prolonga en un pico parecido al de los patos; tienen pelaje repelente al agua y espeso, ejemplo que tenemos en el ornitorrinco (*Ornithorhynchus anatinus*); y el erizo hormiguero (*Tachyglossus*), de Australia. Comprende 4 especies en 3 géneros, 2 familias y 1 orden (Wund *et al.*, 2016). En el Perú no se distribuyen especies de este grupo.
- *Metatheria*. Comprende a organismos cuyas crías se caracterizan por nacer inmaduras y terminar su desarrollo embrionario unido a la mama de la madre, esto generalmente ocurre en una bolsa ventral o marsupio que cubre a las glándulas mamarias adheridas a largos pezones. Este grupo de animales son conocidos como marsupiales y están ampliamente representados en Australia y en el continente americano, aunque las evidencias muestran que estuvieron

anteriormente distribuidos en todos los continentes. Este grupo comprende 272 especies conocidas, 77 géneros, 18 familias y 7 órdenes (Wund and Myers 2016). De acuerdo a la última lista de especies del Perú (Pacheco *et al.*, 2009), en Perú han sido registradas 42 especies de Metatheria pertenecientes a dos órdenes (Didelphimorphia y Paucituberculata).

- *Eurtheria*. Comprende a mamíferos cuyo desarrollo embrionario completo se da en el útero de la madre favorecido por la placenta, por esta razón se llaman también placentarios. Además de pelo, estos mamíferos poseen glándulas de grasa, sudoríparas, odoríferas, etc.; siendo las sudoríparas las que auxilian en el control de la temperatura del cuerpo. Las extremidades están adaptadas a diversos modos de locomoción como el nado, la carrera y el salto. Comprende alrededor de 4 000 especies, de 18 órdenes (Archibald 2012). En el Perú se han registrado más de 450 especies de eutherias pertenecientes a 11 órdenes de acuerdo con Pacheco y sus colaboradores (2009).

El sistema nervioso desarrollado de todos los mamíferos parece haber contribuido al éxito evolutivo de este grupo; el funcionamiento de los cinco sentidos clásicos se diferencia de otros vertebrados en cuanto a su eficiencia y haciendo posibles adaptaciones de comportamiento a ambientes variados y en constante cambio. A pesar de su éxito evolutivo, los mamíferos son menos numerosos que la mayoría de otros grupos animales, esto se debe principalmente al gran tamaño de cada una de las especies, el alto costo energético que exige la endotermia y la incapacidad de explorar algunos nichos ecológicos restringidos.

La diversidad de mamíferos es notable. Mamíferos existentes se diferencian en el peso por un factor de casi 100 millones, de musarañas, murciélagos, y ratones de 3 gramos, a animales de 160 toneladas (160 millones de gramos) como es el caso de algunas ballenas (Wund y Myers 2005). Esta diversidad es la característica más saltante de esta clase. En contraste con las aves, cuyo cuerpo ha evolucionado de manera uniforme en torno a las exigencias del vuelo, los mamíferos han desarrollado una importante diversidad de formas.

Entre los mamíferos se encuentran por ejemplo especies que vuelan, se deslizan, nadan, corren, cavan o saltan, han desarrollado morfologías que les permite moverse eficientemente de diferentes formas. Así, los mamíferos han desarrollado gran variedad de formas para cumplir una gran variedad de funciones. Este grupo tiene también una gran variedad de hábitos alimenticios, desde insectos, frutas, otros animales, hasta néctar o sangre (Wund y Myers 2005, Tirira 2007).

2.2.3. Distribución y estado de conservación

Los 26 órdenes de mamíferos vivos ocurren en una amplia variedad de hábitats terrestres y acuáticos en todo el mundo. Los mamíferos son encontrados en todos los continentes, ocurriendo desde sobre el Círculo Ártico en el hemisferio norte, a las puntas del sur de los continentes y a las islas grandes en el hemisferio austral. (Wilson *et al.*, 1996). La gran mayoría de las especies de mamíferos habitan ambientes terrestres, mientras que sólo 2.5% de todas las especies ocupan hábitats marinos.

Dos órdenes, Cetacea y Sirenia, incluyen especies que están altamente adaptadas para vivir en ambientes acuáticos. El orden carnívora incluye tres familias de mamíferos marinos: Odobenidae, Otariidae, y Phocidae. Tres órdenes adicionales: Didelphimorphia, Insectivora y Rodentia, incluyen especies acuáticas o semiacuáticas (Wilson *et al.*, 1996).

El riesgo en el que se encuentran muchas especies de mamíferos pueden deberse a muchos factores, pero probablemente la más seria amenaza a su diversidad es el rápido crecimiento de las poblaciones humanas. En los últimos 500 años al menos 82 especies de mamíferos se han extinto (Wund y Myers 2005). Las especies tropicales, que usualmente tienen poblaciones pequeñas y en áreas restringidas están usualmente en mayor riesgo de extinción que las especies de zonas templadas que son generalmente menos especialistas y más comunes.

Destrucción del hábitat, fragmentación y degradación son amenazas severas a la supervivencia de muchas especies de mamíferos, estas actividades afectan

negativamente la dinámica de las poblaciones alterando rutas de migración, recursos alimenticios y lugares de reproducción. De acuerdo con la IUCN la pérdida de hábitats afecta a alrededor de 2000 especies de mamíferos y se considera la mayor amenaza a nivel global. La deforestación de áreas tropicales y subtropicales es probablemente la causa más grande de la degradación y fragmentación de hábitats ya que el paso de áreas deforestadas a áreas de uso para la agricultura o ganadería resulta en una pérdida significativa de la vida silvestre. La segunda mayor amenaza es la utilización que afecta a cerca de 900 especies de mamíferos (IUCN, 2017).

Esto ha traído como consecuencia que de las 5567 especies de mamíferos incluidos en la lista roja de la IUCN (2017), 1194 están amenazados de extinción, 204 especies se encuentran en peligro crítico, 464 especies en peligro y 526 especies son consideradas vulnerables. De acuerdo con el status actual de cada especie, que se describe en esta lista, las poblaciones de muchas de ellas continúan decreciendo.

2.2.4. Importancia

Los mamíferos son uno de los grupos de especies más importantes sobre la tierra en términos de evolución, ecología e impacto económico. Ocupan casi todos los ecosistemas del planeta y juegan papeles críticos en la dinámica de los ecosistemas. Los mamíferos están presentes en la investigación básica ecológica y evolutiva, y como especies bandera, son piezas clave en la ciencia de la conservación (IUCN 2017).

Los mamíferos son herramientas importantes para la investigación médica, sus características los hacen ideales para realizar pruebas de medicamentos, de efectos de sueros, producción de anticuerpos, entre otros procedimientos. En los laboratorios donde se producen medicinas se realizan pruebas médicas es imprescindible contar con especies de mamíferos como ratas, ratones, monos, conejos, etc.

Este grupo de animales tiene alta importancia económica para el hombre, que va desde ser vectores de enfermedades de plantas y animales (incluyendo el hombre), a sus usos en áreas agrícola y científica. También brindan una diversidad de servicios ecológicos,

que van desde el flujo de energía y carbono, al reciclaje de nutrientes dentro de los ecosistemas, esto ayuda a mantener equilibrio ecológico en tales ecosistemas. Son utilizados por las comunidades como alimento, medicina, para el turismo, como mascota, entre otros usos. Asimismo, debido a su sensibilidad frente a cambios en el ambiente, son potencialmente útiles para el hombre como indicadores, y una revisión rápida de la diversidad de especies en los ciertos ecosistemas podría ayudar a conocer si el ecosistema es estable o no (Mbugua, 2002).

Los mamíferos frugívoros son los dispersores de semillas más efectivos ya que están menos limitados por el tamaño y forma del fruto, recorren grandes distancias y tienen un mayor tamaño corporal, por lo que consumen un mayor número de frutos. Así, los mamíferos frugívoros son considerados elementos clave para la regeneración de bosques degradados y en la restauración de hábitats degradados.

Los mamíferos pequeños son especialmente importantes elementos de los ecosistemas, sobre todo los tropicales, afectando la estructura, composición y dinámica de las comunidades forestales a través de actividades tales como la dispersión y polinización, tienen impactos en poblaciones de invertebrados y son alimento de los carnívoros (Solari *et al.*, 2002).

2.2.5. Mamíferos en Perú

La mayor diversidad de mamíferos en el nuevo mundo se encuentra en la región neotropical, donde 12 órdenes y 50 familias (19 endémicas), se encuentran representadas. Aproximadamente el 60% de los géneros y 80% de las especies son endémicas de esta región.

La fauna mamífera de la región neotropical también incluye dos órdenes endémicos: Paucituberculata (ratones marsupiales) y Microbiotheria. La diversidad de mamíferos en esta región es notable y dentro de ella el Perú es uno de los países con mayor número de especies.

La alta diversidad de mamíferos que posee el Perú está relacionada con su posición geográfica tropical y con el efecto topográfico que produce la Cordillera de los Andes, la cual corre a lo largo de toda su extensión, que produce una incomparable riqueza de regiones y microhábitats. En el año 1995, se realizó una revisión extensa de las especies de mamíferos del Perú, acompañada del estudio de especímenes depositados en museos, los resultados de dicha revisión indicaron que el número de mamíferos presentes en el Perú, era de 460 especies (Pacheco, 2002). En el año 2008 el mismo autor junto con sus colaboradores realiza una nueva revisión en la que se mencionan 508 especies de mamíferos registradas para el Perú, convirtiéndolo en el tercer país con mayor diversidad de especies en el Nuevo Mundo, ubicándose después de Brasil y México (Pacheco *et al.*, 2009). Este número de especies se agrupan en 13 órdenes, 50 familias y 218 géneros, siendo los órdenes más diversos Rodentia y Chiroptera.

El número de especies de mamíferos presentes en el Perú se ha ido incrementando en los últimos años, habiéndose descrito varias especies nuevas, pertenecientes en su mayoría a los órdenes Rodentia y Chiroptera. De acuerdo con la actualización de la lista realizada por Medina y sus colaboradores (2016), el número de mamíferos presentes en Perú se calcula en 549 especies.

2.3. DIVERSIDAD BIOLÓGICA

2.3.1. Concepto

La diversidad biológica se puede definir como la variedad de formas de vida, así como las interacciones entre sí y con el ambiente físico. La diversidad biológica puede considerar diferentes niveles como genes, especies, poblaciones, asociaciones o comunidades y los paisajes o ecosistemas (Reynel *et al.*, 2013, Monroy-Vilchis 2005).

La diversidad biológica puede ser vista de manera diferente para personas orientadas en diferentes disciplinas. Así, por ejemplo, para un sistemático, puede ser el número de especies de un taxón o grupo de taxones, mientras que un genético puede considerar que la diversidad de genes son la expresión más importante de la diversidad, mientras que

un ecólogo puede estar más interesado en la variedad y distribución de las especies (Noss 1990).

2.3.2. Tipos de diversidad biológica y su medición

a. Diversidad a nivel genético

Se puede definir como las variaciones heredables que ocurren en cada organismo o entre los individuos de una población y/o entre las poblaciones dentro de una especie., esta diversidad determina la forma en que una especie interactúa con su ambiente y con otras especies. A este nivel, la biodiversidad surge a partir de mutaciones en el ADN. El resto de la biodiversidad se deriva de los procesos evolutivos que operan sobre esas variaciones (Moreno 2001; Piñero 2008).

La diversidad genética mide qué tan diferentes son los organismos, con base en sus relaciones genealógicas y la evolución de genes o caracteres y como estos son heredables, es posible estimar la biodiversidad mediante medidas filogenéticas, basadas en las relaciones genealógicas (jerárquicas) entre los organismos, y en modelos de evolución de genes y caracteres. La diversidad genética de una especie es producto de su historia evolutiva y no puede ser reemplazada. Los métodos moleculares para medir diversidad son cada vez más utilizados, como los amplificadores o los secuenciadores automáticos, así como por el gran número de enzimas de restricción actualmente aisladas. Sin embargo, la interpretación de los resultados de estos análisis aún es poco conocida, es más adecuado combinarlos evidencia morfológica, química, o de otro tipo.

b. Diversidad a nivel de especies

La diversidad de especies presenta diferentes niveles de medición, diversidad alfa, diversidad beta y diversidad gamma. La diversidad de especies, tomándola como el número de especies y su abundancia es, actualmente, un tema central en el estudio de ecología de comunidades y biología de la conservación. La medición de la diversidad de especies es una aproximación práctica para entender el estado de los ecosistemas y su funcionamiento, evaluar la afectación

de las actividades humanas sobre ellos, así como identificar áreas que ameriten protección.

Para fines de monitoreo, es necesario contar con información de la diversidad biológica en comunidades naturales y modificadas (diversidad alfa) y también de la tasa de cambio en la biodiversidad entre distintas comunidades (diversidad beta), para conocer su contribución al nivel regional (diversidad gamma) y poder diseñar estrategias de conservación y llevar a cabo acciones concretas a escala local. (Moreno, 2001)

Para evaluar la diversidad en sus diferentes componentes, niveles o escalas, es necesario utilizar índices que ayuden a resumir información en un solo valor y permiten unificar cantidades para realizar comparaciones.

- **La diversidad alfa**

Es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea. Existen varios índices para medir la diversidad alfa, de acuerdo al tipo de información que se desea analizar, se pueden clasificar en:

1. Basado en el número de especies presentes:

- **La riqueza específica (S)** es la forma más simple de medir la diversidad alfa. Se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad. Esto es posible únicamente para ciertos taxa bien conocidos y de manera puntual en tiempo y en espacio.

– **Índice de diversidad de Margalef (d)**

$$d = \frac{s-1}{\ln N}$$

Donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra.

2. Basados en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie.

– **Índice de Simpson (1-D)**

$$D = \sum p_i^2$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Muestra la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una comunidad sean de la misma especie. Está fuertemente influido por las especies más dominantes. El valor resultante es restado de la unidad (1-D), en este caso el índice representa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de especies diferentes (Moreno 2001, Villareal *et al.*, 2004).

– **Índice de Shannon-Wiener (H')**

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S , cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran 1988, Villareal *et al.*, 2004).

- **La diversidad beta**

Es la diversidad entre hábitats, representa el grado de cambio en la composición de especies de diferentes comunidades dentro de un área. A diferencia de las diversidades alfa y gamma que pueden ser medidas fácilmente en función del número de especies, la medición de la diversidad beta es de una dimensión diferente porque está basada en proporciones o diferencias (Moreno 2001, Villareal *et al.*, 2004).

Puede evaluarse con base en índices o coeficientes de similitud, de disimilitud o de distancia entre las muestras a partir de datos cualitativos o cuantitativos.

La diversidad beta se encuentra estrechamente asociada a otro concepto denominado complementariedad, que significa que si tenemos una región (o paisaje) con una alta diversidad beta, la complementariedad de los sitios es alta, por lo que se necesitan una serie de reservas para proteger un alto porcentaje de las especies (Rodríguez 1999).

Índices de similitud/disimilitud: Los índices de similitud expresan el grado de semejanza de dos muestras por la composición de especies, por lo que son una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de especies entre dos muestras (Moreno 2001, Villareal *et al.*, 2004). Los índices cualitativos más utilizados son:

- Coeficiente de similitud de Jaccard (I_j)

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde

a = número de especies presentes en el sitio A

b = número de especies presentes en el sitio B

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B

El intervalo de valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies.

- Coeficiente de similitud de Sorensen (I_s)

$$I_s = \frac{2c}{a+b}$$

Relaciona el número de especies en común con la media aritmética de las especies en ambos sitios (Magurran, 1988).

- **La diversidad gamma**

Es la resultante de la diversidad de cada una de las comunidades (diversidad alfa) y el grado de diferenciación que se ha desarrollado entre ellas (diversidad beta). La diversidad gamma nos permite comparar grandes áreas que contienen comunidades biológicas diversas o el recambio existente entre regiones; refleja

fundamentalmente los procesos históricos (evolutivos) que han actuado en un nivel geográfico mayor.

Schluter y Ricklefs proponen la medición de la diversidad gamma con base en los componentes alfa, beta y la dimensión espacial:

Gamma = diversidad alfa promedio x diversidad beta x dimensión de la muestra

Dónde:

Diversidad alfa promedio = número promedio de especies en una comunidad

Diversidad beta = inverso de la dimensión específica, es decir, 1/número promedio de comunidades ocupadas por una especie

Dimensión de la muestra = número total de comunidades.

De esta forma, el valor de diversidad gamma obtenido está expresado en número de especies. Su valor suele aproximarse al número total de especies registradas en todas las comunidades.

Se tiene otra forma de expresar el valor de la diversidad gamma en dos componentes aditivos y positivos: diversidad dentro de las comunidades (alfa) y diversidad entre comunidades (beta), de forma que:

$$\text{Gamma} = \text{alfa promedio} + \text{beta}$$

c. A nivel de comunidades

Se entiende por comunidad a un conjunto de especies interrelacionadas que coexisten en un área y su diversidad puede analizarse mediante las técnicas de ecología del paisaje (Moreno 2001). Un paisaje es definido como una porción de la superficie terrestre con homogeneidad climática, geomorfológica y geográfica. Sin embargo, desde el punto de vista de la ecología, puede ser definido como un conjunto de ecosistemas que interactúan entre sí y cuyas dimensiones dependen del objetivo del estudio. El paisaje es resultado de tres

mecanismos: procesos geomorfológicos que tienen lugar en períodos de tiempo muy largos, patrones de colonización de los organismos, y perturbaciones locales en las comunidades puntuales (Forman y Godron 1986, citado por Moreno 2001).

La diversidad al nivel de comunidades puede analizarse de la misma manera en la que se hace la diversidad alfa de especies. Por ejemplo, el análisis de la diversidad de comunidades en un paisaje o región puede medirse, de manera análoga a la diversidad de especies en una comunidad, con el índice de Shannon-Wiener. De esta forma, el índice sería:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde p_i es la proporción relativa (área) de cada comunidad dentro del paisaje.

Un conocimiento apropiado de la biodiversidad a todos niveles se logra a través de proyectos de medición de la biodiversidad. Estos proyectos deben incluir muestreo, separación, catalogación, cuantificación y cartografiado de los componentes, tales como los genes, individuos, poblaciones, especies, hábitats, ecosistemas y paisajes y su análisis. Este análisis debe permitir mostrar una imagen de la biodiversidad de manera clara, para un momento específico (Moreno 2001; Villareal *et al.*, 2004).

2.3.3. Diversidad Funcional

La diversidad funcional se define como el valor, rango, distribución y abundancia relativa de los caracteres funcionales de los organismos que comprenden un ecosistema, y podría informar más sobre sus respuestas al ambiente y sus efectos ecosistémicos que la diversidad de especies (Díaz *et al.*, 2007 citado por Casanoves y Di Rienzo 2011). También se puede considerar como una medida que representa las distintas formas en que los organismos pueden utilizar los recursos disponibles en su medio ambiente. Así, cada especie tiene un papel particular en el funcionamiento global de los ecosistemas,

de esta manera la diversidad biológica puede influir en el funcionamiento de los ecosistemas no solo por el número de especies presentes sino principalmente por la función que cada una cumple dentro del mismo. Por tanto, el conjunto total de caracteres funcionales, así como su abundancia, en una comunidad es uno de los principales determinantes del funcionamiento de los ecosistemas

En este contexto, conocer la diversidad funcional de las comunidades permite no sólo entender los patrones evolutivos de sus componentes, sino también la importancia de cada uno.

2.3.4. Variaciones en la diversidad biológica

Existen factores que determinan patrones de variación en la diversidad biológica, algunos de estos son:

1. Estado sucesional: Los ecosistemas son el producto de cientos o miles de años de evolución conjunta y adaptación, por medio de procesos de sucesión ecológica (Washitani 2001). La sucesión secundaria se refiere a un proceso regular y predecible de cambio de la composición de especies en un ambiente previamente alterado o impactado, y que conducen a la restauración de la comunidad en su estado previo a afectación (Zhang 2014). Los bosques tropicales son ejemplos de la madurez en la sucesión, mientras que ejemplos de comunidades inmaduras son las de las regiones templadas y polares. Las comunidades inmaduras por lo general tienen diversidades bajas, y a medida que va madurando se van incorporando especies adicionales, durante el proceso de ensamble comunitario. Cada vez se hace más difícil incorporar especies nuevas debido a que los nichos disponibles se van ocupando. La comunidad de mayor madurez se llama Climax y tiene el número más elevado de especies, las cuales suelen ser competidoras eficientes.
2. Altitud: A medida que la altitud se incrementa, las condiciones ambientales cambian, los organismos presentes están comúnmente bien adaptados a las

condiciones locales a lo largo de un gradiente altitudinal (Körner 2007). La altitud por sí misma no ejerce influencia en la diversidad biológica sino los factores asociados a ella como la temperatura, presión, precipitación, etc., que afectan el desarrollo de los organismos a distintas altitudes. Los climas y las diferencias locales determinadas por rasgos geomorfológicos, edáficos y de cobertura vegetal dan origen a una gama de microclimas que se convierten en hábitats colonizados por especies que se adaptan a ellos y conforman sus nichos específicos.

3. Latitud: Lo que determina la diversidad biológica no es, claramente, la latitud per se, sino las variables ambientales correlacionadas con la latitud. La mayor radiación solar en los trópicos incrementa la productividad, que a su vez se cree que aumenta la diversidad biológica. Sin embargo, la productividad únicamente puede explicar por qué hay una mayor biomasa total en los trópicos, y no por qué dicha biomasa debería repartirse en más individuos y dichos individuos en más especies. Aunque esta idea está cambiando, ya que al parecer la productividad está relacionada con otros factores y la mayor productividad primaria se encontraría en los bosques templados de latitudes medias (Gillman *et al.*, 2015). Además, las mayores temperaturas de los trópicos podrían implicar tiempos de generación más cortos y tasas de mutación más altas, acelerando así la especiación en estas áreas.

2.3.5. Diversidad y conservación

Las acciones humanas están causando una crisis de la biodiversidad con tasas de extinción 1000 veces mayores a las del pasado (Brooks *et al.*, 2012). La acumulación de evidencias sobre la amenaza que la creciente capacidad de transformación humana del medio natural representa para la diversidad biológica del planeta, y la importancia de este recurso natural para el mantenimiento de nuestra sociedad se ha abierto paso paulatinamente con un claro punto de inflexión marcado por la aprobación del Convenio sobre la Diversidad Biológica en la cumbre de Río de Janeiro en 1992 (Días *et al.*, 2003).

La conservación de la biodiversidad se ha convertido en uno de los temas prioritarios de investigación a escala mundial. La preocupación por la pérdida de biodiversidad y el reconocimiento del importante rol que ésta juega en el apoyo a la vida humana motivaron la creación, en 1992, del Convenio sobre la Diversidad Biológica. El Convenio abarca tres objetivos de igual importancia y que se complementan: la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus elementos, y la participación justa y equitativa en los beneficios que surjan de la utilización de los recursos genéticos. La participación en el Convenio es casi universal, lo cual es un signo de que nuestra sociedad mundial está consciente de la necesidad de trabajar juntos para garantizar la supervivencia de la vida en la Tierra (UNEP 2006). Esta pérdida de la biodiversidad está siendo documentada y estrategias potenciales para revertirla se encuentran en un número cada vez mayor de documentos y reuniones científicas (Miller 2005).

Los seres humanos obtenemos numerosos beneficios de los ecosistemas que nos rodean, incluyendo su biodiversidad. Los servicios ofrecidos por ecosistemas sanos, biodiversos, constituyen el fundamento del bienestar humano. Sin embargo, de los 24 servicios de los ecosistemas que fueron evaluados recientemente por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 15 están decreciendo. En esto se incluye la provisión de agua potable, la producción de pesca marina, el número y calidad de lugares de valor espiritual y religioso, la suficiencia de la atmósfera para limpiarse a sí misma de los contaminantes, la regulación de los peligros naturales, la polinización, y la capacidad de los ecosistemas agrícolas para ofrecer un control de las plagas (Secretaría sobre el Convenio sobre la Diversidad Biológica 2006).

Desde que la ciencia de la conservación se inició como una disciplina, su atención se ha enfocado en el diseño de áreas naturales protegidas como una herramienta de la conservación (Gradner 2010). Existen diferentes corrientes en conservación, la conservación de ecosistemas posee una visión holista, en la que no se discrimina dentro de un ecosistema a las especies importantes, ya que el enfoque utilitario que el ser humano le da a las especies no suele corresponder con la estructura y funcionamiento del ecosistema. Esta corriente incorpora las actividades humanas como

componentes integrales y pone fuerte énfasis en su papel en la dinámica de los ecosistemas naturales y modificados.

2.4. INDICADORES DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA

2.4.1. Generalidades

En 2002, en la Convención sobre la Diversidad Biológica (COP 6), los líderes mundiales asumieron la meta de reducir considerablemente la tasa de pérdida de diversidad biológica para el año 2010. Este objetivo ha estimulado un interés considerable en desarrollar y probar indicadores para rastrear tendencias en el estado de diversidad biológica (Butchart *et al.* 2005).

Cuando se busca medir y caracterizar el estado de la biodiversidad de un área, es necesario restringir los muestreos a sólo unos cuantos componentes de la diversidad biológica, dado que el esfuerzo necesario para obtener información de todos los componentes es demasiado alto y se convierte en un factor limitante (Villareal *et al.*, 2004). Así, la biodiversidad, incluso de áreas muy pequeñas, es demasiado compleja para ser medida completamente y es necesario encontrar indicadores adecuados (Duelli y Obrist 2003).

Para investigar cambios en comunidades biológicas de áreas naturales se han utilizado indicadores ecológicos, los cuales son seleccionados por ser bien conocidos taxonómicamente, fáciles de muestrear e identificar, se presentan en diferentes condiciones ambientales y/o muestran fuertes relaciones con otros grupos biológicos de interés (González-Valdivia *et al.*, 2011). Para ello, los grupos biológicos y las metodologías seleccionadas dependen de los intereses y objetivos que se desean alcanzar con su estudio.

En monitoreos de biodiversidad se suelen poner énfasis en la evaluación de las llamadas especies “clave”, aunque los autores no se ponen de acuerdo acerca de la diferencia entre las especies clave y especies indicadoras. Para objetivos del presente documento, las

especies claves (llamadas en inglés “keystone species” o “focal species”) se definen como las que tienen un rol clave en la comunidad o que presentan requerimientos ecológicos particulares o aquellos cuya protección pueden ayudar a asegurar la protección de otras especies. El estudio de estas especies suele ayudar a conocer las amenazas a las especies, identificar los niveles a los cuales dichas amenazas son peligrosas para su conservación, y en consecuencia estas especies pueden englobar ambos conceptos, el de especies clave y de especies indicadoras (Gardner 2010).

También existen las llamadas especies claves culturales las cuales están definidas como especies culturalmente sobresalientes que dan forma a la identidad cultural de la gente, reflejado en papeles fundamentales en la dieta, para materiales, medicina, prácticas espirituales, entre otros (Garibaldi y Turner 2004). Estas especies suelen cumplir algún rol en los sistemas culturales y la gente se identifica con ella por razones culturales o económicas, ya sea en diferentes contextos, como el rural o indígena (Bonifácio *et al.*, 2016)

En el estudio de comunidades biológicas existen, entonces, dos grandes clases de grupos indicadores: indicadores de diversidad e indicadores de procesos ecológicos. Los indicadores de diversidad ayudan a estimar la diversidad en un área determinada, extrapolando información obtenida a otros grupos afines no inventariados. Los indicadores de procesos ecológicos permiten evaluar cambios ambientales o las interacciones entre especies, así, estos indicadores ayudan a identificar y definir impactos generados por diferentes tipos de perturbaciones (Villareal *et al.*, 2004).

En las ciencias biológicas, el concepto de indicador ha sido ampliamente utilizado para determinar la calidad del hábitat y así poder evidenciar los efectos de la contaminación en los ecosistemas. Actualmente el uso de indicadores implica su monitoreo y son frecuentemente utilizados por los conservacionistas, administradores de tierras e instituciones gubernamentales para formular planes de manejo de recursos naturales (Altamirano *et al.*, 2003).

Diversos estudios confirman empíricamente que la riqueza de cierto grupo taxonómico es indicadora de la riqueza de todas las especies en la misma unidad geográfica de análisis, aunque también existe evidencia de lo contrario y estudios con resultados mixtos. Haciendo un balance, la evidencia sugiere que la efectividad del indicador para identificar “hotspots” de biodiversidad, depende del contexto (Hess *et al.*, 2006).

El uso de especies indicadoras tiene muchas limitaciones y debe de ser realizado con mucho cuidado y rigurosidad. Por ejemplo, para utilizar especies indicadoras hay que tener la precaución de realizar un esfuerzo de muestreo suficiente, para que las diferencias observadas no sean consecuencia del esfuerzo de muestreo. El uso de especies indicadoras genera mucha controversia debido por ejemplo a que las especies no responden de manera constante a las variables ambientales, además de haber factores que juegan un papel importante a nivel de microhábitat.

2.4.2. Criterios para su elección

Si se encuentran relaciones fuertes y consistentes entre indicadores y las variables de los ecosistemas, estos pueden informar a los encargados del manejo acerca de los cambios y las consecuencias biológicas de estos cambios (Marcks 2004). Existen muchos criterios usados para la elección de especies y grupos indicadores. A continuación, se detallan los criterios usados por algunos autores:

Criterios y sistema de evaluación para la selección de grupos indicadores (con énfasis en indicadores de diversidad), tomado de Villareal *et al.* (2004):

- a. Taxonomía bien conocida y estable: Las especies con que se trabaje deben ser identificables sin mayores problemas.
- b. Historia natural bien conocida: Entre más numerosos y completos sean los estudios sobre el taxón alrededor del mundo, más respaldo se tendrá para la interpretación de resultados.
- c. Taxones superiores con distribución en un amplio rango geográfico: Los taxones y sus especies deben encontrarse en diferentes ecosistemas.

- d. Abundantes y de fácil observación y manipulación: No debe ser necesario mucho esfuerzo para encontrar individuos del grupo objeto, al igual que deben ser de fácil reconocimiento.
- e. Taxones inferiores (especies y subespecies) con especificidad de hábitat y sensibles a cambios: El grado de sensibilidad del grupo objeto es útil para cuantificar disturbios o impactos si se generan cambios en el hábitat.
- f. Grupo altamente diversificado taxonómica y ecológicamente: Es importante que el grupo objeto presente un número de especies tal, que brinde información de lo que se desea contestar a la escala trabajada.
- g. Presentar poca estacionalidad: Es importante que las especies del grupo objeto posean pocas fluctuaciones poblacionales relacionadas con los cambios ambientales.
- h. Patrones de diversidad extrapolable a otros taxones relacionados y no relacionados.

El siguiente es un ejemplo de categorización de los criterios para la evaluación de grupos indicadores en el que el criterio de sensibilidad a cambios o disturbios antrópicos es el más importante:

- Primero. Se categorizan los criterios en orden inverso de importancia, así:
 - a. Taxón con amplia distribución y presente en diferentes ecosistemas
 - b. Patrones de diversidad extrapolables a otros taxones relacionados y no relacionados
 - c. Historia natural bien conocida
 - d. Abundantes y de fácil observación y manipulación
 - e. Taxonomía bien conocida
 - f. Taxones especializados y sensibles a cambios de hábitat
- Segundo. Se calcula la importancia de un grupo sumando las puntuaciones de los criterios y se compara con el valor máximo hipotético. En este ejemplo el valor máximo es: $1+2+3+4+5+6=21=100\%$. Si por ejemplo, un grupo no cumple el

criterio 4 entonces el puntaje es $1+2+3+0+5+6=17=80.95\%$.

- Tercero. El resultado en porcentaje puede incluirse en una de las siguientes categorías:

>90% = Muy buen indicador

75-89% = Buen indicador

< 74% = No se sugiere como indicador

Se pueden añadir otros criterios tanto biológicos como logísticos, con las justificaciones apropiadas, y darles una categorización de importancia de acuerdo con los objetivos.

Algunos criterios que Noss (1990) considera que un indicador ideal debe cumplir (ya sea un grupo o una especie) son:

- a. Suficientemente sensible para proveer una alerta temprana de los cambios
- b. De amplia distribución, o distribuido uniformemente en el área que quiere monitorearse
- c. Capaz de proveer una evaluación continua sobre un amplio rango de perturbaciones
- d. Relativamente independiente del tamaño de muestra
- e. De medición económica y sencilla (poder ser medido por no expertos)
- f. Capaz de diferenciar entre ciclos naturales y antropogénicos
- g. Relacionado con fenómenos ecológicos importantes que se dan en los distintos niveles de organización
- h. No sujeto de aprovechamiento
- i. De ecología bien conocida
- j. Con taxa de corto tiempo de regeneración
- k. Con taxa pertenecientes a diferentes gremios o grupos funcionales

De acuerdo con lo indicado, debido a que no existe un único indicador que posea todas estas características, es necesario generar un juego de indicadores

complementarios. Este juego de indicadores debería involucrar no sólo especies sino también parámetros de composición, estructura y función en todos los niveles de organización desde los que se aborda la biodiversidad (Noss 1990, González-Valdivia *et al.*, 2011).

2.5. MAMÍFEROS COMO INDICADORES DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA

Los mamíferos son importantes elementos de los ecosistemas, ellos afectan la estructura, composición y dinámica de los mismos, realizando actividades como dispersión de semillas polinización, alterando poblaciones de insectos y al servir de alimento para carnívoros, entre otros (Charre-Medellín *et al.*, 2016). Sus características pueden convertirlos en buenos indicadores biológicos al ser más sensibles a las perturbaciones, las cuales según el grado podrían ocasionar la ausencia o muerte de estas especies silvestres. Y tienen la ventaja de ser relativamente fáciles de monitorear.

El proceso de descomposición de la materia muerta y la heterogeneidad espacial en la vegetación, son importantes para soportar comunidades que viven en el suelo del bosque, entre estos a los pequeños mamíferos. Es decir, que existe una conexión entre la diversidad, integridad, productividad y capacidad de renovación de los ecosistemas forestales y las comunidades de pequeños mamíferos (Marcks 2004). En particular pequeños mamíferos, han sido identificados como potenciales bioindicadores, por su importancia ecológica, sus atributos demográficos y su vinculación a condiciones específicas de hábitat (Marcks 2004). Especies de mamíferos mayores han sido también como especies sombrilla en diferentes ecosistemas en el mundo (Caro 2010).

2.5.1. Tipos de indicadores en mamíferos

De acuerdo con los objetivos de cada estudio realizado, los mamíferos han sido muy empleados en biología de la conservación como diferentes tipos de indicadores, los cuales aún no tienen una diferenciación definida. Con las llamadas “especies focales”, por ejemplo, se asume que al proteger estas especies también se estará haciendo un trabajo adecuado protegiendo la mayoría de la biota de la región (Andelman y Fagan

2000). Los criterios más usados en mamíferos son:

- 1. Especie bandera:** que por ser carismáticas, puede levantar el apoyo público a la conservación. Sirven de base para generar campañas de concientización y movilizar el apoyo de la comunidad. Especie que goza de simpatía por parte del público en general y gracias a esto es posible recaudar y concienciar a la población sobre su importancia de conservación. Muchos mamíferos grandes han sido propuestos como especies bandera y el uso de estos ha motivado proyectos de conservación de grandes áreas (Caro 2010). El oso panda, las focas y los grandes felinos son ejemplos típicos.
- 2. Especie sombrilla (o paraguas):** son especies de amplio rango de hogar que, por requerir áreas grandes, automáticamente pueden conservar otra especie o especies. La idea es identificar especies de amplia distribución que requieren de grandes bloques de hábitat relativamente natural o intacto para mantener poblaciones viables. La protección de los hábitats de estas especies puede proteger el hábitat y las poblaciones de muchas otras especies de distribución más restringida o menos amplia (The Nature Conservancy, 2000, Caro 2010). Las especies sombrilla son usualmente especies generalistas, las cuales usan un amplio rango de tipo de hábitats, y durante diferentes épocas del año. También pueden incluir especies especialistas, que tienen necesidades de hábitat muy estrechamente definidas, pero que como grupo incluyen a la mayoría de los hábitats existentes en un área dada.
- 3. Indicadores de procesos:** son especies o grupos de especies sensibles a cambios en el ambiente y pueden ser útiles para identificar y definir impactos generados por diferentes tipos de perturbaciones (Villareal *et al.*, 2004). Estas especies también son usadas para determinar la calidad del hábitat y evidenciar efectos de alteraciones en los ecosistemas.

4. **Indicadores de diversidad biológica:** especie que puede indicar la presencia de las áreas de alta diversidad, asumiendo que las áreas ricas en especies de un grupo indicador son ricas también en la biodiversidad general (Tognelli 2005). Miden las condiciones o el estado en el que se encuentra la biodiversidad en un momento determinado. Además permiten hacer un seguimiento a los cambios que se presentan en el estado de la biodiversidad, determinados tanto por las presiones ejercidas sobre ella como por las acciones de política que se aplican para contrarrestar los efectos de tales presiones.

5. **Indicadores Culturales:** son especies de mamíferos que son parte del contexto de una determinada cultura. De acuerdo al tipo de especie puede cumplir un rol fundamental en la dieta, su uso en vestido, medicina entre otros. Estas especies también pueden formar parte importante en el lenguaje, las narraciones y ceremonias. Existe cierta controversia por el uso de estos indicadores en conservación ya que existen diversos casos de especies exóticas o invasivas que son importantes para las culturas pero perjudiciales para la conservación de ecosistemas nativos.

2.5.2. El uso de mamíferos como indicadores

Los mamíferos han sido usados ampliamente en la literatura científica como indicadores de los tipos mencionados anteriormente. Se citan algunos estudios donde se estudia su eficacia en diferentes ambientes.

- Medellín *et al.* (2000) realizaron evaluaciones en una selva húmeda tropical de Chiapas en México, con el objetivo de establecer la importancia de los murciélagos como especies indicadoras. Evaluaron durante 15 meses, 10 diferentes sitios que representaban 5 diferentes hábitats con diferentes grados de perturbación, muestreando murciélagos y evaluando variables de la vegetación. Con los resultados evaluaron las relaciones entre las condiciones de la vegetación y las variables de la comunidad de murciélagos.

Encontraron que la riqueza de especies de murciélagos, el número de especies de murciélagos raros y el índice de diversidad de murciélagos se relacionaba directamente con los valores obtenidos para la vegetación. Encontraron también que un alto número de especies de murciélagos Phyllostomidos es indicador de bajos niveles de perturbación.

- Bonvicino *et al.* (2002) realizaron un estudio donde se evalúa la riqueza y composición de especies de mamíferos pequeños no voladores de dos bosques de Brasil, incluyendo áreas alteradas y áreas no alteradas. El objetivo fue comparar los resultados obtenidos en ambas y discutir el uso de estos mamíferos como herramientas para el monitoreo de unidades de conservación, y como indicadores de biodiversidad. Los resultados mostraron que existían especies que se encontraban únicamente en áreas conservadas, las cuales podían servir como indicadores de la calidad del hábitat y podrían ser usadas durante la planificación de unidades de conservación para establecer los límites adecuados. De acuerdo con los autores, entre las especies que se encontraban solamente en áreas no alteradas, aquellas que presentaban alta abundancia pueden ser útiles como indicadores de cambios de la calidad ambiental durante el monitoreo. Los autores indican también que para tener una idea del estado general de conservación de un área, es importante tomar en cuenta que se debe monitorear un grupo de especies y no solamente una especie.
- Marcks (2004) realizó un estudio en bosques de Canadá y encontró que los ratones de espalda roja (*Cletherionomys gapperi*) son más abundantes en zonas donde no se han realizado talas, lo cual concuerda con lo encontrado por otros autores. Esta mayor abundancia estaría relacionada a las preferencias alimenticias de la especie (principalmente líquenes y micorrizas), además de sus altos requerimientos de humedad. Por otro lado, en este mismo estudio se encontró que los ratones ciervos (*Peromyscus maniculatis*) se encuentran asociados a los claros del bosque y a zonas con poca cobertura arbórea, siendo más abundantes en zonas recientemente taladas. En este estudio, el autor estableció y confirmó relaciones entre los mamíferos pequeños y ecosistemas de bosque de troncos caídos, materia vegetal, además de relaciones con la

estructura de la vegetación y su composición. Además, se demuestra que cambios ocurridos en las comunidades de mamíferos pequeños se dan como respuesta a cambios en el hábitat causados por aparición de claros y sucesión. Estas relaciones indican que los mamíferos pequeños son dependientes del bosque y sensibles a cambios en el mismo y por lo tanto tienen un fuerte potencial para ser usados como indicadores.

- Tognelli (2005) usa el término “especie indicadora” para los indicadores de diversidad biológica, en contraste con el de indicadores de procesos del ecosistema. Este autor seleccionó cuatro grupos de indicadores para evaluar su utilidad en la protección de la diversidad general de mamíferos y comparó su utilidad como indicadores de diversidad a escala de continente y a escala de país (Brasil).
 - La lista de especies de la IUCN (n=111) en las categorías vulnerables, en peligro, y críticamente en peligro IUCN. Como las especies en vías de extinción ya reciben la mayor parte de la atención de conservación, es importante saber cómo estas especies pueden contribuir indirectamente a la preservación de otra especie.
 - Especie geográficamente rara (n=106), las especies raras en términos de su distribución geográfica. La especie con distribuciones restringidas son más propensas a convertirse en amenazadas en un futuro, y por consiguiente es de interés para la conservación.
 - Especies bandera (n = 146). Son las especies que pertenecen a los órdenes Primates (monos), Carnivora (gatos, zorros, comadrejas, el oso en gafas, etc.), Artiodactyla (llamas, pécaris, ciervo, etc.), y Perissodactyla (tapirs). Estas especies generalmente reciben la mayor atención pública por ser carismáticos.

- Mamíferos grandes (n = 142). Incluye especies con masas mayores o iguales a 1000 g. Como los mamíferos grandes tienen una amplia distribución, ha sido argumentado que ellos podrían ser buenos para proteger otras especies.

Se encontró que grupos que han recibido poca consideración como indicadores (ie. especies geográficamente raras), han funcionado mucho mejor representando una diversidad más amplia, se indica también que hay algunas limitaciones en la utilización de especies de distribución restringida y especies en vías de extinción como indicadores para la diversidad biológica total. Estos grupos no concuerdan con los criterios de los atributos que deberían tener las especies indicadoras, en el cual la biología debería ser conocida, así como fácilmente probada u observada.

Se sugiere que especies con un traslape bajo en sus distribuciones funcionarían mejor como indicadores de diversidad biológica total. La idea es que especies más extensamente distribuidas abarcarán una amplia variedad de ecorregiones o biomas, y así representarán una mayor diversidad biológica. Así, parece que un traslape espacial bajo entre especies del grupo indicador podría ser un atributo importante al elegir indicadores, aunque debe ser solo uno de varios factores a considerar al escoger un grupo de indicador. Se sugiere también que las probabilidades de extinción entre los sub-grupos varían dependiendo de su diversidad beta. Ante la pérdida de hábitat, un subgrupo de alta diversidad beta, como es el de los roedores, está más expuesto a desaparecer de manera definitiva ya que no cuenta con "replicas" en otros sitios (Rodríguez 1999).

- Cristancho y Vining (2004) mencionan que para muchas culturas, especies de mamíferos son consideradas como especies indicadoras culturales o especies clave culturales (cultural keystone species). Así, por ejemplo, en Colombia, los Tanimuka (en Colombia) sostienen que son descendientes del jaguar, mientras que los Uitoto del mono. Por otro lado, los Tukano (en Colombia-Brasil) consideran que el jaguar cumple un rol importante en sus prácticas chamanísticas, representando el “poder espiritual”.

- Hess *et.al.* (2006) realizaron un estudio en dos regiones de los Estados Unidos para saber cómo se correlacionaba la riqueza específica de 7 diferentes grupos (anfibios, reptiles, aves, mamíferos, peces, mariposas y bivalvos de agua dulce) con la riqueza específica general del área. Trabajaron en áreas de diferente tamaño de grano y extensión (hexágonos < 1km², subecorregiones, ecorregiones y región geográfica).

Los resultados del estudio mostraron que la riqueza de mamíferos fue la que correlacionó más fuertemente con la riqueza de los otros seis taxa estudiados en la región Noroeste del Pacífico para todos los tamaños de grano, mientras que en la otra región el que mejor correlacionó fue el grupo de los anfibios. Sin embargo, los resultados obtenidos variaron significativamente entre una región y otra, entre tamaños de grano y con la extensión del área de estudio, y estas diferencias se daban de una manera impredecible. En este caso en particular, el uso de mamíferos como indicadores de diversidad biológica sería adecuado, pero sólo a ciertas escalas, y únicamente en esta región. Los resultados de este estudio indican que la pertinencia del uso de grupos indicadores de diversidad biológica en general depende mucho del contexto y se debe de tener cuidado al tratar de aplicar los resultados de un estudio a otros ámbitos, de igual manera se debe tener cuidado al aplicar los resultados de un estudio dentro del mismo ámbito, pero en escalas distintas.

- Jones *et al* (2009) discuten el papel de los murciélagos como potenciales bioindicadores de cambios globales. De acuerdo con los autores, los murciélagos presentan estabilidad taxonómica, cambios en sus poblaciones son fáciles de monitorear. Una importancia particular es que especies de este grupo se distribuyen globalmente y cambios en sus comunidades pueden ser evaluadas a corto y largo plazo. La diversidad funcional de este grupo le brinda ventajas para detectar cambios que afectan a otros grupos, así los murciélagos insectívoros pueden ser sensibles a la acumulación de pesticidas y otras toxinas; los murciélagos frugívoros y nectarívoros pueden reflejar el estado de las poblaciones de las plantas que consumen. Se da énfasis a la utilidad de los murciélagos para detectar variaciones relacionadas al cambio climático. Así,

variaciones en la abundancia o actividad de los murciélagos puede relacionarse con deterioro de la calidad de agua, intensificación agrícola, pérdida de cobertura boscosa, enfermedades, uso de pesticida, sobrecaza, entre otros procesos. Los autores resaltan la necesidad de implementar redes globales para el monitoreo de poblaciones de murciélagos aprovechando las características de estos animales.

- Gantes y Sánchez (2014) evaluaron los efectos de los mamíferos domésticos (ganado) sobre la vegetación ribereña en un río de Argentina y encontraron que la presencia de ganado es un indicador de perturbación. Así también Bowers y Boutin (2008) indican que la proporción de especies exóticas es un mejor indicador del gradiente de disturbio que la riqueza de especies nativas.
- Machado *et al.*, (2016) realizó un estudio en 4 comunidades pertenecientes a un Área Natural Protegida del este de Brasil, donde identificó especies de fauna usadas por dichas comunidades llamándolas “etnoespecies”. Las especies fueron clasificadas por sus diferentes categorías de uso, calculando un índice de influencia cultural (ICI) de acuerdo al cual, algunas especies de mamíferos obtuvieron los mayores valores. Entre ellas el venado *Mazama gouazoubira*, obtuvo el mayor valor del ICI y se consideran como especies indicadoras culturales (cultural keystone species), y se sugiere que sean consideradas como prioridad en la conservación y manejo del área. El agouti *Dasyprocta prymnolopha*, los armadillos *Dasytus novemcinctus* y *Euphractus sexcinctus* obtuvieron también valores altos.

III. DISCUSIONES

Los mamíferos no presentan un gran número de especies, si se le compara con las aves o grupos de invertebrados, pero su importancia en conservación radica en la multitud de diferentes adaptaciones que presentan, las cuales les permiten ocupar casi todos los ecosistemas de la tierra, donde cumplen una gran cantidad de funciones.

Ante la creciente degradación de que están siendo víctima los diferentes ecosistemas de la tierra, conocer lo que ocurre con la diversidad biológica de los mismos es una tarea prioritaria en la conservación, pero esta puede resultar una tarea difícil de cumplir por las limitaciones económicas, de tiempo y de información actuales.

Por razones generalmente económicas, de tiempo o simplemente por política de las organizaciones encargadas, para las evaluaciones ambientales se escogen solamente algunos grupos de fauna con el fin de evaluar la diversidad biológica, las evaluaciones de línea base, deberían incluir a los mamíferos para ver el estado inicial de estos animales y evaluar la pertinencia de su uso en posteriores evaluaciones.

El uso de los mamíferos como indicadores de diversidad biológica es un tema de gran discusión, los que estudian grupos con un mayor número de especies (aves, invertebrados, etc.), sostienen que el número de especies presentes no es suficiente para explicar la diversidad biológica del ecosistema que se estudia. En efecto si sólo consideramos la riqueza específica, los mamíferos, en la mayoría de los casos, no estarían representando la diversidad biológica total.

Algunas características hacen de los mamíferos especies elegidas como especies indicadoras en diversas evaluaciones ambientales, entre estas se encuentran el alto endemismo, la variedad de nichos que ocupan y los rangos de distribución.

Los rangos de distribución estrechos que presenta la mayoría de roedores, constituyen una característica que, por un lado, hace de estos animales buenos indicadores de perturbaciones en los ecosistemas, al ser vulnerables a la pérdida de su hábitat pero por otro lado los hace muy propensos a la extinción, ya que no pueden encontrar los recursos que requieren en otros hábitats cercanos.

Por su alta diversidad beta los roedores constituyen buenos indicadores de diversidad, ya que un alto recambio de especies, indica cambios en el hábitat, y eso se traduce en una mayor diversidad biológica de la región (gamma).

Los mamíferos son los que mejor funcionan como especies bandera, ya que el hombre empatiza más con ellos y son las que más fondos atraen de las instituciones que se dedican a la conservación. La generación de áreas de conservación se basa mucho en este principio.

Las características de los mamíferos (densidad poblacional, presencia/ausencia, éxito reproductivo, etc.) pueden ser usadas como un índice para atributos muy difíciles o costosos de medir, o para otras especies o ambientes de interés. También se pretende que estos puedan estar indicando cambios en las poblaciones de otros grupos.

Un grupo a considerarse en la búsqueda de indicadores, es el de los murciélagos, ya que como grupo incluyen varios niveles en la cadena trófica, presentando especies frugívoras, carnívoras, hematófagas, nectarívoras e insectívoras. Además de los servicios que presta a los ecosistemas como polinizadores, dispersores y controladores de insectos. Sus especies son relativamente conocidas y su monitoreo no requiere mucho esfuerzo, cumpliendo así con varios de los criterios para la elección de especies indicadoras.

El uso de los grupos funcionales puede ser una alternativa interesante en el uso de indicadores, ya que puede estar incluyendo especies de diferentes grupos, en vez de centrarse en uno solo.

La pertinencia del uso de mamíferos como indicadores de diversidad biológica depende de muchos factores, del nivel de diversidad que se mide, del tipo de ecosistemas que abarca el área de estudio, de la amplitud del área del mismo, de los objetivos del estudio y de los recursos con los que se cuenta. No se puede sostener que los mamíferos van a ser buenos indicadores para todos los casos, un análisis profundo de los objetivos y alcances del estudio, ayudará a decidir su inclusión en las evaluaciones.

IV. CONCLUSIONES

Cada evaluación ambiental tiene determinados objetivos y alcances, y de estos dependerán también los criterios que se usen al momento de elegir los indicadores de diversidad biológica. Por lo tanto la elección de los mamíferos como grupo indicador depende de los objetivos, así como de los grupos que desea usarse, del ambiente, de la escala, entre otros factores.

El uso de la riqueza específica (S) como índice de la diversidad puede restar importancia a los mamíferos como indicadores, ya que solo toma en cuenta el número de especies presentes. Lo mismo ocurre con los índices de diversidad de Shannon y de Simpson, los cuales toman en cuenta riqueza y dominancia, pero no la composición de especies en las comunidades evaluadas

Debido a las diferencias en metodologías de muestreo, diferencias ecológicas y poblacionales, los mamíferos como indicadores son evaluados en tres grupos diferentes: mamíferos pequeños terrestres, murciélagos y mamíferos mayores. Cada uno de estos grupos tiene particularidades que determinan sus características como indicadores.

Los mamíferos mayores son los que mejor funcionan como especies bandera, ya que el hombre empatiza más con ellos. Estas especies son frecuentemente usadas también como especies paraguas sirviendo de base para tomar decisiones de manejo vinculadas al tamaño, forma y distribución espacial de las áreas protegidas.

Los mamíferos menores terrestres, con rangos de distribución restringidos, son más propensos a la extinción, por lo tanto su presencia es indicador de variaciones en los ecosistemas. Pequeños mamíferos pueden ser muy útiles para explicar diversidades beta

en una región, ya que por ser, en su mayoría, especies especialistas y con un rango de distribución reducido, presentan un recambio de especies alto.

Los mamíferos menores voladores han recibido especial atención como indicadores de diversidad, debido a la alta diversidad funcional que poseen, a que son fáciles de monitorear y tienen taxonomía estable. Diversos estudios han concluido que este grupo puede funcionar como indicador de diversidad y de cambios en el ecosistema en diferentes ambientes. Sin embargo, como se ha indicado, su utilidad depende, entre otros factores, de la escala a la que se trabaja.

Debido al gran conocimiento de su taxonomía, la distribución, los métodos de estudio, la gran cantidad de especies amenazadas, y al efecto paraguas que poseen sobre otros vertebrados e invertebrados, de acuerdo a muchos autores, los mamíferos son muy atractivos para ser evaluados como grupo indicador de diversidad en distintos ambientes.

La importancia de los mamíferos como indicadores de diversidad no radica en su diversidad en sí, sino en sus características biológicas y ecológicas que poseen. La pertinencia del uso de los mamíferos como indicadores de diversidad biológica depende de muchos factores y debe ser estudiado en cada escenario particular. Sin embargo, de acuerdo a lo encontrado, este grupo debe ser incluido en los programas de monitoreo de casi todos los ecosistemas, ya que brinda mucha información acerca de las variaciones ambientales y puede predecir la diversidad de otros grupos biológicos.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, M.A.; Gusmán, J.; Martín, M.; Domínguez, L. 2003. Un método para la selección de aves bioindicadoras con base en sus posibilidades de monitoreo. HUITZIL Vol.4, No.2:10-16.
- Andelman, S.; Fagan, W. 2000. Umbrellas and flagships: Efficient conservation surrogates or expensive mistakes? PNAS Vol. 97. No.11: 5954–5959.
- Archibald, J.D. 2012. Eutheria (*Placental Mammals*). In Encyclopedia of Life Sciences. London, Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group, www.elsnet, p. 1-4.
- Bonaparte, J.F. 2014. El origen de los mamíferos. 1 ed. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Buenos Aires, Argentina.
- Bonifácio, K.M.; Freire, E.M; Schiavetti, A. 2016. Cultural keystone species of fauna as a method for assessing conservation priorities in a Protected Area of the Brazilian semiarid. Biota Neotropica, 16(2), e20140106. Epub April 12, 2016.<https://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2014-0106>
- Bonvicino, C.; Lindbergh, S.; Maroja, L. 2002. Small non-flying mammals from conserved and altered areas of atlantic forest and Cerrado: comments on their potential use for monitoring environment. Braz. J. Biol., 62(4B): 765-774.

- Butchart, S.; Akcakaya, R.; Kennedy, E.; Hilton-Taylor, C. 2005. Biodiversity Indicators Based on Trends in Conservation Status: Strengths of the IUCN Red List Index. *Conservation Biology* Vol.20 (2): 579–581.
- Caro, T. 2010. Conservation by proxy: indicator, umbrella, keystone, flagship, and other surrogate species. Island Press, Washington, D.C.
- Casanoves, F.; Pla, L.; Di Rienzo, J.A. (eds.). 2011. Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica, p. 65-69.
- Charre-Medellín, J.F.; Magaña-Cota, G.; Monterrubio-Rico, T.C.; Tafolla-Muñoz, R.; CharreLuna, J.L.; Botello, F. 2016. Mamíferos medianos y grandes del municipio de Victoria, Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato, México. *Acta Universitaria*, 26(NE-2), 62-70. doi: 10.15174/au.2016.1438
- Cristancho, S.; Vining, J. 2004. Culturally Defined Keystone Species. *Human Ecology Review* 11 (2):153-164.
- Díaz, M.; Pulido, F.; Marañón, T. 2003. Diversidad biológica y sostenibilidad ecológica y económica de los sistemas adhesionados. *Ecosistemas* 2003.
- Dieguez, J. (Coord.) (s.f). Biodiversidad. El mosaico de la vida. Madrid: Fundación española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). Recuperada de <http://www.oei.es/salactsi/491929281.pdf>
- Duelli, P.; Obrist, M.K. 2003. Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agri.Ecosyst. Environ.* 98: 87–98

- Espinoza, G. 2001. Fundamentos de evaluación de impacto ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo. Chile. 187 p.
- Espinoza, G. 2002. Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impactos Ambiental. BID, CED. Santiago, Chile.
- Fontúrbel, F. Conservación de ecosistemas: un nuevo paradigma en la conservación de la biodiversidad. Disponible en <http://cabierta.uchile.cl/revista/23/articulos/pdf/paper1.pdf>
- Gantes, P.; Falco, L.; Sánchez Caro, A. 2014. Efecto del ganado sobre la estructura de la vegetación en las riberas de un arroyo pampeano. *Biología Acuática* 30:123-131.
- Gardner, T. 2010. *Monitoring Forest Biodiversity: Improving Conservation Through Ecologically Responsible Management*. Earthscan, London.
- Garibaldi, A.; Turner, N. 2004. Cultural Keystone Species: Implications for Ecological Conservation and Restoration. *Ecology and Society* 9(3): 1. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss3/art1>
- Gillman, L.N.; Wright, S.D.; Cusens, J.; McBride, P.D.; Malhi, Y.; Whittaker, R.J. 2015. Latitude, productivity and species richness. *Global Ecology and Biogeography*, 24: 107–117. doi:10.1111/geb.12245.
- González-Valdivia, 2011 N. González-Valdivia, S. Ochoa-Gaona, C. Pozo, B.G. Ferguson, L.J. Rangel-Ruiz, S.L. Arriaga-Weiss, A. Ponce-Mendoza, C. Kampichler Indicadores ecológicos de hábitat y biodiversidad: perspectiva multitaxonómica *Revista de Biología Tropical*, 59 (2011), pp. 1433–1451.

- Hess, G.; Bartel, R.; Leidner, A.; Rosenfeld, K.; Rubino, M.; Snider, S.; Ricketts, T. 2006. Effectiveness of biodiversity indicators varies with extent, grain, and region. *Biological conservation* 132: 448-457.
- Hagan, J.; Whitman, A. 2006. Biodiversity Indicators for Sustainable Forestry: Simplifying Complexity. *Journal of Forestry*. June: 203-210.
- http://www.conevyt.org.mx/bachilleres/material_bachilleres/cb6/5sempdf/biologia2/bio2_fasc1.pdf
- IUCN. 2006. Red List of Threatened Species. Consultado 10 ago 2006. Disponible en www.iucnredlist.org
- Körner, C. 2007. The use of “altitude” in ecological research. *Trends in Ecology & Evolution*, 22, 569–574.
- Machado Kallyne Freire E.M.; Schiavetti, A. 2016. Cultural keystone species of fauna as a method for assessing conservation priorities in a Protected Area of the Brazilian semiarid. *Biota Neotropica*, vol. 16, No.2.
- Magurran, A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.
- Marcks, H. 2004. Small Mammals as Bio-Indicators: An Assessment in Ontario’s Boreal Forest. *Research Paper in Forest Conservation*. . [online] URL:
- Mbugua, S. 2002. Influence of land use patterns on diversity, distribution and Abundance of small mammals in Gachoka Division, Mbeere District, Kenya. LUCID Working Paper Series Number: 8.

- Medellín, R.A. 2000. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in Neotropical rain forests. *Conservation Biology*, 14: 1666–1675.
- Medina, C.E.; Medina, Y.K.; Pino, K.; Pari, A.; López, E.; Zeballos, H. 2016. Primer registro del ratón colombiano del bosque *Chilomys instans* (Cricetidae: Rodentia) en Cajamarca: actualizando el listado de mamíferos del Perú. *Revista peruana de biología* 23(3):315-320 (Diciembre 2016). doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v23i3.12868>.
- Miller, J.R. 2005. Biodiversity conservation and the extinction of experience. *Trend Ecol Evol* 20:430–434
- Monroy-Vilchis, O. 2005. Causas de pérdida de diversidad biológica. Cuadernos de Biodiversidad Publicación cuatrimestral del Centro Iberoamericano de la Biodiversidad. Universidad de Alicante.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza, 84 p.
- Nekane Viota y Maider Maraña. 2010. Servicios de los ecosistemas y el bienestar humano. UNESCO.
- Noss, R. 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*. Vol. 4 (4): 355-364.
- Noss, R. 1999. Assessing and monitoring forest biodiversity: A suggested framework and indicators. *Forest Ecology and Management* 115:135-146.
- Nowak, R.M. 1999. Walker's mammals of the world. 6th ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.

- Pacheco, V. 2002. Mamíferos del Perú. En: Diversidad y Conservación de los Mamíferos Neotropicales (G Ceballos y JA Simonetti, Eds.). CONABIO-UNAM. México, D.F. p. 503-549.
- Piñero, D. 2008. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. En J. Soberón, G. Halffter y J. Llorente (eds.), Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Quiroga, M.; Peniche, R. 2003. Biología II. Colegio de Bachilleres.
- Rascón, A. 2007. Metodología para la elaboración de la línea base y para la implementación del monitoreo biofísico y socioambiental de la cogestión de cuencas en América Central. Tesis Mg. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 270 p.
- Reis, N.L.; Perachi, A.L.; Pedro, W.A.; Lima, I.P. (eds.). 2006. Mamíferos do Brasil. Universidade Estadual de Londrina, Brazil.
- Reynel, C.; Pennington, R.T.; Särkinen, T. 2013. Cómo se formó la diversidad ecológica del Perú. Lima.
- Rodríguez, P. 1999. Megadiversidad, diversidad beta y conservación de los mamíferos de México. Circular Guanabios 1(10): 37.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. 2006. COP08. Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Octava reunión.
- SEMARNAT. 2015. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Guía para definir la línea base ambiental previo al inicio de las

actividades petroleras.

- The Nature Conservancy. 2000. Esquema de las cinco S para la conservación de sitios: un manual de planificación para la conservación de sitios y la medición del éxito en conservación. Volumen II. 2 ed.
- Tognelli, M. 2005 Assessing the utility of indicator groups for the conservation of South American terrestrial mammals. *Biological Conservation* 121(2005):409-417.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2006. Resumen de la Segunda Perspectiva Mundial Sobre Diversidad Biológica. Convenio Sobre la Diversidad Biológica.
- Uribeondo, J.D. 2007. Biodiversidad El Mosaico de la Vida. España: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.
- Villareal, H.; Álvarez, M.; Córdoba, F.; Fagua, G.; Gast, F.; Mendoza, H.; Ospina, M.; Umaña, A.M. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Colombia.
- Walker, L.R.; Walker, J.; Hobbs, R.J. (eds.). 2007. Linking restoration and ecological succession. Springer, New York, NY, USA. p. 19–44.
- Washitani, I. 2001. Plant conservation ecology for management and restoration of riparian habitats of lowland Japan. *Popul Ecol*, 43, 189-195
- Wilson, D.J.; Cole, F.; Nichols, J.; Rudran, R.; Foster, M. 1996. Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Mammals. Smithsonian

Institution Press Washington D.C.

- Wund, M.; Myers, P. 2005. "Mammalia" (On-line), Animal Diversity Web. Accessed February 13, 2017 at <http://animaldiversity.org/accounts/Mammalia>
- Zhang, W. 2014. Research advances in theories and methods of community assembly and succession. , 3(3):52–60.
- URL: <http://www.biodiv.org/doc/meetings/cop/cop-08/official/cop-08-12-es.pdf>
- <http://www.forestry.utoronto.ca/pdfs/marcks.pdf>
- URL: http://www.lucideastafrica.org/publications/Mbugua_Lucid_WP8.pdf