

Especies bioindicadoras y desarrollo regenerativo: Evaluación del uso de mariposas, aves y murciélagos en la conservación ambiental.

Bioindicator species and regenerative development: Assessment of the use of butterflies, birds, and bats in environmental conservation

Javier Tenorio Brenes*

Universidad para la Cooperación Internacional, San José, Costa Rica

Rò Brù Conservation Fund, Heredia, Costa Rica

<https://orcid.org/0000-0003-2106-1999>

Fabian Mora-Escobar

Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

<https://orcid.org/0000-0002-6821-5054>

Dariel Sanabria Quiros

Moths of Costa Rica, Alajuela, Costa Rica

<https://orcid.org/0009-0006-5881-9272>

*Autor de correspondencia: Javier Tenorio Brenes [jtenorio@uci.ac.cr]



Cómo citar este artículo:

Tenorio, J., Mora-Escobar, F., & Sanabria, D. (2025). Especies bioindicadoras y desarrollo regenerativo: Evaluación del uso de mariposas, aves y murciélagos en la conservación ambiental. Revista REGENERATIO, 4(1). Pág. 12-22. <https://doi.org/10.55924/ucireg.v4i1.41>

Resumen - Los ecosistemas naturales nunca han recibido un impacto tan grande producto de la degradación de hábitats por causantes antropogénicos como el que están recibiendo en la actualidad. El uso de criterios que permitan el establecimiento de prioridades para el manejo y conservación son de gran utilidad, como es el caso de las especies bioindicadoras. El objetivo de este trabajo es proponer el uso de mariposas, aves y murciélagos como especies bioindicadoras de la calidad ambiental o salud ecosistémica, entendida como el estado del ecosistema más cercano a su punto de equilibrio óptimo. Para ello, se hizo una revisión de la importancia de estos grupos taxonómicos en el ecosistema y su funcionalidad como especies bioindicadoras, además de que se describe la importancia de su aplicación en proyectos de desarrollo regenerativo. El uso de estas especies como bioindicadoras ofrece la oportunidad de crear un enfoque holístico para evaluar la salud de los ecosistemas y dirigir estrategias de conservación efectivas. Estos organismos permiten un análisis integral de los impactos ambientales y la medición de la efectividad de las prácticas regenerativas.

Palabras clave: regeneración; biología de la conservación; protección ambiental; salud ecosistémica; ecología.

Abstract - Natural ecosystems have never been so heavily impacted by anthropogenic habitat degradation as they are currently being affected. The use of criteria that allow for the establishment of priorities for management and conservation are very useful, as is the case of bioindicator species. The objective of this work is to propose the use of butterflies, birds and bats as bioindicator species of environmental quality or ecosystem health, understood as the state of the ecosystem closest to its optimal equilibrium point. To do so, a review was made of the importance of these taxonomic groups in the ecosystem and their functionality as bioindicator species, in addition to describing the importance of their application in regenerative development projects. The use of these species as bioindicators offers the opportunity to create a holistic approach to assess ecosystem health and direct effective conservation strategies. These organisms allow for a comprehensive analysis of environmental impacts and the measurement of the effectiveness of regenerative practices.
Key words: life skills; regeneration; global crisis, three horizons; global future; transversal skills.

Keywords: regeneration; conservation biology; environmental protection; ecosystem health; ecology.

Históricamente los ecosistemas naturales nunca han recibido un impacto tan grande producto de la degradación de hábitats por causantes antropogénicos como el que están recibiendo en la actualidad. La contaminación ambiental a nivel general en el aire, agua y suelo debería ser una situación crítica a tomar en cuenta no sólo para salvaguardar la vida silvestre y sus ecosistemas naturales, sino también para asegurar en la medida de lo posible la salud pública a nivel mundial (Parra Ochoa, 2014). Procesos tales como la urbanización descontrolada y el aumento desmedido de la deforestación para el establecimiento de terrenos agropecuarios convencionales provocan pérdida y fragmentación del hábitat, lo cual conlleva a su vez a la pérdida del equilibrio ecológico (Villegas y Garitano-Zavala, 2008; Estrada-Guerrero y Soler-Tovar, 2014). Por esta razón, los estudios científicos dedicados a la conservación y regeneración de los ecosistemas son cada vez más urgentes ante la problemática ambiental que enfrenta la humanidad (Villegas y Garitano-Zavala, 2008).

Con base a esto, la biología de la conservación tiene entre sus objetivos principales establecer prioridades sobre sitios específicos para desarrollar planes estratégicos que hagan posible la conservación de la Naturaleza. Para esto, se utilizan criterios que permitan el establecimiento de dichas prioridades (Ramírez, 2000).

Uno de los criterios más utilizados es el de especies indicadoras (o bioindicadoras), el cual se usa ampliamente para conocer y determinar el estado de salud del hábitat con base a su calidad y punto de equilibrio, y de esta manera evidenciar los efectos de la contaminación en los ecosistemas (Ortega, et al., 2003).

Una especie bioindicadora se define como un organismo o grupo de organismos utilizados para evaluar la salud de un ecosistema o monitorear cambios ambientales, tales como la contaminación o la degradación del hábitat (Holt y Miller, 2011). Los bioindicadores son especies que pueden proporcionar información sobre la calidad del medio ambiente a través de su presencia, ausencia o abundancia (Burger, 2006). Los bioindicadores reflejan los efectos de los cambios ambientales mediante respuestas fisiológicas, conductuales o a nivel de población, lo que los convierte en herramientas críticas para el monitoreo ecológico y los esfuerzos de conservación (Markert, 2007; Burger, 2006).

Una respuesta bioindicadora más allá de la presencia, ausencia o abundancia de los organismos resulta en las interacciones ecológicas, ya que estas son las primeras en alterarse ante cambios negativos en el medio que se desempeñan (Sperlea et al., 2022). Estas pueden ser interacciones bióticas como la polinización o dispersión de frutos de un grupo particular de especies, por ejemplo (Kevan, 1999; Abrol y Abrol, 2012), o interacciones intraespecíficas como aumentos en los picos de parasitismo de algún hospedero (Vidal-Martínez y Wunderlich, 2017; Nachev y Sures, 2016).

Se describe una especie como un bioindicador efectivo cuando esta posee ciertas características esenciales. Una de las más importantes es tener una dieta bien definida que esté estrechamente vinculada a los parámetros ambientales que se desean monitorear, como la presencia de contaminantes específicos o la calidad del hábitat (Han et al., 2015). Además, un buen bioindicador debe tener requisitos de hábitat claramente identificados, incluyendo refugios específicos que

puedan ser sensibles a cambios ambientales (Gerlach, 2013). El conocer estas características permiten que los investigadores detecten variaciones en el entorno a través del estado de la especie.

La longevidad es otro rasgo crucial en una especie bioindicadora, ya que las especies de vida larga pueden proporcionar datos sobre impactos ambientales acumulativos a lo largo del tiempo (Han et al., 2015), a su vez especies con periodos de vida estacionales o cortos pueden brindarnos información de cambios más inmediatos en el ambiente (McGeoch, 1998; Gerlach, 2013). La capacidad reproductiva también es fundamental, ya que debe verse afectada por las condiciones ambientales, permitiendo así que los científicos monitoreen los cambios en la dinámica poblacional de la especie, siendo las especies con capacidad reproductiva rápida y en masa son fácilmente de monitorear en estudios de corto plazo (Gerlach, 2013).

La resiliencia a disturbios, tanto naturales como antropogénicos, es otro factor clave, dado que un bioindicador debe reflejar cambios en el ecosistema sin ser excesivamente resistente a ellos, lo que podría ocultar signos tempranos de degradación ambiental, es aquí cuando se habla comúnmente de especies con mayor sensibilidad y especies generalistas que llegan a ocupar distintos nichos en sitios alterados (Holt y Miller, 2011). La movilidad es otra característica que tomar en cuenta debido a que especies con alta movilidad pueden escapar de las zonas perturbadas en busca de condiciones más favorables, o podrían modificar su comportamiento aumentando su rango de movilidad en búsqueda de recursos (Egwumah et al., 2017), y especies con poca movilidad son más susceptibles a

cambios en espacios geográficos pequeños (Burger et al., 2013).

El uso de las especies bioindicadoras como herramientas para la conservación genera información de mucho valor y es utilizado para formular planes de manejo y estrategias de conservación (Ortega et al., 2003). Por esto y por sus características biológicas, funcionalidad ecológica e importancia en el ecosistema el objetivo de este trabajo es proponer el uso de mariposas, aves y murciélagos como especies bioindicadoras de la calidad ambiental o salud ecosistémica, entendida como el estado del ecosistema más cercano a su punto de equilibrio óptimo. Para ello, se hace una revisión de la importancia de estos grupos taxonómicos en el ecosistema y su funcionalidad como especies bioindicadoras, además de que se describe la importancia de su aplicación en proyectos de desarrollo regenerativo.

Mariposas

Las mariposas (superfamilia Papilionoidea) son un grupo de insectos que se han utilizado como bioindicadores en las últimas décadas debido a sus características taxonómicas, biológicas y ecológicas. Su alta abundancia y riqueza de especies permite que sus monitoreos sean sencillos y aptos para la mayoría de las personas (van Swaay et al., 2012). A diferencia de otros insectos, las mariposas han sido profundamente estudiadas a lo largo de la historia, por lo que al día de hoy poseen una taxonomía estable (Kawahara et al., 2023; Gross, 2016) y su identificación es relativamente simple, principalmente en familias como Nymphalidae, Papilionidae y Pieridae.

En diferentes partes del mundo se han realizado estudios sobre la sensibilidad de mariposas a los cambios en

el hábitat. Factores antropogénicos como la tala, el urbanismo y la ganadería, afectan la composición de las comunidades de mariposas (Zumbado, 2020; Fagua y Andrade, 1999). Además, la dependencia que poseen a las plantas hospederas predispone su presencia según la composición vegetal de los ecosistemas (Janz y Nylin, 1998).

De igual manera, la dieta puede determinar el hábitat de preferencia de las especies. Algunos grupos frugívoros son muy sensibles a las alteraciones del ecosistema (Forsberg, 2020) y, en el caso de subfamilia Charaxinae, son más dependientes a áreas boscosas (Barlow et al., 2007), mientras que las especies nectarívoras se encuentran en una gran variedad de ecosistemas.

Aunque todavía existen aspectos desconocidos sobre las mariposas, como las rutas migratorias específicas que siguen, los ciclos de vida de ciertas especies e incluso la preferencia de flores en grupos nectarívoros, este grupo de insectos ofrece la posibilidad de observar y monitorear de manera precisa los cambios ecológicos a corto plazo, lo que puede permitir la creación de planes de acción rápida en temas de conservación y la gestión ambiental.

Aves

Las aves son organismos ideales para ser considerados como especies bioindicadoras principalmente porque están ampliamente distribuidas, se encuentran prácticamente en cualquier tipo de hábitat, como grupo presentan una gran diversidad en sus gremios tróficos y además son un componente esencial de la cadena alimenticia en todos sus niveles (Estrada-Guerrero y Soler-Tovar, 2014; Parra Ochoa, 2014; Egwumah y Edet, 2017).

Asimismo, la funcionalidad ecológica de las aves es muy variada y responden directamente al hábitat que ocupan, actuando como polinizadores, controladores biológicos o dispersores de semillas. Esto hace que sean sensibles a la degradación del hábitat y a cambios provocados al ambiente, como por ejemplo, alteraciones climatológicas y contaminación (Parra Ochoa, 2014; Egwumah y Edet, 2017).

Sumado a esto, las aves presentan una característica primordial a la hora de escoger organismos bioindicadores y esta es que son un grupo relativamente fácil de monitorear tanto a nivel espacial como temporal, esto posibilita que se puedan conocer los cambios poblaciones espaciotemporalmente en periodos específicos asociados a causas específicas (Villegas y Garitano-Zavala, 2008; Parra Ochoa, 2014; Egwumah y Edet, 2017). Por esta razón, las comunidades de aves se han utilizado para describir cambios en la composición de especies y en el paisaje, en ecosistemas primarios, secundarios, en regeneración o degradados (Lopez et al., 2023).

También, las aves cumplen con las características que debe tener una buena especie bioindicadora dado que son sensibles y reaccionan al cambio, lo que permite detectar las causas, consecuencias y efectos de dichas alteraciones (Ortega, et al., 2003). Asimismo, se cuenta con bastante información disponible sobre las aves en relación con su taxonomía, distribución geográfica y requerimientos, tanto ecológicos como fisiológicos, y son un componente cultural importante de diferentes culturas (Ramírez, 2000; Estrada-Guerrero y Soler-Tovar, 2014). De esta manera, utilizar a las aves como herramientas de manejo y conservación puede generar modelos adecuados para entender los estados

poblacionales de organismos menos conocidos y que presentan más dificultades de estudio (Ramírez, 2000; Egwumah y Edet, 2017).

Las aves además permiten relacionar su presencia con la calidad del ecosistema en territorios pequeños, medianos y grandes, lo cual hace que brinden una visión desde el nivel de nicho ecológico hasta el nivel de paisaje (Parra Ochoa, 2014). Esto relacionado con sus patrones de movilidad y su amplia distribución genera información realmente útil para tomadores de decisiones los cuales deben elegir sitios prioritarios de conservación y estrategias para la regeneración, a la vez que facilita el trabajo para el establecimiento de zonas destinadas a la conectividad entre áreas protegidas. Por tanto, este tipo de indicadores biológicos se puede usar para generar información que permita proteger el equilibrio ecológico (Ortega, et al., 2003; Egwumah y Edet, 2017).

Murciélagos

Los murciélagos, como uno de los grupos taxonómicos más diversos, poseen características que los convierten en excelentes bioindicadores (Stevens y Willig, 2002). El grupo de los quirópteros poseen una alta movilidad, que les permite desplazarse a grandes distancias en busca de alimento y refugio, los hace particularmente útiles para monitorear cambios ambientales a escalas regionales (Henry et al., 2002; Jones et al., 2009; Portillo et al., 2024). Esta movilidad permite que los murciélagos respondan rápidamente a las alteraciones en la calidad del hábitat, lo que los convierte en indicadores sensibles de la fragmentación del paisaje y de la disponibilidad de recursos críticos (Cunto y Bernard, 2012; García-Morales et al., 2013). Además, su versatilidad para ocupar una amplia variedad de nichos ecológicos, desde selvas tropicales hasta áreas urbanas,

les permite reflejar las condiciones de diferentes tipos de ecosistemas (Russo y Ancillotto, 2015; Deshpande, 2012; Pretorius et al., 2021).

La longevidad de los murciélagos, que en algunas especies puede superar los 20 años, proporciona un marco temporal extenso para el monitoreo de cambios ambientales (Barolia y Singh, 2020; Wilkinson y Adams, 2019). Esta característica permite analizar no solo los impactos inmediatos, sino también los efectos acumulativos de las alteraciones en el entorno a lo largo de varios años o incluso décadas (Benvindo-Souza et al., 2019; Portillo et al., 2024).

Los murciélagos pueden acumular toxinas ambientales como pesticidas y metales pesados en sus tejidos, ofreciendo una visión integrada de la exposición a largo plazo a contaminantes en el ecosistema (Zukal et al., 2015, Jones et al., 2009). Su longevidad también facilita estudios de tendencias poblacionales, ayudando a detectar cambios en la dinámica de la población que puedan estar relacionados con la degradación del hábitat o la disminución de la calidad ambiental (Tuneu-Corral et al., 2020).

La diversidad en dietas es un factor importante que tomar en cuenta, algunas especies son insectívoras, lo que las convierte en indicadores de la salud de las poblaciones de insectos y, por extensión, de la cadena trófica (Portillo et al., 2024; García-Morales et al., 2013). Otras especies frugívoras y nectarívoras pueden ser indicadores de la disponibilidad de recursos vegetales y de la integridad de los bosques (Abrol y Abrol, 2012; Torquetti et al., 2023).

Esta diversidad ecológica, combinada con su capacidad de desplazarse rápidamente y su sensibilidad a los

cambios en el entorno, hace de los murciélagos un grupo bioindicador excepcionalmente versátil y eficaz para la evaluación de la salud de los ecosistemas.

Utilidad en proyectos regenerativos

Está comprobado que estamos viviendo una extinción masiva de especies y ecosistemas silvestres a nivel mundial (González-Maya et al., 2011). Conforme la población crece, se presenta una tendencia incremental sobre la demanda de los recursos naturales, así como una disputa por la tenencia y uso de tierras, lo cual provoca directamente el deterioro ambiental (Mora-Escobar, 2024). La pérdida de biodiversidad es alarmante y evidencia la degradación ambiental a la que el ser humano ha dirigido al planeta, reduciendo así los servicios ecosistémicos en todo el mundo y dejando como resultado que la integridad de la biodiversidad sea el límite planetario que más repercusiones negativas ha sufrido por causas antropogénicas (Chassot et al., 2022). Las principales causas de esta situación han sido la agricultura y la ganadería convencionales, así como la urbanización, la deforestación y la sobreexplotación pesquera (Barrantes et al., 2016; Bonilla, 2019; Mora-Escobar, 2024; Tenorio Brenes, 2024).

Precisamente por esto es que la regeneración nace como una estrategia idónea para la conservación y restauración de la Naturaleza a nivel de ecosistémico, con el objetivo de alcanzar el equilibrio natural que se ha perdido, procedente del abandono de la conciencia social y del olvido de la importancia de la vida (Müller, 2022; Tenorio Brenes, 2024). El desarrollo regenerativo incluye dentro de sus fundamentos la concepción integral de la Naturaleza de manera tal que se genere conciencia sobre las interconexiones presentes en todos los seres vivos del planeta y la interdependencia que los mantiene vivos (East, 2020; 2022; Müller, 2022). Precisamente el

uso de mariposas, aves y murciélagos como especies bioindicadoras toma como base fundamental la funcionalidad ecológica de estos animales y analiza sus relaciones interespecíficas para poder conocer el estado de salud ambiental de determinado lugar. De esta manera es que se relaciona el uso y estudio de especies bioindicadoras como métrica del cambio (Mora-Escobar, 2024).

Un ejemplo de esto lo evidencia el proyecto de monitoreo de biodiversidad del programa Costa Rica Regenerativa. Este proyecto pretende entender la diversidad funcional de esta fauna, que se encuentra presente en ecosistemas agropecuarios en la zona norte costarricense, utilizándolas como especies bioindicadoras para demostrar los beneficios que proveen a distintas escalas de comprensión, desde la regeneración de los ecosistemas naturales hasta el incremento de la producción de las fincas y el involucramiento de la comunidad para la conservación de estos espacios. Por esta razón, consideramos pertinente promover e implementar el uso de las mariposas, aves y murciélagos como herramientas para la conservación y extendemos la necesidad de creación de parámetros estandarizados que puedan ser utilizados a nivel local y regional para facilitar las comparaciones de los cambios espacio-temporales y, a su vez, comprender de mejor manera el paisaje a escalas mayores que permitan crear estrategias para la conectividad entre áreas protegidas y disminuir el aislamiento que sufren por la fragmentación del hábitat.

El uso de este grupo de animales como especies bioindicadoras genera: 1) conocimiento del estado de salud del ecosistema; 2) comprensión de la respuesta al cambio; 3) anticipación a eventos catastróficos; 4) acercamiento de la comunidad y armonización; 5)

medición de los efectos de las prácticas regenerativas sobre el ecosistema; 6) aplicabilidad de la funcionalidad ecológica sobre sistemas de producción con enfoque regenerativo; 7) creación de herramientas estratégicas para el manejo y conservación; 8) selección de áreas prioritarias para la conectividad entre áreas protegidas; 9) descubrimiento de especies críticas que requieren especial atención; y 10) mayor facilidad para la toma de decisiones y contribución para el amortiguamiento de los efectos negativos sobre los límites planetarios.

Conclusión

El uso de especies bioindicadoras como las mariposas, aves y murciélagos ofrece la oportunidad de crear un enfoque holístico para evaluar la salud de los ecosistemas y dirigir estrategias de conservación efectivas. Estas especies, por sus características ecológicas y biológicas, permiten un análisis integral de los impactos ambientales y la medición de la efectividad de las prácticas regenerativas. La capacidad de estos grupos para reflejar cambios en su entorno, tanto a corto como

a largo plazo, proporciona una herramienta esencial para el monitoreo y la gestión de la biodiversidad en entornos tanto naturales como alterados por el ser humano.

El proyecto Costa Rica Regenerativa busca ser un ejemplo que ilustre claramente cómo la aplicación práctica de estos bioindicadores puede contribuir a la restauración y conservación de los ecosistemas. La implementación de estos tres grupos taxonómicos como métricas de salud ambiental, no solo facilita la identificación de problemas y el desarrollo de planes de acción, sino que también promueve la participación comunitaria, incentiva la ciencia ciudadana y permite implementar estrategias para la conservación de los ecosistemas nativos. Por lo tanto, es crucial continuar con el desarrollo de parámetros estandarizados para la evaluación y comparación de estos indicadores, a fin de fortalecer los esfuerzos de conservación ecológica desde un enfoque regenerativo.

Referencias

- Abrol, D. P., y Abrol, D. P. (2012). Pollinators as bioindicators of ecosystem functioning. *Pollination biology: Biodiversity conservation and agricultural production*, 509-544.
- Barlow, J., Overall, W.L., Araujo, I.S., Gardner, T.A. and Peres, C.A. (2007). The value of primary, secondary and plantation forests for fruit-feeding butterflies in the Brazilian Amazon. *Journal of Applied Ecology*, 44: 1001-1012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01347.x>
- Barolia, S. K., y Singh, P. (2020). Bat (*Pteropus giganteus*) plays an important role in many ways for society and farmers: A review. *GI J Foo Sci Nutri: GJFSN*, 102. DOI: 10.39127/GJFSN:1000102
- Barrantes, G., Ocampo, D., Ramirez-Fernandez, J. D., y Fuchs, E. J. (2016). Effect of fragmentation on the Costa Rican dry forest avifauna. *PeerJ*, 4, e2422.
- Benvindo-Souza, M., Borges, R. E., Pacheco, S. M., y de Souza Santos, L. R. (2019). Genotoxicological analyses of insectivorous bats (Mammalia: Chiroptera) in central Brazil: The oral epithelium as an indicator of environmental quality. *Environmental Pollution*, 245, 504-509. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.11015
- Bonilla Villalobos, V. (2019). Variacion en composicion y estructura de la vegetacion lenosa de un bosque humedo premontano transición seca, debido a la actividad agricola y ganadera. *Cuadernos de Investigacion UNED*, 11(2), 24-37. <http://dx.doi.org/10.22458/urj.v11i2.2293>
- Burger, J. (2006). Bioindicators: types, development, and use in ecological assessment and research. *Environmental Bioindicators*, 1(1), 22-39. <https://doi.org/10.1080/15555270590966483>
- Burger, J., Gochfeld, M., Powers, C. W., Niles, L., Zappalorti, R., Feinberg, J., y Clarke, J. (2013). Habitat protection for sensitive species: balancing species requirements and human constraints using bioindicators as examples. DOI:10.4236/ns.2013.55A007
- Chassot O., Valverde-Blanco A., González-Maya J. F., Chaudhary S., Monge-Arias G. (2022). Pensando en regeneracion: una vision global para la gestion integral de areas protegidas y conservadas. *Regeneratio* 1(1), 18-33. DOI:10.55924/ucireg.v1i1.2
- Cunto, G. C., y Bernard, E. (2012). Neotropical bats as indicators of environmental disturbance: what is the emerging message?. *Acta Chiropterologica*, 14(1), 143-151. DOI: 10.3161/150811012X654358
- Deshpande, K. (2012). Assessing diversity and distribution of bats in relation to land-use and anthropogenic threats in the southern Western Ghats, India. Final Report Submitted to the Rufford Small Grants for Nature Conservation, 30pp.
- East, M. (2020). The transition from sustainable to regenerative development. *Ecocycles* 6(1), 106-109. doi:10.19040/ecocycles.v6i1.168
- Egwumah, F. A., Egwumah, P. O., y Edet, D. I. (2017). Paramount roles of wild birds as bioindicators of contamination. *Int J Avian y Wildlife Biol*, 2(6), 00041. DOI: 10.15406/ijawb.2017.02.00041
- Estrada-Guerrero, D. M., y Soler-Tovar, D. (2014). Las aves como bioindicadores de contaminación por metales pesados en humedales: Birds as bioindicators of heavy metal contamination in wetlands. *Ornitología Colombiana*, (14), 145-160.
- Fagua, G; Amarillo, A y Andrade, G. (1999). Mariposas (Lepidoptera) como bioindicadores del grado de intervención en la cuenca del río Pato (Caquetá).
- Forsberg, F., Barfod, A. S., Francisco, A. J., Ribeiro, M. C. (2020). Fruit feeding butterflies as indicator taxon, pitfalls and concerns demonstrated in the Atlantic Forest. *Ecological Indicators*, 111,105986. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105986>
- García-Morales, R., Badano, E. I., y Moreno, C. E. (2013). Response of Neotropical bat assemblages to human land use. *Conservation Biology*, 27(5), 1096-1106. DOI: 10.1111/cobi.12099

- Gerlach, J., Samways, M., y Pryke, J. (2013). Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *Journal of insect conservation*, 17, 831-850.
- González-Maya, J. F., Chassot, O., Espinel, A., y Cepeda, A. A. (2011). Sobre la necesidad y pertinencia de la gestión integral de paisajes en Latinoamérica. *Revista Latinoamericana de Conservación* 2(1), 1-6.
- Gross, M. (2016). Butterflies take a well-studied tumble. *Current Biology*, 26, R823–R825.
- Han, Y. G., Kwon, O., y Cho, Y. (2015). A study of bioindicator selection for long-term ecological monitoring. *Journal of Ecology and Environment*, 38(1), 119-122. doi.org/10.5141/ecoenv.2015.013
- Henry, M., Thomas, D. W., Vaudry, R., y Carrier, M. (2002). Foraging distances and home range of pregnant and lactating little brown bats (*Myotis lucifugus*). *Journal of Mammalogy*, 83(3), 767-774. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2002\)083<0767:FDAHRO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2002)083<0767:FDAHRO>2.0.CO;2)
- Holt, E. A., y Miller, S. W. (2011). Bioindicators: Using organisms to measure. *Nature*, 3, 8-13.
- Janz, N. y Nylin, S. (1998). Butterflies and Plants: A Phylogenetic Study. *Evolution*, 52: 486-502. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1998.tb01648.x>
- Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R., y Racey, P. A. (2009). Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered species research*, 8(1-2), 93-115. <https://doi.org/10.3354/esr00182>
- Kawahara, A.Y., Storer, C., Carvalho, A.P.S. et al. (2023). A global phylogeny of butterflies reveals their evolutionary history, ancestral hosts and biogeographic origins. *Nat Ecol Evol* 7, 903–913.
- Kevan, P. G. (1999). Pollinators as bioindicators of the state of the environment: species, activity and diversity. In *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes* (pp. 373-393). Elsevier.
- Lopez, D., Fonda, F., Monti, F., y Dal Zotto, M. (2023). Density Estimates and Habitat Preferences of Two Sympatric Bird Species as Potential Bioindicators of Tropical Forest Alterations. *Diversity*, 15(2), 208. <https://doi.org/10.3390/d15020208>
- Markert, B. (2007). Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 21, 77-82. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2007.09.015>
- McGeoch, M. A. (1998). The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological reviews*, 73(2), 181-201.
- Mora-Escobar, F. Vargas, V. (2024). Murciélagos: Aliados nocturnos como métrica y actores en la agricultura regenerativa. *Regeneratio* 1(3), 25-42. DOI: 10.55924/ucireg.v3i1.32
- Müller, E. (2022). Regeneración, la esperanza para co-crear un futuro próspero y abundante a favor de la vida. *Regeneratio* 1(1), 7-13. DOI:10.55924/ucireg.v1i1.13
- Nachev, M., y Sures, B. (2016). Environmental parasitology: Parasites as accumulation bioindicators in the marine environment. *Journal of Sea Research*, 113, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.06.005>
- Ochoa, E. P. (2014). Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *CES Salud Pública*, 5(1), 59-69.
- Ortega, M. A. A. G., Hernández, J. G., Gómez, M. F. M., y Velázquez, L. E. D. (2003). Un método para la selección de aves bioindicadoras con base en sus posibilidades de monitoreo. *Huitzil Revista Mexicana de Ornitología*, 4(2), 10-16. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2003.4.2.18>
- Portillo, A., Vega, C. M., Mena, J. L., Bonifaz, E., Ascorra, C., Silman, M. R., y Fernandez, L. E. (2024). Mercury bioaccumulation in bats in Madre de Dios, Peru: implications for Hg bioindicators for tropical ecosystems impacted by artisanal and small-scale gold mining. *Ecotoxicology*, 33(4), 457-469.

- Pretorius, M., Markotter, W., y Keith, M. (2021). Assessing the extent of land-use change around important bat-inhabited caves. *BMC zoology*, 6, 1-12.
- Ramírez, A. (2000). Utilidad de las aves como indicadores de la riqueza específica regional de otros taxones. *Ardeola*, 47(2), 221-226.
- Russo, D., y Ancillotto, L. (2015). Sensitivity of bats to urbanization: a review. *Mammalian Biology*, 80(3), 205-212. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2014.10.003>
- Sperlea, T., Heider, D., y Hattab, G. (2022). A theoretical basis for bioindication in complex ecosystems. *Ecological Indicators*, 140, 109050. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109050>
- Stevens, R. D., y Willig, M. R. (2002). Geographical ecology at the community level: perspectives on the diversity of New World bats. *Ecology*, 83(2), 545-560. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[0545:GEATCL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[0545:GEATCL]2.0.CO;2)
- Tenorio Brenes, J. (2024). Primer registro de depredación de la rana *Smilisca baudinii* (Hylidae) por *Geranoospiza caerulescens*. *Regeneratio* 1(3), 17-24. DOI: 10.55924/ucireg.v3i1.34
- Torquetti, C. G., de Carvalho, T. P., de Freitas, R. M. P., Freitas, M. B., Guimarães, A. T. B., y Soto-Blanco, B. (2023). Influence of landscape ecology and physiological implications in bats from different trophic guilds. *Science of the Total Environment*, 857, 159631. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159631>
- Tuneu-Corral, C., Puig-Montserrat, X., Flaquer, C., Mas, M., Budinski, I., y López-Baucells, A. (2020). Ecological indices in long-term acoustic bat surveys for assessing and monitoring bats' responses to climatic and land-cover changes. *Ecological Indicators*, 110, 105849. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105849>
- Vidal-Martínez, V. M., y Wunderlich, A. C. (2017). Parasites as bioindicators of environmental degradation in Latin America: a meta-analysis. *Journal of Helminthology*, 91(2), 165-173. <https://doi.org/10.1017/S0022149X16000432>
- Villegas, M., y Garitano-Zavala, A. (2008). Las comunidades de aves como indicadores ecológicos para programas de monitoreo ambiental en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 43(2), 146-153.
- Wilkinson, G. S., y Adams, D. M. (2019). Recurrent evolution of extreme longevity in bats. *Biology letters*, 15(4), 20180860. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0860>
- Zukal, J., Pikula, J., y Bandouchova, H. (2015). Bats as bioindicators of heavy metal pollution: history and prospect. *Mammalian Biology*, 80, 220-227.
- Zumbado, M. I. (2020). Especies de lepidópteros (Papilionoidea) como bioindicadoras del grado de perturbación humana en dos localidades del cantón de Belén. San José, Costa Rica: M. I. Zumbado C.