

Impactos del cambio climático en la avifauna endémica de los ecosistemas tropicales andinos de Colombia

Climate change impacts on endemic avifauna of tropical andean ecosystems in Colombia.

Impactos das alterações climáticas na avifauna endêmica dos ecossistemas tropicais andinos na Colômbia.

Sonia P. Muñoz-Pérez¹ , Edgar A. González-Legarda² 

Artículo de Revisión

Recibido: 15 de mayo de 2024

Aceptado: 25 de octubre de 2024

Publicado: 18 de noviembre de 2024

RESUMEN

El calentamiento global es un fenómeno caracterizado por producir efectos negativos en las condiciones necesarias para el sostenimiento de la vida en el planeta. En la actualidad, es evidente la acelerada alteración climática debido a la incidencia de las actividades de tipo antrópico. Esta modificación de las condiciones climáticas sin duda ocasionaría graves alteraciones tanto a nivel de las especies como de los ecosistemas. La región andina colombiana es un *hotspot* representativo de biodiversidad, pero al mismo tiempo, sus ecosistemas se encuentran entre los más vulnerables a los impactos del cambio climático global. En este artículo se presenta información sobre la biodiversidad en el país ante la actual crisis climática, considerando a las aves como bioindicadoras frente a esta problemática. Se contribuye como aporte para que tanto los gobiernos, grupos ambientalistas y comunidad en general, puedan gestionar de manera conjunta la adopción y/o fortalecimiento de políticas medioambientales, medidas de mitigación y adaptación adecuadas para su

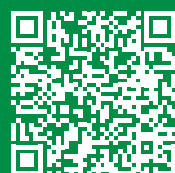
- 1 Bióloga, Docente en el Programa de Ingeniería en Producción Acuicola de la Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. Email: spatty.mp06@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7174-5371>
- 2 Docente investigador Universidad de Nariño y Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Grupo de investigación en Ecología y Contaminación Acuática, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Palmira, Colombia. Email: edagonzalezle@unal.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-8355>

Como Citar (Norma Vancouver): Muñoz-Pérez SP, González-Legarda EA. Impactos del cambio climático en la avifauna endémica de los ecosistemas tropicales andinos de Colombia. Orinoquia, 2024;28(2):e-802 <https://doi.org/10.22579/20112629.802>

La Revista Orinoquia es una revista de acceso abierto revisada por pares. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

OPEN ACCESS



conservación. Este manuscrito se realizó teniendo en cuenta la revisión bibliográfica de los últimos diez años en diferentes buscadores de información y/o bases de datos, seleccionando artículos científicos, tesis (publicadas e inéditas) y reportes, excluyendo *reviews* y/o monografías.

Palabras claves: acambio climático, conservación de la biodiversidad, ecosistemas andinos, aves como bioindicadores, política ambiental, estrategias de adaptación, vulnerabilidad de los ecosistemas

ABSTRACT

Global warming is a phenomenon that negatively affects the conditions necessary to sustain life on Earth. Currently, the accelerated pace of climate change—driven largely by human activities—is evident. These modifications to climate conditions are expected to cause serious alterations to both species and ecosystems. The Colombian Andean region, recognized as a biodiversity hotspot, is also one of the most vulnerable areas to the impacts of global climate change. This article presents an overview of biodiversity in Colombia in the context of the current climate crisis, focusing on birds as bioindicators. The aim is to contribute knowledge that can inform governments, environmental organizations, and the general public in adopting and/or strengthening environmental policies, mitigation strategies, and adequate adaptation measures for conservation efforts. This manuscript is based on a bibliographic review of the past ten years, using various search engines and academic databases. Scientific articles, theses (published and unpublished), and technical reports were included, while reviews and monographs were excluded.

Key Words: climate change, biodiversity conservation, Andean ecosystems, birds as bioindicators, environmental policy, adaptation strategies, ecosystem vulnerability.

RESUMO

O aquecimento global é um fenômeno caracterizado por efeitos negativos sobre as condições necessárias para sustentar a vida no planeta. Atualmente, é evidente que a mudança climática está se acelerando devido ao impacto das atividades antropogênicas. Essa modificação das condições climáticas, sem dúvida, causará sérias alterações tanto em termos de espécies quanto de ecossistemas. A região andina colombiana é um "hotspot" representativo da biodiversidade, mas, ao mesmo tempo, seus ecossistemas estão entre os mais vulneráveis aos impactos da mudança climática global. Este artigo apresenta informações sobre a biodiversidade do país diante da atual crise climática, considerando as aves como bioindicadores desse problema, contribuindo para que governos, grupos ambientalistas e a comunidade em geral possam gerenciar conjuntamente a adoção e/ou o fortalecimento de políticas ambientais, medidas de mitigação e adaptação adequadas para sua conservação. Este manuscrito foi escrito levando em conta a revisão bibliográfica dos últimos dez anos em diferentes mecanismos de busca de informações e/ou

bancos de datos, seleccionando artículos científicos, tesis (publicadas e não publicadas) e relatórios, excluindo revisões e/ou monografias.

Palavras chave: *mudanças climáticas, conservação da biodiversidade, ecossistemas andinos, aves como bioindicadores, política ambiental, estratégias de adaptação, vulnerabilidade dos ecossistemas.*

INTRODUCCIÓN

Desde la última década del siglo XIX es evidente el cambio acelerado del clima del planeta y según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) esta tendencia continuará en un futuro cercano (IPCC, 2019). El aumento en la concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera (GEI), debido a la incidencia de actividades de tipo antrópico como el uso de combustibles fósiles, deforestación, usos del suelo y actividades productivas, está intensificando el efecto invernadero natural, generando un impacto negativo en el equilibrio de los ecosistemas (IPCC, 2019), especialmente en aquellos altamente degradados y modificados por la actividad humana (Lovejoy y Hannah, 2019).

Las tendencias de diversos estudios indican que como efectos inminentes del cambio climático se esperan alteraciones en los patrones de lluvias y temperaturas, posible aumento en el nivel del mar, deshielo de los glaciares y una mayor frecuencia de eventos extremos como sequías, huracanes e incendios forestales (IPCC, 2019); así como también la pérdida acelerada de la biodiversidad, que va desde la alteración en la distribución y abundancia de especies hasta la posible modificación de comunidades biológicas (Lovejoy y Hannah, 2019).

Esta situación, sumada a los impactos de las actuales prácticas de uso y conversión de tierras, pueden intensificar el riesgo de extinción de los diferentes componentes de la biodiversidad (Bax y Francesconi, 2019). Diversas investigaciones sugieren que para finales del siglo XXI la temperatura global podría incrementarse entre

2.6 y 4.8 °C, mientras que el nivel del mar podría elevarse entre 45 y 82 cm. También se prevé que las precipitaciones aumenten en las latitudes altas y en el Ecuador, y disminuyan en las regiones subtropicales (Hofstede et al., 2014).

En Colombia, la expresión del cambio climático global se manifiesta en la reducción de los glaciares de montaña, con claros indicios de un rápido retroceso durante las últimas décadas del siglo XX y el primer decenio del siglo XXI (IDEAM, 2021). Por ello, la región andina –un hotspot de biodiversidad en el planeta (Myers et al., 2000)– es considerada entre las zonas con mayor vulnerabilidad a los impactos del cambio global futuro. Tan sólo en estas zonas del país se espera un aumento de la temperatura mayor a 2.5 °C y una reducción entre el 10 y 20% en los valores de precipitación (IDEAM, 2024). Por ello, debido a su reconocida sensibilidad a este tipo de cambios ambientales, se esperan altas tasas de extinción de especies (González et al., 2021).

Para reducir la pérdida de la biodiversidad causada por el cambio global, es necesario obtener más información sobre las especies, incluyendo su ubicación, patrones de movimiento, abundancias relativas y el estado de sus poblaciones a lo largo del tiempo (Pearce-Higgins et al., 2015). Este tipo de información es indispensable para los tomadores de decisión en conservación. Por ello, se considera prioritario el desarrollo de investigaciones en Latinoamérica, enfocadas en evaluar los posibles impactos del cambio climático futuro en la distribución de especies y ecosistemas, así como el rol de los actuales sistemas de áreas protegidas (Linero et al., 2020).

ANTECEDENTES (ESTUDIOS PREVIOS)

Dentro de los grupos de vertebrados, las aves son especies carismáticas que se pueden observar e identificar con relativa facilidad, lo que favorece la obtención de datos biológicos, especialmente para las técnicas de modelado (Tanner *et al.*, 2017); gracias a estas características, las aves se utilizan para detectar el impacto de la pérdida o fragmentación del hábitat y el cambio climático en la biodiversidad y ecosistemas. Por esta razón, científicos y/o conservacionistas las emplean frecuentemente como indicadores ecológicos y promotores de políticas de conservación (Renjifo y Amaya-Villareal, 2017).

En sus estudios sobre el efecto de las variaciones climáticas en las áreas de distribución de especies en los Andes Tropicales (incluyendo 9.457 plantas vasculares y 1.555 aves), Ramírez-Villegas *et al.* (2014) encontraron que las especies con distribuciones pequeñas y restringidas a zonas más altas serán más afectadas, con reducciones en sus áreas de distribución del 75% en el escenario más extremo. En este sentido, los autores proponen que las estrategias de adaptación para mitigar los efectos adversos del cambio climático en la biota de los Andes Tropicales, deben incluir una red de paisajes con un enfoque basado en la conservación, incluyendo no solo las áreas naturales protegidas (ANP), sino también sus zonas de amortiguamiento y corredores ecológicos.

Muñoz (2023) analizó las respuestas de 53 especies de aves endémicas y casi endémicas de los ecosistemas andinos en Colombia, ante diferentes escenarios futuros de cambio climático y uso de suelo para los años 2040 y 2060, encontrando que, el cambio climático podría reducir las áreas de distribución de estas especies en un 6.4-11.7% para 2040 y entre 12.6-19.6% para 2060, principalmente debido al aumento de la temperatura (>1.3 [2040]- 2.2 [2060] °C). En escenarios futuros, estas aves podrían desplazarse hacia zonas más altas (~230 m). La combinación del cambio climático

y la pérdida de hábitat representa la mayor amenaza para su futuro, con una reducción promedio del 63% en sus áreas de distribución, afectando incluso las ANP (con disminuciones promedio del 18% para 2040 y del 19% para 2060). Asimismo, en este estudio se identificaron áreas prioritarias de conservación, altamente resilientes y con vegetación intacta, ubicadas en la cordillera occidental y central en los departamentos de Cauca, Nariño, Tolima, Antioquia, Valle del Cauca y Meta. Estas áreas representan sitios con alta riqueza y endemismo de especies en el país y muestran una alta resiliencia frente a los efectos del cambio climático y uso del suelo. Los tomadores de decisión en conservación podrían utilizarlas como sitios para implementar planes piloto de manejo en colaboración con las comunidades locales para salvaguardar la biodiversidad a largo plazo.

ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Ante el evidente cambio climático, es necesario el desarrollo de investigaciones que permitan el enfoque de recursos y demás acciones que favorezcan un mayor conocimiento de esta problemática que afecta a todos los componentes de los ecosistemas. Por tal razón, la comunidad científica ha promovido el desarrollo de estimaciones, conocidas como modelos de circulación general de la atmósfera (MCG), con las cuales es posible realizar predicciones de escenarios climáticos futuros (Riahi *et al.*, 2017).

Estos modelos se definen como estimaciones integrales donde se simulan los flujos de energía, masa y cantidad de movimiento entre la superficie terrestre y las diferentes capas que constituyen la atmósfera (Boucher *et al.*, 2020). Los modelos de circulación general (MCG) propician una mejor comprensión de las interacciones entre los ecosistemas, el clima, las actividades y condiciones humanas. Su aplicación se convierte en una ciencia que utiliza los conceptos fundamentales de la ecología, beneficiándose con la ayuda de nuevas tecnologías.

Entre 2019 y 2020, los científicos crearon nuevos escenarios para facilitar la evaluación e investigación del cambio climático. Estos proporcionan información más detallada para generar modelos climáticos que permitan realizar una mayor exploración del impacto de las diferentes políticas sobre el clima y evaluar los costos y beneficios de los objetivos a largo plazo (Sellar *et al.*, 2020).

Dichos escenarios recibieron el nombre de *Shared Socioeconomic Pathways* o *SSP*, los cuales complementan los datos sobre emisiones de gases de efecto invernadero, de gases reactivos, uso y cobertura del suelo, así como de las concentraciones de emisiones de ozono y aerosoles provistos (Sellar *et al.*, 2020). El IPCC eligió un conjunto de cuatro estimaciones que representa cada una un conjunto más amplio de escenarios que conducen a las características específicas de forzamiento radiativo, desde los niveles más bajos de estabilización (SSP 126), a los intermedios (SSP 245 y SSP 370) y al escenario de valores muy altos de emisión (SSP 585) (Riahi *et al.* 2017; Boucher 2020).

LOS ECOSISTEMAS ANDINOS Y LAS AVES

El surgimiento de los Andes, hace aproximadamente seis millones de años, permitió la formación de nuevos ambientes con variados y extensos gradientes de latitud, altitud y humedad. Esto facilitó que las especies de las tierras bajas de Sudamérica e incluso de las áreas alpinas de las zonas templadas, se adaptaran y promovieran procesos de especiación (Ramírez-Villegas *et al.*, 2014).

Actualmente los Andes se dividen en tres regiones: Andes del Norte, Andes Centrales y los Andes Meridionales. La región andina tropical de Venezuela Occidental, Colombia, Ecuador y el Norte del Perú constituyen los Andes del Norte, caracterizados por albergar una gran cantidad de especies y altos niveles de endemismo (Hofsetde *et al.*, 2014). No obstante, esta diversidad no se distribuye uniformemente; se observa una mayor riqueza de especies en latitudes y altitudes más bajas y

medias, mientras que en toda la región el recambio de especies es alto y la riqueza disminuye con el aumento de la aridez (Bax y Francesconi, 2019).

En Colombia, los Andes se dividen en tres cordilleras: Occidental, Central y Oriental que se extienden del norte al sur del país, formando valles, cañones, mesetas y un sistema fluvial cuyos principales ríos son el Cauca y el Magdalena (Moreno *et al.*, 2020). Estas montañas no solo han contribuido a la enorme heterogeneidad de ambientes y a la diversidad de aves colombianas, sino que también han causado cambios en su distribución, debido a su efecto sobre el clima, además de diferenciaciones en sus poblaciones. Cada cordillera tiene su propia avifauna con especies endémicas, concentradas principalmente en la franja media (800-2400 msnm) siendo la Sierra Nevada de Santa Marta, el Andén Pacífico y la Cordillera Oriental las más ricas en especies. Las casi-endémicas se encuentran compartidas principalmente con Ecuador y Panamá en la región del Pacífico (Ramírez-Villegas *et al.*, 2014).

Los ecosistemas andinos colombianos constituyen un patrimonio natural de invaluable riqueza, ya que proporcionan una amplia variedad de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano y el desarrollo sostenible del país (Moreno *et al.*, 2020).

Los resultados de diversos estudios realizados, coinciden con la idea de que en el siglo XXI se producirán cambios negativos significativos en los patrones de distribución de la biota de alta montaña, como consecuencia del cambio climático (Agudelo *et al.*, 2019). De hecho, las tendencias observadas han sido reportadas igualmente para otros grupos taxonómicos en la región andina de Suramérica (Gonzales *et al.*, 2021; More *et al.*, 2022, Muñoz, 2023; Machado *et al.*, 2024). Lamentablemente, impactos a mayor o menor escala incidirán directamente en la distribución de especies –promoviendo cambios en la biodiversidad, la alteración y transformación de hábitats– así como en las fun-

ciones e integridad de los ecosistemas (Freeman *et al.*, 2018; Lovejoy y Hannah, 2019).

Las aves cumplen importantes funciones ecológicas como la dispersión de semillas y la polinización, por lo que su inadecuada protección podría afectar negativamente los ecosistemas, su estabilidad y funciones (Renjifo *et al.*, 2017). Además, se observa que el sistema actual de ANP no es suficiente para salvaguardar estas especies (Ramírez-Villegas *et al.*, 2014; Linero *et al.*, 2020). Este contexto genera un escenario sombrío y desalentador para muchas de estas especies, que son altamente vulnerables y tienen un alto riesgo de extinción en el futuro (Bax y Francesconi, 2019).

DESPLAZAMIENTOS ALTITUDINALES DE LA BIOTA DE ALTA MONTAÑA

Varios estudios sugieren que los cambios de temperatura y precipitación, provocados por el calentamiento global, impulsan la expansión de los rangos de distribución de especies en regiones como los polos y hacia elevaciones en latitudes templadas (Freeman *et al.*, 2018). Sin embargo, hasta el momento las evidencias registradas son escasas en los trópicos, en donde el gradiente de temperatura latitudinal poco profundo hace que los cambios de pendiente ascendente sean más probables que los cambios en los polos (Guevara *et al.*, 2018). En este sentido, la temperatura constituye un factor clave para la distribución altitudinal de las especies, las cuales como respuesta al cambio climático se desplazan verticalmente, sea ascendiendo o descendiendo. Esto beneficia a las especies de las zonas bajas, pero para aquellas que históricamente han habitado las cimas, la reducción de sitios disponibles, aumenta la probabilidad de extinción (Bax y Francesconi, 2019).

Por otra parte, es importante observar que los ecosistemas andinos se encuentran localizados en regiones donde las condiciones climáticas son bastante estables, esto, debido a su posición geográfica (latitud). Dicha condición promueve

poca especialización fisiológica a variables como la temperatura por parte de las especies (entre ellas las aves) que allí habitan –contrario a lo que se observa en las especies distribuidas en lugares de latitudes templadas–. Las especies que habitan en estos últimos ecosistemas deben enfrentarse a cambios ambientales estacionales, lo que les confiere una adaptación corporal más amplia a las altas modificaciones en la temperatura ambiental para así garantizar su sobrevivencia (Pearce-Higgins *et al.*, 2015; Freeman *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES Y/O PERSPECTIVAS

El cambio climático global, la deforestación y los usos del suelo son factores de amenaza para la biodiversidad, además, la acción simultánea de estos representa un mayor factor de riesgo para la sobrevivencia de las especies en el futuro. Ante el aumento de temperatura y la variación de precipitación anual, algunas especies podrían no persistir si no pueden moverse a elevaciones más altas o colonizar nuevas áreas donde se espera que las condiciones sean óptimas. Es necesario continuar desarrollando investigaciones para entender las dinámicas y capacidades de respuesta de los taxones.

Es esencial formular estrategias para preservar poblaciones viables de las especies endémicas de zonas elevadas. Asimismo, es crucial continuar investigando sobre los recursos que utilizan estas especies, así como sobre sus interacciones. Por tanto, es recomendable implementar estrategias de monitoreo constante de las especies donde ya se están evidenciando cambios en su distribución, así como mejorar la conectividad entre los ecosistemas y restaurar áreas forestales, con el fin de desarrollar estrategias de conservación a corto, mediano y largo plazo.

Debido a la probabilidad de que el cambio climático desplace importantes comunidades de aves fuera de las áreas protegidas, se debe continuar con investigaciones tendientes a identificar las

fuentes antrópicas de contaminación y su relación al cambio climático, por lo tanto, es indispensable fomentar y motivar la participación de las comunidades dentro de iniciativas de manejo sustentable, restauración y/o conservación de los hábitats y ecosistemas.

REFERENCIAS

- Agudelo, W. J., Urbina-Cardona, N., & Armenteras-Pascual, D. (2019). Critical shifts on spatial traits and the risk of extinction of Andean anurans: An assessment of the combined effects of climate and land-use change in Colombia. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(4), 206-219. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.11.002>
- Bax, V., & Francesconi, W. (2019). Conservation gaps and priorities in the Tropical Andes biodiversity hotspot: Implications for the expansion of protected areas. *Journal of Environmental Management*, 232, 387-396. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.086>
- Boucher, O., Servonnat, J., Albright, A. L., Aumont, O., Balkanski, Y., Bastrikov, V., & Vuichard, N. (2020). Presentation and evaluation of the IPSL-CM6A-LR climate models. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(e2019MS002010). <https://doi.org/10.1029/2019MS002010>
- Freeman, B. G., Scholer, M. N., Ruiz-Gutiérrez, V., & Fitzpatrick, J. W. (2018). Climate change causes upslope shifts and mountaintop extirpations in a tropical bird community. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(47), 11982-11987. <https://doi.org/10.1073/pnas.1804224115>
- Guevara, L., Gerstner, B. E., Kass, J. M., & Anderson, R. P. (2018). Toward ecologically realistic predictions of species distributions: A cross-time example from tropical montane cloud forests. *Global Change Biology*, 24(4), 1515-1522. <https://doi.org/10.1111/gcb.13992>
- Gonzalez, V. H., Cobos, M. E., Jaramillo, J., & Ospina, R. (2021). Climate change will reduce the potential distribution ranges of Colombia's most valuable pollinators. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(2), 195-206.
- Hofsette, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A., & Cerra, M. (2014). *Los Páramos Andinos: ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema de páramo*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza-UICN.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2021). *Informe del estado de los glaciares colombianos 2020*. IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2024). *Informe de predicción climática a corto, mediano y largo plazo*. IDEAM.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. (P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (Eds.). In press.
- Linero, D., Cuervo-Robayo, A. P., & Etter, A. (2020). Assessing the future conservation potential of the Amazon and Andes protected areas: Using the woolly monkey (*Lagothrix lagotricha*) as an umbrella species. *Journal for Nature Conservation*, 58, 125926. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125926>
- Lovejoy, T. E., Hannah, L. (2019). *Biodiversidad y cambio climático: transformando la biosfera*. Prensa de la Universidad de Yale.

- Machado-Aguilera, M. C., Lemus-Mejía, L., Pérez-Torres, J., Zárrate-Charry, D. A., Arias-Alzate, A., & González-Maya, J. F. (2024). Preserving the spots: Jaguar (*Panthera onca*) distribution and priority conservation areas in Colombia. *PLoS ONE*, 19(3), e0300375. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300375>
- More, A., Devenish, C., Carrillo-Tavara, K., Piana, R. P., Lopez-Malaga, C., Vega-Guarderas, Z., & Nuñez-Cortez, E. (2022). Distribution and conservation status of the mountain tapir (*Tapirus pinchaque*) in Peru. *Journal for Nature Conservation*, 66, 126130. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126130>
- Moreno, L. A., Andrade, G. I., Didier, G., & Hernández-Manrique, O. L. (Eds.). (2020). *Biodiversidad 2020: Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Muñoz-Pérez S. P. (2023). *Distribución potencial de aves endémicas en ecosistemas tropicales andinos de Colombia en escenarios futuros de cambio climático global: perspectivas de conservación*. [Tesis inédita de Maestría en Ciencias Biológicas, Universidad de Nariño]. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. D., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858.
- Pearce-Higgins, J. W., Eglinton, S. M., Martay, B., & Chamberlain, D. E. (2015). Drivers of climate change impacts on bird communities. *Journal of Animal Ecology*, 84(4), 943-954. <https://doi.org/10.1111/12364>
- Ramirez-Villegas, J., Cuesta, F., Devenish, C., Peralvo, M., Jarvis, A., & Arnillas, C. A. (2014). Using species distribution models for designing conservation strategies of Tropical Andean biodiversity under climate change. *Journal for Nature Conservation*, 22(5), 391-404. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.03.007>
- Renjifo, L. M., & Amaya-Villarreal, Á. M. (2017). Evolución del riesgo de extinción y estado actual de conservación de las aves de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(161), 490-510. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.461>
- Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., & Tavoni, M. (2017). The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168.
- Sellar, A. A., Walton, J., Jones, C. G., Wood, R., Abraham, N. L., Andrejczuk, M., Andrews, M., Andrews, T., Archibald, A. T., Mora, L., Dyson, H., Elkington, M., Ellis, R., Florek, P., Good, P., Gohar, L., Haddad, S., Hardiman, S. C., Hogan, E., & Griffiths, P. T. (2020). Implementation of U.K. Earth system models for CMIP6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(4), e2019MS001946. <https://doi.org/10.1029/2019ms001946>
- Tanner, E. P., Elmore, R. D., Fuhlendorf, S. D., Davis, C. A., Dahlgren, D. K., & Orange, J. P. (2017). Extreme climatic events constrain space use and survival of a ground-nesting bird. *Global Change Biology*, 23(5), 1832-1846. <https://doi.org/10.1111/gcb.13505>