

Efectos del cambio climático en la distribución de dos especies de monos nocturnos en Colombia

Resumen de Trabajo de grado para optar al título de Biólogo

Autor: David Esteban Borja Acevedo^{1*}

Director: Daniel Osorio Dominguez, PhD²

Resumen. El modelamiento geoespacial resulta ser una poderosa herramienta disponible para los biólogos de la conservación en cuanto estimar los rangos de distribución de las especies. Ante la creciente amenaza que representa el cambio climático, especialmente para los primates, se emplea el uso de Modelos de Distribución de Especies (MDE) para determinar la posible distribución de *Aotus griseimembra* y *Aotus lemurinus* en Colombia ante diferentes escenarios de cambio climático. Al comparar los modelos actuales con los futuros para ambas especies, se evidencian cambios en su distribución, expansiones y contracciones. Para el caso del escenario SSP 5-8.5 para el período 2081-2100, se espera una contracción de la distribución de ambas especies, limitada a relictos en torno a las cordilleras andinas. Sin embargo, para los escenarios SSP 1-2.6 en los periodos de tiempo 2011-2040 y 2081-2100 y SSP 5-8.5 para 2011-2040, se identificaron dos regiones importantes que podrían tener las condiciones climáticas idóneas para la subsistencia de ambas especies de monos. Una región se ubica al norte del departamento de Norte de Santander y coincide con el PNN Catatumbo Barí. La otra región coincide con el piedemonte andino amazónico que se solapa con algunas Áreas Protegidas. La posibilidad de dispersión para ambas especies dependerá de la existencia de rutas adecuadas y de la configuración del paisaje. Es así como la gestión estratégica de los corredores ecológicos y el mantenimiento y establecimiento de Áreas Protegidas son componentes clave en la conservación de *Aotus griseimembra* y *Aotus lemurinus*. Los resultados aquí presentados no tienen en cuenta relaciones bióticas ni patrones de destrucción de hábitat de origen antropogénico.

Introducción: El cambio climático, de origen tanto antrópico como natural, impacta la biodiversidad, afectando la distribución, comportamiento, fisiología y morfología de las especies. Las variaciones climáticas y la alteración de hábitats influyen en la disponibilidad de alimento y sitios reproductivos, provocando migraciones, reducciones poblacionales o extinciones. Algunas especies perderán las condiciones climáticas óptimas dentro de su rango de distribución actual, lo que reducirá su idoneidad de hábitat. Factores como la capacidad de dispersión, preferencia de hábitat y amplitud de dieta determinan la respuesta de cada especie a estos cambios.

El IPCC define el cambio climático como cambios persistentes en el clima y ha desarrollado modelos como el CMIP6 para evaluar escenarios futuros, combinando factores climáticos y socioeconómicos. Existen diferentes trayectorias, desde escenarios optimistas hasta los más pesimistas en términos de impacto ambiental.

Los Modelos de Distribución de Especies utilizan variables abióticas para predecir áreas adecuadas para las especies. Estudios indican que muchas especies de primates en Madagascar perderán gran parte de su hábitat debido al cambio climático. De igual forma, se estima que el hábitat del orangután de Borneo disminuirá en un 63% para 2080. En general, los primates y los

topos serán los mamíferos más afectados, dada la rapidez del cambio climático y su baja capacidad de dispersión. Actualmente, el 75% de las especies de primates está en declive, y el 60% está amenazado de extinción debido a la explotación de recursos biológicos y otras amenazas como el cambio climático.

Los primates son particularmente vulnerables debido a su sensibilidad climática, su limitada movilidad y largos tiempos generacionales, que dificultan la adaptación rápida a nuevas condiciones ambientales. La fragmentación del hábitat agrava esta situación, obligando a los primates a depender de su flexibilidad conductual y plasticidad fenotípica para sobrevivir. En América, pocas especies de primates habitan en altitudes elevadas, entre las que se destacan los monos nocturnos. En Colombia, los monos nocturnos *Aotus lemurinus* y *Aotus griseimembra* ocupan diversos hábitats, desde bosques conservados hasta fragmentados. Su dieta basada en frutos los convierte en importantes dispersores de semillas. Ambas especies están categorizadas como Vulnerables debido a la deforestación, la caza y el comercio ilegal.

Dado el impacto del cambio climático, los Modelos de Distribución de especies pueden prever cambios en los hábitats y contribuir a diseñar estrategias de conservación dentro de Áreas Protegidas. De esta forma se pretende identificar zonas, dentro o fuera de su área de distribución actual que cumplan con las condiciones climáticas idóneas y que además estén incluidas dentro de Áreas Protegidas, buscando así que los resultados puedan ser integrados a estrategias de conservación.

Metodología: El área de estudio comprende el territorio continental de Colombia (1,141,748 km²), enfocándose en la distribución de *Aotus lemurinus* y *Aotus griseimembra* en los Andes colombianos y la costa Caribe. Colombia presenta ciclos diurnos y nocturnos de precipitación influenciados por la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), la topografía y fenómenos como El Niño. En los Andes, el clima varía entre 26-28°C en zonas bajas y temperaturas bajo cero en las partes altas, con ecosistemas predominantes como bosques densos y mosaicos de cultivos. En la región Caribe, las temperaturas medias oscilan entre 26-28°C, con ecosistemas de bosques tropicales y ciénagas.

Los registros de presencia de ambas especies fueron obtenidos de la base de datos GBIF, filtrados y procesados con QGIS 3.38.1. Se seleccionaron 8 variables bioclimáticas del CMIP6 para el modelo MIROC6 desde WorldClim, evaluando escenarios SSP 1-2.6 y SSP 5-8.5 para los periodos 2011-2040 y 2081-2100, además de los históricos 1981-2010. Para evitar colinealidad y sobreajuste en los modelos, se realizó un análisis de correlación de variables. Finalmente, los datos fueron ajustados a la geometría de Colombia y almacenados en formato compatible con MaxEnt para su análisis.

El modelo estadístico se construyó con el algoritmo de máxima entropía en MaxEnt (v.3.2.1), elegido por su alta precisión en la estimación de áreas de distribución basadas solo en datos de presencia. Se realizaron diez réplicas para calcular la probabilidad de presencia promedio de *Aotus lemurinus* y *Aotus griseimembra*, obteniendo un modelo consenso. Se usó el 25% de los datos para la prueba del modelo, 5,000 permutaciones y un formato de salida logístico (0-1 de probabilidad de presencia). Se empleó el Área bajo la curva (AUC) como métrica de desempeño, donde valores cercanos a 0.9 indican modelos muy buenos.

A partir de los 10 modelos generados (2 históricos y 8 futuros), se identificaron las áreas más idóneas para la distribución de las especies con un umbral superior al 70%. Luego, estas áreas se superpusieron con el mapa de áreas protegidas en Colombia para determinar su potencial para la conservación de las especies.

Resultados: El Área bajo la curva promedio para *Aotus griseimembra* de 0.954 y para *Aotus lemurinus* de 0.918 indican que los modelos tienen un muy buen desempeño estadístico.

Las variables con mayor contribución para explicar el modelo para *Aotus griseimembra* son bio11 (Temperatura media del trimestre más frío), bio3 (Isotermalidad), bio2 (Rango promedio de temperaturas diarias (Tmax-Tmin)).

Se obtuvo que las variables con mayor contribución para explicar el modelo para *A. lemurinus* son bio9 (Temperatura media del trimestre más seco), bio3 (Isotermalidad), bio15 (Estacionalidad de la precipitación).

Se obtuvieron 199 registros georreferenciados para *Aotus lemurinus* y 266 para *Aotus griseimembra*. La primera especie se distribuye en el occidente y suroccidente de Colombia, mientras que la segunda abarca desde la costa norte de Colombia hasta el noroccidente de Venezuela. Ambas especies habitan en bosques secundarios, plantaciones de café y bosques degradados.

En cuanto a la modelación climática para *Aotus griseimembra* sugiere una posible expansión hacia el sur del país en escenarios futuros, aunque en algunas situaciones se predice una contracción en zonas aisladas. La complejidad biogeográfica podría dificultar su desplazamiento, incluso en escenarios optimistas.

Por otro lado, *Aotus lemurinus* muestra una contracción en sus áreas idóneas futuras en comparación con la situación actual, con énfasis en el Piedemonte Andino Amazónico y los valles interandinos. Las áreas protegidas de Colombia, como los parques naturales Serranía de Chiribiquete y Tinigua, tienen condiciones favorables para estas especies en escenarios futuros, aunque algunas áreas no son accesibles para ellas. Las áreas de mayor coincidencia entre las áreas de idoneidad climática y las áreas protegidas se encuentran principalmente en las regiones Andina y Amazónica del país.

Discusión: El clima, especialmente la temperatura, es el principal factor que influye en las especies de *Aotus lemurinus* y *Aotus griseimembra*, con menor influencia de la precipitación. La temperatura presenta desafíos adicionales en las especies nocturnas, afectando su termorregulación. La disponibilidad de recursos alimenticios también es crucial, ya que influye en el comportamiento y la actividad de los primates. Los cambios climáticos, como la sequía y los fenómenos extremos, impactan negativamente en su reproducción y producción de alimentos. Para 2100, se espera una contracción en las áreas idóneas de ambas especies, limitadas a la región andina.

La dispersión de estas especies se ve afectada por la fragmentación de hábitats debido a actividades humanas. Los ecosistemas fragmentados dificultan la conectividad entre áreas, aumentando la mortalidad durante la dispersión. Sin embargo, se han encontrado poblaciones en

hábitats fragmentados, lo que ofrece nuevas oportunidades de conservación. Para *Aotus lemurinus*, se sugiere fortalecer la conectividad entre áreas protegidas a lo largo de las cordilleras andinas, y en el Piedemonte Andino Amazónico. Para *Aotus griseimembra*, se recomienda centrar esfuerzos en el Parque Nacional Natural Catatumbo Barí.

Se destaca la utilidad de los Modelos de especies principalmente porque permiten obtener información relevante sin requerir infraestructuras costosas. Sin embargo, los Modelos de distribución de especies tienen limitaciones, como la no consideración de interacciones bióticas. Para mejorar estos modelos, se sugiere incorporar más variables y parámetros como competencia, dispersión y fragmentación del hábitat, y desarrollar modelos basados en datos fisiológicos de las especies.