

Efectos del cambio climático en la distribución geográfica del Mono Aullador (*Alouatta palliata*).

Introducción

El mono aullador se distribuye desde el sur de México hasta el noroeste de América del sur. A lo largo de su distribución, puede sobrevivir en una amplia variedad de hábitats, incluyendo bosques no alterados hasta paisajes severamente fragmentados y de baja calidad, a altitudes que varían entre 0 y 2500 m (Cuarón et al., 2020). Con respecto a su alimentación, se ha reportado el consumo de 476 especies, de las cuales *Samanea saman* y *Enterolobium cyclocarpum*, se incluyen entre las diez especies de plantas más frecuentemente reportadas en la dieta (Chaves et al., 2023).

Los monos aulladores enfrentan diversas amenazas que ponen en riesgo la salud y conservación de sus poblaciones (Estrada, 2015; Jones-Román et al., 2021). La pérdida y fragmentación del hábitat son algunas de las principales (Hill y Webber, 2010). Entre sus efectos se incluyen alteraciones en el patrón del hábitat (e.g., disminución del tamaño y aumento del número de parches, modificaciones en la estructura de la vegetación y la disponibilidad de alimentos), así como cambios en la biología de los primates (e.g., aumento del estrés fisiológico y la pérdida de diversidad genética).

Ahora bien, ante el avance del cambio climático, resulta esencial evaluar cómo podrían modificarse las condiciones de idoneidad ambiental para esta especie, utilizando herramientas de modelado de nicho ecológico. En este estudio se proyectó la distribución actual y futura de *A. palliata* bajo dos escenarios del IPCC: un escenario de bajas emisiones (RCP2.6) y uno de altas emisiones (RCP8.5).

Objetivo general

Evaluar la distribución geográfica del Mono Aullador (*Alouatta palliata*) y proyectada a dos escenarios de cambio climático (IPCC RCP 2.5 y RCP 8.5).

Métodos

Datos base: Se descargaron inicialmente 4986 registros, se eliminaron duplicados ambientales y datos posiblemente erróneos (e.i ubicado en el polo sur y o en el mar, o datos por sospecha de error que parecía ser registros que desde plataformas como inaturalist la persona reporto desde una ubicación que no correspondía al lugar donde se vio originalmente el individuo. El análisis parte de una base de dato de 152 puntos de presencia de *A. palliata*, a lo largo de toda su área de distribución (Figura 1). Se uso un área de calibración de 300 km alrededor de los puntos de presencia para establecer la zona para el análisis.

Se usaron las capas climáticas actuales (WorldClim 2.1, resolución 10 minutos) para la región de interés que comprende desde México hasta Perú. Se realizó un análisis de correlación de Spearman entre las 19 variables bioclimáticas de WorldClim, seleccionando aquellas con correlaciones menores a 0.8 para evitar redundancia y sobreajuste. Las variables finalmente utilizadas fueron: bio2 (rango diurno medio), bio3 (isotermalidad), bio12 (precipitación anual), bio13 (precipitación del mes más húmedo), bio15 (estacionalidad de la precipitación) y bio19 (precipitación del trimestre más frío). Estas variables fueron escogidas por su relevancia ecológica y su bajo nivel de colinealidad.

Para la elaboración de los modelos se aplicó un enfoque de modelado de elipsoides multivariados, seleccionando combinaciones de variables no correlacionadas y modelos con bajo error de omisión ($\leq 5\%$) y alto AUC. La binarización se realizó usando el percentil 10. Los modelos se proyectaron a futuro con escenarios CMIP6 - MIROC6 para 2041-2060 (RCP2.6 y RCP8.5). Se analizaron mapas de consenso de intersección y suma.

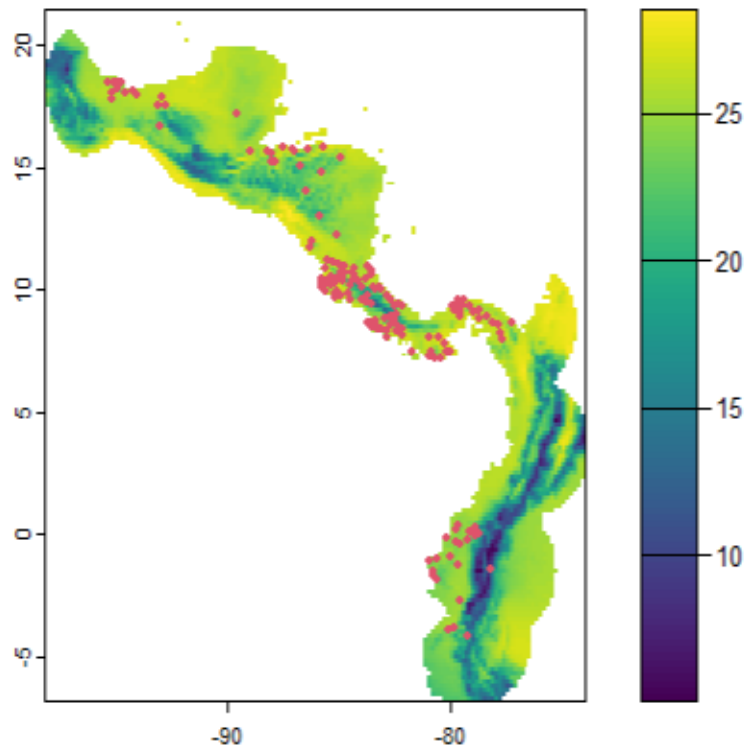


Figura 1. Puntos de presencia de *Alouatta palliata*

Resultados y discusión

Distribución actual

Se generaron 77 modelos de nicho ecológico para *Alouatta palliata* utilizando combinaciones distintas de variables bioclimáticas. Los modelos predicen consistentemente áreas de alta idoneidad ambiental a lo largo de la costa Pacífica y Atlántica de Centroamérica, el noroeste de Colombia y la costa norte de Ecuador, coincidiendo con la distribución natural de la especie (Figura 2). Se observaron diferencias leves en la extensión de las áreas de alta idoneidad entre modelos, reflejando la variabilidad en la combinación de variables ambientales utilizadas.

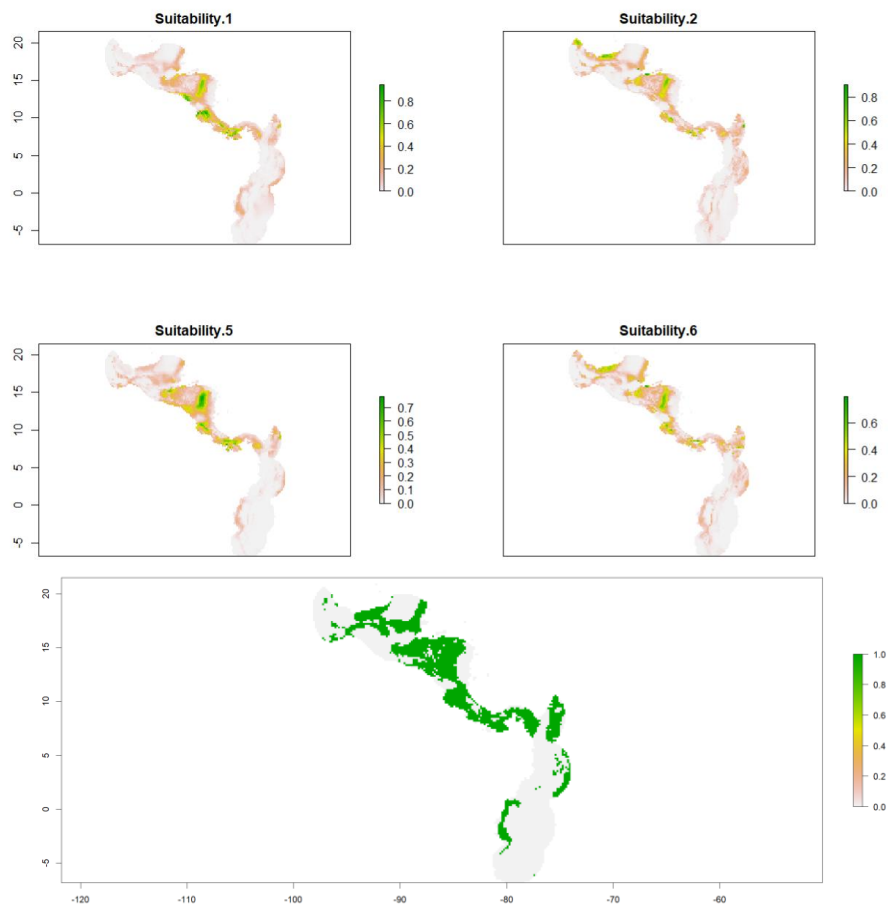


Figura 2. Modelos de idoneidad continua – presente, y Intersección de consenso entre modelos.

Espacio ambiental

El gráfico tridimensional representa una proyección del espacio ambiental ocupado por *Alouatta palliata*, en términos de tres variables bioclimáticas clave: rango diurno medio (bio2), precipitación del mes más húmedo (bio13) y precipitación del trimestre más frío (bio19). La distribución de los puntos dentro del elipsoide sugiere que *A. palliata* utiliza un rango ambiental caracterizado por diferencias térmicas diurnas moderadas y patrones específicos de precipitación, tolerando variaciones en humedad, pero dentro de límites bien definidos de temperatura y estacionalidad (Figura 3).

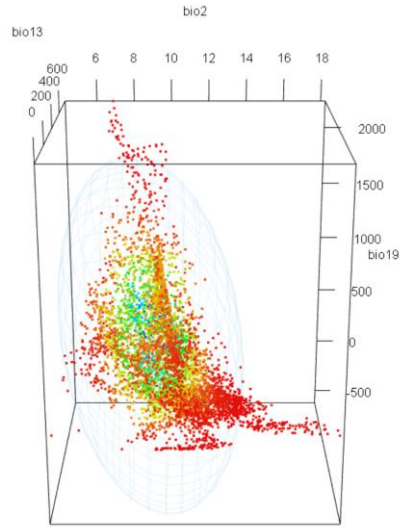


Figura 3. Espacio ambiental tridimensional ocupado por *Alouatta palliata*

Proyección futuro RCP2.6 y RCP8.5

Se realizó la proyección a dos escenarios el RCP2.6 y la RCP8.5 (Trayectorias Representativas de Concentración definidas por el IPCC), que corresponden a los escenarios de bajas y altas emisiones de gases de efecto invernadero, respectivamente. El escenario RCP2.6 implica una mitigación climática muy ambiciosa: las emisiones de GEI alcanzan un pico temprano seguido de una reducción sostenida (incluso con emisiones netas negativas en la segunda mitad del siglo), estabilizando la concentración de CO₂ en torno a 420 ppm hacia 2100, mientras que en la RCP8.5 asume una continuidad de las tendencias actuales sin medidas de mitigación, con un crecimiento persistente de las emisiones que eleva la concentración de CO₂ por encima de 900 ppm a finales de siglo.

La proyección de la distribución de *Alouatta palliata* bajo los escenarios de cambio climático RCP2.6 y RCP8.5 mostró patrones generales de estabilidad en el área de calibración, aunque con diferencias sutiles en la extensión e intensidad de la idoneidad ambiental. Bajo RCP2.6, se conservan amplias zonas de hábitat adecuado a lo largo de Centroamérica y el noroeste de Sudamérica, manteniendo corredores de conectividad importantes, especialmente en Nicaragua, Costa Rica y Colombia. En contraste, bajo RCP8.5, aunque la distribución general persiste, se observa una ligera fragmentación del hábitat idóneo, reducción de áreas altamente adecuadas (intensidad de verde) y pérdida de conectividad en sectores clave como el norte de Nicaragua y la costa pacífica de Panamá (Figura 4).

Conclusiones

- La distribución actual de *Alouatta palliata* se encuentra concentrada principalmente en zonas de la costa Pacífica y Atlántica de Centroamérica y el noroeste de Sudamérica, en concordancia con su rango de distribución natural reportado en la literatura.

- El espacio ambiental ocupado por *A. palliata* se encuentra restringido a un conjunto de condiciones climáticas específicas, caracterizadas por rangos moderados de variabilidad térmica y regímenes de precipitación particulares, lo que podría limitar su capacidad de adaptación frente a cambios ambientales drásticos.

La proyección de escenarios climáticos sugiere que, aunque *Alouatta palliata* podría mantener parte de su distribución en Centroamérica y el noroeste de Sudamérica, la calidad y continuidad de su hábitat se verán afectadas según el nivel de emisiones futuras. Mientras que bajo RCP2.6 se conservaría gran parte de los corredores de conectividad, el escenario RCP8.5 anticipa una reducción de zonas óptimas.

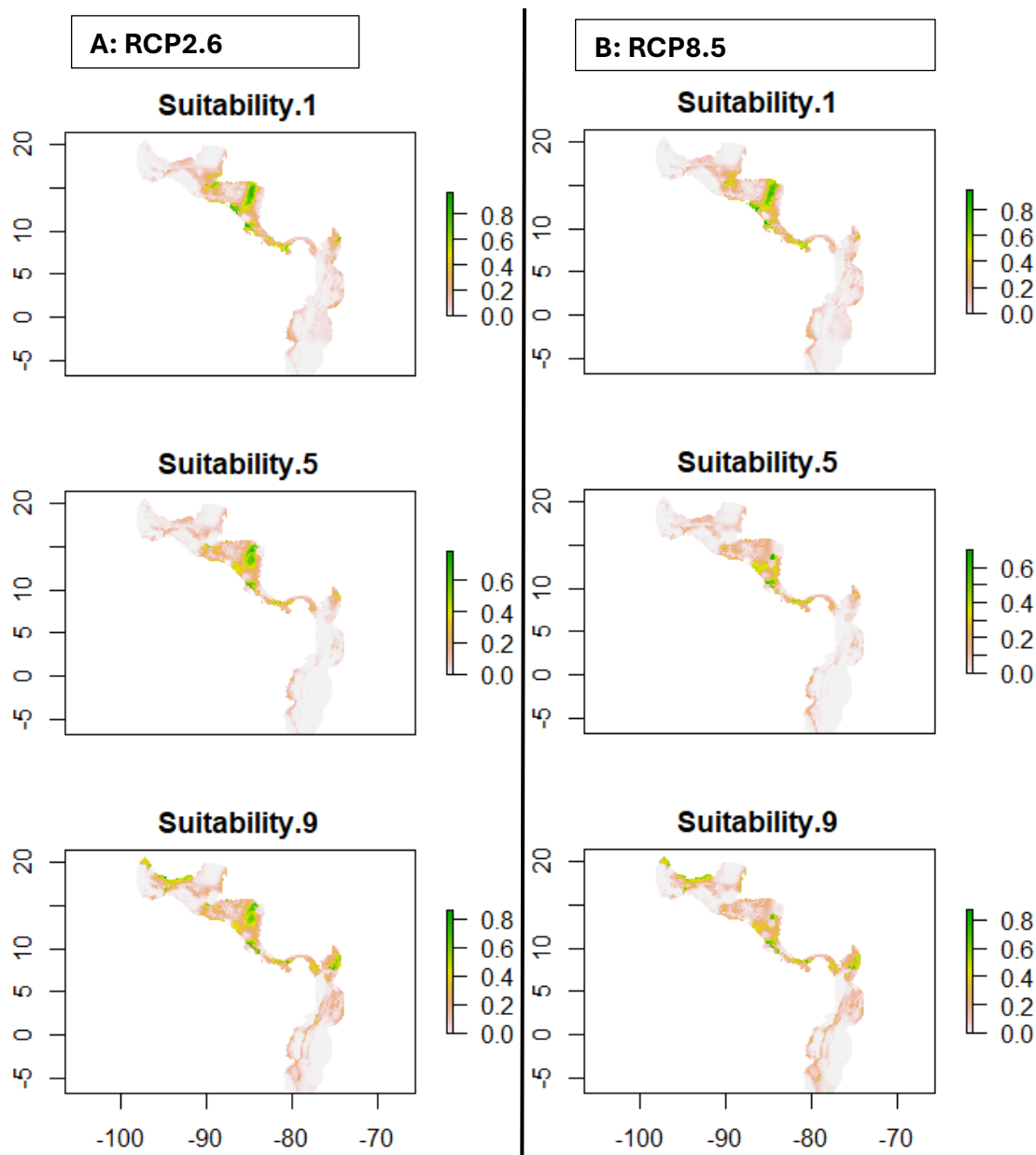


Figura 4. Comparativa de predicciones de nicho ecológico bajo escenarios climáticos contrastantes (RCP2.6 vs. RCP8.5).