

Posibles cambios en el rango de distribución de *Tapirus pinchaque* bajo escenarios de cambio climático

Robinson J. Herrera-Feijoo ¹,   María de Decker ¹,  Cristhian Chicaiza-Ortiz ^{1, 2}, 
Pedro Peñafiel Arcos ¹,  & Carolina Garzón Ortega ³, 

¹ Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Puyo EC160150, Ecuador

² China-UK Low Carbon College, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 201306, China

³ Investigadora Independiente, Quito EC170150, Ecuador

 Correspondencia: manitres12@gmail.com  + 593 98 0563 032

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj42004>

Resumen: *Tapirus pinchaque*, es una especie clave e ícono en la conservación de la riqueza biológica en los Andes tropicales. Se evaluó el efecto del cambio climático y su incidencia en la estabilidad, pérdida y ganancia de áreas de adecuación climática para *T. pinchaque* en su rango de distribución. Adicionalmente, se evaluó la efectividad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador (SNAP) actual en la conservación de la especie a futuro. Se utilizaron modelos de distribución y algoritmos de aprendizaje supervisado y combinando sus resultados para generar mapas consenso. Los resultados bajo las condiciones actuales predicen que el área adecuada para la distribución de *T. pinchaque* abarcará un total de 62.714 km², extendiéndose desde el norte de Colombia hasta el sur de Perú. Se determinó que, en la actualidad 39,4% del área total, corresponde al SNAP. Por otra parte, los diferentes modelos a futuro sobre cambio climático, predicen reducciones de áreas de adecuación de hasta 70,24% en su distribución total, mientras que dentro del SNAP se reportan reducciones para el 2050 de hasta 71,84%. Finalmente, los modelos presentados facilitan información clave para la toma de decisiones y desarrollo de políticas públicas orientadas al diseño de nuevas estrategias para la conservación del *T. pinchaque* en los Andes tropicales.

Palabras claves: Andes tropicales; áreas protegidas; conservación de biodiversidad; modelos de distribución de especies; *Tapirus pinchaque*



Check for updates

Cita: Herrera-Feijoo, R. J., de Decker, M., Chicaiza-Ortiz, C., Peñafiel Arcos, P., & Garzón Ortega, C. (2021). Posibles cambios en el rango de distribución de *Tapirus pinchaque* bajo escenarios de cambio climático. *Green World Journal*, 4(2), 004. <https://doi.org/10.53313/gwj42004>.

Recibido: 01/Junio/2021

Aceptado: 05/Julio/2021

Publicado: 10/Julio/2021

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor en Jefe / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Nota del editor: CaMeRa se mantiene neutral con respecto a las reclamaciones legales resultado del contenido publicado. La responsabilidad sobre la información publicada es íntegra de los autores.



© 2021 Licencia CaMeRa, Green World Journal. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Possible range shifts of *Tapirus pinchaque* under climate change scenarios

Abstract: *Tapirus pinchaque* is a keystone and iconic species in the conservation of biological richness in the tropical Andes. We evaluated the effect of climate change and its incidence on the stability, loss and gain of areas of climatic suitability for *T. pinchaque* in its distribution range. Additionally, the effectiveness of the current National System of Protected Areas of Ecuador (SNAP) in the conservation of the species in the future was evaluated. Distribution models and supervised learning algorithms were used and their results combined to generate consensus maps. The results under current conditions predict that the area suitable for the distribution of *T. pinchaque* will cover a total of 62,714 km², extending from northern Colombia to southern Peru. It was determined that, at present, 39.4% of the total area corresponds to the SNAP. On the other hand, the different future models on climate change predict reductions of up to 70.24% in the total distribution of suitable areas, while within the SNAP, reductions of up to 71.84% are reported for 2050. Finally, the models presented provide key information for decision making and development of public policies aimed at designing new strategies for the conservation of *T. pinchaque* in the tropical Andes.

Keywords: Tropical Andes; protected areas; biodiversity conservation; species distribution modeling; *Tapirus pinchaque*

1. Introducción

La danta de montaña, *Tapirus pinchaque* fue descrita por primera vez en 1829 [1], se distribuye en los Andes sudamericanos, en un rango altitudinal que oscila entre los 1.400 a 4.700 m sobre el nivel del mar [2], incluyendo Colombia, Ecuador y el norte de Perú [3,4]. Se considera una especie ícono de la riqueza biológica en Ecuador [5]. Es una especie herbívora, cuya alimentación incluye un amplio rango de plantas [6], por lo cual es considerada una especie clave en la conservación [7], debido a su potencial en la distribución de semillas, así como indicadora del estado de conservación en ecosistemas y páramos andinos [2,8]. Se encuentra catalogada actualmente como “en peligro” (EN) en la Lista Roja de Especies Amenazadas de International Union for Conservation of Nature (UICN) debido a que, en las últimas décadas, tanto sus poblaciones como su hábitat se han reducido por la agricultura, la deforestación y la caza ilegal [9,10]. Se conoce que la mayor parte de las poblaciones de *T. pinchaque* han sido visualizadas dentro de los límites geográficos de las áreas protegidas (AP) [11–14].

Las AP son una pieza clave la conservación de biodiversidad de nivel mundial [15–18], debido a que ayudan a mitigar los efectos adversos generados por las diversas actividades antrópicas [19–21]. En el convenio sobre la diversidad biológica (CBD), se propuso lograr que el porcentaje cubierto por las AP sea igual o superior al 17% de la superficie terrestre a nivel global en el 2020 [22]. En 2018, se registraron un total de 238.563 áreas protegidas, estas conservan alrededor de 20 millones de km², lo que equivale al 14,9% de la superficie terrestre a escala global [23]. Las AP, además de ser cruciales en la conservación de biodiversidad, se estima que secuestran alrededor del 20% del carbono presente en la atmósfera [20], que las vuelve cruciales en la mitigación de los efectos del cambio climático [21,24]. Los últimos dos informes del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), sugieren que el cambio climático provocará un aumento en las temperaturas medias

globales de hasta en 4 °C para el año 2100 [25]. Se estima que el cambio climático podría ser el factor clave en la extinción de 7,9% de las especies a nivel mundial [26].

T. pinchaque es el mamífero más pequeño de todas las especies actuales del género *Tapirus* [27]. Los mamíferos son uno de los grupos taxonómicos más conocidos [28,29], sin embargo, también son uno de los grupos más vulnerables a los impactos generados por el cambio climático en sitios como la región andina sudamericana [30,30]. Esta región se caracteriza por tener el mayor número de especies endémicas en el planeta [31]. Un análisis global, muestra que la biodiversidad de vertebrados está presentando reducciones drásticas [32], que superan hasta por 1000 veces las reducciones conocidas históricamente, esto sugiere un proceso de extinción masiva [33]. Es crucial identificar zonas donde las especies vulnerables y en peligro de extinción tal como es el caso de *Tapirus pinchaque*, puedan ser protegidas y monitoreadas frente a los efectos del cambio climático a futuro [34,35]. Una de las herramientas más empleadas y con gran aceptación para conocer los posibles efectos del cambio climático es el uso de modelos de distribución de especies (MDEs) [36] que permiten elaborar estrategias de conservación [37,38], entre otras múltiples aplicaciones [39].

Existen estudios previos del uso MDEs enfocados en predecir la distribución de *T. pinchaque* en países tales como Ecuador [2] y Colombia [10], sin embargo estos exploran solo una parte del nicho climático de la especie y se limitan al uso del software Maxent [40], como único algoritmo de en la generación de los modelos. Es conocido que el nicho climático de la especie no es capturado completamente [41] por modelos calibrados a escalas pequeñas [42,43], y las proyecciones climáticas no son precisas [39]. Por ello, en este estudio se considera las posibles condiciones adecuadas en el nicho climático actual y futuro de *T. pinchaque* en Sudamérica por medio del uso de modelos de distribución de especies para alcanzar los siguientes objetivos: 1) modelar la distribución actual y futura de *T. pinchaque* bajo diferentes escenarios climáticos, 2) identificar los posibles cambios en las áreas de distribución de *T. pinchaque* en su rango de distribución a futuro, 3) evaluar la eficacia de la cobertura actual del SNAP para Ecuador, Perú y Colombia en la protección efectiva de la especie, 4) proponer posibles medidas de conservación de ayuden maximizar la eficiencia de los Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador (SNAP) actual.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio.

Se consideró una extensión geográfica que con el fin de explorar todas las posibles condiciones ambientales accesibles en el nicho climático del *T. pinchaque* [44]. El análisis se llevó a cabo en una extensión definida entre longitudes 74 ° W y 82 ° W y latitudes 8° N y 11° S, resultando aproximadamente 1'864.985 km² (Figura 1). Específicamente, se delimitó el área de estudio incluyendo el norte Colombia, Ecuador y al Sur, Perú, entre altitudes que superan los 4700 m.s.n.m [2,45].

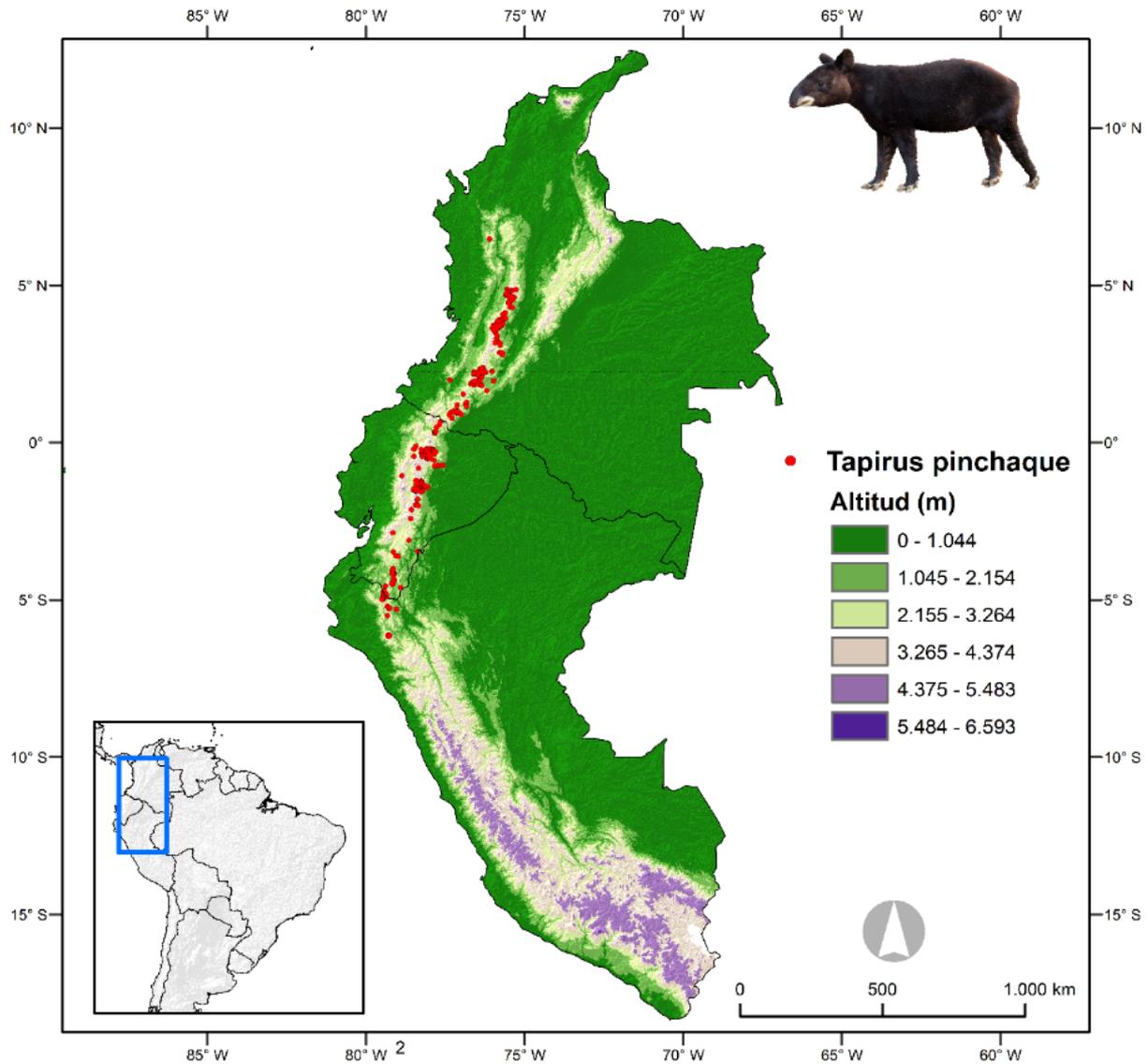


Figura 1. Área de estudio y distribución de *T. pinchaque*

2.2 Métodos

2.2.1 Datos de presencia

Se recopilaron registros georreferenciados de presencia para *Tapirus pinchaque*, obtenidos a partir de tres fuentes: 1) literatura científica [2,4,46], 2) observaciones propias mediante cámaras-trampa, huellas, heces y pelo, y 3) base de datos de GBIF (Global Biodiversity Information Facility). Para depurar el conjunto de registros de presencia, se realizó un proceso previo de calidad de los datos: 1) eliminación de registros con inconsistencias geográficas, 2) eliminación de registros duplicados, 3) reducción de agregación espacial entre registros cercanos. La agregación espacial hace referencia al esfuerzo de monitoreo de las especies en áreas de fácil acceso (e.g vías, ríos, centros poblados) [47], es conocido que esta agregación puede influir en la generación de modelos que predicen el esfuerzo de colecta y no la distribución potencial de la especie [48,49]. Por este propósito, los registros fueron filtrados mediante una distancia mínima de adelgazamiento de 1x1 km, de forma que se obtuviera un registro por cada píxel.

2.2.2 Condiciones climáticas actuales y futuras

Se han utilizado 19 variables climáticas tanto en la generación de modelos para condiciones de clima presente y futuro, estas fueron obtenidas de la base de datos CHELSA, a una resolución de 1 x 1 km² [50]. Para evaluar las condiciones del nicho climático futuro, se consideró la incertidumbre y variabilidad asociada a los modelos climáticos disponibles [51,52]. Se conoce que esta variabilidad puede incidir en los resultados generados en las proyecciones futuras [41]. Por ello, se realizó una revisión previa de los distintos modelos de circulación global y trayectorias de concentración de disponibles [53,54], métodos y algoritmos utilizados en su elaboración; parámetros ambientales y actividades antrópicas consideradas en los modelos, resolución espacial y su desempeño en estudios previos relacionados a modelos de distribución de especies [41,55,56].

Se consideró proyecciones de 2 modelos de cambio climático global (MCG) del IPCC: CCSM4 (Community Climate System Model-4) y MIROC5 (Center for Climate System Research, University of Tokyo), así como dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, RCP 4.5 y RCP 8.5 (IPCC, 2013). El RCP 4.5 representa un escenario optimista donde las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzan un punto máximo en 2040, mientras que el RCP 8.5 representa un escenario de cambio climático pesimista donde las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) siguen aumentando hasta el 2100 [54].

Para evitar la multicolinealidad entre variables y sobreajuste en las predicciones [57], se llevó a cabo un análisis de correlación entre pares de variables, usando un coeficiente de correlación de Pearson superior a 0,8 [58]. Finalmente, un conjunto de 6 variables fue usado para llevar a cabo los modelos: bio1 (temperatura media anual), bio2 (rango de temperaturas diurnas), bio3 (isotermalidad), bio4 (estacionalidad de la temperatura), bio12 (precipitación anual), bio15 (estacionalidad en la precipitación).

2.2.3 Generación de modelos

Se utilizó cuatro algoritmos de modelado predictivo con el fin de reducir la incertidumbre propia de usar un único método [59] y poder evaluar la estabilidad o divergencia de los resultados. Los algoritmos fueron: Random Forest [60], multivariate adaptive regression splines [61], maximum entropy [40] y Generalized Additive Models [62]. Dichos algoritmos han sido utilizados con mayor frecuencia en las últimas dos décadas [63]. Todos los algoritmos fueron ejecutados en el paquete estadístico Biomod2 operando en el entorno R [64].

Dado que nuestro conjunto de datos para la danta de montaña, corresponden a datos de solo-presencia, se generó de manera aleatoria 10.000 puntos al azar (pseudo-ausencias) en nuestra área de estudio. Las presencias y pseudo-ausencias fueron ponderadas de modo que tuvieran el mismo valor de prevalencia (0,5) [65]. Se ejecutaron 10 réplicas para cada uno de los algoritmos, utilizando una división aleatoria del conjunto de datos inicial, de forma que los modelos fueron creados con el 80% del conjunto de datos de presencia (presencias y pseudo-ausencias) y evaluados con 20% restante.

El desempeño predictivo de los modelos fue evaluado usando el área bajo la curva (AUC) de la característica operativa del receptor (ROC) [66]. El AUC ha sido ampliamente utilizado debido a

que es una medida de exactitud independiente de un umbral [67]. El AUC puede ser interpretado mediante un rango de idoneidad de 0 a 1, donde un modelo óptimo tendría un AUC de 1, mientras que un modelo que predice las presencias de forma aleatoria tendría un AUC de 0,5 [68].

Fueron descartados todos los modelos con un valor de AUC < 0,8 con el objetivo de preservar aquellos que tuvieron un mayor poder predictivo [39]. Posteriormente, se generó un modelo de consenso [59,69], este fue generado mediante la media ponderada de los valores de AUC para cada uno de los modelos que tuvieron un AUC \geq 0,8 [69,70]. Posteriormente, el mapa consenso fue proyectado a condiciones de clima futuro considerando cada uno de los escenarios de emisiones (RCP 4.5 y 8.5) y sus respectivos modelos de circulación global.

El modelo consenso para condiciones de clima actual y los modelos generados para condiciones de clima futuro, fueron convertidos de formato continuo a binario (adecuado = 1, no adecuado = 0). Distintos estudios han sido desarrollados para evaluar el desempeño de diversos umbrales en la binarización de modelos continuos [71–73]. En este estudio, se utilizó un umbral que consideró el 95% de los datos usados en la generación del modelo, es decir se usó un error de omisión del 5% [68].

2.2.4 Análisis del efecto del cambio climático en la distribución de *T. pinchaque*

Se evaluó el posible efecto del cambio climático sobre la distribución potencial de *T. pinchaque*, para llevar a cabo este proceso, se calculó la diferencia existente entre el número de píxeles ocupados por la distribución potencial actual frente a la distribución potencial futura, para cada uno de los escenarios de cambio climático utilizado [74]. Todo esto, con el objetivo de identificar posibles áreas potenciales de ganancia, pérdida y estabilidad del área de distribución de *Tapirus pinchaque* [75,76]. Para llevar a cabo este proceso se utilizó la función BIOMOD_RangeSize implementada en el paquete estadístico Biomod2, operando en el entorno R [64].

2.2.5 Evaluación del desempeño actual y futuro del SNAP en la conservación de *T. pinchaque*

Se evaluó la importancia del SNAP en la conservación de *T. pinchaque*, por ende, se calculó el porcentaje de área de distribución dentro del SNAP declarados hasta la fecha actual. Por otra parte, fueron comparados el modelo consenso bajo condiciones actuales y los modelos proyectados a escenarios futuros, para estimar las áreas de pérdida, ganancia y estabilidad de distribución dentro del SNAP actual. Adicionalmente, se llevó a cabo una evaluación del número de SNAP, que se encuentran dentro de las áreas predichas bajo condiciones actuales y para cada uno de los MCG y RCP respectivos. Para llevar a cabo estos análisis, fue necesario descargar el mapa vectorial del SNAP a escala global y recortarlo en base a nuestra área de estudio, este mapa fue obtenido de la base mundial de áreas protegidas (<https://www.protectedplanet.net/>).

3. Resultados

Todos los modelos generados para *T. pinchaque* presentaron valores de AUC superiores a 0,80, esto sugiere que nuestros modelos son estadísticamente robustos. En base al modelo consenso bajo condiciones de clima actual, se estima que el área adecuada para la distribución de *T. pinchaque*, abarca un total 62.714 km² (Figura 2).

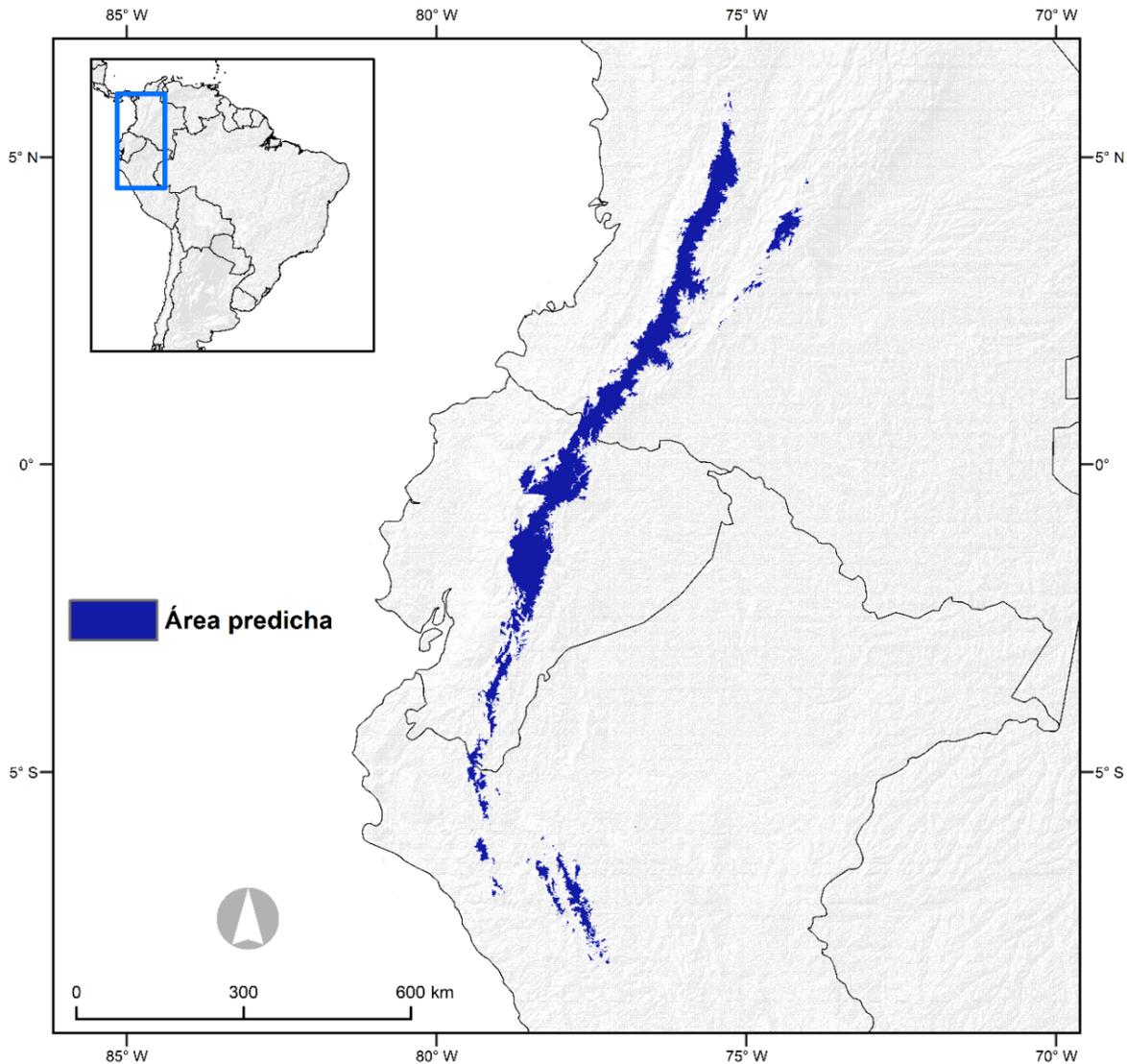


Figura 2. Áreas potencialmente adecuadas para *T. pinchaque* en condiciones actuales en Colombia, Ecuador y Perú.

De ese total, 29.223 km² (46,6%) se encuentra en Colombia, mientras 26.251 km² (41,9%) en Ecuador y 7.240 km² (11,5%) en Perú (Figura 2). Nuestros resultados sugieren que bajo condiciones actuales, *T. pinchaque* se encuentra presente en zonas con un rango altitudinal que oscila entre 1.317–5.539 m.s.n.m, precipitación media anual entre 415–4.596 mm y temperatura media anual entre -1,8 – 19,9 °C (Tabla 1).

Tabla 1. Áreas de adecuación climática predichas por los modelos para *T. pinchaque* bajo condiciones de clima futuro.

MODELO/RCP	Estabilidad (km ²)/%	Perdida (km ²)/%	Ganancia (km ²)/%
CCSM4/4.5	25.853/41,22	36.861/58,78	41.356/65,94
CCSM4/8.5	18.661/29,76	44.053/70,24	38.417/61,26
MIROC5/4.5	35.295/56,28	27.419/43,72	59.511/98,89
MIROC5/8.5	33.394/53,25	29.320/46,75	48.168/76,81

Se muestran los cambios reportados en la distribución de *T. pinchaque* considerando los modelos de cambio climático futuro en la Figura 3.

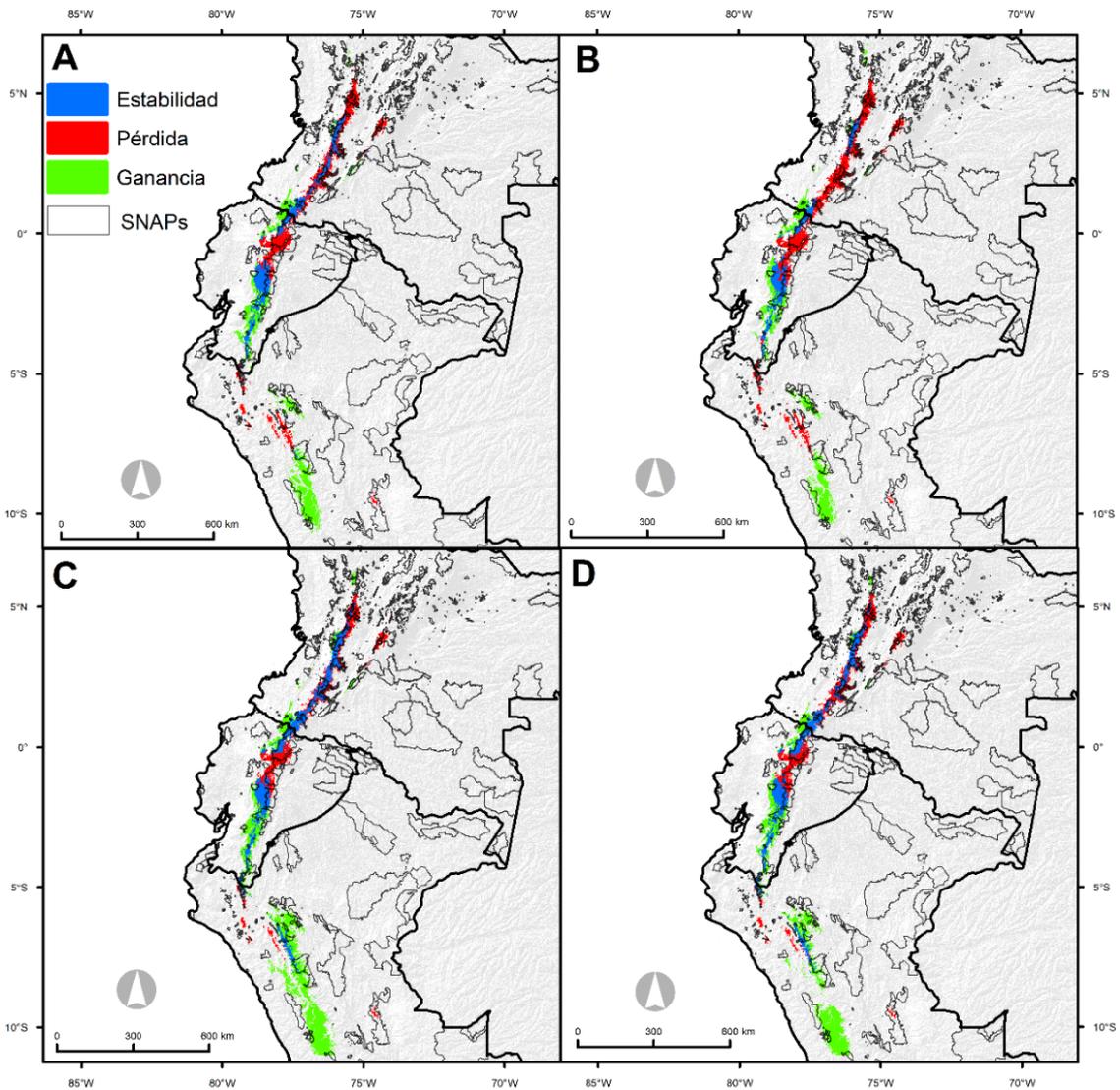


Figura 3. Cambios predichos por los modelos en las áreas de adecuación climática para *T. pinchaque* bajo condiciones de clima futuro dentro de su rango de distribución y SNAP. A) Modelo CCSM4 – RCP 4.5; B) Modelo CCSM4 – RCP 8.5; C) Modelo MIROC5 – RCP 4.5; D) Modelo MIROC5 – RCP 8.5.

Nuestros modelos sugieren importantes reducciones que van desde 43,72 al 58,78% en el RCP 4.5, mientras que para el RCP 8.5 estas van desde 46,75 al 70,24%. Sin embargo, también se reporta importantes ganancias que van desde 65,94 a 98,89% en el RCP 4.5 y desde 61,26 a 76,81% en el RCP 8.5. Se evidenció que estas ganancias se darán en zonas donde las temperaturas descienden hasta los $-3,7^{\circ}\text{C}$, lo que demuestra que la especie se adaptará en ambientes más fríos donde las altitudes alcanzan hasta los 6.189 m.s.n.m. Por otra parte, los modelos también predicen áreas de estabilidad donde la especie mantendrá su distribución, estas áreas van de 41,22% a 56,28% en el RCP 4.5 y para el RCP 8.5 se reporta que van de 29,76 a 53,25%. Todos los cambios reportados, son una respuesta clara de la especie a los efectos del cambio climático en andes tropicales. Nuestros resultados indican que *T. pinchaque* buscará nuevas zonas para su distribución en áreas con mayores altitudes, temperaturas y precipitaciones en comparación a las conocidas en la actualidad (Tabla 2).

Tabla 2. Rangos ambientales predichos por los modelos para *T. pinchaque* bajo condiciones actuales y futuras.

MODELO/RCP	Altitud (m)	Precipitación (mm)	Temperatura
ACTUAL	1.317–5.539	415–4.596	–1,8 – 19,9
CCSM/4.5	1.802–6.063	398–5.545	–3,7 – 18,5
CCSM/8.5	1.908–6.063	486–6.467	–3,1 – 18,6
MIROC/4.5	1.747–6.189	454–4.668	–3,4 – 19,3
MIROC/8.5	1.837–6.063	407–4.501	–3,2 – 18,9

3.1. Áreas protegidas

En lo que concierne al SNAP, en la actualidad son 127 AP en las cuales, nuestros modelos predicen áreas adecuadas para la distribución de *T. pinchaque*. Estas AP representan el 39,4% (24.734 km²) del total de la distribución de *T. pinchaque* en la región andina. Nuestros resultados sugieren que las AP con mayor representatividad en el rango de distribución actual de *T. pinchaque* son: Parque Nacional Cayambe-Coca (3.861 km²), Parque Nacional Sangay (2.827 km²), Parque Nacional Natural Nevado del Huila (1.859 km²), Parque Nacional Llanganates (1.702 km²), Parque Nacional Natural Las Herosas Gloria Valencia de Castaño (1.443 km²), Parque Nacional Natural de Puracé (1.073 km²), Reserva Ecológica Antisana (967 km²) (Figura 3). En la tabla 3, se detallan las pérdidas, ganancias y estabilidad de áreas adecuadas en la distribución de la especie en el SNAP considerando los modelos climáticos futuros.

Tabla 3. Áreas de adecuación climática predichas bajo condiciones climáticas actuales y futuras para *T. pinchaque* dentro del SNAP.

MODELO/RCP	SNAP Estabilidad (km ²)/%	SNAP Pérdida (km ²)/%	SNAP Ganancia (km ²)/%
CCSM4/4.5	10.289/41,60	14.380/58,14	8.178/33,06
CCSM4/8.5	6.923/27,99	17.768/71,84	8.535/34,51
MIROC5/4.5	13.477/54,49	11.198/45,27	8.808/35,61
MIROC5/8.5	13.143/53,14	11.452/46,30	8.204/33,17

Los resultados para el periodo 2050, sugieren que existe la tendencia a reducciones en las áreas de distribución de *T. pinchaque* en el SNAP que van desde 45,27 al 58,14% en el RCP 4.5 considerando cada MCG, por otra parte en el RCP 8.5 se reportan reducciones de 46,30 al 71,84%. Sin embargo, se evidenciaron ganancias de áreas adecuadas que van de 33,06 al 35,61% en el RCP 4.5 y para el RCP 8.5 de 33,17 al 34,51%. Finalmente, se reportan áreas con estabilidad de áreas adecuadas para la distribución de la especie, dichas áreas serán de hasta 41,60 en el RCP 4.5 y 53,15% en el RCP 8.5.

Se muestran los resultados del análisis realizado a nivel del número de AP, detallando cuáles reportan posibles pérdidas, ganancias o estabilidad de áreas adecuadas para la distribución de *T. pinchaque* en 2050 en la Figura 4.

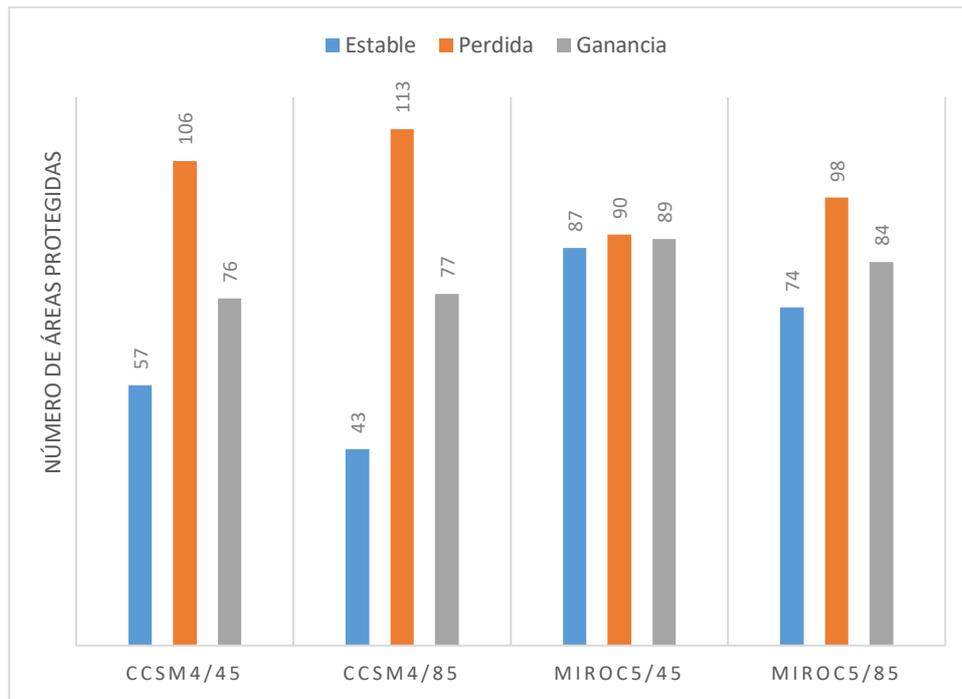


Figura 4. Número de áreas protegidas que reportarán cambios en las áreas de distribución para *T. pinchaque* bajo condiciones de clima futuro.

Estos sugieren que existirán reducciones importantes de áreas adecuadas dentro del SNAP, las cuales llegarán a ser de inclusive 83,46%(106 AP) en el escenario optimista y 88,97%(113AP) en el escenario pesimista. Por otra, también se evidenció áreas de ganancia que sugieren que *T. pinchaque* se adaptará a nuevas zonas climáticas con el objetivo de su supervivencia, estas ganancias serán de hasta el 70,07% (89 AP) para el RCP 45 y 66,14%(84 AP) para el RCP 8.5. Finalmente, se reporta que existen áreas protegidas en las cuales, se mantendrán estables las áreas adecuadas para la distribución de *T. pinchaque*, dichas áreas serán de hasta el 68,50%(87 AP) en el RCP 4.5 y hasta 58,27 en el RCP 8.5.

4. Discusión

En este estudio, se evaluó la distribución actual y futura de *T. pinchaque* usando modelos consensos creados a partir de la combinación de múltiples algoritmos de lenguaje supervisado. Aquí, también se presenta una evaluación de como los efectos del cambio climático influyen el perdida, ganancia y estabilidad de áreas de distribución de *T. pinchaque*. Finalmente, en este estudio se evaluó la efectividad del SNAP actual en la conservación a futuro de *T. pinchaque*.

En lo que concierne al modelo consenso para condiciones de clima actual, este predice que el área adecuada para la distribución de *T. pinchaque* será de 62.714 km² (Figura 2), encontrándose presente en Colombia (29.223 km²), Ecuador (26.251km²), Perú (7.240 km²). En condiciones actuales, el modelo predice que *T. pinchaque* encontrará las condiciones necesarias para su supervivencia en un rango altitudinal que oscila entre 1.317–5.539 msnm. Este rango discreta con lo reportado por Ortega-Andrade et al. (2015), el cuál realizó un análisis de distribución potencial de *T. pinchaque* en Ecuador, donde se sugiere que su rango altitudinal llega máximo hasta los

4.500 msnm. No obstante, por otra parte [78], establece que el rango altitudinal para *T. pinchaque* oscila entre 1.200–4.700 msnm. Por consiguiente, se sugiere que los resultados presentados sean tomados con cautela, hasta que se pueda comprobar mediante nuevos trabajos de campo, la presencia de la especie en zonas con esos rangos altitudinales descritos por el modelo actual.

Por otra parte, las proyecciones realizadas bajo condiciones de clima futuro en todos los MGC y sus respectivos RCPs predicen pérdidas de áreas adecuadas para distribución de *T. pinchaque*. El cambio climático reducirá en promedio ~58,78% en el RCP 4.5 y ~ 70,24% en el RCP 8.5. De igual forma, también se observaron cambios en las condiciones ambientales para el periodo 2050 (Tabla 3), donde los modelos sugieren que existirá un aumento de ~650 m en el rango altitudinal al ser comparado con el modelo bajo condiciones actuales. Diversos estudios sugieren que las especies de montaña en los Andes tropicales son más vulnerables a los cambios de clima, sufriendo cambios en su distribución, modificando su rango de elevación hacia temperaturas más frías [79–81].

Con respecto al SNAP, los modelos indican que representan el 39.4% del rango de distribución de *T. pinchaque* bajo condiciones de clima actual. Los porcentajes de cobertura del SNAP, mostrados por nuestros modelos son similares a los reportados en estudios previos para países como Colombia y Ecuador [2,77]. El SNAP es una estrategia clave en la conservación de la biodiversidad [15, 82,83]. Sin embargo diversos estudios sugieren que el SNAP declarados hasta la actualidad no son lo suficiente eficientes [84–86], debido a que las especies de montaña están modificando sus patrones de distribución [87,88], como una reacción ante los efectos del cambio climático [89] y el crecimiento desmesurado de la población en los Andes tropicales [90–92].

Bajo los diferentes escenarios de cambio climático, los modelos muestran pérdidas significativas dentro de los límites del SNAP en todos MGC y RCPs (Figura 4, Tabla 3). Las pérdidas reportadas por los modelos sugieren que el hábitat adecuado puede reducirse hasta un 83,46% en el RCP 4.5 y 88,97% para el RCP 8.5. Estos resultados, discrepan con los obtenidos en estudios previos que reportan perdidas menores al 50% en ambos RCPs [2,77]. Sin embargo, los también predicen áreas estables que representan el 41,60% en el RCP 4.5 y 53,15% en el RCP 8.5. Se pudo evidenciar que las áreas que se mantendrán estables a futuro, se concentran en la parte central de la cordillera de los Andes. Por otra parte, los modelos reportan ganancias de áreas de hasta 35,61% en el RCP 4.5 y 34,51% para el RCP 8.5. Estas ganancias de áreas son detectadas por los modelos en el Norte de Colombia y Sur de Perú (Figura 3). En contraste, estas áreas nos permiten evidenciar que *T. pinchaque* nuevas áreas dónde las condiciones ambientales en su rango de distribución para el periodo 2050 (Tabla 2), sean las adecuadas para precautelar su supervivencia.

Todos los cambios reportados en este estudio, apuntan a que los principales factores de reducción de áreas de adecuación climática para *T. pinchaque*, dentro del rango de distribución futura están relacionados a la deforestación, aumento de la frontera agrícola, caza ilegal y aumento poblacional [2, 9,10]. Estudios recientes sugieren que las poblaciones de Tapires en los Andes tropicales, están evidenciando pérdidas de hasta 30% y se estima esta tendencia podría alcanzar hasta un 50% en los próximos 30 años [10,12].

Por ello, ante los posibles efectos del cambio climático que la especie podría experimentar a futuro, se sugiere que los grupos y organizaciones enfocadas en la conservación de *T. pinchaque*, facilitar los datos obtenidos en sus trabajos de campo y observaciones personales, con el objetivo de encaminar esfuerzos en desarrollar plataformas de acceso libre, que permitan acceder de forma gratuita y con fines de conservación de la especie [93], a datos georreferenciados que tengan asociados las condiciones de hábitat de *T. pinchaque* en la zona donde haya sido visualizado. Es importante considerar que este tipo de acciones, incentivan a la comunidad científica a realizar investigaciones, que permitan evolucionar en el conocimiento actual de la especie mediante el acceso a datos biológicos [94].

Ante la poca efectividad del SNAP a futuro para la conservación de *T. pinchaque*, se sugiere se desarrollen evaluaciones que permitan el diseño y declaración de corredores ecológicos, que maximicen la conectividad entre AP y áreas fragmentadas por las actividades antrópicas. Existe evidencia de la efectividad de los corredores ecológicos en la conservación de *T. pinchaque* [11,95]. Además, se recomienda se incremente el uso de tecnologías de monitoreo: cámaras trampa [96,97], que permitan ampliar el conocimiento de los hábitats que son visitados por *T. pinchaque* dentro de su rango de distribución. Por consiguiente, esto ayudará en la identificación y evaluación de zonas más amplias de bosques y páramos andinos [27,98], que tengan potencial para ser usados como áreas para la conservación de *T. pinchaque* al ser declarados dentro del SNAP.

Finalmente, se recomienda se desarrolle y plantee ante los tomadores de decisiones, la aplicación de políticas públicas [99,100], que permitan implementar programas de educación ambiental y conservación de *T. pinchaque* en los Andes tropicales, logrando materializar las estrategias de conservación planteadas en este estudio.

5. Conclusión

En este estudio, se utilizó modelos de distribución de especie para modelar la distribución actual y futura de *Tapirus pinchaque* con el objetivo de evaluar los posibles cambios de su distribución y la influencia del SNAP en su conservación. En base a los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones: 1) El desempeño de la combinación de diferentes algoritmos tuvo un buen desempeño estadístico, como lo muestra el valor de AUC contenido en el modelo conceso. 2) El modelo actual permitió presentar las áreas adecuadas para la distribución actual de *Tapirus pinchaque* dentro de su rango nativo y su vez conocer las condiciones ambientales actuales a la que la especie tendría acceso 3) Los modelos futuros sugieren que *Tapirus pinchaque* reportará reducciones significativas dentro de su rango de distribución y el interior de los SNAP actuales. Por ello, este estudio facilita información clave para el manejo y preservación de la especie a futuro; sugiriendo a los tomadores de decisiones y gobernantes de los países donde la especie habita, que se promueva la implementación de estrategias y programas que permitan su conservación.

Agradecimiento: R. J. H. F agradece a la Universidad Estatal Amazónica y Universidad de Extremadura por la beca concedida para realizar los estudios de Maestría. Además, agradece a Rubén G Mateo

y Ángel Felicísimo por la asesoría brindada. Finalmente, todos los autores agradecen a Diego Lizcano por facilitar los datos obtenidos en campo de *T. pinchaque* en el área de estudio.

Contribución de autores: Idea, Conceptualización (R. J. H. F y M. D); Metodología (R. J. H-F, M. D, P. P. A, C. C, C. G. O.); Software (R. J. H-F, M. D, C. G. O.); Redacción (R. J. H-F, M. D, C. G. O., C. C, P. P. A.)

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias:

1. Roulin, F.D. Mémoire Pour Servir à l'histoire Du Tapir, et Description d'une Espèce Nouvelle Appartenant Aux Hautes Régions de La Cordillère Des Andes; Académie royale des sciences at belles-lettres, 1829;
2. Ortega-Andrade, H.M.; Prieto-Torres, D.A.; Gómez-Lora, I.; Lizcano, D.J. Ecological and Geographical Analysis of the Distribution of the Mountain Tapir (*Tapirus Pinchaque*) in Ecuador: Importance of Protected Areas in Future Scenarios of Global Warming. *PLoS one* **2015**, *10*, e0121137.
3. Downer, C.C. Status and Action Plan of the Mountain Tapir (*Tapirus Pinchaque*). *Tapirs, Status, Survey and Conservation Action Plan*. IUCN, Gland, Switzerland **1997**.
4. González-Naranjo, J.A. Registro de Tapir de Montaña *Tapirus Pinchaque* (Mammalia: Perissodactyla) En La Reserva Natural Estrella de Agua, Sector Nororiental Del Departamento Del Quindío, Colombia. *Mammalogy Notes* **2018**, *5*, 9–11.
5. Hoorn, C.; Ortega Andrade, H.M.; Bonaccorso, E.; Linder, P. Celebrating Alexander von Humboldt's 250 Th Anniversary: Exploring Bio-and Geodiversity in the Andes (IBS Quito 2019). **2019**.
6. Loor, D.K.B.; Puig, J.P.R. Dieta Del Tapir de Montaña (*Tapirus Pinchaque*) En Tres Localidades Del Corredor Ecológico Llangantes-Sangay. *Serie Zoológica* **2011**, *7*, 1–13.
7. Loaiza, P.J.A.; Cordova, P.A.A.; Valverde, F.M.V.; Ordóñez, D.A.T.; Torres, A.C.E.; Moretta, P.Y. El Tapir de Montaña (*Tapirus Pinchaque*), Como Especie Bandera En Los Andes Del Sur Del Ecuador. *INNOVA Research Journal* **2017**, *2*, 86–103.
8. Lizcano, D.; Pizarro, V.; Cavelier, J.; Carmona, J. Geographic Distribution and Population Size of the Mountain Tapir (*Tapirus Pinchaque*) in Colombia. *Journal of Biogeography* **2002**, *29*, 7–15.
9. Bennett, A.F.; Saunders, D.A. Habitat Fragmentation and Landscape Change. *Conservation biology for all* **2010**, *93*, 1544–1550.
10. Lizcano, D.; Amanzo, J.; Castellanos, A.; Tapia, A.; Lopez-Malaga, C. *Tapirus Pinchaque*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: E. T21473A45173922. **2016**.
11. Alonso-F, A.M.; Finegan, B.; Brenes, C.; Günter, S.; Palomeque, X. Evaluación de La Conectividad Estructural y Funcional En El Corredor de Conservación *Podocarpus-Yacuambi*, Ecuador/Evaluation of Structural and Functional Connectivity in the *Podocarpus-Yacuambi* Conservation Corridor, Ecuador. *Caldasia* **2017**, *39*, 140–156.
12. Bernal Rincón, L.A. El Tapir de Montaña, Análisis de Riesgo y Estrategias Para La Conservación de Una Especie En Peligro de Extinción. **2015**.
13. Gómez-Hoyos, D.A.; Ríos-Franco, C.A.; Marín-Gómez, O.H.; Suarez-Joaqui, T.; González-Maya, J.F. Representatividad de Mamíferos Amenazados En El Sistema Departamental de Áreas Protegidas (SIDAP) Del Quindío, Colombia. *Mammalogy Notes* **2019**, *1*, 35–41.

14. Loaliza, P.J.A.; Cordova, P.A.A.; Valverde, F.M.V.; Ordóñez, D.A.T.; Torres, A.C.E.; Moretta, P.Y. El Tapir de Montaña (Tapirus Pinchaque), Como Especie Bandera En Los Andes Del Sur Del Ecuador. *INNOVA Research Journal* **2017**, 2, 86–103.
15. Geldmann, J.; Coad, L.; Barnes, M.D.; Craigie, I.D.; Woodley, S.; Balmford, A.; Brooks, T.M.; Hockings, M.; Knights, K.; Mascia, M.B. A Global Analysis of Management Capacity and Ecological Outcomes in Terrestrial Protected Areas. *Conservation Letters* **2018**, 11, e12434.
16. Pouzols, F.M.; Toivonen, T.; Di Minin, E.; Kukkala, A.S.; Kullberg, P.; Kuusterä, J.; Lehtomäki, J.; Tenkanen, H.; Verburg, P.H.; Moilanen, A. Global Protected Area Expansion Is Compromised by Projected Land-Use and Parochialism. *Nature* **2014**, 516, 383–386.
17. Rodrigues, A.S.; Andelman, S.J.; Bakarr, M.I.; Boitani, L.; Brooks, T.M.; Cowling, R.M.; Fishpool, L.D.; Da Fonseca, G.A.; Gaston, K.J.; Hoffmann, M. Effectiveness of the Global Protected Area Network in Representing Species Diversity. *Nature* **2004**, 428, 640–643.
18. Watson, J.E.; Dudley, N.; Segan, D.B.; Hockings, M. The Performance and Potential of Protected Areas. *Nature* **2014**, 515, 67–73.
19. Guerra, C.A.; Rosa, I.M.D.; Pereira, H.M. Change versus Stability: Are Protected Areas Particularly Pressured by Global Land Cover Change? *Landscape Ecol* **2019**, 34, 2779–2790, doi:10.1007/s10980-019-00918-4.
20. Melillo, J.M.; Lu, X.; Kicklighter, D.W.; Reilly, J.M.; Cai, Y.; Sokolov, A.P. Protected Areas' Role in Climate-Change Mitigation. *Ambio* **2016**, 45, 133–145.
21. Ricketts, T.H.; Soares-Filho, B.; da Fonseca, G.A.; Nepstad, D.; Pfaff, A.; Peterson, A.; Anderson, A.; Boucher, D.; Cattaneo, A.; Conte, M. Indigenous Lands, Protected Areas, and Slowing Climate Change. *PLoS biology* **2010**, 8.
22. CBD Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020 and the Aichi Targets.; 2010.
23. UNEP-WCMC, I. NGS (2018). Protected planet report **2018**.
24. Reilly, J.; Melillo, J.; Cai, Y.; Kicklighter, D.; Gurgel, A.; Paltsev, S.; Cronin, T.; Sokolov, A.; Schlosser, A. Using Land to Mitigate Climate Change: Hitting the Target, Recognizing the Trade-Offs. *Environmental science & technology* **2012**, 46, 5672–5679.
25. IPCC, C.C. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA **2007**, 996, 2007.
26. Urban, M.C. Accelerating Extinction Risk from Climate Change. *Science* **2015**, 348, 571–573, doi:10.1126/science.aaa4984.
27. Padilla, M.; Dowler, R.C.; Downer, C.C. Tapirus Pinchaque (Perissodactyla: Tapiridae). *Mammalian species* **2010**, 42, 166–182.
28. Burgin, C.J.; Colella, J.P.; Kahn, P.L.; Upham, N.S. How Many Species of Mammals Are There? *Journal of Mammalogy* **2018**, 99, 1–14.
29. Wilson, D.E.; Reeder, D.M. *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*; JHU Press, 2005; Vol. 1; ISBN 0-8018-8221-4.
30. Pacifici, M.; Visconti, P.; Rondinini, C. A Framework for the Identification of Hotspots of Climate Change Risk for Mammals. *Global change biology* **2018**, 24, 1626–1636.

31. Orme, C.D.L.; Davies, R.G.; Burgess, M.; Eigenbrod, F.; Pickup, N.; Olson, V.A.; Webster, A.J.; Ding, T.-S.; Rasmussen, P.C.; Ridgely, R.S. Global Hotspots of Species Richness Are Not Congruent with Endemism or Threat. *Nature* **2005**, 436, 1016–1019.
32. Maclean, I.M.; Wilson, R.J. Recent Ecological Responses to Climate Change Support Predictions of High Extinction Risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2011**, 108, 12337–12342.
33. Ceballos, G.; Ehrlich, P.R.; Dirzo, R. Biological Annihilation via the Ongoing Sixth Mass Extinction Signaled by Vertebrate Population Losses and Declines. *Proceedings of the national academy of sciences* **2017**, 114, E6089–E6096.
34. Shoo, L.P.; Hoffmann, A.A.; Garnett, S.; Pressey, R.L.; Williams, Y.M.; Taylor, M.; Falconi, L.; Yates, C.J.; Scott, J.K.; Alagador, D. Making Decisions to Conserve Species under Climate Change. *Climatic Change* **2013**, 119, 239–246.
35. Wheatley, C.J. Biodiversity under Climate Change: Biogeography, Prospects and Conservation Opportunities. **2018**.
36. Mateo, R.G.; Felicísimo, Á.M.; Muñoz, J. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Rev. chil. hist. nat.* **2011**, 84, 217–240, doi:10.4067/S0716-078X2011000200008.
37. Guisan, A.; Tingley, R.; Baumgartner, J.B.; Naujokaitis-Lewis, I.; Sutcliffe, P.R.; Tulloch, A.I.T.; Regan, T.J.; Brotons, L.; McDonald-Madden, E.; Mantyka-Pringle, C.; et al. Predicting Species Distributions for Conservation Decisions. *Ecol Lett* **2013**, 16, 1424–1435, doi:10.1111/ele.12189.
38. Mateos, P. Geovisualización de La Población: Nuevas Tendencias En La Web Social. *Investigaciones Geográficas (Esp)* **2013**, 87–100.
39. Guisan, A.; Thuiller, W.; Zimmermann, N.E. *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R*; Cambridge University Press, 2017; ISBN 0–521–76513–7.
40. Phillips, S.J.; Anderson, R.P.; Schapire, R.E. Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions. *Ecological modelling* **2006**, 190, 231–259.
41. Thuiller, W.; Guéguen, M.; Renaud, J.; Karger, D.N.; Zimmermann, N.E. Uncertainty in Ensembles of Global Biodiversity Scenarios. *Nat Commun* **2019**, 10, 1446, doi:10.1038/s41467-019-09519-w.
42. Cola, V.D.; Broennimann, O.; Petitpierre, B.; Breiner, F.T.; D'Amen, M.; Randin, C.; Engler, R.; Pottier, J.; Pio, D.; Dubuis, A.; et al. Ecospat: An R Package to Support Spatial Analyses and Modeling of Species Niches and Distributions. *Ecography* **2017**, 40, 774–787, doi:10.1111/ecog.02671.
43. Mateo, R.G.; Gastón, A.; Aroca-Fernández, M.J.; Broennimann, O.; Guisan, A.; Saura, S.; García-Viñas, J.I. Hierarchical Species Distribution Models in Support of Vegetation Conservation at the Landscape Scale. *J Veg Sci* **2019**, 30, 386–396, doi:10.1111/jvs.12726.
44. Barve, N.; Barve, V.; Jiménez-Valverde, A.; Lira-Noriega, A.; Maher, S.P.; Peterson, A.T.; Soberón, J.; Villalobos, F. The Crucial Role of the Accessible Area in Ecological Niche Modeling and Species Distribution Modeling. *Ecological Modelling* **2011**, 222, 1810–1819.
45. Lizcano, D.; Pizarro, V.; Cavelier, J.; Carmona, J. Geographic Distribution and Population Size of the Mountain Tapir (*Tapirus Pinchaque*) in Colombia. *Journal of Biogeography* **2002**, 29, 7–15.
46. Alzate, A.A.; Downer, C.C.; Delgado, C.A.; Sánchez-Londoño, J.D. Un Registro de Tapir de Montaña (*Tapirus Pinchaque*) En El Norte de La Cordillera Occidental de Colombia. *Mastozoología neotropical* **2010**, 17, 111–116.
47. Boria, R.A.; Olson, L.E.; Goodman, S.M.; Anderson, R.P. Spatial Filtering to Reduce Sampling Bias Can Improve the Performance of Ecological Niche Models. *Ecological modelling* **2014**, 275, 73–77.

48. Duputié, A.; Zimmermann, N.E.; Chuine, I. Where Are the Wild Things? Why We Need Better Data on Species Distribution: Why We Need Better Species Distribution Data. *Global Ecology and Biogeography* **2014**, *23*, 457–467, doi:10.1111/geb.12118.
49. Lobo, J. ¿ Debemos Farnos de Los Modelos de Distribución de Especies. Los Bosques y la Biodiversidad Frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente **2015**, 407–417.
50. Karger, D.N.; Conrad, O.; Böhrner, J.; Kawohl, T.; Kreft, H.; Soria-Auza, R.W.; Zimmermann, N.E.; Linder, H.P.; Kessler, M. Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas. *Scientific Data* **2017**, *4*, 1–20, doi:10.1038/sdata.2017.122.
51. Flato, G.; Marotzke, J.; Abiodun, B.; Braconnot, P.; Chou, S.C.; Collins, W.; Cox, P.; Driouech, F.; Emori, S.; Eyring, V. Evaluation of climate models. In *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Cambridge University Press, 2014; pp. 741–866.
52. Zappa, G.; Shepherd, T.G. Storylines of Atmospheric Circulation Change for European Regional Climate Impact Assessment. *J. Climate* **2017**, *30*, 6561–6577, doi:10.1175/JCLI-D-16-0807.1.
53. Stocker, T.; Qin, D.; Plattner, G.; Tignor, M.; Allen, S.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P. IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment*. **2013**.
54. Van Vuuren, D.P.; Edmonds, J.; Kainuma, M.; Riahi, K.; Thomson, A.; Hibbard, K.; Hurtt, G.C.; Kram, T.; Krey, V.; Lamarque, J.-F. The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic change* **2011**, *109*, 5.
55. Araújo, M.B.; Anderson, R.P.; Márcia Barbosa, A.; Beale, C.M.; Dormann, C.F.; Early, R.; Garcia, R.A.; Guisan, A.; Maiorano, L.; Naimi, B.; et al. Standards for Distribution Models in Biodiversity Assessments. *Sci. Adv.* **2019**, *5*, eaat4858, doi:10.1126/sciadv.aat4858.
56. Fajardo, J.; Corcoran, D.; Roehrdanz, P.R.; Hannah, L.; Marquet, P.A. GCM Compare R: A Web Application to Assess Differences and Assist in the Selection of General Circulation Models for Climate Change Research. *Methods Ecol Evol* **2020**, 2041–210X.13360, doi:10.1111/2041-210X.13360.
57. Zurell, D.; Franklin, J.; König, C.; Bouchet, P.J.; Dormann, C.F.; Elith, J.; Fandos, G.; Feng, X.; Guillera-Aroita, G.; Guisan, A. A Standard Protocol for Reporting Species Distribution Models. *Ecography* **2020**.
58. Dormann, C.F.; Elith, J.; Bacher, S.; Buchmann, C.; Carl, G.; Carré, G.; Marquéz, J.R.G.; Gruber, B.; Lafourcade, B.; Leitão, P.J. Collinearity: A Review of Methods to Deal with It and a Simulation Study Evaluating Their Performance. *Ecography* **2013**, *36*, 27–46.
59. Araújo, M.B.; New, M. Ensemble Forecasting of Species Distributions. *Trends in ecology & evolution* **2007**, *22*, 42–47.
60. Breiman, L. Random Forests. *Machine learning* **2001**, *45*, 5–32.
61. Friedman, J.H. Multivariate Adaptive Regression Splines. *The annals of statistics* **1991**, 1–67.
62. Hasties, T.; Tibshirani, R. *Generalized Additive Models*. London: Chapman and Hall **1990**, 137–173.
63. Urbina-Cardona, N.; Blair, M.E.; Londoño, M.C.; Loyola, R.; Velásquez-Tibatá, J.; Morales-Devia, H. Species Distribution Modeling in Latin America: A 25-Year Retrospective Review. *Tropical Conservation Science* **2019**, *12*, 194008291985405, doi:10.1177/1940082919854058.
64. Thuiller, W.; Georges, D.; Engler, R.; Breiner, F. Biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. R package version **2013**, *2*, r560.

65. Barbet-Massin, M.; Jiguet, F.; Albert, C.H.; Thuiller, W. Selecting Pseudo-absences for Species Distribution Models: How, Where and How Many? *Methods in ecology and evolution* **2012**, 3, 327–338.
66. Fielding, A.H.; Bell, J.F. A Review of Methods for the Assessment of Prediction Errors in Conservation Presence/Absence Models. *Environmental conservation* **1997**, 24, 38–49.
67. Franklin, J. *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*; Cambridge University Press, 2010; ISBN 1-139-48529-6.
68. Peterson, A.T.; Soberón, J.; Pearson, R.G.; Anderson, R.P.; Martínez-Meyer, E.; Nakamura, M.; Araújo, M.B. *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)*; Princeton University Press, 2011; Vol. 56; ISBN 1-4008-4067-8.
69. Marmion, M.; Parviainen, M.; Luoto, M.; Heikkinen, R.K.; Thuiller, W. Evaluation of Consensus Methods in Predictive Species Distribution Modelling. *Diversity and Distributions* **2009**, 15, 59–69, doi:10.1111/j.1472-4642.2008.00491.x.
70. Naimi, B.; Araújo, M.B. Sdm: A Reproducible and Extensible R Platform for Species Distribution Modelling. *Ecography* **2016**, 39, 368–375, doi:10.1111/ecog.01881.
71. Jiménez-Valverde, A.; Lobo, J.M. Threshold Criteria for Conversion of Probability of Species Presence to Either-or Presence-Absence. *Acta oecologica* **2007**, 31, 361–369.
72. Liu, C.; Newell, G.; White, M. On the Selection of Thresholds for Predicting Species Occurrence with Presence-only Data. *Ecology and evolution* **2016**, 6, 337–348.
73. Nenzén, H.K.; Araújo, M. Choice of Threshold Alters Projections of Species Range Shifts under Climate Change. *Ecological Modelling* **2011**, 222, 3346–3354.
74. Ramírez-Ortiz, H.; Dáttilo, W.; Yañez-Arenas, C.; Lira-Noriega, A. Potential Distribution and Predator-Prey Interactions with Terrestrial Vertebrates of Four Pet Commercialized Exotic Snakes in Mexico. *Acta Oecologica* **2020**, 103, 103526.
75. Campbell, L.P.; Luther, C.; Moo-Llanes, D.; Ramsey, J.M.; Danis-Lozano, R.; Peterson, A.T. Climate Change Influences on Global Distributions of Dengue and Chikungunya Virus Vectors. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **2015**, 370, 20140135.
76. Yañez-Arenas, C.; Peterson, A.T.; Rodríguez-Medina, K.; Barve, N. Mapping Current and Future Potential Snakebite Risk in the New World. *Climatic change* **2016**, 134, 697–711.
77. Lizcaño, D.; Prieto-Torres, D.; Ortega-Andrade, M. Distribución de La Danta de Montaña (*Tapirus Pinchaque*) En Colombia: Importancia de Las Áreas No Protegidas Para La Conservación En Escenarios de Cambio Climático. *Conservación de grandes vertebrados en áreas no protegidas de Colombia, Venezuela y Brasil* (Payán, E., C. Lasso, and C. Castaño-Urbe, eds.). Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH). Bogotá, Colombia **2015**, 115–129.
78. Tirira, D.G.; Urgilés-Verdugo, C.A.; Tapia, A.; Cajas-Bermeo, C.A.; Izurieta, X.; Zapata-Ríos, G. Tropical Ungulates of Ecuador: An Update of the State of Knowledge. In *Ecology and Conservation of Tropical Ungulates in Latin America*; Springer, 2019; pp. 217–271.
79. Badgley, C.; Smiley, T.M.; Cable, R. Mountains, Climate and Mammals. *Mountains, climate and biodiversity* **2018**, 201.
80. Carnicer, C.; Eisenlohr, P.V.; de Almeida Jácomo, A.T.; Silveira, L.; Alves, G.B.; Tórres, N.M.; de Melo, F.R. Running to the Mountains: Mammal Species Will Find Potentially Suitable Areas on the Andes. *Biodiversity and Conservation* **2020**, 1–15.

81. Lenoir, J.; Svenning, J. Climate-related Range Shifts—a Global Multidimensional Synthesis and New Research Directions. *Ecography* **2015**, *38*, 15–28.
82. Haight, J.; Hammill, E. Protected Areas as Potential Refugia for Biodiversity under Climatic Change. *Biological Conservation* **2020**, *241*, 108258.
83. McNeely, J.A. Today's Protected Areas: Supporting a More Sustainable Future for Humanity. *Integrative Zoology* **2020**.
84. Leverington, F.; Costa, K.L.; Pavese, H.; Lisle, A.; Hockings, M. A Global Analysis of Protected Area Management Effectiveness. *Environmental Management* **2010**, *46*, 685–698, doi:10.1007/s00267-010-9564-5.
85. Roberts, C.M.; O'Leary, B.C.; Hawkins, J.P. Climate Change Mitigation and Nature Conservation Both Require Higher Protected Area Targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **2020**, *375*, 20190121.
86. Schulze, K.; Knights, K.; Coad, L.; Geldmann, J.; Leverington, F.; Eassom, A.; Marr, M.; Butchart, S.H.; Hockings, M.; Burgess, N.D. An Assessment of Threats to Terrestrial Protected Areas. *Conservation Letters* **2018**, *11*, e12435.
87. Báez, S.; Jaramillo, L.; Cuesta, F.; Donoso, D.A. Effects of Climate Change on Andean Biodiversity: A Synthesis of Studies Published until 2015. *Neotropical Biodiversity* **2016**, *2*, 181–194.
88. Larsen, T.H.; Brehm, G.; Navarrete, H.; Franco, P.; Gomez, H.; Mena, J.L.; Morales, V.; Argollo, J.; Blacutt, L.; Canhos, V. Range Shifts and Extinctions Driven by Climate Change in the Tropical Andes: Synthesis and Directions. *Climate change and biodiversity in the tropical Andes* **2011**, 47–67.
89. Rangwala, I.; Miller, J.R. Climate Change in Mountains: A Review of Elevation-Dependent Warming and Its Possible Causes. *Climatic Change* **2012**, *114*, 527–547, doi:10.1007/s10584-012-0419-3.
90. Correa-Ayram, C.A.; Etter, A.; Díaz-Timoté, J.J.; Buritica, S.R.; Ramirez, W.; Corzo, G. Spatiotemporal Evaluation of The Human Footprint in Colombia: Four Decades of Anthropic Impact in Highly Biodiverse Ecosystems; *Ecology*, 2020;
91. Venter, O.; Sanderson, E.W.; Magrath, A.; Allan, J.R.; Beher, J.; Jones, K.R.; Possingham, H.P.; Laurance, W.F.; Wood, P.; Fekete, B.M. Sixteen Years of Change in the Global Terrestrial Human Footprint and Implications for Biodiversity Conservation. *Nature communications* **2016**, *7*, 1–11.
92. Weinzettel, J.; Vačkář, D.; Medková, H. Human Footprint in Biodiversity Hotspots. *Frontiers in Ecology and the Environment* **2018**, *16*, 447–452.
93. Cook, J.A.; Light, J.E. The Emerging Role of Mammal Collections in 21st Century Mammalogy. *Journal of Mammalogy* **2019**, *100*, 733–750.
94. Bakker, F.T.; Antonelli, A.; Clarke, J.A.; Cook, J.A.; Edwards, S.V.; Ericson, P.G.; Faurby, S.; Ferrand, N.; Gelang, M.; Gillespie, R.G. The Global Museum: Natural History Collections and the Future of Evolutionary Science and Public Education. *PeerJ* **2020**, *8*, e8225.
95. Arias-Gutiérrez, R.I.; Reyes-Puig, J.P.; Tapia, A.; Terán, A.; de Vargas, K.L.; Bermudez, D.; Rodríguez, X. Desarrollo Local y Conservación En La Vertiente Oriental Andina: Corredor Ecológico Llanganates-Sangay-Valle Del Anzu. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología* **2016**, *5*, 52–68.
96. Karste, F.J.S.; de Córdova Torres, J.F. Primer Registro Geográfico de Tapirus Pinchaque (Roulin, 1829)(Perissodactyla: Tapiridae) En Los Andes Occidentales Del Ecuador. *Revista Biodiversidad Neotropical* **2018**, *8*, 281–284.

97. Mena, J.L.; Yagui, H.; La Rosa, F.; Pastor, P.; Rivero, J.; Appleton, R. Topography and Disturbance Explain Mountain Tapir (Tapirus Pinchaque) Occupancy at Its Southernmost Global Range. *Mammalian Biology* **2020**, 1–9.
98. Castellanos, A. Iridium/GPS Telemetry to Study Home Range and Population Density of Mountain Tapirs in the Rio Papallacta Watershed, Ecuador. *Tapir Conservation* **2013**, 22, 20–25.
99. Pecl, G.T.; Araújo, M.B.; Bell, J.D.; Blanchard, J.; Bonebrake, T.C.; Chen, I.-C.; Clark, T.D.; Colwell, R.K.; Danielsen, F.; Evengård, B. Biodiversity Redistribution under Climate Change: Impacts on Ecosystems and Human Well-Being. *Science* **2017**, 355.
100. Turney, C.; Ausseil, A.-G.; Broadhurst, L. Urgent Need for an Integrated Policy Framework for Biodiversity Loss and Climate Change. *Nat Ecol Evol* **2020**, doi:10.1038/s41559-020-1242-2.

Reseña de los autores:



Robinson J. Herrera-Feijoo. Ingeniero Ambiental por parte de la Universidad Estatal Amazónica, tiene una Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica y Teledetección. Sus líneas de investigación se enfocan en la conservación de diversos grupos taxonómicos mediante técnicas SIG e informática de la biodiversidad.



Maria de Decker. Maestría en Ciencias Ambientales (especialización: Planificación del Desarrollo para Zonas Rurales). Es docente titular en Universidad Estatal Amazónica con asignaturas relacionadas a SIG. Participó en el proyecto de investigación de LaForeT (Landscape Forestry in the Tropics) de Alemania, es coautora y traductora de varios artículos científicos.



Pedro Andrés Peñafiel Arcos. Master en Seguridad Industrial y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente es docente de la Universidad Estatal Amazónica de la carrera de Ingeniería Ambiental. Ha sido autor principal y coautor de varios artículos científicos y es consultor independiente en temas ambientales.



Cristhian Chicaiza. Ingeniero en Biotecnología Ambiental, cuenta con un Máster en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental por Tianjin University (China), continua sus estudios doctorales en Environmental Science and Engineering por Shanghai Jiao Tong University, China-UK Low Carbon College



Carolina Garzón Ortega. Ingeniera en Gestión Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja y Licenciada en ciencias de la Educación de la Pontificia Universidad Católica de Quito, Sus líneas de investigación se orientan en la conservación ambiental, ambientalización curricular, educación ambiental enfocada a la implementación y promoción de proyectos ambientales, sociales y culturales.



© 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>