

Universidad Andina Simón Bolívar

Sede Ecuador

Área de Gestión

Maestría de Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo

**Efecto del cambio climático en la distribución de las especies de
anfibios endémicos y amenazados de Ecuador**

María Beatriz Pérez Lara

Tutor: Francisco Xavier Cuesta Camacho

Quito, 2023



Cláusula de cesión de derecho de publicación

Yo, María Beatriz Pérez Lara, autora del trabajo intitulado “Efecto del cambio climático en la distribución de las especies de anfibios endémicos y amenazados de Ecuador”, mediante el presente documento dejo constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

4 de agosto del 2023

Firma: _____

Resumen

El grupo de anfibios se ha visto expuesto a cambios de clima dramáticos y de estructura de hábitat a lo largo de su historia evolutiva pero el ritmo de los cambios actuales excede la velocidad a la que los anfibios pueden adaptarse ya sea por el cambio evolutivo o por la plasticidad al ambiente. Por esta razón se ha puesto énfasis en la identificación de áreas que puedan ayudar a la conservación de las poblaciones remanentes de anfibios amenazados y endémicos. En el presente estudio se determinó los cambios en el nicho climáticamente estable del presente y futuro de 76 especies de anfibios endémicos y amenazados de Ecuador. Adicional, se identificaron áreas con riqueza de especies de anfibios para su conservación. Se realizaron los modelos de nichos climáticamente estables para la distribución de especies de anfibios al presente y futuro a través del paquete Biomod v3.4.6. Los modelos obtenidos por especie fueron evaluados por medio de TSS y AUC. En base a los modelos obtenidos de nicho potencial al presente se eliminó pixeles de deforestación del período 1990 al 2018. Se estimó el cambio de rango para obtener mínimos y máximos de altura en los que se registra pérdidas y ganancias de áreas. Se efectuaron mapas de riqueza presente y futura. Los mapas de riqueza generados se contrastaron con la capa del SNAP y se determinó las áreas protegidas que mayor número de especies al presente y futuro presentan. A través del análisis NMDS con el método de Bray-Curtis y un análisis de conglomerados se obtuvo tres grupos con una variación de hasta el 80%. Los modelos generados muestran un buen desempeño con valores de AUC de la media=0.997 y TSS =0.988. Los resultados obtenidos demuestran una disminución de los nichos potenciales para el año 2060 con desplazamientos altitudinales ascendentes hacia altitudes superiores. Las zonas que presentan mayor riqueza y recambio de especies de anfibios evaluados se encuentran en las regiones nor-occidentales, centro-sur y laderas orientales centrales. Las dos regiones mencionadas son poco representadas en el SNAP de Ecuador; mientras que las laderas orientales presentan áreas protegidas consideradas refugios para las especies de anfibios frente a los escenarios de cambio climático utilizados.

Palabras clave: Modelos de nicho potencial presente, modelos de nicho potencial futuros, riqueza, endemismo, Biomod, SNAP

Tabla de contenidos

Figuras	9
Introducción.....	11
Capítulo primero Marco teórico	15
1. Endemismo en los anfibios de Ecuador.....	15
2. Cambio climático en los Andes tropicales	15
3. Cambio climático y anfibios.....	17
4. Sistema nacional de áreas protegidas en Ecuador (SNAP)	18
5. El cambio climático y las áreas protegidas.....	19
Capítulo segundo Materiales y métodos.....	21
1. Modelar el nicho ecológico potencial en condiciones actuales de 76 especies de anfibios endémicos y amenazados.....	22
2. Evaluar los posibles efectos del cambio climático sobre el nicho ecológico potencial actual de las especies de anfibios	31
4. Evaluar la efectividad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) para preservar a las especies endémicas de anfibios del Ecuador continental en base a la distribución potencial actual y futura.	34
Capítulo tercero Resultados.....	37
1. Modelo de nicho potencial	37
2. Efectos del cambio climático sobre el nicho ecológico potencial actual de las especies de anfibios	43
Capítulo cuarto Discusión	57
1. Efectos del cambio climático en la distribución de las especies de anfibios.....	58
2. Patrones espaciales en la distribución de las especies de anfibios en condiciones de cambio climático.....	60
3. Distribución de las especies de anfibios endémicos y amenazados en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP).....	61
4. Implicaciones para el manejo del SNAP	63
Conclusiones.....	65
Recomendaciones	67

Lista de referencias	69
Anexos	81
Anexo 1: Especies de anfibios endémicos de Ecuador.....	81
Anexo 2: Regiones naturales por especie de anfibios utilizadas en el estudio.....	83
Anexo 3: Variables usadas para el modelo de nicho potencial por especie.	87
Anexo 4: Promedio de los índice TSS y AUC calculados para 76 especies de anfibios endémicos de Ecuador utilizando 5 algoritmos GLM, GAM, RF y GBM.....	89
Anexo 5: Área en km ² de 76 especies de anfibios modelados en condiciones presentes y de cambio climático con el escenario RCP 4.5y RCP 8.5. Área estable= Representa el área ocupada actualmente por la especie y se prevé que permanezca ocupado en el futuro. Área ocupada = Representa a la suma del área estable más la ganada.....	92
Anexo 6: Datos descriptivos del nicho ecológico potencial predicho para 76 especies de anfibios.	96
Anexo 7: Área de nicho potencial y futuro de 76 especies de anfibios endémicos y amenazados que se encuentra representado en el SNAP.....	97
Anexo 8: Mapas de modelos de nicho ecológico potencial de especies de anfibios endémicos y amenazados de Ecuador.	101

Figuras

Figura 1: Diagrama de flujo del proceso metodológico	22
Figura 2: Espacio ambiental, en verde localidades, negro background de las especies (A) <i>Hyloxalus infraguttatus</i> (B) <i>Hyloxalus vertebralis</i>	26
Figura 3: Flujograma de modelamiento de nicho potencial al presente	27
Figura 4: Gráfico del promedio de evaluación de los algoritmos de acuerdo con dos métricas de evaluación (TSS, ROC) en la especie <i>Atelopus ignescens</i>	29
Figura 5: Gráfico de curvas de respuesta de cinco variables ambientales en un modelo Random Forest (RF) de la especie <i>Telmatobius niger</i>	29
Figura 6: Ilustración de procedimiento de eliminación de modelos paso a paso [...] aplicado a los 36 modelos del conjunto CMIP5, utilizando información de similitud de modelos de la climatología actual (1970-2000).	32
Figura 7: Gráfico del cambio de tamaño de rango predicho en la especie <i>Pristimantis sobetes</i>	34
Figura 8: Distribución espacial de los datos de ocurrencia de las 76 especies de anfibios endémicos de Ecuador continental.	38
Figura 9: Distribución espacial de los datos de ocurrencia de las 76 especies de anfibios endémicos de Ecuador continental.	38
Figura 10: Análisis de conglomerados para los ecosistemas registrados en el estudio..	39
Figura 11: Número de especies por formación vegetal.	40
Figura 12: Rango altitudinal por especie.....	41
Figura 13: Nicho ocupado en Km ² por especie.	45
Figura 14: Representación del tamaño de los nichos ecológicos de 76 especies de anfibios bajo condiciones actuales y de cambio climático (A) RCP 4.5, (B) RCP 8.5.....	47
Figura 15: Representación del tamaño de los nichos ecológicos de 76 especies de anfibios bajo condiciones actuales y de cambio climático (A) RCP 4.5, (B) RCP 8.5.....	48
Figura 16: Distribución del promedio de pérdida de áreas en la gradiente altitudinal en dos escenarios de cambio climático.....	49
Figura 17: Distribución del promedio de ganancia de áreas en la gradiente altitudinal en dos escenarios de cambio climático.....	49
Figura 18: Patrón de riqueza de especies en condiciones climáticas actuales y futuras para escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. (A) Modelo de riqueza de especies en condiciones	

actuales. (B) Modelo de riqueza de especies en condiciones futuras en un escenario de RCP 4.5. (C) Modelo de riqueza de especies en condiciones futuras en un escenario de RCP 8.5.....	51
Figura 19: Cambio en la riqueza absoluta de especies en los escenarios RCP 4.5 (A) y RCP 8.5 (B).	52
Figura 20: Número de especies por área protegida.	54
Figura 21: Cambio del número de especies en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5	55

Introducción

En el último informe especial del IPCC (2018) sobre los impactos del calentamiento global en un aumento de temperatura de 1,5°C; prevé para los ecosistemas terrestres, transformaciones drásticas, degradación y pérdida de los bosques (IPCC 2018). Estos impactos se traducen en afecciones a un amplio grupo de organismos con diversas distribuciones geográficas (Walther et al. 2002; La Marca et al. 2005; Pounds et al. 2006; Deutsch et al. 2008; Ihlow et al. 2012), lo que ocasiona varias alteraciones como son: (1) los patrones de alfa y beta diversidad a diferentes escalas, (2) los rangos de distribución, (3) fenología, (4) composición de las comunidades ecológicas y (5) la probabilidad de extinción de las especies (Walther et al. 2002; Parmesan y Yohe 2003; Corn 2005; Walther 2010). Sin embargo, los efectos del cambio climático no se presentan de la misma manera entre las organismos; sino que depende de la sensibilidad fisiológica a las condiciones climáticas y de su distribución geográfica (Walther et al. 2002; Deutsch et al. 2008; Ihlow et al. 2012). Este es el caso de los ectotermos que están altamente influenciados y sensibles a las condiciones ambientales (Walther et al. 2002).

Dentro de los ectotermos, los anfibios son considerados como un grupo diverso a nivel mundial con alrededor de 8,443 spp (Frost 2022), con mayor riqueza y endemismo en climas cálidos y húmedos como es la cordillera de Andes tropicales (Mittermeier et al. 2004; Pounds et al. 2006). Esto se debe principalmente a la complejidad histórica generada por el levantamiento de la Cordillera y la heterogeneidad que caracteriza el paisaje (Ghalambor 2006; Feeley y Silman 2010). Lo que ha permitido la diversificación de anfibios especializados a un rango de temperatura relativamente uniforme y estrecho (Deutsch et al. 2008; Feeley y Silman 2010).

En Ecuador esta riqueza se encuentra representada por un total de 653 especies formalmente descritas de las cuales 306 son endémicas (Ron, Merino-Viteri, y Ortiz 2022) y 361 se encuentra amenazadas (Ortega-Andrade et al. 2021). A pesar de la alta riqueza y endemismo en el país, estas especies de anfibios se encuentran altamente sensibles a la transformación de los ecosistemas por actividades de origen antrópico, enfermedades infecciosas como el hongo quítrido y el cambio climático (Young et al. 2001; Wells 2007; Seimon et al. 2007; Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero 2011;

Seimon et al. 2017; Newbold 2018; Agudelo-Hz, Urbina-Cardona, y Armenteras-Pascual 2019). Principalmente, porque sus funciones básicas como la locomoción, crecimiento y reproducción se encuentran relacionadas a la temperatura ambiental. (Corn 2005; Pounds et al. 2006; Deutsch et al. 2008; Whittaker et al. 2013). A lo que se suma la alta especialización en el hábitat y microhábitat de algunas especies y la capacidad de dispersión limitada (Wells 2007; Whittaker et al. 2013). Este grupo de vertebrados se han expuesto a cambios de clima dramáticos y de estructura del hábitat a lo largo de su historia evolutiva, pero el ritmo de los cambios actuales excede la velocidad a la que los anfibios pueden adaptarse ya sea por el cambio evolutivo o por la plasticidad al ambiente (Wells 2007).

Estos cambios climáticos drásticos han llevado a investigadores a estudiar como el cambio climático afecta a las especies de anfibios. Solo un estudio realizado por Seimon et al. (2007, 2017) ha investigado las migraciones ascendentes de especies por efectos del cambio climático directamente en campo. Mientras que, otras investigaciones se han centrado en las distribuciones futuras de las especies frente a escenarios de cambio climático, incluyendo el uso de suelo (Feeley y Silman 2010; Buermann et al. 2011; Nori et al. 2011; Velásquez-Tibatá, Salaman, y Graham 2013; Ramirez-Villegas et al. 2014; Barragán 2015; Ortega-Andrade et al. 2015; Agudelo-Hz, Urbina-Cardona, y Armenteras-Pascual 2019; Menéndez-Guerrero, Green, y Davies 2020). En conjunto, la información generada a través de estas investigaciones permite comprender las consecuencias del cambio climático en la riqueza de anfibios; que en el futuro su espacio climáticamente habitable llegará a desaparecer o es demasiado aislado de sus rangos geográficos. (Walther et al. 2002; Wilson et al. 2005; Duarte et al. 2012; Fadrique et al. 2018; Cuesta et al. 2019; Menéndez-Guerrero, Green, y Davies 2020).

Frente a este escenario de cambio climático preocupante, es importante la acción temprana para adaptar las estrategias de conservación; de tal manera que estas sean eficientes (Hannah et al. 2007). Es así, que las áreas protegidas son una herramienta para la “*conservación de los grupos de especies y la preservación de los procesos ecológicos clave para supervivencia de los seres vivos*” (Herzog et al. 2012, 369). Sin embargo, la crisis climática actual nos lleva a repensar el papel de las áreas protegidas en la conservación de la biodiversidad y nos reta a sistemáticamente reflexionar sobre su diseño y modificación en el contexto del cambio climático realista (Lovejoy y Hannah 2019).

Por esto se ha identificado la necesidad de reservas adicionales y conectadas a través de gradientes altitudinales (Hannah et al. 2007; Herzog et al. 2012; Barragán 2015;

Agudelo-Hz, Urbina-Cardona, y Armenteras-Pascual 2019) y el aumento de estudios sobre los impactos del cambio climático sobre la alfa y beta diversidad en el tiempo, que permitan mejorar y desarrollar estrategias de adaptación y mitigación (S. Herzog et al. 2012).

Uno de los enfoques más utilizados en la actualidad que ha permitido obtener información relevante para la conservación de especies de anfibios, son los Modelos de Nichos Ecológicos (MNE). Estos modelos utilizan información sobre las características ambientales que definen el nicho ecológico actual de una especie en conjunto con las variables ambientales futuras para proyectar dónde se encuentra el nicho de la especie (Wiens et al. 2009; Graham et al. 2012). El análisis de información de los MNE a través de los sistemas de información geográfica (SIG) han demostrado ser herramientas efectivas para evaluar de forma geográfica-espacial los grupos taxonómicos. Esta información consolidada permite tomar decisiones en el ámbito de la conservación de la biodiversidad (Blanco 2013; Fadrique et al. 2018). A lo que se suma el uso de especies endémicas, amenazadas y de rangos restringidos que incrementa la efectividad del análisis para identificar áreas que representen apropiadamente la diversidad total de especies de un área dada (Larsen, Bladt, y Rahbek 2009; Cuesta, Peralvo, et al. 2017a)

El presente estudio evalúa el efecto del cambio climático en 76 especies endémicas de anfibios que se encuentran en categoría de peligro para el año 2060 (UICN 2021; Ortega-Andrade et al. 2021). El estudio tiene los siguientes objetivos específicos: 1) Modelar el nicho ecológico potencial en condiciones actuales de 76 especies de anfibios endémicos y amenazados; 2) evaluar los posibles efectos del cambio climático sobre el nicho ecológico potencial actual de las especies de anfibios; 3) identificar las áreas potenciales con estabilidad climática futura y sensibles a cambios para la conservación de anfibios del Ecuador; 4) evaluar la efectividad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) para preservar a las especies endémicas de anfibios del Ecuador continental en base a la distribución potencial actual y futura.

Hipótesis

H1. Las condiciones de mayor temperatura y estacionalidad de la precipitación para el año 2060 en Ecuador llevará a las especies de anfibios endémicos y amenazados a disminuir áreas climáticamente estables en sus nichos inferiores y a expandir sus áreas en sus nichos superiores.

H2. Los patrones de diversidad y las áreas climáticamente estables predichas en el presente y futuro de los anfibios endémicos y amenazados se verán potencialmente afectados por la variabilidad climática dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador.

Capítulo primero

Marco teórico

1. Endemismo en los anfibios de Ecuador

La diversidad de anfibios en Ecuador se debe principalmente al levantamiento de la cordillera de los Andes, que ha creado una gran variabilidad de condiciones meteorológicas que actúa en la composición y distribución de las especies de anfibios (W. E. Duellman 1979; Lynch 1993; Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero 2011). La mayor riqueza de anfibios en Ecuador se encuentra distribuida en el bosque montano oriental (207 spp.), seguido por el bosque húmedo amazónico (182 spp.) y el bosque montano occidental (148 spp). En el caso del bosque húmedo amazónico presenta especies de amplio rango de distribución (W. E. Duellman 1979; W. Duellman y Trueb 1986; Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero 2011; Ron, Merino-Viteri, y Ortiz 2022). El bosque tropical del Chocó presenta una diversidad media (95 spp), en la que comparte mayor cantidad de especies con los bosques tropicales de Centroamérica (Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero 2011; Ron, Merino-Viteri, y Ortiz 2022).

Por el contrario, en los Andes ecuatorianos existe 461 especies de anfibios en la que solo comparten el 45% de especies con bosques tropicales amazónicos y del Chocó (Ron, Merino-Viteri, y Ortiz 2022). El endemismo de anfibios en Ecuador (306 spp.) presenta comunidades de anfibios con diversidades locales menores, pero con un alto recambio a lo largo de los gradientes ambientales (Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero 2011; Ron, Merino-Viteri, y Ortiz 2022). Este recambio se encuentra influenciado por las transiciones abruptas, interacciones ecológicas, historia biogeográfica y barreras de dispersión (McKnight et al. 2007).

2. Cambio climático en los Andes tropicales

En los Andes tropicales el levantamiento de la cordillera occidental y oriental modula los sistemas de precipitación y temperatura (Martínez et al. 2012). Esta última, “*generada por los gradientes altitudinales y humedad del aire determinados por las condiciones locales*” (Buytaert, Céleri, y Timbe 2009, 56). La combinación de la

topografía accidentada y la variabilidad de condiciones ambientales naturales han permitido formar una diversidad de microhábitats, haciendo de la región una zona altamente diversa (W. E. Duellman 1979; Myers et al. 2000; Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero 2011; Josse et al. 2011; B. Young 2012). Por sus características, los Andes tropicales se encuentran incluidos en la lista de puntos calientes de endemismo y riqueza de especies por unidad de área (Myers et al. 2000).

Esta diversificación de los ecosistemas y riqueza de especies llevó a grandes civilizaciones a ocupar estas áreas durante milenios hasta la actualidad. Estas civilizaciones han aprovechado los recursos naturales para el desarrollo agrícola e industrial (Rodríguez-Mahecha et al. 2004; Josse et al. 2009). Dichas actividades si bien han beneficiado al desarrollo poblacional, han originado una pérdida y cambio de casi toda la cobertura vegetal original (Rodríguez-Mahecha et al. 2004, 79) y riqueza biológica de estos ecosistemas (Walther et al. 2002; Rodríguez-Mahecha et al. 2004, 73).

Uno de los impulsores más importantes de la pérdida de bosques a nivel mundial son las actividades agrícolas (Curtis et al. 2018). En los Andes Subtropicales y Tropicales las actividades agrícolas han ocasionado que se pierda alrededor del 36.6% de bosques. Principalmente los ubicados en altitudes entre los 1000 y 1500 msnm, donde la cobertura vegetal fue reemplazada por pastizales y tierras de cultivo (Aide et al. 2019). Sin embargo, la dinámica entre las actividades humanas y la regeneración de la cobertura vegetal, indica una ganancia del 63% de bosques (árboles y arbustos) en elevaciones intermedias e invasión de arbustos en páramos (Aide et al., 2019). Esta tendencia en algunas áreas de aparente ganancia forestal se debe al aumento de plantaciones forestales de café, pino y eucalipto; además del efecto de los patrones de migración de la población rural (Aide et al., 2019).

Este patrón de cambio en la cobertura vegetal en los Andes tropicales, podría multiplicarse con los impactos del cambio climático (Anderson et al. 2012); que ya alcanzado aproximadamente el 1°C por encima de los niveles preindustriales (IPCC 2018) y se pronostica para los Andes tropicales un continuo aumento entre 1°-5°C para finales de siglo (Vuille et al. 2018). Este aumento de temperatura es considerado un proceso que pone en peligro una gran parte de la biodiversidad del planeta, presagiando un futuro con disminución de la riqueza de especies y del funcionamiento de los ecosistemas (Walther et al. 2002; Pounds et al. 2006; Ihlow et al. 2012; Lovejoy y Hannah 2019). En los Andes tropicales las variaciones en el clima podrían resultar en extinciones locales de biodiversidad que presentan distribuciones altitudinales

restringidas que derivan en endemismos locales (Pounds et al. 2007; Laurance et al. 2011). Por lo tanto, las investigaciones y los esfuerzos de conservación son importantes para proteger las áreas que albergan importantes comunidades bióticas y amenazadas.

3. Cambio climático y anfibios

El Neotrópico especialmente América del Sur, presenta una alta riqueza y endemismo de anfibios en comparación a otras regiones del mundo (Duellman 1999; Mittermeier et al. 2004; Angulo et al. 2006; Vasconcelos, Rodriguez, y Hawkins 2011; Villalobos et al. 2013). Sin embargo, los bosques tropicales con gran número de especies endémicas se encuentran amenazados debido a las actividades humanas como la deforestación a lo que se suma el cambio climático (Angulo et al. 2006; Vasconcelos, Rodriguez, y Hawkins 2011; Seimon et al. 2017; Agudelo-Hz, Urbina-Cardona, y Armenteras-Pascual 2019).

En los Andes tropicales las especies de anfibios que se encuentran adaptadas a condiciones frías son más vulnerables al cambio climático, ya que su espacio habitable va disminuyendo (Corn 2005; Seimon et al. 2007, 2017). A medida que la temperatura va en aumento, esta obliga a que los anfibios vayan desplazándose altitudinalmente, lo que eventualmente ocasionará una pérdida de hábitat idóneo y la capacidad de dispersión de fauna anfibia entre los bosques de montaña (Ghalambor 2006; Seimon et al. 2007; Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero 2011, 158; Fadrique et al. 2018). El resultado podría ser la extinción total de muchos anfibios y el desplazamiento de otras especies de tierras bajas hacia las partes montanas (Barragán 2015; Agudelo-Hz, Urbina-Cardona, y Armenteras-Pascual 2019; Menéndez-Guerrero, Green, y Davies 2020). Además, puede presentarse interacciones sinérgicas entre el cambio climático y efectos de enfermedades como la quitridiomycosis, que prevalece en las montañas tropicales (Pounds et al. 2006; Seimon et al. 2017).

Los efectos sobre la distribución de las especies de anfibios frente al calentamiento global requieren de investigaciones a largo plazo de las poblaciones y su relación con numerosas variables ambientales (Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero 2011). En los Andes tropicales solo se tiene un estudio efectuado por Seimon et al (2007 y 2017); que evidenció la expansión altitudinal de tres ranas hacia elevaciones superiores tras una desglaciación reciente incluido el desplazamiento del hongo quítrido. En Ecuador los

estudios sobre el calentamiento global y los efectos en los anfibios son escasos. Varios estudios se han limitado a experimentos de laboratorio para documentar la capacidad de los anfibios para aclimatarse homeostáticamente a los cambios de temperatura (Romero 2013; Yandún 2017; Pintanel et al. 2019).

Por otro lado, los investigadores han optado por utilizar nuevas herramientas que permitan una aproximación de los posibles escenarios que la biodiversidad de anfibios puede enfrentar si se consideran los efectos del cambio climático. Es así, que los modelos de nicho ecológico usan asociaciones climáticas de las localidades observadas para estimar el “espacio ambiental” ocupado por la especie. Además, este mismo modelo puede proyectarse en el espacio geográfico para encontrar ambientes similares a aquellos en los que se ha observado la especie (Peterson et al. 2011) La relación entre la disminución actual de los anfibios y el calentamiento global es incierto (Corn 2005). Sin embargo, estos efectos se pueden predecir gracias a los modelos de distribución de especies que se encuentran en pleno desarrollo y expansión (Mateo, Felicísimo, y Muñoz 2011). La disponibilidad de software de datos y la importancia sobre el efecto del calentamiento global en los anfibios ha fomentado una tendencia de estudios con el objetivo de estimar los efectos futuros en la distribución de las especies con énfasis en la conservación para el manejo de recursos, salud pública y especies invasoras (Hannah et al. 2007; Lessmann, Muñoz, y Bonaccorso 2014; Cuesta, Muriel, et al. 2017).

4. Sistema nacional de áreas protegidas en Ecuador (SNAP)

En la actualidad Ecuador se encuentra constituido por 91 ecosistemas, de las cuales 65 corresponden a ecosistemas boscosos, 14 a herbáceos y 12 a arbustivos que en conjunto representan el 59.8% del territorio nacional (15'333.562 Ha). De este total, solo el 49.6% (7'620.780) se encuentra dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2015a; Ministerio del Ambiente 2013).

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador (SNAP) “*es un conjunto de áreas protegidas que garantizan la cobertura y conectividad de ecosistemas importantes en los niveles terrestre, marino y costero marino, de sus recursos culturales y de las principales fuentes hídricas*” (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica 2021). Se visibiliza como un sistema integrado por varios subsistemas como son: Patrimonio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (PANE), las áreas establecidas por

los gobiernos seccionales, corporaciones regionales del desarrollo, comunidades y sector privado.

Las áreas protegidas de Ecuador inicialmente se plantearon como acciones de conservación muy puntuales y dispersas que dio paso a la declaración del Archipiélago de las Galápagos y la Reserva Geobotánica Pululahua (1934 y 1966 respectivamente) que desde entonces se ha visto impulsado y reevaluado a través de estrategias nacionales para avanzar desde una visión gubernamental enfocada en la comercialización de los recursos forestales hacia un enfoque de protección y conservación de la biodiversidad (Putney et al. 1976; Ministerio del Ambiente del Ecuador 2007; Ministerio del Ambiente del Ecuador 2016). Además, de la creación de áreas de conservación consideradas marginales para usos humanos (Cuesta et al. 2006). Finalmente en el 2008 la Constitución Política del Ecuador reconoce los derechos de la naturaleza y destaca la importancia de la biodiversidad para el país.

A esto se suma algunas estrategias nacionales e internacionales como el Convenio de la Diversidad Biológica y la Estrategia Nacional de la Biodiversidad que dan mayor relevancia a las áreas protegidas. Las áreas de conservación en base a elementos puntuales como las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (RAMSAR) y otros relacionados con la conexión entre áreas protegidas existentes y paisajes culturales protegidos como los corredores biológicos y las reservas de la biósfera ha permitido reforzar los mecanismos de acción del estado ecuatoriano para salvaguardar la diversidad biológica y ecosistémica

5. El cambio climático y las áreas protegidas

Las áreas protegidas son una herramienta para la conservación de la biodiversidad y los diferentes procesos ecológicos fundamentales para el desarrollo de la vida, incluido el ser humano y sus sistemas productivos (Hoffman et al. 2012). Ecuador, en miras de cumplir con los objetivos planteados en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2015b) y la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2011-2030, reafirma de manera prioritaria trabajar en la inclusión de una red de áreas protegidas representativas en las que la biodiversidad pueda persistir a largo plazo (Cuesta, Peralvo, et al. 2017a). Además, que estas áreas sean establecidas bajo un enfoque

de distribución geográfica de las especies con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático y uso de la tierra (Cuesta, Peralvo, et al. 2017a).

En las últimas décadas, los estudios que implementan nuevas estrategias para seleccionar áreas protegidas en base a la distribución potencial de las especies han aumentado considerablemente (Borja 2009; Ortega-Andrade et al. 2015; Cuesta, Peralvo, et al. 2017b; Ortega-Andrade et al. 2021). Es así como los modelos de distribución ecológica de las especies proporcionan una forma de identificar las regiones que podría concentrar la riqueza futura de especies o regiones a través de las cuales se prevé el desplazamiento de un gran número de especies (Hole et al. 2012). Las áreas protegidas se enfrentan a varias amenazas históricas como son las del ámbito social, económicas y de gobernabilidad. A este grupo se suma en las últimas décadas la variabilidad climática con cambios abruptos en las áreas protegidas (Arguedas, Castaño, y Rodríguez de la Guardia 2004). Esta última, podría ocasionar efectos directos en la biodiversidad como la acelerada colonización de especies exóticas que desplazan a otras especies nativas, pérdida de especies especialistas con nichos restringidos geográficamente y facilitar el reemplazo para las especies generalistas (Moret et al. 2016; Menéndez-Guerrero, Green, y Davies 2020). En conjunto estas amenazas derivan principalmente en el aumento del uso de la tierra, fragmentación de los hábitats y vías de acceso; lo que hará en un futuro más difícil la creación de áreas protegidas y la dificultad del movimiento natural de especies como es el caso de los grandes mamíferos en las actuales áreas protegidas (Arguedas, Castaño, y Rodríguez de la Guardia 2004). De acuerdo a los estudios de modelado de nicho potencial descritos en el acápite de introducción se prevé que las especies se desplacen latitudinal y altitudinalmente en respuesta al aumento de la temperatura. En consecuencia, la ubicación y extensiones de las reservas necesitan ajustarse a estos movimientos. Estos efectos nos obligan a buscar nuevos paradigmas en la conservación de las áreas protegidas de acuerdo a la realidad nacional (Cuesta et al. 2013, 2015; Arguedas, Castaño, y Rodríguez de la Guardia 2004)

Capítulo segundo

Materiales y métodos

La evaluación del efecto del cambio climático, en 76 especies endémicas de anfibios, persigue cuatro objetivos específicos planteados para la realización del presente estudio: 1) Modelar el nicho ecológico potencial en condiciones actuales de 76 especies de anfibios endémicos y amenazados. 2) evaluar los posibles efectos del cambio climático sobre el nicho ecológico potencial actual de las especies de anfibios; 3) identificar las áreas potenciales con estabilidad climática futura y sensibles a cambios para la conservación de anfibios del Ecuador y 4) evaluar la efectividad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) para preservar a las especies endémicas de anfibios del Ecuador continental en base a la distribución potencial actual y futura.

La selección de las especies de anfibios endémicos se efectuó de acuerdo a la Lista Roja de Anfibios de Ecuador (Ortega-Andrade et al. 2021). Las localidades de las especies se sometieron a un análisis espacial en Rstudio para definir que su ubicación se encuentre como mínimo a 1km de distancia entre localidades. Se utilizaron los datos climáticos de la página Chelsa (Karger et al. 2017) a una resolución ~1km las mismas que fueron cortadas para el Ecuador continental. Se utilizó las variables ambientales al futuro del período 2041-2060; de los RCP 4.5 y 8.5 (IPCC 2013). La generación de modelos al presente y futuro se realizó a través del script de Guisan y colaboradores (2017) en Rstudio. Los análisis de pérdida y ganancia de hábitat idóneo en los diferentes escenarios se desarrolló en el programa Arcmap v.10.2 (ESRI 2013).

En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo del proceso metodológico, seguido se describe la metodología por objetivo planteado.

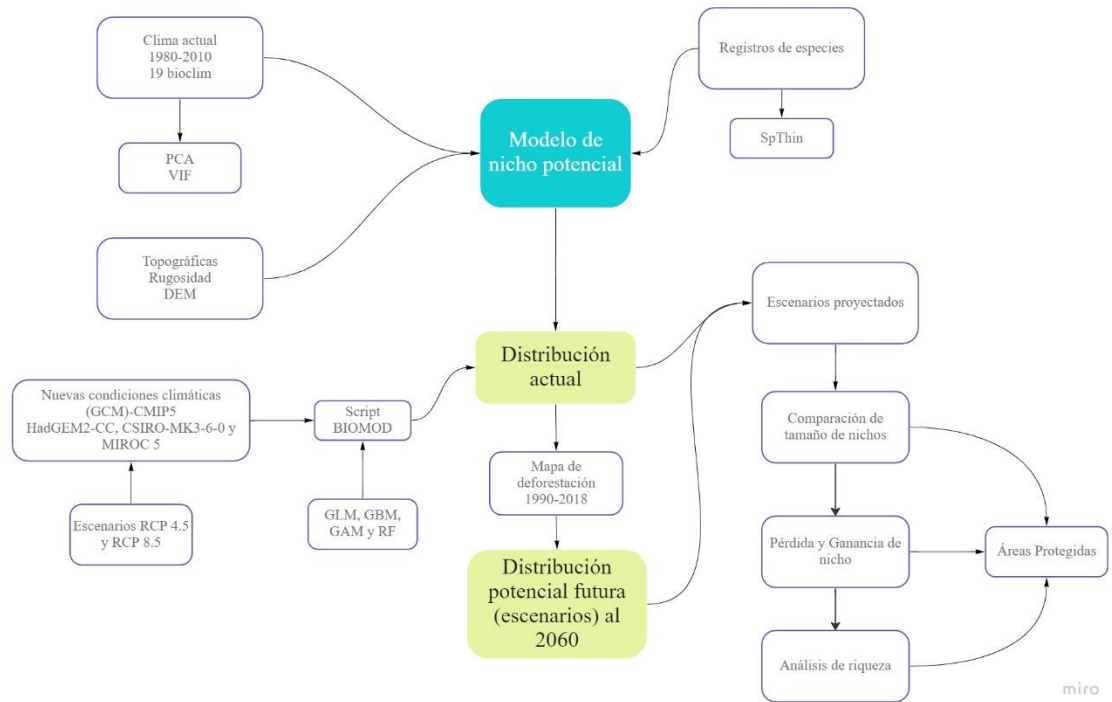


Figura 1:Diagrama de flujo del proceso metodológico
 Fuente: Miro (2022).
 Elaboración propia

1. Modelar el nicho ecológico potencial en condiciones actuales de 76 especies de anfibios endémicos y amenazados.

Selección y organización de datos

De las 306 especies de anfibios endémicos se seleccionaron 76 especies (

Anexo 1) de acuerdo con los criterios desarrollados en la tabla 1 y modificados del protocolo estándar para reportar modelos de distribución de especies (Zurell et al. 2020).

Tabla 1
Variables bioclimáticas y topográficas.

Datos de biodiversidad	Descripción
Nombre de los taxones	Anfibios
Nivel ecológico	Especies
Fuente de datos	Base de datos de la Lista Roja de Anfibios de Ecuador (Ortega et al. 2021)
Selección de datos	Anfibios endémicos y en categoría de amenaza (VU, EN, CR)
Tamaño de la muestra	4.119 localidades
Recorte	Polígono de Ecuador continental

Datos de biodiversidad	Descripción
Incertidumbres espaciales	Se eliminaron los registros duplicados en las mismas localidades. Se minimizó la autocorrelación espacial al eliminar aleatoriamente las ocurrencias dentro de 1 km entre sí con el uso de la librería spThin (Aiello-Lammens et al. 2019). Se seleccionó como mínimo 10 localidades por especie.
Limpieza de datos	Las localidades fueron verificadas por expertos del componente de anfibios en los talleres de la Lista Roja de Anfibios de Ecuador (Ortega et al., 2021)
Datos de ausencia	No se tiene datos de verdaderas ausencias
Datos background	Selección aleatoria de los puntos de fondo producido por el conjunto completo de registros.

Fuente: Modificado de ODMAP (Zurell et al. 2020).
Elaboración propia.

Los datos sobre ocurrencias de las especies de anfibios endémicos fueron solicitados al Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), institución a cargo de la información sobre la reciente Lista Roja de Anfibios de Ecuador (Ortega-Andrade et al. 2021).

La base de datos mencionada fue construida con información de los siguientes museos e instituciones de Ecuador: Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO-DHMECN), Museo de Zoología, Universidad Técnica Particular de Loja (MUTPL), Museo de Zoología, Universidad del Azuay (MZUA), Museo de Zoología, Universidad Tecnológica Indoamérica (MZUTI); Museo de Zoología de la Universidad San Francisco de Quito (ZSFQ), Centro Jambatu (CJ), Proyecto Conservación de Anfibios y Recursos Genéticos del Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE-PARG). Además, incluye información de Global Biodiversity Information Facility (GBIF; <https://www.gbif.org>), iNaturalist (<https://www.iNaturalist.org>), VertNet (<http://vertnet.org/>), Batrachia (<https://www.batrachia.com>), SapoPediaEcuador (<http://www.anfibiosecuador.ec/index.php?aw>), Anfibios Ecuador Bioweb, Museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (QCAZ; <https://bioweb.bio>).

Al ser especies endémicas y en categoría de amenaza su rango de distribución se limita a un mínimo de 10 localidades que se encuentra dentro de los parámetros aceptados para el uso de los modelos de distribución de especies raras y de distribución restringida (Hernandez et al. 2006; Pearson et al. 2007; Graham et al. 2012).

A cada una de las especies seleccionadas se le colocó la región natural de acuerdo a su rango de distribución altitudinal correspondiente a las Regiones Naturales descritas en la Bioweb (Ron 2020; Ron, Merino-Viteri, y Ortiz 2022; Ortega-Andrade et al. 2021).

La información de las regiones naturales es la simplificación del sistema de tipos de vegetación de Sierra et al. (1999) (Anexo 2). La base de datos generada con los ecosistemas, localidades y especies se sometió a un análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico (NMDS) con el método de Bray-Curtis para identificar las distancias entre puntos que mejor coinciden. Estas distancias representan la máxima homogeneidad interna y la mayor diferencia entre los grupos (Cox y Cox 2008; Palacio, Apodaca, y Crisci 2020). Adicional, se efectuó un análisis de conglomerados. Los análisis se realizaron en el ambiente de Rstudio v4.1.2 (RStudio, PBC 2020) con el paquete vegan (Oksanen et al. 2020) (Anexo 3).

Datos climáticos

Se utilizó 19 variables bioclimáticas del presente (1980-2010) de Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas (CHELSA) para la construcción de los modelos de nicho potencial al presente (Karger et al. 2017) (**Error! Reference source not found.**). Estas variables se construyen a partir de estimaciones de precipitación y temperatura a escala reducida con una resolución espacial alta de 30 segundos de arco (~1km²). Las variables descargadas fueron cortadas y georreferenciadas para Ecuador continental en Rstudio v4.1.2 (RStudio, PBC 2020). Adicionalmente, se utilizó dos variables topográficas, el modelo digital de elevación (DEM siglas en inglés) descargado del Sistema Nacional de Información (SNI) (<https://sni.gob.ec/coberturas>) a 90 m y reescaladas a 1km²; y el de rugosidad el mismo que utiliza el índice de rugosidad del terreno (Riley, DeGlorian, y Elliot Robert 1999).

Tabla 2
Variables bioclimáticas y topográficas.

Variables	Acrónimo	Descripción
Climáticas	bio1	Temperatura media anual
	bio2	Rango de temperatura diurno medio (media todos los meses (Temp. Máxima – Temp. Mínima
	bio3	Isotermalidad (bio2/bio7) * 100
	bio4	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar*100)
	bio5	Temperatura máxima del mes más caliente
	bio6	Temperatura mínima del mes más frío
	bio7	Rango de temperatura anual (bio5-bio6)

Variables	Acrónimo	Descripción
	bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo
	bio9	Temperatura media del trimestre más seco
	bio10	Temperatura media del trimestre más frío
	bio11	Temperatura media del trimestre más caliente
	bio12	Precipitación total anual
	bio13	Precipitación del mes más húmedo
	bio14	Precipitación del mes más seco
	bio15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
	bio16	Precipitación del trimestre más húmedo
	bio17	Precipitación del trimestre más seco
	bio18	Precipitación del trimestre más caliente
	bio19	Precipitación del trimestre más frío
Topográficas	DEM	Modelo digital de terreno del Ecuador continental
	Tri	Rugosidad. Índice de rugosidad del terreno.

Fuente: Chelsa, 2017.

Elaboración: María Beatriz Pérez Lara, 2021

Selección de variables ambientales para el período actual (1980-2010)

Se agruparon las variables ambientales del presente de temperatura y precipitación; y se sometieron a un Análisis de Componentes Principales (PCA, siglas en inglés) en el ambiente de Rstudio v4.1.2 (RStudio, PBC 2020). Una vez obtenidos los ráster resultantes (PCA_T y PCA_P) todas las variables climáticas y topográficas se sometieron al análisis del factor de inflación de la varianza (VIF sus siglas en inglés), que permite reducir los problemas de multicolinealidad de las variables altamente correlacionadas. El VIF estima la gravedad del efecto de la multicolinealidad, midiendo el grado en que la varianza en una regresión aumenta debido a la colinealidad excluyendo variables altamente correlacionadas (Guisan, Zimmermann, y Thuiller 2017). El análisis se efectuó en Rstudio v4.1.2 (RStudio, PBC 2020) con el paquete usdm (Babak 2017) con un umbral $th=8$. El análisis VIF se realizó para cada una de las 76 especies consideradas en el presente estudio, ya que la influencia de las variables varía de acuerdo con la distribución de los puntos de ocurrencia de las especies (Anexo 3).

De cada una de las especies se obtuvo gráficos sobre la correlación que presentan las variables ambientales y topográficas utilizadas como se presenta en la figura 2. Adicionalmente, se efectuó gráficos del espacio ambiental con la ubicación de las localidades y el background seleccionado como se muestra en la figura 3.

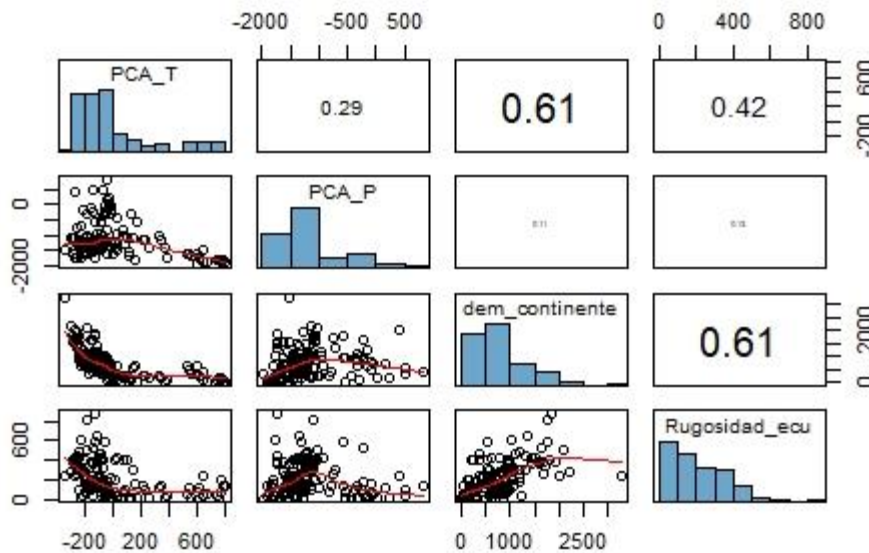


Figura 2: Correlación entre variables con datos de *Hyloxalus infraguttatus*.

Fuente: Rstudio v4.1.2.

Elaboración propia.

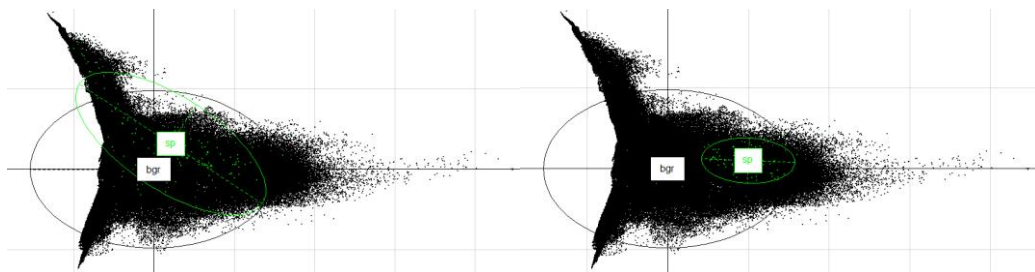


Figura 3: Espacio ambiental, en verde localidades, negro background de las especies (A)

Hyloxalus infraguttatus (B) *Hyloxalus vertebralis*.

Fuente: Rstudio v4.0.2.

Elaboración propia

Proceso de modelamiento al presente con Biomod 2

Se utilizó el paquete biomod2 v3.4.6 (Thuiller et al. 2020) en el ambiente de Rstudio para la elaboración de los modelos de nicho potencial y futuros de 76 especies de anfibios endémicos. Biomod2 permite “maximizar la precisión de las distribuciones de especies actuales y la confiabilidad de futuras distribuciones potenciales utilizando diferentes tipos de métodos de modelado estadístico” (Mateo, Felicísimo, y Muñoz 2011,

223). La principal característica del paquete Biomod2 es agrupar modelos con diferentes algoritmos en una sola predicción (Thuiller 2003; Guisan, Zimmermann, y Thuiller 2017; Thuiller et al. 2020). En la figura 4 se muestra un flujograma del proceso de modelamiento de nicho potencial al presente para las 76 especies de anfibios seleccionadas.

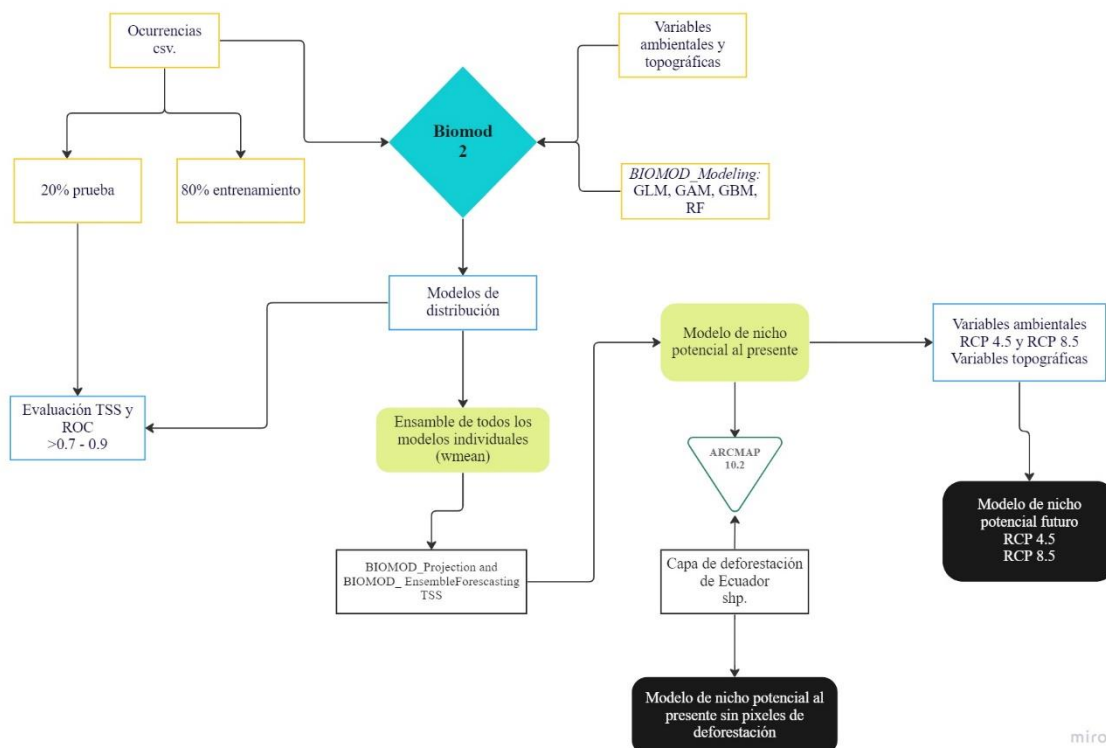


Figura 4: Flujograma de modelamiento de nicho potencial al presente

Fuente: Miro (2022).

Elaboración propia.

Se utilizó el script de Guisan et al. (2017) con las debidas modificaciones para el modelamiento de las especies de anfibios en Ecuador. En el ambiente de Rstudio se cargó para cada una de las 76 especies la base datos de puntos de ocurrencia en formato csv y las capas ambientales seleccionadas. Un vez cargada la información ambiental y de especies se procedió a dar formato con la función `BIOMOD_FormatingData()`, que es el mínimo de información que necesita biomod para funcionar adecuadamente (Guisan, Zimmermann, y Thuiller 2017; Thuiller et al. 2020). La función permite proporcionar las ocurrencias de la especie y las coordenadas asociadas, las variables ambientales seleccionadas, nombre de la especie y los datos de fondo o pseudoausencias definidas de manera aleatoria (1000 pseudoausencias). Este último, se utilizó con todas las especies

de anfibios ya que no se cuenta son ausencias reales (Guisan, Zimmermann, y Thuiller 2017; Thuiller et al. 2020).

A través de la función BIOMOD_ModelingOptions() se seleccionaron cuatro algoritmos Generalized Linear Models (GLM) con el tipo de interacción predeterminado “quadratic” y el primer orden de interacción. Generalized Additive Models (GAM) con el paquete “mgcv”. Generalized Boosting Model (GBM) con un número de árboles de 1000 y Random forest (RF) se utilizó el “default” (Hijmans y Graham 2006; Prasad, Iverson, y Liaw 2006). Con la función BIOMOD_Modeling () se pudo calibrar y evaluar los modelos. En la evaluación de los modelos se utilizó un proceso repetido de división de datos “crossvalidation” en un conjunto de datos de entrenamiento con el 80% de los del total de datos y otro para prueba con el 20% restante de datos. De esta manera, se evaluó la tasa de omisión de los modelos. Este proceso se repitió dos veces (NbRunEval) (Guisan, Zimmermann, y Thuiller 2017).

Métricas de evaluación

Los modelos fueron evaluados por medio de True Skills Statistic (TSS) y Receiver Operating Characteristic (ROC) (=AUC) (Hanley y McNeil 1982; Elith* et al. 2006; Guisan, Zimmermann, y Thuiller 2017); a través de una gráfica de sensibilidad y especificidad que permite medir la capacidad de predicción de los modelos. “*La sensibilidad es la capacidad de diagnosticar como positiva una presencia real (verdaderos positivos), mientras que la especificidad es la probabilidad de diagnosticar como negativa una ausencia real (verdaderos negativos)*” (Reyes-Puig 2015).

Los valores obtenidos a través de los dos métodos estadísticos (AUC y TSS) permitió identificar y evaluar si los modelos generados fueron significativamente mejores que el azar (Hanley y McNeil 1982). Los valores entre 0.5 y 0.7 son considerados modelos pobres, valores entre 0.7 y 0.9 son predicciones válidas y sobre 0.9 son buenas predicciones (Miguel B. Araújo et al. 2005; Lobo, Jiménez-Valverde, y Real 2008; Reyes-Puig 2015; Guisan, Zimmermann, y Thuiller 2017) (Figura 5, Anexo 4). En la figura 5 se puede observar los valores AUC y TSS de la especie *Atelopus ignescens* de cada uno de los algoritmos utilizados para el modelamiento.

A través de gráficos de la curva de respuesta se analizó con mayor precisión, como cada variable ambiental influye en la probabilidad de presencia de la especie por cada algoritmo utilizado en el proceso de modelado (Elith et al. 2005) (Figura 6:).

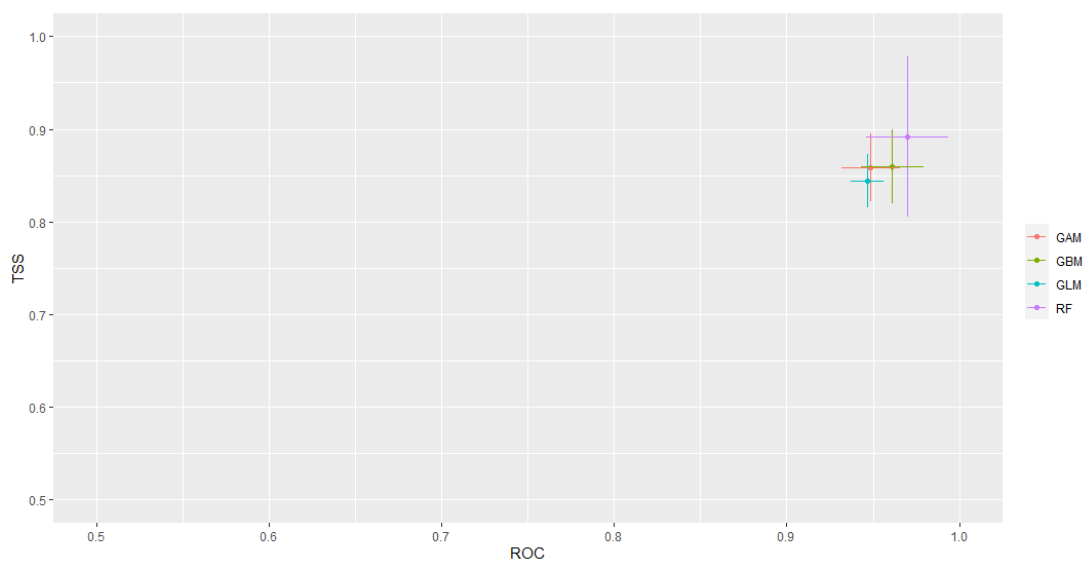


Figura 5: Gráfico del promedio de evaluación de los algoritmos de acuerdo con dos métricas de evaluación (TSS, ROC) en la especie *Atelopus ignescens*.

Fuente: Rstudio v4.1.2.

Elaboración propia

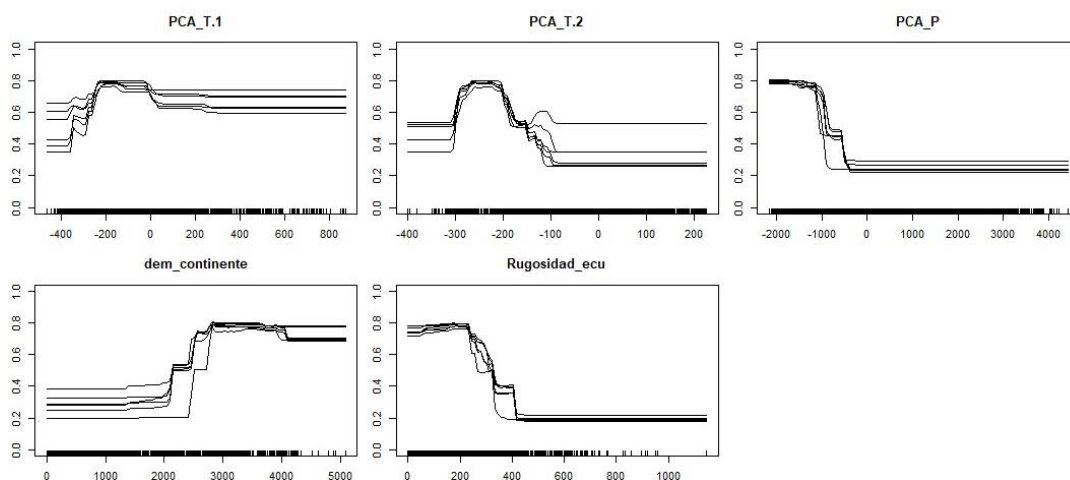


Figura 6: Gráfico de curvas de respuesta de cinco variables ambientales en un modelo Random Forest (RF) de la especie *Telmatobius niger*.

Fuente: Rstudio v4.1.2. Elaboración propia.

Se establecieron ensambles para combinar la información obtenida de los modelos individuales construidos. De esta manera, se puede resumir y representar la información obtenida (Guisan, Zimmermann, y Thuiller 2017). Se utilizó la función *BIOMOD_EnsembleModeling* con los datos de salida de la función *BIOMOD_Modeling*. Se consideró al weighted mean (wmean) para el ensamble que devuelve la media ponderada (Thuiller 2003; Guisan, Zimmermann, y Thuiller 2017; Thuiller et al. 2020).

Una vez ensamblado los modelos, se calibraron para las proyecciones al presente y determinar el nicho potencial de cada una de las especies, se realizó este procedimiento a través de las funciones *BIOMOD_Projection* y *BIOMOD_EnsembleForecasting*. En ambas funciones se coloca el método para binarizar las capas resultantes.

La selección del umbral depende del objetivo del estudio (Guisan y Zimmermann 2000; Liu, White, y Newell 2013). Es así como, en el presente estudio se utiliza el umbral de True Skill Statistic (TSS) que “*es un método prometedor cuando no se dispone de datos de ausencia confiables*”(Liu, White, y Newell 2013, 9). El TSS combina información sobre las tasas de error de omisión y comisión con las presencias y ausencias correctamente predichas, el cual equilibra la sensibilidad y la especificidad (Liu et al. 2005; Liu, White, y Newell 2013; Guisan, Zimmermann, y Thuiller 2017).

Capa de deforestación de Ecuador (1990-2018)

Se descargó cinco capas de deforestación de Ecuador desde 1990 al 2018 en formato shapefile (<http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>). A las capas se cambió la proyección a coordenadas planas WGS84_World_Mercator, esta proyección se realizó en Arcmap 10.2 con la herramienta *Project Raster*. Posterior a esto con la herramienta *Union* se unieron todas las capas y se transformó a un raster con áreas deforestadas y vegetación remanente. Se reclasificó con *Reclassify*, dejando una capa final solo con pixeles de deforestación con valor 2. A las capas binarias obtenidas del nicho potencial en condiciones actuales se eliminaron los pixeles de deforestación en el programa ArcMap 10.2 (ESRI 2013).

El proceso consistió en obtener la capa binaria (1-presencia; 0 ausencia) del resultado del modelamiento de nicho potencial de cada una de las especies en Rstudio y el shapefile de deforestación, se transformó el raster binario a una capa vectorial con la ayuda de la función *Raster to Polygon*. En *Raster Calculator* se procedió a eliminar las capas de deforestación del nicho potencial. Así, los pixeles con valores 1 corresponden a áreas donde se predijo el nicho potencial de la especie, 2 a las áreas de deforestación que se encuentran dentro del nicho predicho para la especie y 0 los pixeles que no fueron predichos por el modelo. A la capa resultante se transformó a ráster con la función *Polygon to Raster*.

2. Evaluar los posibles efectos del cambio climático sobre el nicho ecológico potencial actual de las especies de anfibios

Selección de variables ambientales y escenarios (2041-2060)

En la evaluación de los efectos del cambio climático al futuro, se descargó las variables bioclimáticas de la página de CHELSA del período 2041-2060 (Karger et al. 2017). Se agruparon a las variables ambientales del futuro de temperatura y precipitación y se sometieron a un análisis de componentes principales (PCA, siglas en inglés) en el ambiente de Rstudio v4.1.2 (RStudio, PBC 2020). Se utilizó los datos de dos escenarios denominados Representative Concentration Pathways (RCP) del quinto informe de evaluación del IPCC (IPCC 2013). El RCP 4.5 que representa una disminución moderada de las emisiones con implementación de tecnologías verdes y de expansión de áreas forestales (Thomson et al. 2011; IPCC 2013). El RCP 8.5 llamado el escenario de tendencia que prevé un crecimiento poblacional y mayor demanda de recursos energéticos y ausencia de políticas globales (Riahi et al. 2011; IPCC 2013).

Los escenarios antes mencionados descargados corresponden al modelo HadGEM2-CC, CSIRO-MK3-6-0 y MIROC 5 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados fase 5 (CMIP5 sus siglas en inglés) (Karger et al. 2017). Los modelos se seleccionaron de acuerdo los criterios de Sanderson et al. (2015), que consiste en elegir modelos que muestren la menor cantidad de interdependencia de derecha a izquierda en el eje x de la Figura 6. De cada una de las variables ambientales descargadas por cada

modelo se generó un promedio para obtener 19 variables bioclimáticas en Rstudio v4.1.2 (RStudio, PBC 2020).

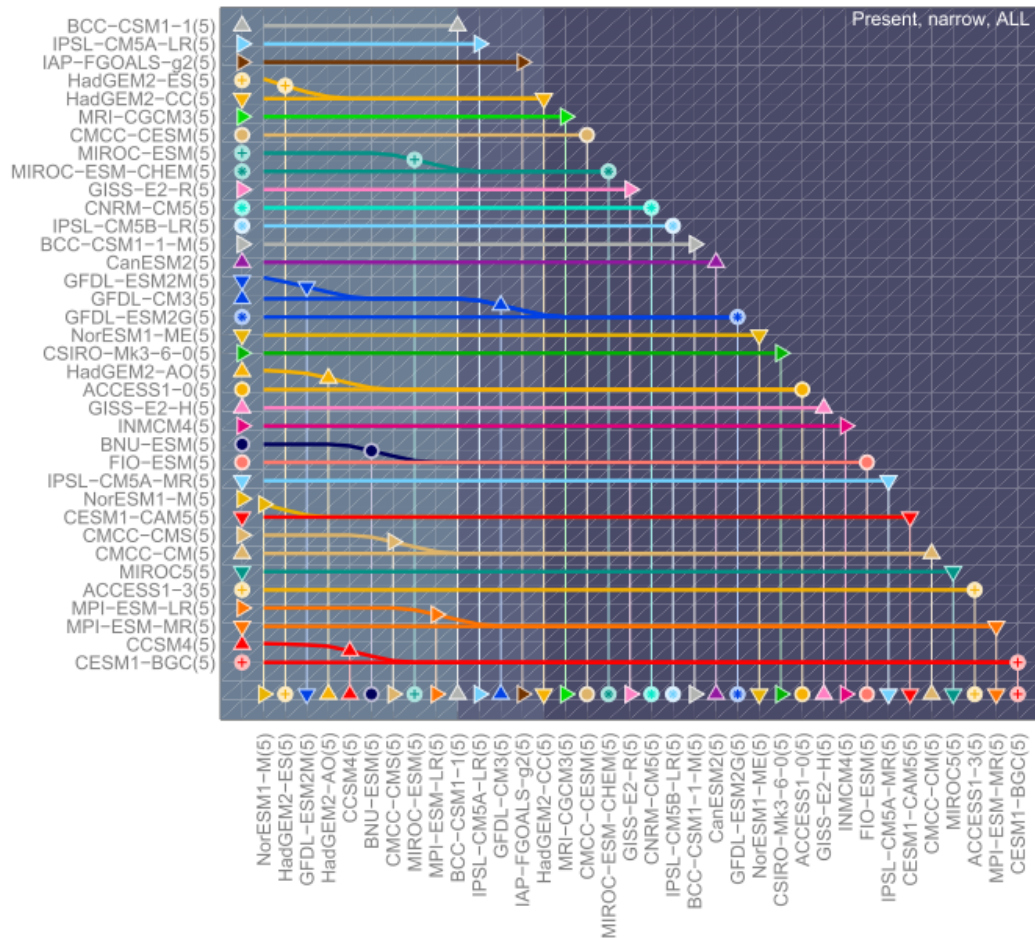


Figura 7: Ilustración de procedimiento de eliminación de modelos paso a paso [...] aplicado a los 36 modelos del conjunto CMIP5, utilizando información de similitud de modelos de la climatología actual (1970-2000).

Fuente y elaboración: Sanderson, Knutti, y Caldwell, 2015.

Proyecciones al futuro

En la construcción de los modelos al futuro se utilizó el paquete biomod2 v3.4.6 (Thuiller et al. 2020) en el ambiente de Rstudio. Utilizando el mejor ensamble de los modelos construidos al presente se procedió a realizar las distribuciones potenciales futuras (Figura 3).. Para este paso se utilizó la función *BIOMOD_Projections* y *BIOMOD_EnsembleForecasting* para hacer una sola técnica y ensamble de proyecciones (Thuiller et al. 2020). Se utilizó las variables bioclimáticas futuras descritas en el apartado 2 cortadas solo para Ecuador y se construyó mapas binarios con los mismos parámetros incluidos en las proyecciones del presente.

Cambio del tamaño de rango (SRC) de las especies de anfibios

Los datos del SRC de las especies de anfibios fueron obtenidos de las proyecciones del presente (raster sin píxeles de deforestación) y futuras efectuadas a través de la función BIOMOD_RangeSize. Esta función permite estimar el número de píxeles perdidos, ganados y estables para el intervalo de tiempo 2060. La función se construye con los modelos binarizados obtenidos de cada modelo de nicho potencial generados al presente y futuros de las especies de anfibios (Thuiller et al. 2020) (Figura 7).

Esta función nos ofrece (Thuiller et al. 2020):

- El número de píxeles que no están ocupados actualmente por la especie dada y que no se prevé que lo estén.
- Número de píxeles ocupados actualmente por la especie dada, y se prevé que permanecerán ocupados en el futuro.
- Número de píxeles que actualmente no están ocupados por la especie dada, pero se prevé que lo estarán en el futuro.
- El resultado global de la proyección, igual a PercGain-PercLoss. No evalúa ningún cambio de migración, ya que compara estrictamente los tamaños de rango entre los estados actuales y futuros.

Los datos obtenidos fueron transferidos a una hoja de Excel. La capa resultante presenta el valor de -2 si se predice que la especie perderá el pixel dado, -1 si se predice que el pixel dado será estable para la especie, 0 es valor del pixel que no está ocupado y no estará en un futuro; y 1 si el pixel dado no está ocupado y se prevé que lo estará en el futuro.

La capa resultante del análisis SRC se cargó en ArcMap y a través de la herramienta *Zonal Statistics* y el uso de la capa DEM del Ecuador continental se procedió a generar la estadística para determinar por especie los mínimos y máximos de altura en los que se registra pérdidas y ganancias de áreas. La tabla generada se exportó a una hoja Excel.

A partir de la información SRC se determinó las especies más vulnerables a la pérdida de áreas climáticamente estables en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 expresadas en Km².

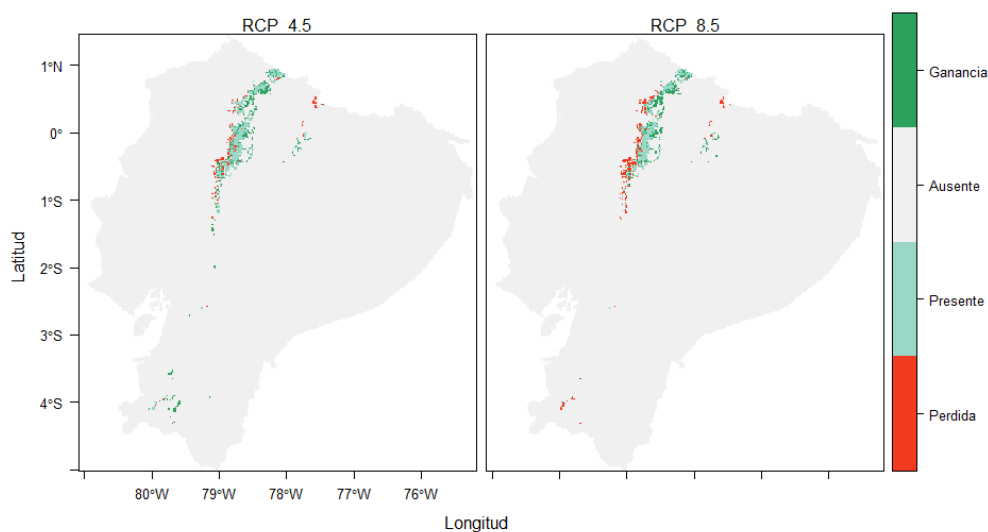


Figura 8: Gráfico del cambio de tamaño de rango predicho en la especie *Pristimantis sobetes*

Fuente: Rstudio v4.1.2.

Elaboración propia.

3. Identificar las áreas potenciales con estabilidad climática futura y sensibles a cambios para la conservación de anfibios del Ecuador

En el ambiente de ArcMap 10.2 (ESRI 2013) se generaron tres mapas con los datos de riqueza de anfibios endémicos de acuerdo con las predicciones potenciales realizadas para condiciones del presente y futuras. Los tres mapas fueron generados con el uso de *Map Calculator*. Además, se cuantificaron las zonas con pérdidas y ganancias de anfibios de acuerdo con comparaciones entre condiciones presentes y futuras (RCP 4.5 y RCP 8.5).

Los mapas de riqueza futura generados de las especies endémicas se restaron del mapa de riqueza en condiciones actuales en *Map Calculator* para obtener un mapa que muestra el cambio en la riqueza absoluta de las especies de anfibios.

4. Evaluar la efectividad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) para preservar a las especies endémicas de anfibios del Ecuador continental en base a la distribución potencial actual y futura.

En la página web del MAAE interactivo, (<http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>) se descargó el shapefile del Sistema

Nacional de Áreas Protegidas (SNAP). Esta capa está compuesta de 67 polígonos entre el Ecuador continental e insular que se enmarcan en la máxima categoría de protección de acuerdo con la legislación ambiental nacional, por Constitución de la República son parte de uno de los subsistemas conocido como Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE). En el presente estudio solo se utilizó los polígonos que representan a las áreas protegidas en Ecuador continental excluyendo las reservas marinas Galápagos, Galera San Francisco, El Pelado, Cantagallo-Machalilla, Bajo Cope, Isla Santa Clara y Puerto Cabuyal- Punta San Clemente.

Con los mapas de riqueza generados se contrastó con la capa del SNAP, se determinó las áreas protegidas que mayor número de riqueza de especies en el presente y futuro a través de Arcmap 10.2 (ESRI 2013). Así, se determinó las áreas más vulnerables a cambios en la representatividad de anfibios endémicos que alberga cada área.

Capítulo tercero

Resultados

1. Modelo de nicho potencial

Análisis descriptivo

La base de datos proporcionada por el INABIO corresponde a 123 especies con 4.119 localidades de las 306 taxas endémicas existentes en Ecuador. A través de los pasos mencionados en el apartado de metodología se seleccionó 76 especies con 1.822 localidades (

Anexo 1). En la Figura 8 se muestra la distribución espacial de los datos de ocurrencia de 76 taxas del orden amphibia. De esta manera, se puede observar que un gran número de localidades se encuentran distribuidos principalmente en los bosques montano oriental y occidental (575 y 493 localidades respectivamente) y Páramo (243 localidades).

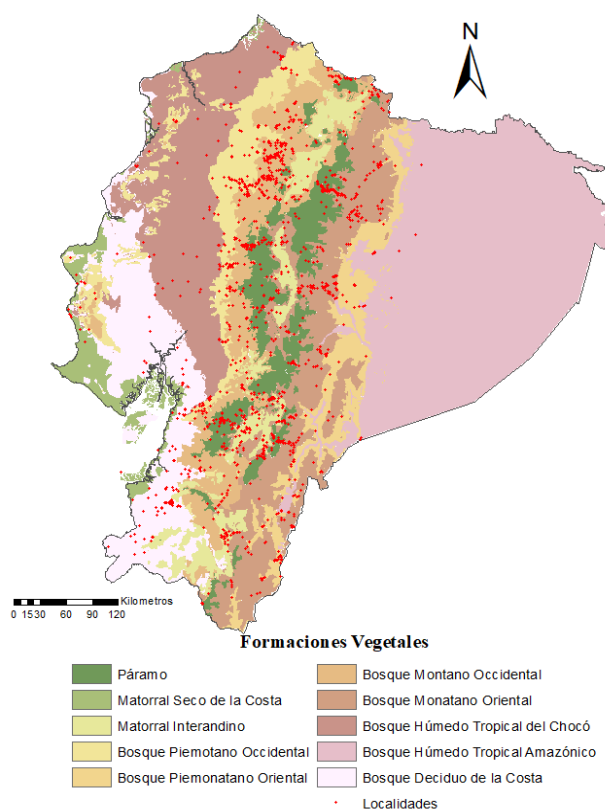


Figura 9: Distribución espacial de los datos de ocurrencia de las 76 especies de anfibios endémicos de Ecuador continental.

Fuente: Arcmap v10.5.

Elaboración propia.

El análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico (NMDS) con el método de Bray-Curtis se obtuvo un valor de estrés asociado a la solución de 0.061, indicando un buen ajuste de los datos entre la disimilitud y la distancia (Figura 9).

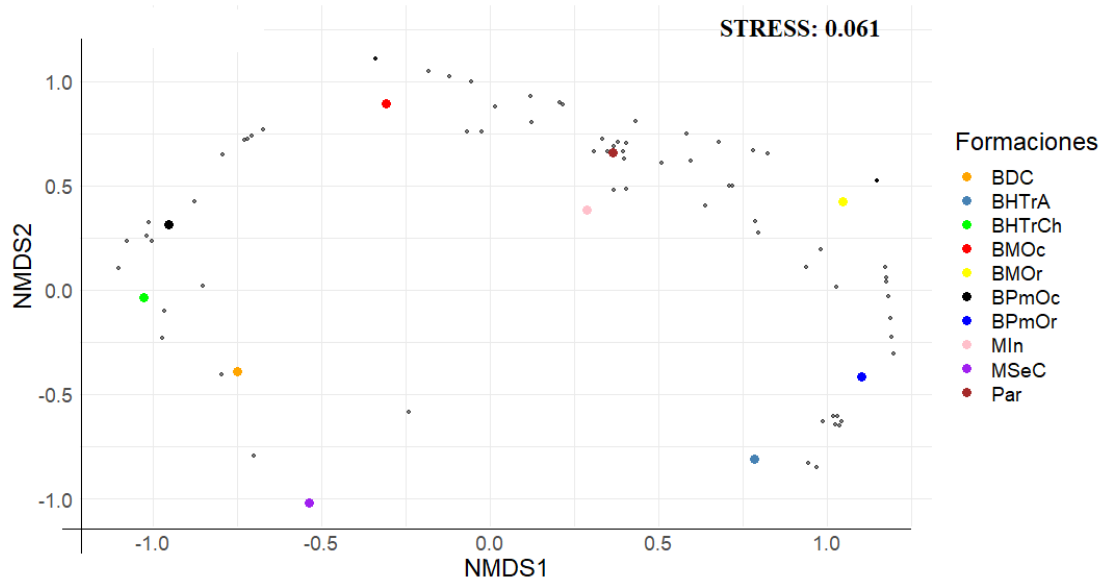


Figura 10: Distribución espacial de los datos de ocurrencia de las 76 especies de anfibios endémicos de Ecuador continental.

Fuente: Rstudio v4.1.2.

Elaboración propia

El análisis de conglomerados es congruente con el análisis NMDS que genera tres grupos con una variación de hasta el 80% (Análisis de conglomerados para los ecosistemas registrados en el estudio).

Fuente: Rstudio v4.1.2.

Elaboración propia

El primer grupo abarca las formaciones vegetales de Páramo (Par), Matorral Interandino (MIn), Bosque Montano Oriental (BMOOr) y Bosque Montano Occidental (BMOc); siendo las dos primeras formaciones las que menor variabilidad de especies contiene (65%) y el Bosque Montano Occidental el que tiene un 80 % de variación de especies (Figura 10, Tabla 3). El segundo grupo, se encuentra formado por los Bosques Pie-montano Oriental (BPmOr) y Bosque Húmedo Tropical Amazónico (BHTrA). El tercer grupo formado por

el Bosque Húmedo Tropical del Chocó (BHTrCh), Bosque Deciduo de la Costa (BDC), Bosque Pie-montano Occidental (BPmOc) y el Matorral Seco de la Costa (MSeC) considerando al último como el de mayor variación en el grupo (80%).

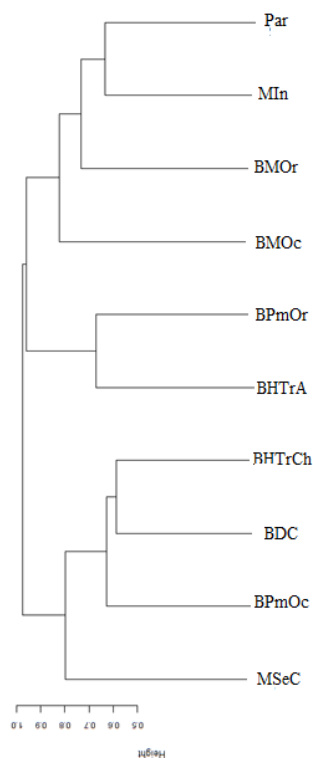


Figura 11: Análisis de conglomerados para los ecosistemas registrados en el estudio.

Fuente: Rstudio v4.1.2.

Elaboración propia

Tabla 3
Análisis de conglomerados entre los ecosistemas identificados.
Índice de disimilitud Bray-Curtis

	BDC	BHTrA	BHTrCh	BMOc	BMOc	BPmOc	BPmOr	MIn	MSeC
BHTrA	1.00								
BHTrCh	0.59	1.00							
BMOc	0.92	1.00	0.89						
BMOc	1.00	0.97	1.00	0.88					
BPmOc	0.65	1.00	0.61	0.77	1.00				
BPmOr	1.00	0.67	1.00	1.00	0.81	1.00			
MIn	0.97	1.00	0.97	0.81	0.78	0.97	0.95		
MSeC	0.81	1.00	0.70	0.96	1.00	0.89	1.00	0.95	
Par	0.99	1.00	0.99	0.77	0.69	0.98	0.95	0.63	1.00

Fuente: Rstudio v4.0.
Elaboración propia

Del total de especies, el 20% de anfibios se encuentran únicamente en una región natural (Figura 11, Anexo 2). Es así como *Atelopus mindoensis* se encuentra ocupando sólo el Bosque Pie-montano Occidental con un rango altitudinal de distribución de 585msnm. *Atelopus nepiozomus*, *Niceforonia brunnea*, *Pristimantis churuwaii*, *Pristimantis gagliardoi*, *Pristimantis incanus*, *Pristimantis inusitatus*, *Pristimantis lividus*, *Pristimantis mazar*, *Pristimantis modipeplus* y *Pristimantis roni* se encuentran distribuidos en el Bosque Montano Oriental con un rango que va desde los 556 a 2.088 msnm. Las especies *Pristimantis celator*, *Pristimantis quinquagesimus* y *Pristimantis sobetes* ocupan el Bosque Montano Occidental con un rango altitudinal de 1.544 a 1.577 msnm. El resto de las especies (80%) se encuentra distribuido en más de dos regiones naturales del Ecuador continental; siendo las especies *Hyloxalus infraguttatus* y *Rhaebo caeruleostictus* las que presentan un rango de distribución que abarca entre cinco y seis formaciones con rangos de 3.208 y 3.230 msnm respectivamente (Figura12, Anexo 2).

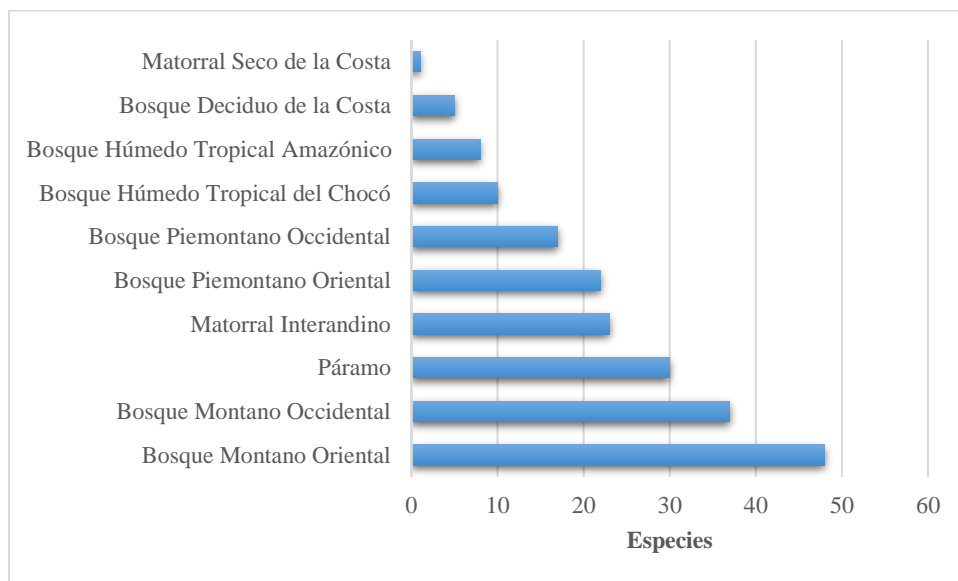


Figura 12: Número de especies por formación vegetal.

Fuente: Excel.

Elaboración propia

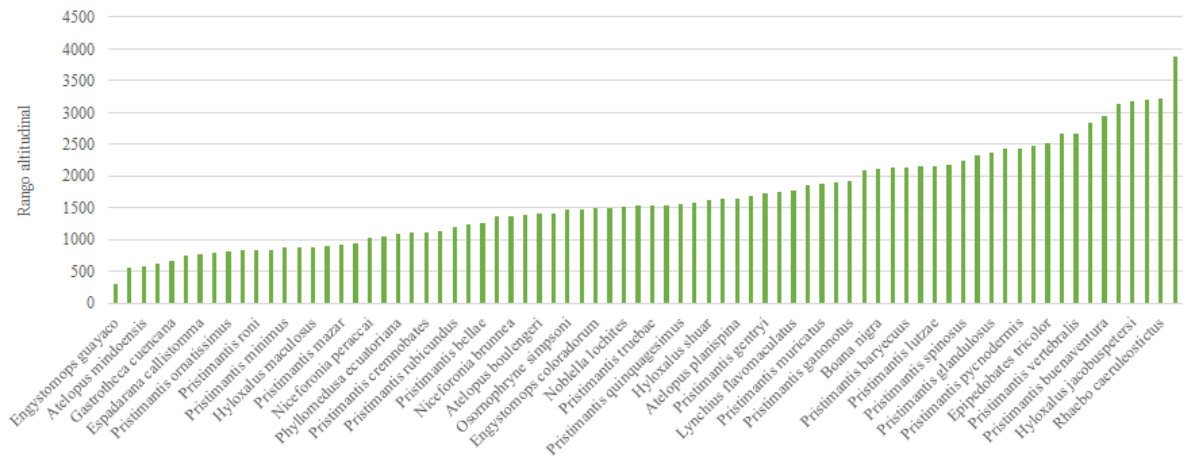


Figura 13: Rango altitudinal por especie.

Fuente: Excel.

Elaboración propia

Nicho ecológico potencial al presente

Se realizó el MNE potencial al presente de 76 especies de anfibios que se encuentran dentro de 11 familias y 18 géneros; siendo la familia Strabomantidae la que mayor número de especies presenta (47 spp.) con la representatividad del género *Pristimantis* (42 spp.). En total la familia cubre un área de 117562.123 km² de su nicho predicho al presente. La familia se encuentra distribuida principalmente en las regiones de Bosque pie-montano hasta el Páramo y Matorral Interandino de ambos lados de la cordillera de los Andes. La familia Telmatobiidae presenta un promedio total en el área de distribución de 12812.373 km² con la especie *Telmatobius niger* con 34 localidades distribuidas en los Bosque Montano Occidental, Bosque Montano Oriental, Páramo y Matorral interandino. Bufonidae está representado por 12 especies que en conjunto suman un nicho potencial de 50968.771 km², distribuidos en todas las regiones naturales de Ecuador. La familia Dendrobatidae con siete especies endémicas presenta un área de 51254.49 km². Este grupo de especies se encuentra distribuida desde los Bosques Montanos de ambos lados de la cordillera hasta el Páramo (Anexo 2).

Las especies *Engystomops coloradorum* y *Engystomops guayaco* agrupadas en la familia Leptodactylidae cubren un rango de 12529.986 km² de la superficie de distribución potencial al presente; estas especies se encuentran distribuidos hacia el lado occidental de la cordillera de los Andes desde el Bosque Deciduo de la Costa hasta el Bosque Piemontano Occidental. Las familias Hylidae y Centrolenidae cubren un área 4128.348 y 1546.881 km² respectivamente, distribuidos en el Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental, Bosque Húmedo Tropical del Chocó y Bosque Piemontano Occidental. Hemiphractidae con dos especies (*Gastrotheca cuencana* y *Gastrotheca elicioi*), Aromobatidae (*Allobates fratisenescus*) y Microhylidae (*Chiasmocleis parkeri*) son las familias que menor área se determina (<895.475 km²) (Tabla 4). Las especies que se encuentran representadas en estas familias se encuentran en el Bosque Húmedo Tropical Amazónico, Bosque Piemontano Oriental hasta el Matorral Interandino y el Bosque Montano Occidental (Anexo 2).

Tabla 4
Área promedio y desviación estándar en Km² por familia en los modelos de nicho potencial en condiciones actuales.

Familias	Especies	Localidades	Área total	Promedio	DE	Mínimo	Máximo
Aromobatidae	1	13	542.283	542	NaN	542	542

Familias	Especies	Localidades	Área total	Promedio	DE	Mínimo	Máximo
Bufo	12	339	50968.771	4247	5541	168	19513
Hyla	2	26	4128.348	2064	408	1776	2352
Microhyla	1	11	895.475	895	NaN	895	895
Leptodactylus	2	48	12529.986	6265	7042	1285	11245
Dendrobates	7	356	51254.49	7322	7981	821	18648
Centrolenidae	1	23	1546.881	1547	NaN	1547	1547
Hemiphractidae	2	29	550.613	275	153	167	383
Strabomantidae	47	947	117562.123	2501	2488	208	12043
Telmatobius	1	34	12812.373	12812	NaN	12812	12812

Fuente: Rstudio v4.0.
Elaboración propia

2. Efectos del cambio climático sobre el nicho ecológico potencial actual de las especies de anfibios

Evaluación de los modelos

En los métodos de evaluación el TSS (media=0.988, DE=0.019) y AUC (media=0.997, DE=0.003) muestran un buen desempeño. Dentro de los 76 anfibios la especie *Atelopus ignescens* presenta un valor menor en los estadísticos TSS= 0.882, AUC=0.985. Los modelos de *Engystomops guayaco*, *Hyloxalus jacobustepersi*, *Hyloxalus vertebralis*, *Osornophryne guacamayo* y *Telmatobius niger* presentan valores inferiores al TSS= 0.995; en el estadístico AUC los valores se encuentran en la media del total de anfibios modelado. La evaluación con el uso de AUC son mayores al 0.9 en comparación al uso de TSS; en el que se observa mayor fluctuación que va desde 0.8 al 0.99 (Anexo 4).

Cambio en el tamaño del rango

Las proyecciones de nicho potencial realizadas para el año 2060 disminuyeron para 76 especies de anfibios endémicos en condiciones de cambio climático en el escenario RCP 4.5 (Anexo 5, Figura 13). Es así como las especies *Chiasmocleis parkeri*, *Espadarana callistomma*, *Pristimantis huicundo* y *Pristimantis minimus* presentan una contracción total en su rango de distribución y no existe áreas que presente condiciones óptimas para estas cuatro especies. *Allobates fratisenescus*, *Pristimantis ocreatus*,

Pristimantis gagliardoi, *Pristimantis mazar*, *Pristimantis mindo*, *Engystomops coloradorum*, *Pristimantis pycnodermis* y *Pristimantis baryecuus* pierden entre el 90 y 99% del área de distribución potencial; y un promedio en área de 4.88 km² de ganancia en zonas climáticamente estables.

En 32 especies se observa una reducción del 50 al 89% del área climáticamente óptima. En este grupo se puede observar que existe ganancia en el nicho que va desde los 0.4 % al 60%. Las especies *Atelopus Boulengeri*, *Pristimantis gentryi*, *Gastrotheca cuencana* y *Pristimantis lividus* presentan ganancia en nuevas áreas en el rango de distribución con 90%, 91%, 126% y 130% respectivamente. 19 especies presentan del 30 al 49% en reducción de su nicho con un 6 hasta el 61% en expansión de su área de distribución. De un 10% al 30% se observa la pérdida en el área de distribución de 18 especies de anfibios con 11% hasta el 65% de ganancia en el rango de distribución. Dentro de este grupo se destaca la especie *Atelopus planispina* con una ganancia de nicho del 233.515% (178.76 km²). Las especies *Pristimantis cremnobates*, *Pristimantis bellae* y *Atelopus ignescens* presentan una pérdida del rango de distribución menor al 10% con ganancia del 69 %, 26% y 31% respectivamente (Anexo 5).

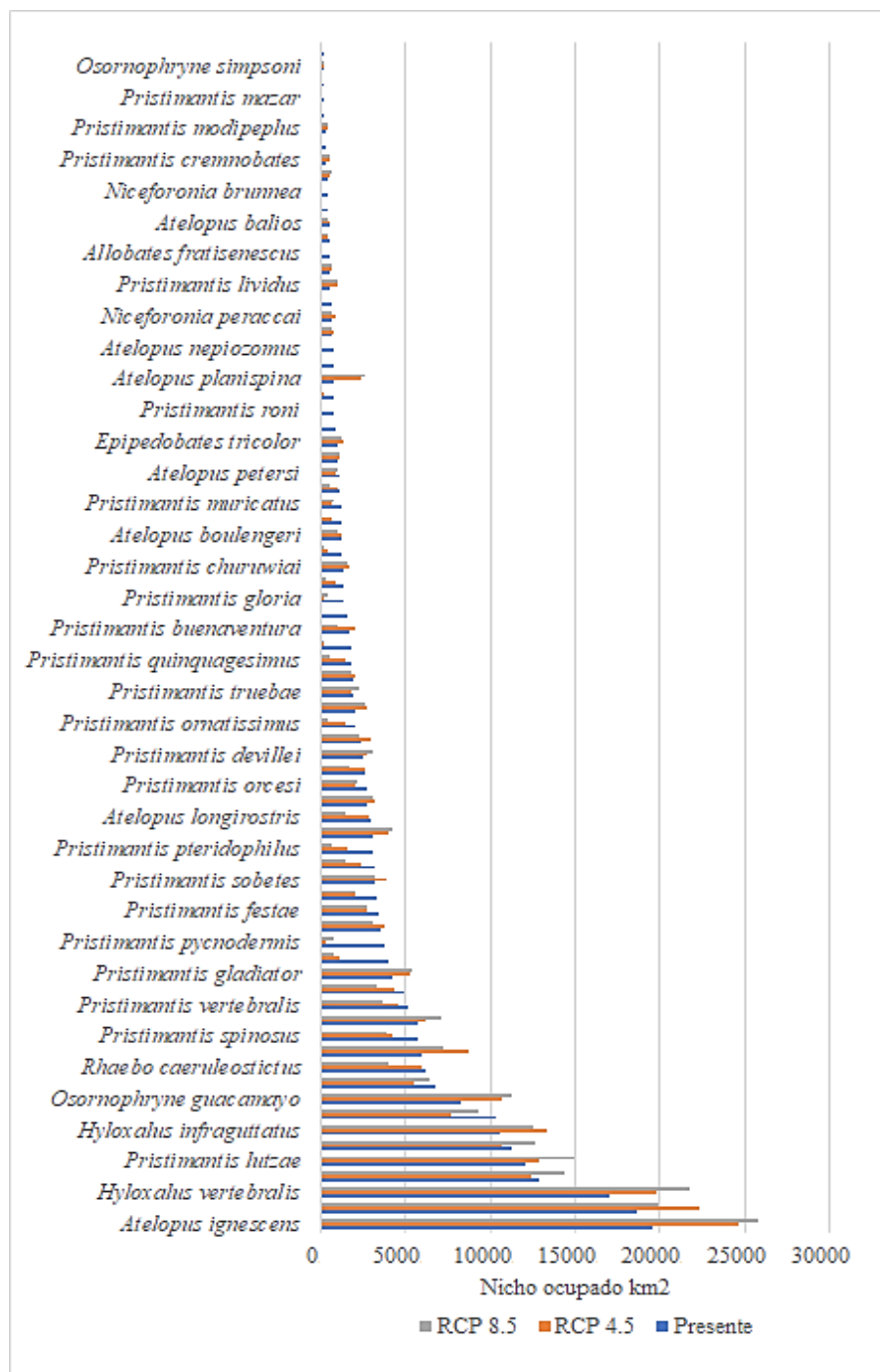


Figura 14: Nicho ocupado en Km² por especie.

Fuente: Excel.

Elaboración: propia

En el escenario RCP 8.5 los modelos predicen una disminución en el área de distribución potencial de las 76 especies de anfibios modeladas (Anexo 5, Figura 13). Del total de especies seis van a perder el 100% de su rango distribución (*Allobates fratisenescus*, *Chiasmocleis parkeri*, *Espadarana callistomma*, *Pristimantis huicundo*, *Pristimantis ocreatus* y *Pristimantis minimus*) y no se prevé un cambio de rango. Entre

el 90% al 99% de nicho potencial pierden las especies *Pristimantis mindo*, *Pristimantis ornatissimus*, *Engystomops coloradorum*, *Strabomantis necerus*, *Hyloxalus maculosus*, *Pristimantis roni*, *Pristimantis baryecuus* y *Atelopus boulengeri* con un promedio del 14.58% en la expansión del rango.

Entre el 50% al 89% de pérdida de rango se evidencia en 23 especies de anfibios con un promedio de 28.36 en ganancia de áreas climáticamente adecuadas para este grupo de anfibios. Se destaca a las especies *Gastrotheca cuencana* y *Pristimantis churuwiai* al presentar una ganancia del 123% y 83% respectivamente en su rango de distribución. 18 especies presentan una disminución entre el 30 al 49% de su área con un promedio de 56% en ganancia de áreas óptimas para su distribución; en este grupo tres especies *Atelopus planispina*, *Pristimantis lividus* y *Epipedobates tricolor* presentan una ganancia del 282%, 125% y 76%.

Pristimantis petersi, *Pristimantis glandulosus*, *Hyloxalus infraguttatus*, *Pristimantis actites*, *Hyloxalus jacobuspetersi*, *Pristimantis modipeplus*, *Pristimantis cremnobates*, *Atelopus bomolochos*, *Osornophryne guacamayo*, *Engystomops guayaco*, *Pristimantis lutzae* y *Hyloxalus vertebralis* presentan una pérdida del rango de distribución entre el 10% al 30% con ganancia en nuevas áreas entre el 13% al 70%. *Telmatobius niger*, *Pristimantis bellae* y *Atelopus ignescens* presentan un porcentaje menor al 10% en la pérdida de áreas con ampliaciones de nicho entre el 20% al 34%.

En la figura 14 se compara los nichos de las especies en condiciones actuales (eje X) y en condiciones de cambio climático (eje Y). Junto a la diagonal se pueden observar puntos que se encuentran al final que representa a especies que tienen un nicho mayor en condiciones de cambio climático que en las actuales como lo descrito en anteriores párrafos.

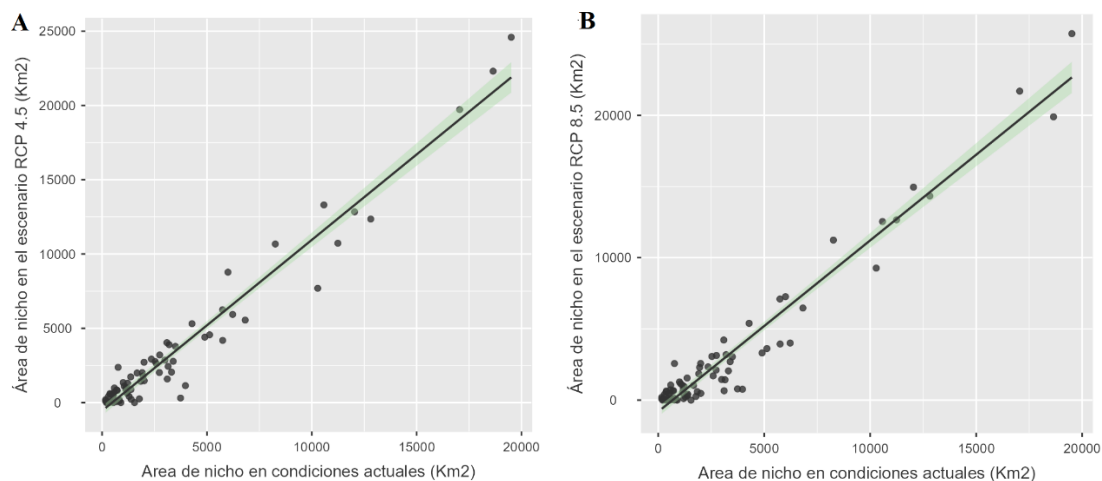


Figura 15: Representación del tamaño de los nichos ecológicos de 76 especies de anfibios bajo condiciones actuales y de cambio climático (A) RCP 4.5, (B) RCP 8.5.

Fuente: Rstudio v4.0.

Elaboración propia

Modelos de nichos potenciales en el gradiente altitudinal

El nicho potencial predicho al presente y en dos escenarios de cambio climático para las 76 especies de anfibios endémicos a lo largo de la gradiente altitudinal, concentra mayor representatividad en los bosques montanos en ambos lados de la cordillera de los Andes con una media entre 2.211 a 2.285 msnm. Seguido se encuentra el gradiente altitudinal inferior con las formaciones de los bosques tropicales y piemontanos del occidente y oriente entre los 120 a 1.300 msnm. Por último, los bosques de Páramo y Matorral concentran mayor representatividad entre los 3.140 a los 3.978 msnm Anexo 6, Figura 15).

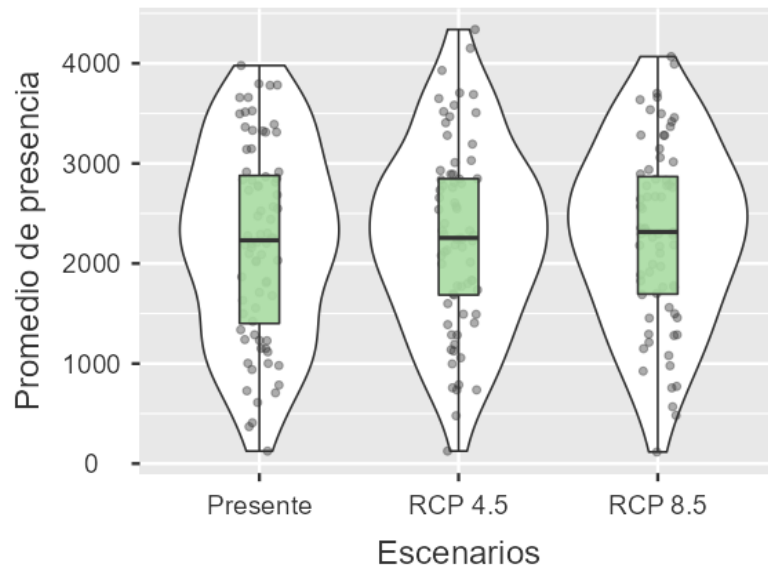


Figura 16: Representación del tamaño de los nichos ecológicos de 76 especies de anfibios bajo condiciones actuales y de cambio climático (A) RCP 4.5, (B) RCP 8.5

Fuente: Rstudio v4.0.

Elaboración propia

La distribución de los nichos potenciales en el escenario RCP 4.5 se puede observar que se extiende hacia las partes altitudinales superiores con densidad más uniforme en los bosques montanos. En el escenario RCP 8.5, los nichos potenciales de las especies presentan una ampliación en la densidad en los bosques montanos disminuyendo en los bosques tropicales y piemontanos (Figura 15).

El promedio de pérdida en áreas climáticamente estables para las especies de anfibios endémicos se concentra en elevaciones intermedias entre los 1.700 a 3.000 msnm en ambos escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 con la media ~2.180 msnm (Figura 15). Estas zonas corresponden a los boques montanos oriental y occidental. Seguido por elevaciones bajas entre los 100 y 1.300 msnm y zonas altoandinas entre los 3.001 hasta los 3.700 msnm en ambos escenarios.

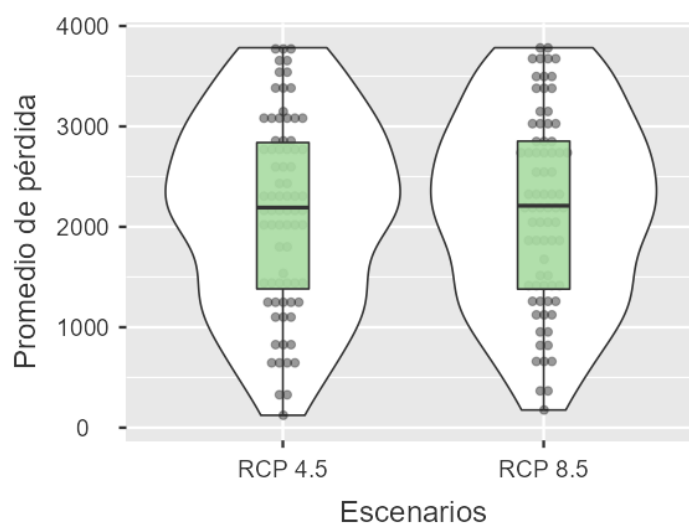


Figura 17: Distribución del promedio de pérdida de áreas en la gradiente altitudinal en dos escenarios de cambio climático.

Fuente: Rstudio v4.0.

Elaboración propia

De igual manera, las zonas altitudinales que concentran mayor ganancia en ambos escenarios se encuentran entre los 2.000 a 3.000 msnm que corresponde a las formaciones vegetales de bosques montanos, con la media en los 2.228 y 2.182 msnm respectivamente (Figura 16). Seguido por elevaciones bajas entre los 150 a 1.300 msnm.

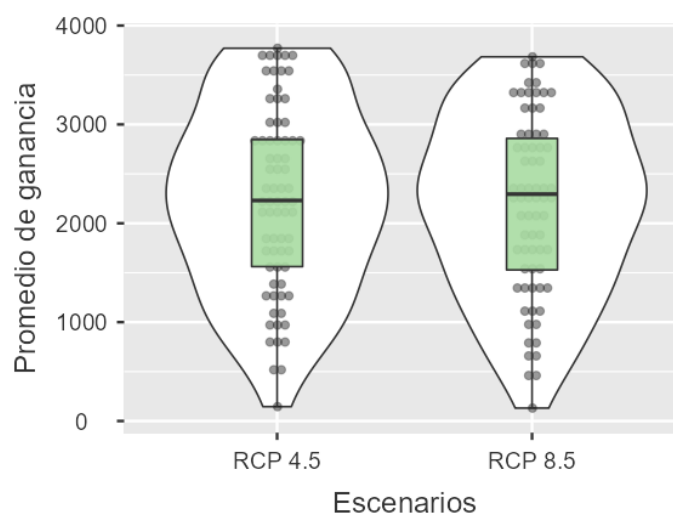


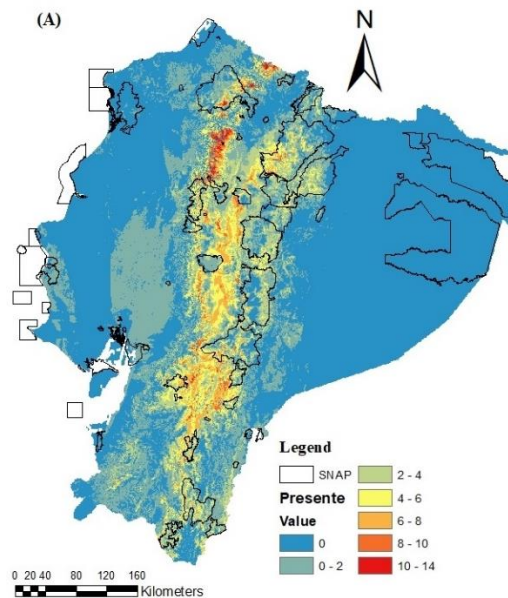
Figura 18: Distribución del promedio de ganancia de áreas en la gradiente altitudinal en dos escenarios de cambio climático.

Fuente: Rstudio v4.0.

Elaboración propia.

Áreas potenciales con estabilidad climática futura y sensibles a cambios para la conservación de anfibios del Ecuador

En la figura 18 se muestra la comparación de riqueza de especies de anfibios endémicos en condiciones actuales (Figura 18 A) y en condiciones de cambio climático con los escenarios de RCP 4.5 y RCP 8.5 (Figura 18 B, C). En el escenario en condiciones actuales (Figura 18 A) se puede observar (colores anaranjado intenso y rojo) mayor concentración de especies a lo largo de los Andes ecuatorianos; siendo las formaciones vegetales de Bosque Montano del Occidente y Oriente, Páramo y Matorral Interandino los que concentra mayor cantidad de especies por pixel. Estas zonas se ubican en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha y Cotopaxi. El Bosque Piemontano Occidental y Oriental concentra zonas con diversidad media de anfibios endémicos en las provincias de Cañar y Azuay (Figura 18 A). Por el contrario, al sur las formaciones de Bosque montano Occidental y Oriental disminuye la riqueza concentrando un máximo de cuatro especies.



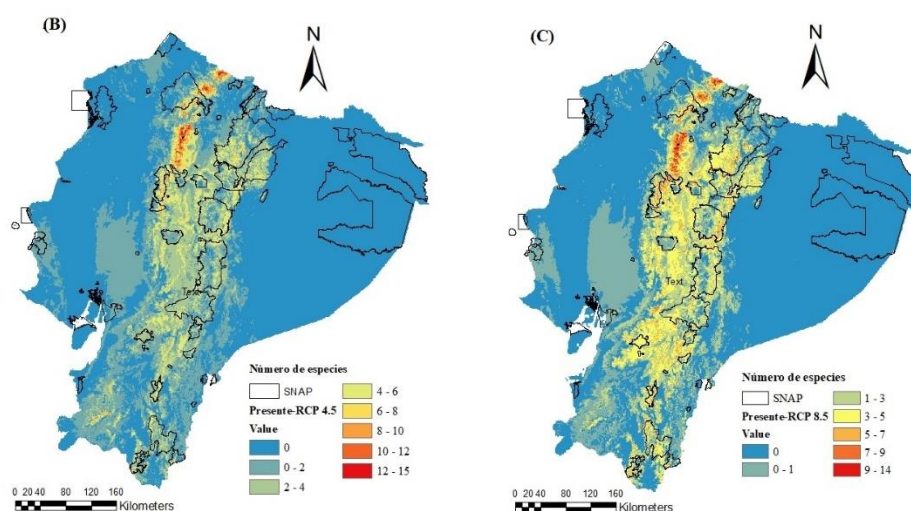


Figura 19: Patrón de riqueza de especies en condiciones climáticas actuales y futuras para escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. (A) Modelo de riqueza de especies en condiciones actuales. (B) Modelo de riqueza de especies en condiciones futuras en un escenario de RCP 4.5. (C) Modelo de riqueza de especies en condiciones futuras en un escenario de RCP 8.5.

Fuente: Arcmap v10.5.
Elaboración propia.

En general se puede observar pérdidas de diversidad de anfibios en ambos escenarios (Figura 19 D, E). Las zonas que presentó mayor cambio hacia la pérdida de biodiversidad son los Bosques Montanos de ambos lados de la cordillera, Páramo y Matorral Interandino, principalmente en la zona centro sur de Ecuador. Las zonas con mayor ganancia se observan al nor-occidente en el Bosque Montano y Páramo; y, en el límite de los Bosques Piemontano y Montano Oriental.

No obstante, se evidencia un 36% en áreas que en la actualidad no se encuentran ocupadas pero que en este escenario se prevé que lo estén. En las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha y Loja concentra mayor cantidad de especies (14 spp.) por pixel. Además, la aparición de especies en áreas nuevas como es el caso del norte de la provincia de Esmeraldas y el sureste de Morona Santiago.

El panorama para el escenario RCP 8.5 es similar al RCP 4.5, con la reducción de nichos climáticos estables para las especies del 58% y ganancia de nichos estables climáticamente del 24%. Se observa mayor concentración de la diversidad hacia los Bosques Montanos Occidental y Oriental y Páramo. Es así el caso de la provincia de Zamora Chinchipe en la que hay la desaparición de nichos y acumulación de especies hacia la cordillera del Cóndor. En la provincia del Napo se observa la misma característica en la que se observa pérdida en los Bosques Piemontanos y concentración de diversidad hacia en el límite entre el bosque Piemontano y Montano Oriental (Figura 19 A, B).

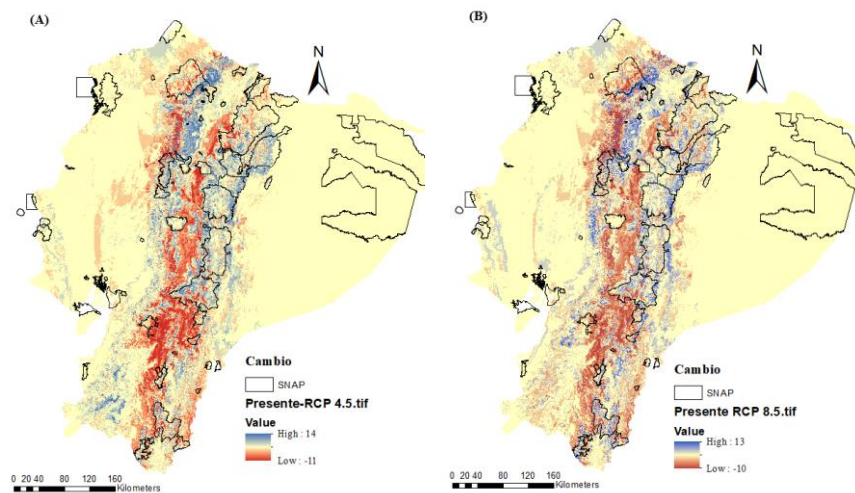


Figura 20: Cambio en la riqueza absoluta de especies en los escenarios RCP 4.5 (A) y RCP 8.5 (B).

Fuente: Arcmap v10.5.
Elaboración propia.

Modelos de riqueza de anfibios en el SNAP

La representación total en km² del área predicha en condiciones actuales que se encuentra dentro del SNAP es de 4912.3035 km². El promedio de representatividad por especie es del 4% del total predicho. En los escenarios futuros RCP 4.5 y RCP 8.5 se observa una disminución con un total de 4883.138 y 4716.478 km² respectivamente. Sin embargo, se observa un 6 y 5% de representación del nicho predicho por especie (Anexo 7).

Las especies *Hyloxalus vertebralis*, *Telmatobius niger*, *Pristimantis devillei*, *Pristimantis gladiator* y *Pristimantis glandulosus* son las especies que presentan una mayor representatividad en el SNAP del nicho potencial predicho al presente (>151.66). En el escenario RCP 4.5 las especies *Hyloxalus vertebralis*, *Hyloxalus jacobuspetersi*, *Osornophryne guacamayo*, *Niceforonia peraccai*, *Pristimantis incanus*, *Pristimantis glandulosus*, *Pristimantis devillei* y *Pristimantis gladiator* presentan un nicho potencial dentro del SNAP entre 157.49km² hasta 269.99 km². De este grupo *Niceforonia peraccai* presenta un 21% de protección del total de su nicho predicho. En el escenario RCP 8.5 el SNAP protege entre 155.83 km² hasta 267.49 km² de las especies *Pristimantis inusitatus*, *Hyloxalus jacobuspetersi*, *Niceforonia peraccai*, *Pristimantis devillei*, *Pristimantis incanus*, *Pristimantis glandulosus* y *Pristimantis gladiator* (Anexo 7).

El nicho predicho en condiciones actuales para las especies *Pristimantis buenaventura* y *Pristimantis petersi* no se encuentran protegidas. En el escenario 4.5 las especies que climáticamente no van a tener nichos protegidos son *Allobates fratisenescus*, *Chiasmocleis parkeri*, *Espadarana callistomma*, *Pristimantis buenaventura*, *Pristimantis minimus*, *Pristimantis huicundo* y *Pristimantis mindo*. Para el escenario 8.5 las especies que su nicho no se encuentra dentro del SNAP son: *Allobates fratisenescus*, *Chiasmocleis parkeri*, *Espadarana callistomma*, *Pristimantis minimus*, *Pristimantis huicundo* y *Pristimantis mindo* (Anexo 7).

En general el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) presenta vacíos importantes en la representatividad de sus áreas frente a la riqueza de especies de anfibios endémicos actual y futura (Figura 18 A, B, C). Principalmente se observa tres zonas con alta riqueza (6-15 spp) y que no se encuentran dentro del SNAP en las predicciones al presente. (1) En la provincia de Esmeraldas hacia el lado oriental, las provincias del Carchi, Imbabura y Pichincha que corresponden a los Bosques Montanos Occidentales (2). La sierra central en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Cañar en los Bosques Montanos de ambos lados de la cordillera y Páramo y Matorral Interandino. (3) Hacia el sur de Ecuador en las provincias del Azuay, Morona Santiago en la cordillera del Kutukú y Loja en los Bosques Montanos Orientales y Matorral Interandino.

Se observa una mayor representatividad de especies en las áreas protegidas Sangay, Cayambe-Coca, Los Illinizas, Podocarpus, Llanganates y Antisana con un número de especies que va de 31 a 42 en condiciones actuales y de futuro. Entre 11 a 26 especies se encuentran en las reservas Cotacachi-Cayapas, Yacuri, Colonso-Chalupas, Sumaco Napo-Galeras, Yacuambi, Río Negro Sopladora, Marco Pérez de Castilla, Siete Iglesias, Cerro Plateado, Cotopaxi, La Bonita, Bellavista, Cajas y Mazán. Las reservas que solo presentan una especie tanto en el presente como en los escenarios futuros corresponden a áreas protegidas que se encuentran hacia el occidente de la cordillera de los Andes estos son: Arenillas, Los Samanes, Machalilla, Manglares el Salado, Pacoche y Manglares Cayapas Mataje (Figura 20).

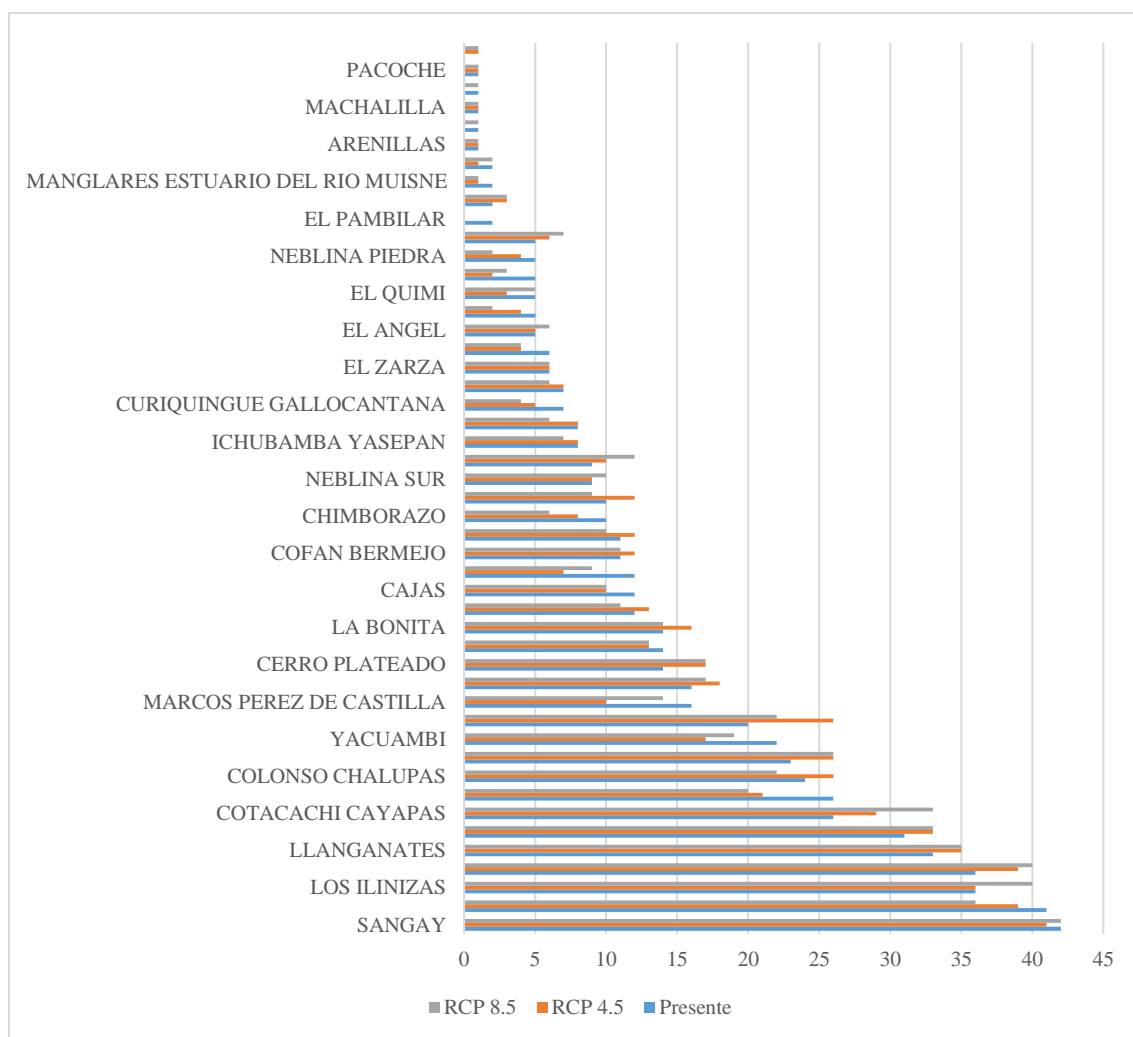


Figura 21: Número de especies por área protegida.

Fuente: Arcmap v10.5.

Elaboración propia.

Las reservas que mayor número de especies pierde (~ 6 spp) en el escenario RCP 4.5 son Marcos Pérez de Castilla, Yacuambi, Yacuri y Mazán; reservas que se encuentran ubicadas al sur de Ecuador. En el escenario RCP 8.5 las reservas Cayambe-Coca y Yacuri con cinco y seis especies respectivamente (Figura 21). Por el contrario, el 38 % del total de Reservas aumenta su número de especies entre 2 a 6 por reserva en el escenario RCP 4.5; mientras que en el RCP 8.5 solo un 21% aumenta el número de especies (Figura 18).

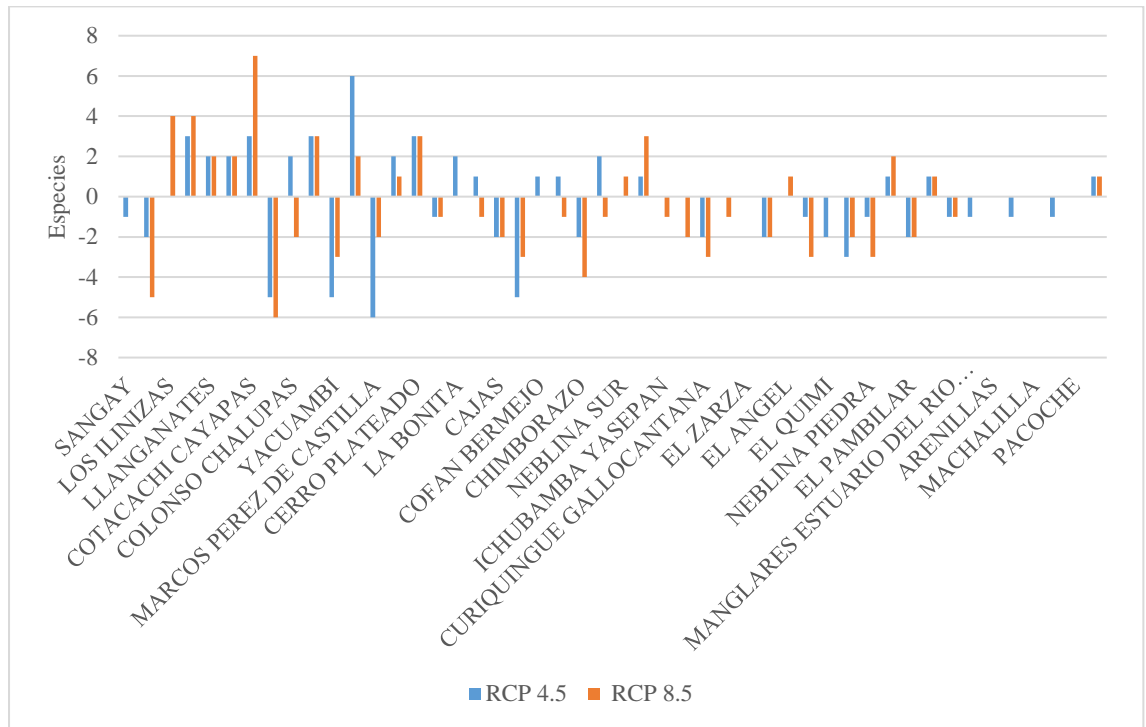


Figura 22: Cambio del número de especies en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5

Fuente: Arcmap v10.5.

Elaboración propia.

Capítulo cuarto

Discusión

Los anfibios endémicos (306 spp) y amenazados (206 spp.) en Ecuador son particularmente diversos (Ron, Merino-Viteri, y Ortiz 2022; Ortega-Andrade et al. 2021) y presentan su mayor densidad en los bosques montanos y tierras altas en la Cordillera de los Andes (Ortega-Andrade et al. 2021). A pesar de las temperaturas bajas y variables ambientales pronunciadas en la gradiente de elevación de los Andes, las especies de anfibios han logrado adaptarse; esto principalmente por la ecología, fisiológica y las relaciones térmicas que presentan los ectotermos (Navas 2006).

Estas características han permitido definir al grupo como más susceptible a declinaciones por efectos de la variabilidad climática que nos encontramos enfrentando en la actualidad (Wells 2007; Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero 2011; Seimon et al. 2017; IPCC 2018; Agudelo-Hz, Urbina-Cardona, y Armenteras-Pascual 2019; Ortega-Andrade et al. 2021). Además, la proporción de especies de anfibios en peligro de extinción en comparación con otros grupos de vertebrados como los mamíferos y aves continua creciendo (Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero 2011; UICN 2021).

Es así como en el presente estudio se determina el potencial impacto del cambio climático en la distribución de las especies de anfibios endémicos y amenazados de Ecuador, en la que se utiliza como información primaria las localidades de presencia de 76 especies. Del mismo modo, permite conocer si la distribución actual y futura de las especies se encuentra dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado. Los resultados obtenidos son de gran ayuda para generar apropiadas políticas de conservación para las especies de anfibios de Ecuador.

Los modelos de nicho ecológico permiten comprender y cuantificar hasta qué punto el cambio climático podría amenazar a las especies, en especial aquellas que se encuentran en densidades bajas y con distribuciones altitudinales estrechas (Graham et al. 2012). No obstante, es importante considerar que las distribuciones modeladas en el presente estudio, son representaciones espaciales potenciales del conjunto de condiciones ambientales que permitirían el establecimiento de las 76 especies de anfibios en Ecuador continental a lo que se incluyó las variables topográficas DEM y Rugosidad descritas en el acápite de metodología. Las áreas identificadas idóneas son probablemente una sobreestimación del área efectiva ocupada de las especies. En muchos casos no se ocupa ciertos hábitats idóneos como consecuencia de factores históricos como las barreras

geográficas, limitaciones fisiológicas y actividades relacionadas con los procesos humanos como la deforestación (Soberón y Peterson 2005; Carvalho et al. 2010).

En el presente estudio se modela a 13 anfibios que se encuentran en la categoría de En Peligro Crítico (CR) (Anexo 1). De este grupo las especies *Atelopus Boulengeri*, *Atelopus nepiozomus*, *Atelopus planispina*, *Rhaebo caeruleostictus*, *Strabomantis necerus* y *Telmatobius niger*, no han sido registradas desde la década de los 80's y 90's; y se presume que en la actualidad se encuentran extintas (Merino-Viteri, Coloma, y Almendariz 2005; Arteaga 2013; Ron 2020; Jaynes et al. 2022). Sin embargo, es importante mencionar que desde el año 2000 al presente se ha tenido una constante en los redescubrimientos de especies del género *Atelopus* en todo su rango de distribución geográfica siendo Ecuador uno de los países que más redescubrimientos ha tenido (14 spp.) (Jaynes et al. 2022).

Para el desarrollo del presente estudio y con el objetivo de incluir la mayor cantidad de especies de anfibios endémicos y en categoría de peligro se efectuó el modelado de nicho potencial al presente y futuro de este grupo de especies con la información histórica disponible en la base de datos entregada por parte del INABIO. De manera que, los modelos obtenidos de las especies del género *Atelopus* se identifican como más ajustados y fragmentados. Por el contrario, *Telmatobius niger* y *Rhaebo caeruleostictus* presentan áreas climáticamente estables al presente y futuro sobreestimadas (Anexo 5, Anexo 9).

De acuerdo con Rondinini et al. (2006) los modelos de nicho no están libres de incertidumbre o errores de comisión u omisión. Dichos errores se pueden presentar cuando los datos obtenidos son de colecciones de los museos sufren de sesgos espaciales o identificaciones erróneas. Además, los registros pudieron tomarse en un solo período único como la dispersión de una especie en un área debido a la sequía, o puede verse afectado por el cambio temporal de especies a largo plazo. Merino-Viteri, Coloma, y Almendariz (2005) en el estudio de *Telmatobius* en Ecuador describen que en un período desde 1985 a 1994 registran especímenes con quitridiomycosis (Bd), enfermos y con malformaciones. Adicionalmente, se registra en los Andes condiciones extremas de altas temperaturas y bajas precipitaciones que pudieron ser la causa de las posibles extinciones de *Telmatobius* y el aumento de enfermedades.

1. Efectos del cambio climático en la distribución de las especies de anfibios

Los modelos de nicho ecológico potenciales generados se obtuvo a través del uso de modelos de consenso que se basan en algoritmos combinados de las predicciones proporcionadas por diferentes modelos individuales (Thuiller 2003; Marmion et al. 2009). Las predicciones de las 76 especies de anfibios fueron estadísticamente fuertes ($AUC > 0.9$) a pesar de contar con pocas localidades. Esto podría deberse al hábitat altamente específico de nuestras especies; que abarca zonas climáticamente estrechas lo que hace que la delimitación con variables climáticas sea fácil y robusta (Jiguet, Barbet-Massin, y Henry 2010; Carvalho et al. 2010).

Los efectos del cambio climático en los escenarios del RCP 4.5 y RCP 8.5 proyectadas para el año 2060 determinan una disminución de la distribución potencial de las especies de anfibios con un promedio de pérdida de áreas entre el 53% y 57% respectivamente por especie. En el que se considera al escenario RCP 8.5 ligeramente más severo que el escenario RCP 4.5. A lo largo de la gradiente altitudinal de Ecuador, los bosques montanos son los más afectados al concentrar áreas con mayor pérdida. La disminución del más del 50% del nicho potencial de las especies en ambos escenarios sugieren que los modelos de nicho son una buena herramienta predictiva para determinar el estado de conservación de las especies; como lo determinado por Ortega et al., (2021) en la creación de la lista roja de anfibios de Ecuador.

En el presente estudio no se consideraron escenarios de dispersión por la baja capacidad de desplazamiento de largas distancias y por ser altamente filopátricos con respecto a otros grupos de vertebrados en períodos cortos de tiempo (Sinsch 1991; Blaustein et al. 2001; Wells 2007). Por lo tanto, nuestros resultados están relacionados con escenarios limitados de dispersión en un período relativamente corto (~40 años). En base a este criterio los resultados obtenidos están asociados con los patrones de pérdida de áreas climáticamente estables en anfibios de Ecuador y de la región ya reportados por otros investigadores (Barragán 2015; Cuesta et al. 2015; Agudelo-Hz, Urbina-Cardona, y Armenteras-Pascual 2019; Menéndez-Guerrero, Green, y Davies 2020).

Del mismo modo, este patrón de pérdida de especies bajo escenarios de cambio climático no solo se presentan en los anfibios, patrones similares se observan en aves, mamíferos, insectos y plantas, en la que se experimenta pérdidas del 100% del nicho climático; en consecuencia, extinción de varias especies (Ramirez-Villegas et al. 2014; Cuesta et al. 2015). Un ejemplo es la especie *Atelopus ignescens* que tenía una amplia distribución, sin embargo, sus poblaciones disminuyeron drásticamente entre 1980 - 1990

inclusive en áreas protegidas como en la reserva Antisana. Esta declinación concuerda con los datos de condiciones climáticas inusuales (calidad y secas) en más de un siglo (Merino-Viteri, Coloma, y Almendariz 2005)

Por otro lado, la deforestación es otro de los problemas que mayor repercusión tiene para la biodiversidad ya que este tiene efectos irreversibles principalmente en especies con rango de distribución pequeño y baja tolerancia al deterioro ambiental (Whittaker et al. 2013). Las enfermedades emergentes se han reportado como uno de los factores que ha ocasionado la disminución de anfibios, como es el caso del *Batrachochytrium dendrobatidis* que sumado los cambios inducidos por el clima puede alterar la dinámica de huésped-parasito de modo que las enfermedades infecciosas ejerzan un mayor impacto en las especies (Pounds et al. 2007; Seimon et al. 2007; Lips et al. 2008). A pesar de la tendencia de pérdida de áreas en anfibios con nichos climáticos estrechos, se predice áreas de ganancia que benefician a algunas especies de anfibios con un promedio de 36% en el escenario RCP 4.5 y 34% en el RCP 8.5. El estudio realizado por Barragán (2015) en anfibios endémicos de Ecuador indica que existe un beneficio potencial en ~60% de las especies con un aumento del 65% en la distribución futura en un escenario limitado de dispersión. Sin embargo, estas se encuentran limitada por la pérdida de hábitat (~3%) y la poca habilidad de las especies para coloniza nuevas áreas (Barragán 2015; Wells 2007).

2. Patrones espaciales en la distribución de las especies de anfibios en condiciones de cambio climático

Los modelos de riqueza obtenidos demuestran que en ambos escenarios existe mayor concentración de especies por pixel en los bosques montanos occidentales seguido por los bosques montanos orientales. Este patrón de riqueza principalmente los ubicados en el norte y centro de Ecuador es común en las investigaciones dentro del país (Cuesta C. et al. 2013; Lessmann, Muñoz, y Bonaccorso 2014). Estos resultados son consecuencia del mayor esfuerzo realizado en estas zonas en relación con otras regiones de Ecuador (Reyes-Puig, Almendáriz, y Torres-Carvajal 2017). De igual manera, la pérdida de especies se concentra principalmente en la zona centro-sur con un alto recambio de especies a lo largo del callejón interandino en ambos escenarios. Se puede observar en la figura 18) el recambio en zonas como el norte de la Reserva Ecológica Los Illinizas, este del Parque Nacional El Cajas, Parque Nacional Podocarpus y Cordillera del Cóndor.

Los patrones observados en ambos escenarios (Figura 18) de cambio climático muestran ganancia de especies en elevaciones superiores como los bosques montanos, matorral interandino y páramo; pérdida en zonas de menor elevación como los bosques pie-montanos y regiones de altitud intermedia. Aunque el tamaño de muestra en el presente estudio es reducido, los resultados obtenidos son congruentes con los patrones generales en la distribución de la riqueza de las especies a lo largo de la gradiente altitudinal; en la que confirman un desplazamiento vertical ascendente por efectos del cambio climático como se ha evidenciado en otros estudios (Borja 2009; Cuesta C. et al. 2013; Ramirez-Villegas et al. 2014; Barragán 2015; Cuesta et al. 2015). Sin embargo y de acuerdo a los últimos informes del IPCC (2018) sobre las tasas proyectadas de cambio climático se prevé que la variabilidad climática se acelere, lo cual podría suponer una mayor dificultad de migración para las especies de anfibios (M. B. Araújo, Thuiller, y Pearson 2006; Li, Cohen, y Rohr 2013). Además, el efecto del cambio climático podría tener una serie de efectos indirectos para los anfibios. Por ejemplo, una mayor propagación de enfermedades infecciosas (Pounds et al. 2006; Seimon et al. 2007). Daño en el sistema inmunológico por múltiples factores estresantes como los cambios en las precipitaciones o aumento en la radiación ultravioleta que podría ocasionar que los anfibios sean más susceptibles a patógenos (Blaustein et al. 2001; Wells 2007).

A lo que suma el aumento de la fragmentación de los hábitats que de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Ecuador se mantiene con una de las tasas de deforestación más altas en América del sur en las últimas décadas (Tapia-Armijos et al. 2015). Estos cambios y continua deforestación de los bosques idóneos para las especies imposibilitarían las migraciones ascendentes de los anfibios predichas en el presente estudio.

3. Distribución de las especies de anfibios endémicos y amenazados en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP)

Los resultados obtenidos de los modelos de riqueza de especies de anfibios endémicos y amenazados identifican a manera de corredor a la parte interandina de la cordillera de los Andes prioritarias para su conservación (Cuesta et al. 2015; Ortega-Andrade et al. 2021). En la figura 18 se puede observar la baja representatividad que tiene el SNAP en los modelos de nichos potenciales de las especies endémicas de anfibios en

esta zona. En muchos casos se evidencia mayor cambio en las regiones que no se encuentran protegidas y en otros un alto recambio principalmente en las áreas protegidas que se encuentran en la vertiente oriental de Ecuador. Cuesta et al. (2013) ya identifica y describe los vacíos de conservación que existen en el Ecuador continental con varios grupos de vertebrados. El autor describe la limitada eficiencia para proteger de manera adecuada a la biodiversidad. Principalmente por tres razones (1) existencia de áreas protegidas pequeñas y aisladas, (2) desequilibrio en la distribución de las áreas que conforman el SNAP; y (3) ausencia completa de áreas protegidas en espacios concretos como es los Andes centrales. A lo que se suma, la constante presión que presentan las áreas protegidas en sus zonas de influencia por actividades de tipo antrópico principalmente el cambio de cobertura vegetal y el aumento de la frontera agrícola (Reyes-Puig 2015).

La región nor-occidental, laderas orientales y sur de Ecuador en los bosques montanos, páramo y matorral interandino presenta valores bajos de representatividad ecosistémica. Lo que expone nuevamente la importancia de estas regiones, que presentan los valores más altos de amenaza producto de la fragmentación, degradación y varios proyectos de desarrollo humano como la minería y la explotación petrolera (Ministerio del Ambiente 2013; Lopez, Sierra, y Tirado 2010; Tapia-Armijos et al. 2015; Cuesta et al. 2013). Al ser la deforestación una de las causas de la declinación de las especies de anfibios de Ecuador (Ortega-Andrade et al. 2021). Los modelos finales de nicho potencial al presente generados, se eliminaron los pixeles correspondientes a zonas de deforestación en un período de 1990 al 2018. Este insumo permitió generar un mejor modelo a nivel de especie. De esta manera, las tres zonas identificadas como prioritarias para su conservación, resguardan gran diversidad de anfibios endémicos que cada año van en aumento con la descripción de nuevas especies (Ron, Merino-Viteri, y Ortiz 2022)

A continuación, se describen las tres zonas identificadas:

1. La zona nor-occidental (Esmeraldas, Carchi, Imbabura y Pichincha) a pesar de tener una vasta información biológica (Borja 2009; MECN 2010; Reyes-Puig, Almendáriz, y Torres-Carvajal 2017; Myers et al. 2000) con la identificación de una gran riqueza de especies, no cuenta con áreas protegidas en zonas vulnerables de alto recambio de especies como el norte del Reserva Ecológica Los Illinizas y Cotacachi Cayapas. Por tanto, es urgente identificar un escenario adecuado en colaboración con las reservas privadas y los bosques protectores que permita consolidar la creación de un área protegida tanto en la porción centro norte de la provincia de Esmeraldas como al sur de la Reserva

Cotacachi Cayapas formando un corredor entre los Illinizas – Cotacachi Cayapas – Manglares Cayapas Mataje. La consolidación de esta área protegida permitiría mantener los procesos de recambios de las comunidades de anfibios a través de un manejo privado – estatal.

2. A pesar de que la parte sur de Ecuador se mantuvo con bajos índices de deforestación en comparación a otra región, no fue hasta el año 1990 en adelante que incremento la tasa de deforestación de manera acelerada (Tapia-Armijos et al. 2015). Esta misma región carece de áreas protegidas y las pocas que existen se encuentran aisladas. El presente estudio evidencia un recambio alto de especies y concentración de diversidad anfibia (entre 9 a 14 spp). Por consiguiente, se identifica como una zona prioritaria para establecer acciones de conservación encaminadas en integrar áreas comunales, municipales y provinciales principalmente en la zona centro sur. Y la creación de áreas protegidas adicionales en los bosques deciduos y semideciduos de la cordillera de Chilla.

3. Las laderas orientales principalmente al norte y centro se encuentran bien representadas por SNAP, estas zonas pasaron a incrementar su riqueza de especies (>9 spp) en los bosques montanos de Sumaco, Llanganates y Sangay. Este último patrón identificado concuerda con el estudio realizado por Cuesta et al. (2015). En esta zona es importante mencionar que cuenta con una amplia información y ejecutar esfuerzos de conservación serían redundantes. Además, que el sobre muestreo podrían subestimar otras zonas que en el presente aparentan menos riqueza y endemismo. Sin embargo, áreas protegidas podrían promover la conectividad como es el caso del Corredor de Conectividad Sangay-Podocarpus

A pesar de que se ha identificado vacíos de conservación para las especies de anfibios endémicos y amenazados, las regiones que en la actualidad se encuentran dentro de las áreas protegidas se presentan como refugios de la diversidad anfibia en escenarios de cambio climático como son las laderas orientales de Ecuador. Es así, como las áreas protegidas juegan un papel fundamental en la conservación de las especies de anfibios (Cuesta, Peralvo, et al. 2017b; Lessmann, Muñoz, y Bonaccorso 2014).

4. Implicaciones para el manejo del SNAP

A partir de las primeras acciones de conservación de Ecuador que datan de 1936 hasta la actualidad se han evidenciado cambios sustanciales principalmente en el marco

normativo y político. En el que consideran a las áreas protegidas como un pilar fundamental para cumplir con los objetivos y metas del Convenio de Diversidad Biológica, Programa de Trabajo de las Áreas Protegidas y la Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2007).

Los resultados obtenidos en conjunto con la información existente sobre la pérdida de la biodiversidad en otros grupos de especies crean la necesidad de delinear estrategias de mitigación y adaptación de los efectos del cambio climático a un mejoramiento de los procesos de planificación de paisaje, en un marco de ordenamiento de territorio a varias escalas (local, regional, nacional). El mismo que busca implementar un diseño de un sistema que garantice la permanencia de los organismos biológicos y la funcionalidad de los ecosistemas a largo plazo (Cuesta et al. 2013; Cuesta, Peralvo, et al. 2017b)

Es así que el estado ecuatoriano reconoce la importancia de involucrar los distintos niveles de gestión institucional a nivel de Gobierno, Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2007, 2016). Además, de reconocer la importancia de la participación de distintos actores de la ciudadanía incluyendo el Sector Privado en los procesos de gestión. Es importante considerar que las áreas protegidas son una herramienta primordial para detener la pérdida de la biodiversidad; sin embargo, estas por si solas no son suficientes (Swartz et al. 2019).

En este contexto, es importante comprender los sistemas de valores, formas de manejo, aspiraciones socioeconómicas a nivel de actores privados y comunales para poder desarrollar acciones de conservación de anfibios más eficientes y socioculturalmente arraigadas.

Conclusiones

Los cambios en el rango del nicho climático potencial para las especies de anfibios endémicos y en categoría de peligro hacia el año 2060, muestran una contracción de su nicho climático en un 50 al 100%; mientras que otras especies ganan nuevas áreas hasta en un 130%. De acuerdo con la hipótesis de distribución, basada en las proyecciones, nuestros resultados sugieren que los anfibios endémicos de los Andes están expuestos a una constante declinación de su hábitat idóneo incrementando el riesgo de extinción en ambos escenarios evaluados. Dentro de las especies que van a perder sus nichos climáticos óptimos se encuentran a *Chiasmocleis parkeri* y *Pristimantis minumus* distribuidos en la actualidad en la cordillera del Cóndor; *Espadarana callistomma* que es una de las especies de centrolénidos endémica de los bosques del Chocó de Ecuador y *Pristimantis huicundo* que habita los páramos de la parte norte de Ecuador.

El patrón de recambio altitudinal ascendente de las especies que se observa en el presente estudio presenta una densidad uniforme en los bosques montanos de ambos lados de la Cordillera de los Andes. El escenario de estabilización RCP 4.5 los cambios proyectados en temperatura y precipitación, así como la pérdida de áreas conducirá a condiciones desfavorables para un alto porcentaje de anfibios evaluados en el presente estudio.

La capacidad de las especies de anfibios para ocupar los espacios climáticamente adecuados, dependen de su aptitud de dispersión, así como las circunstancias ecológicas para poder desplazarse. Sin embargo y de acuerdo a los modelos de nicho potencial actual desarrollados se puede observar una grave fragmentación producto de la deforestación en los nichos de las especies, especialmente en las laderas de ambos lados de la Cordillera de los Andes, lo que plantea la posibilidad de que la dispersión sea menor. La deforestación fue y continúa siendo uno de las causas principales de la disminución de la fauna anfibia en Ecuador. La fragmentación y degradación de los hábitats especialmente entre los ambientes acuáticos que generalmente no están protegidos debido a la falta información clara de las distancias desde las orillas de los ríos (González, Bonaccorso, y Papeş 2015), podría reducir la capacidad de dispersión para estos organismos que en su mayoría son semiacuáticos.

A pesar de que los anfibios presentan una baja capacidad de dispersión existen estudios que han demostrado lo contrario en las circunstancias ecológicas adecuadas

(Wells 2007; Seimon et al. 2007, 2017). Es de suma importancia realizar estudios sobre la capacidad de dispersión en anfibios de los Andes que podrían dilucidar su aptitud para hacer frente al cambio climático y la pérdida de hábitat en períodos cortos de tiempo (Blaustein et al. 2001).

La integración de los modelos de nicho ecológico potencial más las herramientas SIG permiten cuantificar los cambios en los nichos potenciales futuros de las especies de anfibios. Estas herramientas permiten priorizar áreas para la conservación y restauración; además de proveer de información a los organismos competentes sobre el manejo del recurso natural para planes de conservación.

En la presente investigación se provee de información sobre las áreas que por su riqueza, endemismo y alto recambio de especies son prioritarias para establecer acciones de conservación que incluya elementos explícitos de adaptación y mitigación de los efectos proyectados en los anfibios. Estas zonas necesitan ser protegidas a través de la creación de nuevas áreas protegidas y/o corredores que aumenten la eficiencia de la red del actual SNAP, que garanticen el recambio de especies y una mejor capacidad adaptativa. Específicamente se observa que los Andes centrales y sur están más amenazados y albergan menos áreas protegidas que la vertiente oriental.

Considero que el presente estudio podría constituir una propuesta para la inclusión de los anfibios como indicadores biológicos dentro de la creación de las áreas protegidas del estado. Los anfibios son un componente clave para muchos ecosistemas (W. Duellman y Trueb 1986; Wells 2007; Pounds et al. 2007), los cambios en las poblaciones de anfibios podrían afectar a otras especies como sus depredadores y presas de la comunidad inclusive si estas no se vieron afectadas por el cambio climático (Blaustein et al. 2001).

Recomendaciones

Con los resultados obtenidos existen dos temas que permitirían en un futuro mejorar el estudio realizado. El uno se refiere a permanentemente actualizar la base de datos de anfibios de Ecuador a través de un trabajo conjunto con las distintas instituciones de investigación para que la información este debidamente curada y que sean libremente accesibles. Y la segunda, es incrementar variables (fisiológicas, comportamentales, morfométricas entre otras) que probablemente limiten o faciliten la viabilidad de las poblaciones para la elaboración de los modelos de nichos. Además, que permitan disminuir las sobreestimaciones de los modelos.

La identificación y priorización de áreas bajo un enfoque de optimización constituye una herramienta fundamental para guiar esfuerzos y acciones de inversión del Estado ecuatoriano orientadas a fortalecer el SNAP y mejorar su representatividad. Es importante considerar que, en el contexto socioeconómico y político actual de Ecuador, es muy poco probable la creación de áreas de conservación bajo las categorías vigentes o la ampliación o modificación de las superficies de las reservas existentes de SNAP. Por tanto, es fundamental incorporar estrategias dirigidas a otros actores que pueden resultar aliados estratégicos que permitan diseñar mejores escenarios de conservación para biodiversidad anfibia del Ecuador continental.

Es de importancia, mantener y monitorear los proyectos de conservación en anfibios que se han venido desarrollando como el Proyecto de Conservación de Anfibios y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos (PARG) y apoyar a las nuevas iniciativas como “Alianza Jambato” que trabaja en la conservación de la última población de *Atelopus ignescens* en conjunto con las entidades públicas y privadas.

Lista de referencias

- Agudelo-Hz, William José, Nicolás Urbina-Cardona, y Dolors Armenteras-Pascual. 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): 206–19. doi:10.1016/j.pecon.2019.11.002.
- Aide, T. Mitchell, H. Ricardo Grau, Jordan Graesser, Maria Jose Andrade-Nuñez, Ezequiel Aráoz, Ana P. Barros, Marconi Campos-Cerqueira, et al. 2019. “Woody Vegetation Dynamics in the Tropical and Subtropical Andes from 2001 to 2014: Satellite Image Interpretation and Expert Validation”. *Global Change Biology* 25 (6): 2112–26. doi:10.1111/gcb.14618.
- Anderson, Elizabeth, José Marengo, Ricardo Villalba, Stephan Halloy, Bruce Young, D Cordero, Fernando Gast, E Jaimes, y D Carrascal. 2012. “Consecuencias del cambio climático en los ecosistemas y servicios ecosistémicos de los Andes Tropicales”. En *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*, Herzog, S. Martínez, R. Jorgensen, P. Tiessen, H., 426. Paris: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), Sao José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE).
- Angulo, Ariadne, José Rueda-Almonacid, José Rodríguez-Mahecha, y Enrique La Marca. 2006. *Técnicas de Inventario y Monitoreo para los Anfibios de la Región Tropical Andina*. Series Manuales de Campo 2. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Araújo, M. B., W. Thuiller, y R. G. Pearson. 2006. “Climate Warming and the Decline of Amphibians and Reptiles in Europe”. *Journal of Biogeography* 33 (10): 1712–28. doi:10.1111/j.1365-2699.2006.01482.x.
- Araújo, Miguel B., Richard G. Pearson, Wilfried Thuiller, y Markus Erhard. 2005. “Validation of Species–Climate Impact Models under Climate Change”. *Global Change Biology* 11 (9): 1504–13. doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x.
- Arguedas, Stanley, Leandro Castaño, y José María Rodríguez de la Guardia, eds. 2004. “Lineamientos y Herramientas para un Manejo Creativo de las Áreas Protegidas. Organización para los Estudios Tropicales.” Programa de Política y Ciencias Ambientales. San José. Costa Rica.
- Arteaga, Alejandro; Bustamante. 2013. *The Amphibians and reptiles of Mindo: Life in the Cloudforest*. Publicaciones Científicas, no. 1. Ecuador: Mariscal.
- Babak, Naimi. 2017. “Uncertainty Analysis for Species Distribution Models”. <https://cran.r-project.org/web/packages/usdm/usdm.pdf>.
- Barragán, Dayana. 2015. “Effects of future climate change and habitat loss in the distribution of frog species in the Ecuadorian Andes”. Tesis de maestría, Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Blanco, Juan. 2013. *Aplicaciones de modelos ecológicos a la gestión de recursos naturales*. OmniaScience. Universidad Pública de Navarra, España.
- Blaustein, Andrew R., Lisa K. Belden, Deanna H. Olson, David M. Green, Terry L. Root, y Joseph M. Kiesecker. 2001. “Amphibian Breeding and Climate Change”. *Conservation Biology* 15 (6): 1804–9. doi:10.1046/j.1523-1739.2001.00307.x.
- Borja, María Olga. 2009. “Modelamiento de nicho ecológico de las ranas de cristal [Amphibia: Anura: Centrolenidae] del Ecuador a partir de registros de

- museología: predicción del área de ocupación y evaluación en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador.” Tesis de grado, Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.
- Buermann, Wolfgang, Jaime A. Chaves, Robert Dudley, Jimmy A. McGUIRE, Thomas B. Smith, y Douglas L. Altshuler. 2011. “Projected Changes in Elevational Distribution and Flight Performance of Montane Neotropical Hummingbirds in Response to Climate Change: Elevational Change and Flight Performance”. *Global Change Biology* 17 (4): 1671–80. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02330.x.
- Buytaert, Wouter, Rolando Céleri, y Luis Timbe. 2009. “Predicting Climate Change Impacts on Water Resources in the Tropical Andes: Effects of GCM Uncertainty: Climate Change Impacts on Water Resources”. *Geophysical Research Letters* 36 (7): n/a-n/a. doi:10.1029/2008GL037048.
- Carvalho, Sílvia B., José C. Brito, Robert L. Pressey, Eduardo Crespo, y Hugh P. Possingham. 2010. “Simulating the effects of using different types of species distribution data in reserve selection”. *Biological Conservation* 143 (2): 426–38. doi:https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.11.010.
- Corn, P.S. 2005. “Climate change and amphibians”. *Animal Biodiversity and Conservation. Museu de Ciències Naturals*.
- Cox, Michael A. A., y Trevor F. Cox. 2008. “Multidimensional Scaling”. En *Handbook of Data Visualization*, editado por Chun-houh Chen, Wolfgang Härdle, y Antony Unwin, 315–47. Springer Handbooks Comp.Statistics. Berlin, Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-540-33037-0_14.
- Cuesta C., Francisco, M Peralvo, M Bustamante, A Merino-Viteri, P Muriel, Juan F. Freile, y O Torres-Carvajal. 2013. “Identificación de Vacíos y Prioridades de Conservación para la Biodiversidad Terrestre en el Ecuador Continental.”
- Cuesta, Francisco, Luis D. Llambí, Christian Huggel, Fabian Drenkhan, William D. Gosling, Priscilla Muriel, Ricardo Jaramillo, y Carolina Tovar. 2019. “New Land in the Neotropics: A Review of Biotic Community, Ecosystem, and Landscape Transformations in the Face of Climate and Glacier Change”. *Regional Environmental Change* 19 (6): 1623–42. doi:10.1007/s10113-019-01499-3.
- Cuesta, Francisco, Andres Merino-Viteri, Priscilla Muriel, Francis Baquero, Juan F. Freile, Omar Torres, y Manuel Peralvo. 2015. “Escenarios de impacto del cambio climático sobre la biodiversidad en el Ecuador continental y sus Implicaciones en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas”. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57723.pdf>.
- Cuesta, Francisco, Priscilla Muriel, Luis Daniel Llambí, Stephan Halloy, Nikolay Aguirre, Stephan Beck, Julieta Carilla, et al. 2017. “Latitudinal and Altitudinal Patterns of Plant Community Diversity on Mountain Summits across the Tropical Andes”. *Ecography* 40 (12): 1381–94. doi:10.1111/ecog.02567.
- Cuesta, Francisco, Manuel Peralvo, Francis David Baquero, Macarena Bustamante, Andres Merino-Viteri, Priscilla Muriel, Juan Freile, Omar Torres-Carvajal, y Tabla De. 2013. *Identificación de Vacíos y Prioridades de Conservación en el Ecuador Continental*. doi:10.13140/2.1.1360.0007.
- Cuesta, Francisco, Manuel Peralvo, Andrea Ganzenmueller, Malki Sáenz, Julio Novoa, Gabriela Rifrío, y Karla Beltrán. 2006. “Identificación de vacíos y prioridades de conservación para la biodiversidad terrestre en el Ecuador continental”. Ecociencia, The Nature Conservancy, Conservation International, Ministerio del Ambiente de Ecuador.
- Cuesta, Francisco, Manuel Peralvo, Andrés Merino-Viteri, Macarena Bustamante, Francis Baquero, Juan F. Freile, Priscilla Muriel, y Omar Torres-Carvajal. 2017a.

- “Priority Areas for Biodiversity Conservation in Mainland Ecuador”. *Neotropical Biodiversity* 3 (1): 93–106. doi:10.1080/23766808.2017.1295705.
- . 2017b. “Priority Areas for Biodiversity Conservation in Mainland Ecuador”. *Neotropical Biodiversity* 3 (1): 93–106. doi:10.1080/23766808.2017.1295705.
- Curtis, Philip G., Christy M. Slay, Nancy L. Harris, Alexandra Tyukavina, y Matthew C. Hansen. 2018. “Classifying Drivers of Global Forest Loss”. *Science* 361 (6407): 1108–11. doi:10.1126/science.aau3445.
- Deutsch, Curtis A., Joshua J. Tewksbury, Raymond B. Huey, Kimberly S. Sheldon, Cameron K. Ghalambor, David C. Haak, y Paul R. Martin. 2008. “Impacts of Climate Warming on Terrestrial Ectotherms across Latitude”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (18): 6668–72. doi:10.1073/pnas.0709472105.
- Duarte, Helder, Miguel Tejedo, Marco Katzenberger, Federico Marangoni, Diego Baldo, Juan Francisco Beltrán, Dardo Andrea Martí, Alex Richter-Boix, y Alejandro Gonzalez-Voyer. 2012. “Can Amphibians Take the Heat? Vulnerability to Climate Warming in Subtropical and Temperate Larval Amphibian Communities”. *Global Change Biology* 18 (2): 412–21. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02518.x.
- Duellman, William. 1999. *Distribution patterns of amphibians in South America. A global perspective*. John Hopkins University Press. Baltimore.
- Duellman, William E. 1979. *The South American herpetofauna : its origin, evolution, and dispersal*. Lawrence, Kan: Museum of Natural History, University of Kansas. doi:10.5962/bhl.title.3207.
- Duellman, William, y Linda Trueb. 1986. “Biology of amphibians”. *Baltimore: Johns Hopkins University*, 670.
- Elith, Jane, Simon Ferrier, Falk Huettmann, y John Leathwick. 2005. “The Evaluation Strip: A New and Robust Method for Plotting Predicted Responses from Species Distribution Models”. *Ecological Modelling* 186 (3): 280–89.
- Elith*, Jane, Catherine H. Graham*, Robert P. Anderson, Miroslav Dudík, Simon Ferrier, Antoine Guisan, Robert J. Hijmans, et al. 2006. “Novel Methods Improve Prediction of Species’ Distributions from Occurrence Data”. *Ecography* 29 (2): 129–51. doi:10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x.
- ESRI. 2013. “ArcGIS Desktop: Release 10 v.2. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.” <https://desktop.arcgis.com/es/desktop/>.
- Fadrique, Belén, Selene Báez, Álvaro Duque, Agustina Malizia, Cecilia Blundo, Julieta Carilla, Oriana Osinaga-Acosta, et al. 2018. “Widespread but Heterogeneous Responses of Andean Forests to Climate Change”. *Nature* 564 (7735): 207–12. doi:10.1038/s41586-018-0715-9.
- Feeley, Kenneth J., y Miles R. Silman. 2010. “Biotic Attrition from Tropical Forests Correcting for Truncated Temperature Niches: SPECIES LOSS ACCOUNTING FOR TRUNCATED NICHES”. *Global Change Biology* 16 (6): 1830–36. doi:10.1111/j.1365-2486.2009.02085.x.
- Frost. 2020. “Department of Herpetology | AMNH”. *American Museum of Natural History*. <https://www.amnh.org/research/vertebrate-zoology/herpetology>.
- Ghalambor, Cameron. 2006. “Are Mountain Passes Higher in the Tropics? Janzen’s Hypothesis Revisited”. *Integrative and Comparative Biology* 46 (1): 5–17. doi:10.1093/icb/icj003.
- González, Mariela Palacios, Elisa Bonaccorso, y Monica Papeş. 2015. “Applications of Geographic Information Systems and Remote Sensing Techniques to

- Conservation of Amphibians in Northwestern Ecuador”. *Global Ecology and Conservation* 3 (enero): 562–74. doi:10.1016/j.gecco.2015.02.006.
- Graham, Catherine, Bette Loiselle, Jorge Velasquez-Tibatá, y Francisco Cuesta. 2012. “Modelos de distribución de especies y el desafío de pronosticar distribuciones futuras”. En *Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales*, Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), Sao José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del medio Ambiente (SCOPE)., 349–67. París.
- Guisan, Antoine, y Niklaus E. Zimmermann. 2000. “Predictive Habitat Distribution Models in Ecology”. *Ecological Modelling* 135 (2–3): 147–86. doi:10.1016/S0304-3800(00)00354-9.
- Guisan, Antoine, Niklaus E. Zimmermann, y Wilfried Thuiller, eds. 2017. “Modeling Approaches and Model Calibration”. En *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R*, 151–236. Ecology, Biodiversity and Conservation. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781139028271.014.
- Hanley, J A, y B J McNeil. 1982. “The Meaning and Use of the Area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve.” *Radiology* 143 (1): 29–36. doi:10.1148/radiology.143.1.7063747.
- Hannah, Lee, Guy Midgley, Sandy Andelman, Miguel Araújo, Greg Hughes, Enrique Martínez-Meyer, Richard Pearson, y Paul Williams. 2007. “Protected Area Needs in a Changing Climate”. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5 (3): 131–38. doi:10.1890/1540-9295(2007)5[131:PANIAC]2.0.CO;2.
- Herzog, Sebastián, Martínez Rodney, Peter Jorgensen, y Holm Tiessen. 2012. “Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales”. En *Cambio climático y áreas protegidas en los Andes Tropicales*, Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global, Sao José dos Campos y Comité Científico Problemas del Medio Ambiente (SCOPE)), 369–86. París.
- Hijmans, Robert, y Catherine Graham. 2006. “The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions”. *Global Change Biology* 12 (septiembre): 2272–81. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x.
- Hoffman, Dirk, Imke Oetting, Carlos Alberto Arenillas, y Roberto Ulloa. 2012. “Cambio Climático y Áreas Protegidas en los Andes Tropicales.” En *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*, 426. París.
- Hole, David G., Kenneth R. Young, Anton Seimon, Carla Gómez Wichtendahl, Dirk Hoffman, Klaus Páez Schutze, Silvia Sánchez, Douglas Muchoney, H. Ricardo Grau, y Edson Ramírez. 2012. “Manejo Adaptativo para la Conservación de la Biodiversidad frente al Cambio Climático-Perspectiva en los Andes Tropicales.” En *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*, 426. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), Sao José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE).
- Ihlow, Flora, Johannes Dambach, Jan O. Engler, Morris Flecks, Timo Hartmann, Sven Nekum, Hossein Rajaei, y Dennis Rödder. 2012. “On the Brink of Extinction? How Climate Change May Affect Global Chelonian Species Richness and Distribution”. *Global Change Biology* 18 (5): 1520–30. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02623.x.
- IPCC. 2013. “Cambio Climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas.” Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.
- . 2018. “Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5°C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de

- 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto de reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza.” Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.
- Jaynes, Kyle E., Mónica I. Páez-Vacas, David Salazar-Valenzuela, Juan M. Guayasamin, Andrea Terán-Valdez, Fausto R. Siavichay, Sarah W. Fitzpatrick, y Luis A. Coloma. 2022. “Harlequin Frog Rediscoveries Provide Insights into Species Persistence in the Face of Drastic Amphibian Declines”. *Biological Conservation* 276 (diciembre): 109784. doi:10.1016/j.biocon.2022.109784.
- Jiguet, Frédéric, Morgane Barbet-Massin, y Pierre-Yves Henry. 2010. “Predicting potential distributions of two rare allopatric sister species, the globally threatened *Doliornis cotingas* in the Andes”. *Journal of Field Ornithology* 81 (4). [Association of Field Ornithologists, Wiley]: 325–39.
- Josse, Carmen, Francisco Cuesta, G Navarro, V Barrena, MT Becerra, E Cabrera, E Chacón-Moreno, W Ferreira, M Peralvo, y J Saito. 2011. “Physical Geography and Ecosystems in the Tropical Andes.” En *Climate change and biodiversity in the tropical Andes.*, editado por S.K Herzog, R Martínez, P.M Jorgensen, y H Tiessen, Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), 152–69. Brasilia. https://www.academia.edu/15363444/Physical_Geography_and_Ecosystems_in_the_Tropical_Andes?auto=download.
- Josse, Carmen, Francisco Cuesta, G Navarro, V Barrena, E Cabrera, E Chacón-Moreno, W Ferreira, M Peralvo, J Saito, y A Tovar. 2009. *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Lima: Secretaria General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, LTA-UNALM, IAvH, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL.
- Karger, Dirk Nikolaus, Olaf Conrad, Jürgen Böhrer, Tobias Kawohl, Holger Kreft, Rodrigo Wilber Soria-Auza, Niklaus E. Zimmermann, H. Peter Linder, y Michael Kessler. 2017. “Climatologies at High Resolution for the Earth’s Land Surface Areas”. *Scientific Data* 4: 170122. doi:10.1038/sdata.2017.122.
- La Marca, Enrique, Karen R. Lips, Stefan Lotters, Robert Puschendorf, Roberto Ibanez, Jose Vicente Rueda-Almonacid, Rainer Schulte, et al. 2005. “Catastrophic Population Declines and Extinctions in Neotropical Harlequin Frogs (Bufonidae: *Atelopus*)¹”. *Biotropica* 37 (2): 190–201. doi:10.1111/j.1744-7429.2005.00026.x.
- Larsen, Frank Wugt, Jesper Bladt, y Carsten Rahbek. 2009. “Indicator Taxa Revisited: Useful for Conservation Planning?” *Diversity and Distributions* 15 (1): 70–79. doi:10.1111/j.1472-4642.2008.00507.x.
- Laurance, William F., D. Carolina Useche, Luke P. Shoo, Sebastian K. Herzog, Michael Kessler, Federico Escobar, Gunnar Brehm, et al. 2011. “Global Warming, Elevational Ranges and the Vulnerability of Tropical Biota”. *Biological Conservation* 144 (1): 548–57. doi:10.1016/j.biocon.2010.10.010.
- Lessmann, Janeth, Jesús Muñoz, y Elisa Bonaccorso. 2014. “Maximizing Species Conservation in Continental Ecuador: A Case of Systematic Conservation Planning for Biodiverse Regions”. *Ecology and Evolution* 4 (12): 2410–22. doi:10.1002/ece3.1102.

- Li, Y, JM Cohen, y JR Rohr. 2013. “Review and synthesis of the effects of climate change on amphibians”. *Intergr Zoological*, Jun;8(2):145-61. doi:10.1111/1749-4877.12001. PMID: 23731811.
- Lips, Karen R, Jay Diffendorfer, Joseph R Mendelson, y Michael W Sears. 2008. “Riding the Wave: Reconciling the Roles of Disease and Climate Change in Amphibian Declines”. Editado por Georgina M Mace. *PLoS Biology* 6 (3): e72. doi:10.1371/journal.pbio.0060072.
- Liu, Canran, Pam M. Berry, Terence P. Dawson, y Richard G. Pearson. 2005. “Selecting Thresholds of Occurrence in the Prediction of Species Distributions”. *Ecography* 28 (3): 385–93. doi:10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x.
- Liu, Canran, Matt White, y Graeme Newell. 2013. “Selecting Thresholds for the Prediction of Species Occurrence with Presence-Only Data”. *Journal of Biogeography* 40 (4): 778–89. doi:10.1111/jbi.12058.
- Lobo, Jorge M., Alberto Jiménez-Valverde, y Raimundo Real. 2008. “AUC: A Misleading Measure of the Performance of Predictive Distribution Models”. *Global Ecology and Biogeography* 17 (2): 145–51. doi:https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x.
- Lopez, Santiago, Rodrigo Sierra, y Milton Tirado. 2010. “Tropical Deforestation in the Ecuadorian Chocó: Logging Practices and Socio-spatial Relationships”. *Geographical Bulletin - Gamma Theta Upsilon* 51 (mayo).
- Lovejoy, Thomas, y Lee Hannah. 2019. *Biodiversity and Climate Change. Transforming the Biosphere*. United States of America: Yale University Press New Haven and London.
- Lynch, J.D. 1993. *A new harlequin frog from the Cordillera Oriental of Colombia (Anura, Bufonidae, Atelopus)*. Alytes. 11.
- Marmion, Mathieu, Miia Parviainen, Miska Luoto, Risto K. Heikkinen, y Wilfried Thuiller. 2009. “Evaluation of Consensus Methods in Predictive Species Distribution Modelling”. *Diversity and Distributions* 15 (1): 59–69. doi:10.1111/j.1472-4642.2008.00491.x.
- Martínez, R, D Carrascal, M Andrade, Luis Blacutt, D Pabón, E Jaimes, G León, et al. 2012. “Síntesis del Clima de los Andes Tropicales.” En *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*, Herzog, S. Martínez, R. Jorgensen, P. Tiessen, H., 426. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), Sao José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE).
- Mateo, Rubén, Ángel Felicísimo, y Jesús Muñoz. 2011. “Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética”. *Revista Chilena de Historia Natural*, Sociedad de Biología de Chile, 84: 217–40.
- McKnight, Meghan W, Peter S White, Robert I McDonald, John F Lamoreux, Wes Sechrest, Robert S Ridgely, y Simon N Stuart. 2007. “Putting Beta-Diversity on the Map: Broad-Scale Congruence and Coincidence in the Extremes”. Editado por Georgina M Mace. *PLoS Biology* 5 (10): e272. doi:10.1371/journal.pbio.0050272.
- MECN. 2010. “El Chocó Esmeraldeño”. *Monografía*, Serie de publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales, 5: 9–54.
- Menéndez-Guerrero, Pablo A., David M. Green, y T. Jonathan Davies. 2020. “Climate Change and the Future Restructuring of Neotropical Anuran Biodiversity”. *Ecography* 43 (2): 222–35. doi:10.1111/ecog.04510.

- Merino-Viteri, Andrés, Luis A. Coloma, y Ana Almendariz. 2005. “Los Telmatobius de los Andes de Ecuador y su disminución poblacional”. *Monografías de Herpetología* 7: 9–37.
- Ministerio del Ambiente. 2013. *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito, Ecuador. <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. 2021. “Reporte. Sistema Nacional de Áreas Protegidas-SNAP. Período 2021”. Reporte. Quito, Ecuador. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/03/reporte_comunica_snap_2021.pdf.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2007. “Políticas y Plan Estratégico del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador. 2007-2016. Informe final de Consultoría. Proyecto GEF: Ecuador Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP-GEF). REGAL-ECOLEX.” Quito, Ecuador. <http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/WebAPs/PLAN%20ESTRATEGICO%20DEL%20SNAP.pdf>.
- . 2015a. “Estadísticas de Patrimonio Natural”. Quito, Ecuador. <http://suiadoc.ambiente.gob.ec/documents/10179/346525/ESTADISTICAS+DE+PATRIMONIO+FINAL.pdf/b36fa0a7-0a63-4484-ab3e-e5c3732c284b;jsessionid=CWcoTreH0UQH1FdyUU-WM8pg?version=1.1>.
- . 2015b. “Quinto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica.”
- . 2016. “Estrategia Nacional de Biodiversidad 2015-2030”. Quito, Ecuador. <http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/WebAPs/Estrategia%20Nacional%20de%20Biodiversidad%202015-2030%20-%20CALIDAD%20WEB.pdf>.
- Mittermeier, R, P Robles Gil, M Hoffmann, J Pilgrim, C Mittermeier, John F Lamoreux, y G Fonseca. 2004. “Hotspots Revisited. Earth’s Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions”. CEMEX. https://www.researchgate.net/publication/275651117_Hotspots_Revisited_Earth's_Biologically_Richest_and_Most_Endangered_Terrestrial_Ecoregions.
- Moret, Pierre, María de los Ángeles Aráuz, Mauro Gobbi, y Álvaro Barragán. 2016. “Climate Warming Effects in the Tropical Andes: First Evidence for Upslope Shifts of Carabidae (Coleoptera) in Ecuador”. Editado por Raphael Didham. *Insect Conservation and Diversity* 9 (4): 342–50. doi:10.1111/icad.12173.
- Myers, Norman, Russell A. Mittermeier, Cristina G. Mittermeier, Gustavo A. B. da Fonseca, y Jennifer Kent. 2000. “Biodiversity hotspots for conservation priorities”. *Nature* 403 (6772): 853–58. doi:10.1038/35002501.
- Navas, Carlos. 2006. “Patterns of distribution of anurans in high Andean tropical elevations: Insights from integrating biogeography and evolutionary physiology”. *Integrative and comparative biology* 46 (febrero): 82–91. doi:10.1093/icb/icj001.
- Newbold, Tim. 2018. “Future effects of climate and land-use change on terrestrial vertebrate community diversity under different scenarios”. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 285 (1881): 20180792. doi:10.1098/rspb.2018.0792.
- Nori, Javier, J. Nicolás Urbina-Cardona, Rafael D. Loyola, Julián N. Lescano, y Gerardo C. Leynaud. 2011. “Climate Change and American Bullfrog Invasion: What

- Could We Expect in South America?" *PLOS ONE* 6 (10): e25718. doi:10.1371/journal.pone.0025718.
- Oksanen, Jari, Guillaume Blanchet, Michael Friendly, Roeland Kindt, Dan McGlinn, Pierre Legendre, Peter Minchin, et al. 2020. "Community Ecology Package". <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>.
- Ortega-Andrade, H. Mauricio, Marina Rodes Blanco, Diego F. Cisneros-Heredia, Nereida Guerra Arévalo, Karima Gabriela López de Vargas-Machuca, Juan C. Sánchez-Nivicela, Diego Armijos-Ojeda, et al. 2021. "Red List Assessment of Amphibian Species of Ecuador: A Multidimensional Approach for Their Conservation". *PLOS ONE* 16 (5). Public Library of Science: e0251027. doi:10.1371/journal.pone.0251027.
- Ortega-Andrade, H. Mauricio, David A. Prieto-Torres, Ignacio Gómez-Lora, y Diego J. Lizcano. 2015. "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". Editado por Rafael Dias Loyola. *PLOS ONE* 10 (3): e0121137. doi:10.1371/journal.pone.0121137.
- Palacio, Facundo Xavier, María José Apodaca, y Jorge Víctor Crisci. 2020. "Análisis multivariado para datos biológicos : teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R". Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Fundación de Historia Natural Félix de Azara. <https://fundacionazara.org.ar/img/libros/analisis-multivariado-para-datos-biologicos/analisis-multivariado-para-datos-biologicos.pdf>.
- Parmesan, Camille, y Gary Yohe. 2003. "A Globally Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts across Natural Systems". *Nature* 421 (6918): 37–42. doi:10.1038/nature01286.
- Peterson, A. Townsend, Jorge Soberón, Richard G. Pearson, Robert Anderson, Enrique Martínez-Meyer, Miguel Nakamura, y Miguel Bastos Araújo. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)*. Princeton and Oxford: Princeton University Press. <https://press.princeton.edu/books/paperback/9780691136882/ecological-niches-and-geographic-distributions-mpb-49>.
- Pintanel, Pol, Miguel Tejedo, Santiago R. Ron, Gustavo A. Llorente, y Andrés Merino-Viteri. 2019. "Elevational and Microclimatic Drivers of Thermal Tolerance in Andean Pristimantis Frogs". *Journal of Biogeography* 46 (8): 1664–75. doi:10.1111/jbi.13596.
- Pounds, Alan, Martín Bustamante, Luis Coloma, Jamie A. Consuegra, Michael P. L. Fogden, Pru Foster, Enrique Marca, et al. 2007. *Global warming and amphibian losses; The proximate cause of frog declines? (Reply)*. Vol. 447. doi:10.1038/nature05942.
- Pounds, Alan, Martín R. Bustamante, Luis A. Coloma, Jamie A. Consuegra, Michael P. L. Fogden, Pru N. Foster, Enrique La Marca, et al. 2006. "Widespread Amphibian Extinctions from Epidemic Disease Driven by Global Warming". *Nature* 439 (7073): 161–67. doi:10.1038/nature04246.
- Prasad, Anantha M., Louis R. Iverson, y Andy Liaw. 2006. "Newer Classification and Regression Tree Techniques: Bagging and Random Forests for Ecological Prediction". *Ecosystems* 9 (2): 181–99. doi:10.1007/s10021-005-0054-1.
- Putney, Allen, Arturo Ponce, Angel Paucar, Angel Lovato, Daan Vreugdenhil, y José Villa. 1976. "Estrategia Preliminar para la Conservación de Áreas Silvestres Sobresalientes de Ecuador. Dirección Nacional de Desarrollo Forestal. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo." Quito, Ecuador. Documento de Trabajo N°17.

- Ramirez-Villegas, J., F. Cuesta, C Devenish, M Peralvo, A Jarvis, y CA Arenillas. 2014. "Using species distributions models for designing conservation strategies of Tropical Andean biodiversity under climate change." *Journal for Nature Conservation*.
- Reyes-Puig, Carolina. 2015. "Un método integrativo para evaluar el estado de conservación de las especies y su aplicación a los reptiles del Ecuador". Tesis de maestría, Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Reyes-Puig, Carolina, Ana Almendáriz, y Omar Torres-Carvajal. 2017. "Diversity, threat, and conservation of reptiles from continental Ecuador". *Amphibian & Reptil Conservation* 11 (2) (diciembre): 51–58.
- Riahi, Keywan, Shilpa Rao, Volker Krey, Cheolhung Cho, Vadim Chirkov, Guenther Fischer, Georg Kindermann, Nebojsa Nakicenovic, y Peter Rafaj. 2011. "RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions". *Climatic Change* 109 (1): 33. doi:10.1007/s10584-011-0149-y.
- Riley, Shawn, Stephen DeGlorian, y Elliot Robert. 1999. "A Terrain Ruggedness Index that Quantifies Topographic Heterogeneity". *Intermountain Journal of Science*. Vol 5.
- Rodriguez-Mahecha, J, P Salaman, P.M Jorgensen, T Consiglio, E Forno, A Telesca, Luis Suárez, et al. 2004. "TROPICAL ANDES". En *Hotspots revisited*, editado por R Mittermeier, P Robles Gil, M Hoffmann, J Pilgrim, T Brooks, C Goettsch Mittermeier, John F Lamoreux, y G Fonseca, CEMEX Books on Nature, 73–84. México.
- Romero, P. 2013. "Requerimientos fisiológicos y microambientales de dos especies de anfibios (*Scinax ruber* e *Hyloxalus yasuni*) del bosque tropical de yasuní y sus implicaciones ante el cambio climático." Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Ron, Santiago. 2020. "Regiones naturales del Ecuador. BIOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador". <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/RegionesNaturales>.
- Ron, Santiago, Juan Guayasamin, y Pablo Menéndez-Guerrero. 2011. "Biodiversity and Conservation Status of Ecuadorian Amphibians". En *Amphibian Biology*, 129–70. 9.
- Ron, Santiago, A Merino-Viteri, y D Ortiz. 2022. "Anfibios del Ecuador". <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb>.
- Randinini, Carlo, Kerrie Wilson, Luigi Boitani, Hedley Grantham, y Hugh Possingham. 2006. "Tradeoffs of different types of species occurrence data for use in systematic conservation planning". *Ecology letters* 9 (noviembre): 1136–45. doi:10.1111/j.1461-0248.2006.00970.x.
- RStudio, PBC. 2020. "Rstudio Desktop". <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>.
- Sanderson, Benjamin M., Reto Knutti, y Peter Caldwell. 2015. "A Representative Democracy to Reduce Interdependency in a Multimodel Ensemble". *Journal of Climate* 28 (13). American Meteorological Society: 5171–94. doi:10.1175/JCLI-D-14-00362.1.
- Seimon, Tracie A., Anton Seimon, Peter Daszak, Stephan R.P. Halloy, Lisa M. Schloegel, César A. Aguilar, Preston Sowell, Alex D. Hyatt, Bronwen Konecky, y John E Simmons. 2007. "Upward Range Extension of Andean Anurans and Chytridiomycosis to Extreme Elevations in Response to Tropical Deglaciation". *Global Change Biology* 13 (1): 288–99. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01278.x.

- Seimon, Tracie A., Anton Seimon, Karina Yager, Kelsey Reider, Amanda Delgado, Preston Sowell, Alfredo Tupayachi, Bronwen Konecky, Denise McAloose, y Stephan Halloy. 2017. “Long-Term Monitoring of Tropical Alpine Habitat Change, Andean Anurans, and Chytrid Fungus in the Cordillera Vilcanota, Peru: Results from a Decade of Study”. *Ecology and Evolution* 7 (5): 1527–40. doi:10.1002/ece3.2779.
- Sierra, Rodrigo, Carlos Cerón, Walter Palacios, y R Valencia. 1999. “Mapa de vegetación del Ecuador Continental 1:1'000.000.” Proyecto INEFAN/GEF-BIRF, Wildlife Conservation Society y Ecociencia, Quito.
- Sinsch, Ulrich. 1991. “Mini-review: The orientation behaviour of amphibians”. *Herpetological Journal* 1 (enero): 541–44.
- Soberón, Jorge, y Andrew Peterson. 2005. “Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species’ Distributional Areas”. *Biodiversity Informatics* 2 (enero). doi:10.17161/bi.v2i0.4.
- Swartz, Timothy M., Jaime J. Coon, Jenna R. Mattes, y James R. Miller. 2019. “Identifying Opportunities to Conserve Farm Ponds on Private Lands: Integration of Social, Ecological, and Historical Data”. *Land* 8 (9). doi:10.3390/land8090127.
- Tapia-Armijos, María Fernanda, Jürgen Homeier, Carlos Iván Espinosa, Christoph Leuschner, y Marcelino de la Cruz. 2015. “Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since the 1970s – Losing a Hotspot of Biodiversity”. *PLOS ONE* 10 (9). Public Library of Science: e0133701. doi:10.1371/journal.pone.0133701.
- Thomson, Allison M., Katherine V. Calvin, Steven J. Smith, G. Page Kyle, April Volke, Pralit Patel, Sabrina Delgado-Arias, et al. 2011. “RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100”. *Climatic Change* 109 (1): 77. doi:10.1007/s10584-011-0151-4.
- Thuiller, Wilfried. 2003. “BIOMOD - Optimizing Predictions of Species Distributions and Projecting Potential Future Shifts under Global Change”. *Global Change Biology* 9 (10): 1353–62. doi:10.1046/j.1365-2486.2003.00666.x.
- Thuiller, Wilfried, Damien Georges, Robin Engler, y Frank Breiner. 2020. “Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. Biomod2. Version 3.4.6”. https://r-forge.r-project.org/forum/forum.php?eforum_id=995&group_id=302.
- UICN. 2021. “The IUCN Red List of Threatened Species”. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/en>.
- Vasconcelos, Tiago, Miguel Rodriguez, y Bradford Hawkins. 2011. “Biogeographic Distribution Patterns of South American Amphibians: A Regionalization Based on Cluster Analysis”. *Nat. Conserv.* 9 (julio): 67–72. doi:10.4322/natcon.2011.008.
- Velásquez-Tibatá, Jorge, Paul Salaman, y Catherine H. Graham. 2013. “Effects of Climate Change on Species Distribution, Community Structure, and Conservation of Birds in Protected Areas in Colombia”. *Regional Environmental Change* 13 (2): 235–48. doi:10.1007/s10113-012-0329-y.
- Villalobos, F, R Dobrovolski, D Provete, y S Gouveia. 2013. “Is Rich and Rare the Common Share? Describing Biodiversity Patterns to Inform Conservation Practices for South American Anurans”. *PLOS ONE*. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0056073>.
- Vuille, Mathias, Mark Carey, Christian Huggel, Wouter Buytaert, Antoine Rabatel, Dean Jacobsen, Alvaro Soruco, et al. 2018. “Rapid Decline of Snow and Ice in the Tropical Andes – Impacts, Uncertainties and Challenges Ahead”. *Earth-Science Reviews* 176 (enero): 195–213. doi:10.1016/j.earscirev.2017.09.019.

- Walther, Gian-Reto. 2010. "Community and ecosystem responses to recent climate change". *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1549): 2019–24. doi:10.1098/rstb.2010.0021.
- Walther, Gian-Reto, Eric Post, Peter Convey, Annette Menzel, Camille Parmesan, Trevor J. C. Beebee, Jean-Marc Fromentin, Ove Hoegh-Guldberg, y Franz Bairlein. 2002. "Ecological responses to recent climate change". *Nature* 416 (6879): 389–95. doi:10.1038/416389a.
- Wells, Kentwood. 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians*. United States of America: The University of Chicago Press.
- Whittaker, Kellie, Michelle Koo, David Wake, y Vance Vredenburg. 2013. "Global Declines of Amphibians". *Encyclopedia of Biodiversity* 3 (diciembre): 691–99. doi:10.1016/B978-0-12-384719-5.00266-5.
- Wiens, John A., Diana Stralberg, Dennis Jongsomjit, Christine A. Howell, y Mark A. Snyder. 2009. "Niches, Models, and Climate Change: Assessing the Assumptions and Uncertainties". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (supplement_2): 19729–36. doi:10.1073/pnas.0901639106.
- Wilson, Robert, David Gutiérrez, Javier Illán, David R. Martínez, Rosa Agudo, y Victor Monserrat. 2005. "Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change". *Ecology letters* 8 (noviembre): 1138–46. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00824.x.
- Yandún, M. 2017. "Capacidad de aclimatación en renacuajos de dos especies de anuros: *Rhinella marina* (Bufonidae) y *Gastrotheca riobambae* (Hemiphractidae) y su vulnerabilidad al cambio climático". Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Young, Bruce. 2012. "Introducción a la Geografía Andina". En *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*, Herzog, S. Martínez, R. Jorgensen, P. Tiessen, H., 426. París: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), Sao José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE).
- Young, Bruce E., Karen R. Lips, Jamie K. Reaser, Roberto Ibanez, Antonio W. Salas, J. Rogelio Cedeno, Luis A. Coloma, et al. 2001. "Population Declines and Priorities for Amphibian Conservation in Latin America". *Conservation Biology* 15 (5): 1213–23. doi:10.1046/j.1523-1739.2001.00218.x.
- Zurell, Damaris, Janet Franklin, Christian König, Phil J. Bouchet, Carsten F. Dormann, Jane Elith, Guillermo Fandos, et al. 2020. "A Standard Protocol for Reporting Species Distribution Models". *Ecography* 43 (9): 1261–77. doi:10.1111/ecog.04960.

Anexos

Anexo 1: Especies de anfibios endémicos de Ecuador.

N°	Familia	Género	Nombre científico	Categoría	Localidades Ecuador	Localidades para MNE
1	Aromobatidae	Allobates	<i>Allobates fratisenescus</i>	VU	14	13
2	Bufonidae	Atelopus	<i>Atelopus balios</i>	CR	164	12
3			<i>Atelopus bomolochos</i>	CR	48	37
4			<i>Atelopus boulengeri</i>	CR	11	10
5			<i>Atelopus ignescens</i>	CR	139	117
6			<i>Atelopus longirostris</i>	CR	54	40
7			<i>Atelopus mindoensis</i>	CR	24	20
8			<i>Atelopus nepiozomus</i>	CR	13	12
9			<i>Atelopus petersi</i>	CR	21	15
10			<i>Atelopus planispina</i>	CR	15	10
11			Osornophryne	Osornophryne	<i>Osornophryne guacamayo</i>	VU
12	<i>Osornophryne simpsoni</i>	EN			26	10
13	Rhaebo	<i>Rhaebo caeruleostictus</i>			CR	33
14	Centrolenidae	Espadarana	<i>Espadarana callistomma</i>	EN	26	20
15	Dendrobatidae	Epipedobates	<i>Epipedobates darwinwallacei</i>	VU	38	19
16			<i>Epipedobates tricolor</i>	EN	72	33
17	Hylidae	Boana	<i>Boana nigra</i>	VU	22	13
18		Phyllomedusa	<i>Phyllomedusa ecuatoriana</i>	EN	16	13
19	Hemiphractidae	Gastrotheca	<i>Gastrotheca cuencana</i>	EN	14	12
20			<i>Gastrotheca elicioi</i>	EN	37	17
21	Leptodactylidae	Engystomops	<i>Engystomops coloradorum</i>	EN	39	22
22			<i>Engystomops guayaco</i>	VU	31	26
23	Microhylidae	Chiasmocleis	<i>Chiasmocleis parkeri</i>	EN	17	11
24	Dendrobatidae	Hyloxalus	<i>Hyloxalus infraguttatus</i>	VU	274	148
25			<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	CR	41	37
26			<i>Hyloxalus maculosus</i>	EN	15	13
27			<i>Hyloxalus shuar</i>	VU	29	23
28			<i>Hyloxalus vertebralis</i>	VU	104	83
29	Strabomantidae	Lynchius	<i>Lynchius flavomaculatus</i>	VU	17	14
30		Niceforonia	<i>Niceforonia brunnea</i>	VU	11	10
31			<i>Niceforonia peraccai</i>	EN	15	13

N°	Familia	Género	Nombre científico	Categoría	Localidades Ecuador	Localidades para MNE
32		Noblella	<i>Noblella lochites</i>	VU	35	28
33		Pristimantis	<i>Pristimantis actites</i>	VU	79	28
34	<i>Pristimantis baryecuius</i>		EN	13	12	
35	<i>Pristimantis bellae</i>		VU	19	11	
36	<i>Pristimantis buenaventura</i>		VU	20	17	
37	<i>Pristimantis celator</i>		VU	13	12	
38	<i>Pristimantis churuwaii</i>		VU	29	16	
39	<i>Pristimantis cremnobates</i>		EN	14	11	
40	<i>Pristimantis cryophilus</i>		VU	75	49	
41	<i>Pristimantis devillei</i>		VU	58	28	
42	<i>Pristimantis eugeniae</i>		EN	37	31	
43	<i>Pristimantis festae</i>		VU	32	19	
44	<i>Pristimantis gagliardoi</i>		EN	37	12	
45	<i>Pristimantis ganonotus</i>		VU	25	21	
46	<i>Pristimantis gentryi</i>		EN	13	13	
47	<i>Pristimantis gladiator</i>		VU	31	22	
48	<i>Pristimantis glandulosus</i>		VU	37	21	
49	<i>Pristimantis gloria</i>		EN	20	17	
50	<i>Pristimantis huicundo</i>		EN	27	14	
51	<i>Pristimantis incanus</i>		EN	20	18	
52	<i>Pristimantis inusitatus</i>		VU	23	14	
53	<i>Pristimantis lividus</i>		VU	17	11	
54	<i>Pristimantis lutzae</i>		VU	46	39	
55	<i>Pristimantis mazar</i>		EN	31	10	
56	<i>Pristimantis mindo</i>		EN	22	17	
57	<i>Pristimantis minimus</i>		EN	31	11	
58	<i>Pristimantis modipeplus</i>		VU	16	15	
59	<i>Pristimantis muricatus</i>		VU	21	14	
60	<i>Pristimantis nigrogriseus</i>		EN	24	13	
61	<i>Pristimantis ocreatus</i>		EN	13	11	
62	<i>Pristimantis orcesi</i>		VU	20	18	
63	<i>Pristimantis ornatissimus</i>		EN	21	16	
64	<i>Pristimantis petersi</i>		VU	51	31	
65	<i>Pristimantis pteridophilus</i>		EN	83	33	
66	<i>Pristimantis pycnodermis</i>	EN	68	31		
67	<i>Pristimantis quinquagesimus</i>	VU	28	24		
68	<i>Pristimantis roni</i>	VU	35	15		
69	<i>Pristimantis rubicundus</i>	VU	26	21		

N°	Familia	Género	Nombre científico	Categoría	Localidades Ecuador	Localidades para MNE
70			<i>Pristimantis sobetes</i>	EN	61	34
71			<i>Pristimantis spinosus</i>	VU	63	28
72			<i>Pristimantis surdus</i>	EN	33	29
73			<i>Pristimantis truebae</i>	EN	42	19
74			<i>Pristimantis vertebralis</i>	VU	75	41
75			Strabomantis	<i>Strabomantis necerus</i>	CR	20
76	Telmatobiidae	Telmatobius	<i>Telmatobius niger</i>	CR	44	34
TOTAL	11	18	76		2981	1822

Anexo 2: Regiones naturales por especie de anfibios utilizadas en el estudio.

N°	Nombre científico	Regiones Naturales. Ron (2020)	Rango altitudinal
1	<i>Allobates fratisenescus</i>	Bosque Húmedo Tropical Amazónico, Bosque Piemontano Oriental	268-1100
2	<i>Atelopus balios</i>	Matorral Seco de la Costa, Bosque deciduo de la Costa, Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	0-937
3	<i>Atelopus bomolochos</i>	Bosque Montano Occidental, Bosque Montano Oriental, Páramo, Matorral interandino	2500-3397
4	<i>Atelopus boulengeri</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	800-2214
5	<i>Atelopus ignescens</i>	Bosque Montano Occidental, Bosque Montano Oriental, Páramo, Matorral interandino	2800-4500
6	<i>Atelopus longirostris</i>	Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	788-2281
7	<i>Atelopus mindoensis</i>	Bosque Piemontano Occidental	515-1100
8	<i>Atelopus nepiozomus</i>	Bosque Montano Oriental	1266-3129
9	<i>Atelopus petersi</i>	Bosque Montano Oriental, Páramo	2702-3829
10	<i>Atelopus planispina</i>	Bosque Húmedo Tropical Amazónico, Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	351-2000
11	<i>Boana nigra</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	910-2105
12	<i>Chiasmocleis parkeri</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	903-1691
13	<i>Engystomops coloradorum</i>	Bosque Húmedo Tropical del Chocó, Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	99-1587
14	<i>Engystomops guayaco</i>	Bosque Deciduo de la Costa, Bosque Húmedo Tropical del Chocó	3-307
15	<i>Epipedobates darwinwallacei</i>	Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	592-1953

N o	Nombre científico	Regiones Naturales. Ron (2020)	Rango altitudinal
16	<i>Epipedobates tricolor</i>	Bosque Húmedo Tropical del Chocó, Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	71-2601
17	<i>Espadarana callistomma</i>	Bosque Húmedo Tropical del Chocó, Bosque Piemontano Occidental	60-830
18	<i>Gastrotheca cuencana</i>	Bosque Montano Occidental, Páramo, Matorral Interandino	2436-3106
19	<i>Gastrotheca elicioi</i>	Bosque Montano Oriental, Matorral Interandino	2072-2954
20	<i>Hyloxalus infraguttatus</i>	Matorral Seco de la Costa, Bosque Deciduo de la Costa, Bosque Húmedo Tropical del Chocó, Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	04_3212
21	<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental, Páramo, Matorral Interandino	939-4122
22	<i>Hyloxalus maculosus</i>	Bosque Húmedo Tropical Amazónico, Bosque Piemontano Oriental	342-1225
23	<i>Hyloxalus shuar</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	605-2222
24	<i>Hyloxalus vertebralis</i>	Bosque Montano Occidental, Bosque Montano Oriental, Páramo, Matorral interandino	1195-3860
25	<i>Lynchius flavomaculatus</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	1266-3044
26	<i>Niceforonia brunnea</i>	Bosque Montano Oriental	2163-3528
27	<i>Niceforonia peraccai</i>	Bosque Montano Oriental, Páramo	2642-3676
28	<i>Noblella lochites</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	824-2344
29	<i>Osornophryne guacamayo</i>	Bosque Montano Oriental, Páramo	1494-3621
30	<i>Osornophryne simpsoni</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	1277-2749
31	<i>Phyllomedusa ecuatoriana</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	795-1884
32	<i>Pristimantis actites</i>	Bosque Montano Occidental, Páramo, Matorral interandino	2146-3633
33	<i>Pristimantis baryecus</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	1152-3286
34	<i>Pristimantis bellae</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	1277-2550
35	<i>Pristimantis buenaventura</i>	Bosque Deciduo de la Costa, Bosque Montano Occidental	273-3212

N o	Nombre científico	Regiones Naturales. Ron (2020)	Rango altitudinal
3 6	<i>Pristimantis celator</i>	Bosque Montano Occidental	1698-3275
3 7	<i>Pristimantis churuwiai</i>	Bosque Montano Oriental	1343-2091
3 8	<i>Pristimantis cremnobates</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	1060-2175
3 9	<i>Pristimantis cryophilus</i>	Bosque Montano Occidental, Bosque Montano Oriental, Páramo, Matorral Interandino	1065-4205
4 0	<i>Pristimantis devillei</i>	Bosque Montano Oriental, Páramo	1600-4035
4 1	<i>Pristimantis eugeniae</i>	Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	891-2788
4 2	<i>Pristimantis festae</i>	Bosque Montano Oriental, Páramo	3100-4210
4 3	<i>Pristimantis gagliardoi</i>	Bosque Montano Oriental	2760-3316
4 4	<i>Pristimantis ganonotus</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	936-2867
4 5	<i>Pristimantis gentryi</i>	Bosque Montano Occidental, Páramo	2365-4102
4 6	<i>Pristimantis gladiator</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental, Páramo, Matorral Interandino	1060-3906
4 7	<i>Pristimantis glandulosus</i>	Bosque Montano Oriental, Páramo	1600-3974
4 8	<i>Pristimantis gloria</i>	Bosque Montano Oriental, Páramo	2295-3681
4 9	<i>Pristimantis huicundo</i>	Bosque Montano Oriental, Páramo	2629-3471
5 0	<i>Pristimantis incanus</i>	Bosque Montano Oriental	1323-3411
5 1	<i>Pristimantis inusitatus</i>	Bosque Montano Oriental	1890-2939
5 2	<i>Pristimantis lividus</i>	Bosque Montano Oriental	2515-3136
5 3	<i>Pristimantis lutzae</i>	Bosque Montano Occidental, Bosque Montano Oriental, Páramo, Matorral interandino	2155-4323
5 4	<i>Pristimantis mazar</i>	Bosque Montano Oriental	2517-3438
5 5	<i>Pristimantis mindo</i>	Bosque Húmedo Tropical del Chocó, Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	207-2384

N ^o	Nombre científico	Regiones Naturales. Ron (2020)	Rango altitudinal
56	<i>Pristimantis minimus</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	908-1789
57	<i>Pristimantis modipeplus</i>	Bosque Montano Oriental	1827-3584
58	<i>Pristimantis muricatus</i>	Bosque Húmedo Tropical del Chocó, Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	182-2064
59	<i>Pristimantis nigrogriseus</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	1130-3286
60	<i>Pristimantis ocreatus</i>	Bosque Montano Occidental, Páramo	2729-4367
61	<i>Pristimantis orcesi</i>	Bosque Montano Occidental, Bosque Montano Oriental, Páramo	997-4889
62	<i>Pristimantis ornatissimus</i>	Bosque Húmedo Tropical del Chocó, Bosque Piemontano Occidental	234-1056
63	<i>Pristimantis petersi</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	1122-2370
64	<i>Pristimantis peridophilus</i>	Bosque Montano Occidental, Páramo	1355-3835
65	<i>Pristimantis pycnodermis</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental, Bosque Montano Occidental, Páramo, Matorral Interandino	1168-3612
66	<i>Pristimantis quinquagesimus</i>	Bosque Montano Occidental	1393-2949
67	<i>Pristimantis roni</i>	Bosque Montano Oriental	1491-2328
68	<i>Pristimantis rubicundus</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	668-1876
69	<i>Pristimantis sobetes</i>	Bosque Montano Occidental	1464-3008
70	<i>Pristimantis spinosus</i>	Bosque Piemontano Oriental, Bosque Montano Oriental	1152-3385
71	<i>Pristimantis surdus</i>	Bosque Montano Occidental, Páramo	1393-3711
72	<i>Pristimantis truebae</i>	Bosque Montano Occidental, Páramo, Matorral Interandino	2606-4144
73	<i>Pristimantis vertebralis</i>	Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	812-3478
74	<i>Rhaebo caeruleostictus</i>	Bosque Deciduo de la Costa, Bosque Húmedo Tropical del Chocó, Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental, Páramo	20-3250
75	<i>Strabomantis necerus</i>	Bosque Piemontano Occidental, Bosque Montano Occidental	575-1993

N ^o	Nombre científico	Regiones Naturales. Ron (2020)	Rango altitudinal
7		Bosque Montano Occidental, Bosque Montano	
6	<i>Telmatobius niger</i>	Oriental, Páramo, Matorral interandino	2624-4155

Anexo 3: Variables usadas para el modelo de nicho potencial por especie.

Nombre científico	Variables usadas para MNE			
	PCA_T	PCA_P	MDE	RUG
<i>Allobates fratisenescus</i>	x	x	x	x
<i>Atelopus balios</i>	x	x	x	x
<i>Atelopus bomolochos</i>	x	x	x	x
<i>Atelopus boulengeri</i>	x	x	x	
<i>Atelopus ignescens</i>	x	x	x	x
<i>Atelopus longirostris</i>	x	x	x	x
<i>Atelopus mindoensis</i>	x	x	x	x
<i>Atelopus nepiozomus</i>	x	x	x	x
<i>Atelopus petersi</i>	x	x	x	x
<i>Atelopus planispina</i>	x	x	x	x
<i>Boana nigra</i>	x	x	x	x
<i>Chiasmocleis parkeri</i>	x	x	x	x
<i>Engystomops coloradorum</i>	x	x	x	x
<i>Engystomops guayaco</i>	x	x	x	x
<i>Epipedobates darwinwallacei</i>	x	x	x	x
<i>Epipedobates tricolor</i>	x	x	x	x
<i>Espadarana callistomma</i>	x	x	x	x
<i>Gastrotheca cuencana</i>	x	x	x	x
<i>Gastrotheca elicioi</i>	x	x	x	x
<i>Hyloxalus infraguttatus</i>	x	x	x	x
<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	x	x	x	x
<i>Hyloxalus maculosus</i>	x	x	x	x
<i>Hyloxalus shuar</i>	x	x	x	x
<i>Hyloxalus vertebralis</i>	x	x	x	x
<i>Lynchius flavomaculatus</i>	x	x	x	x
<i>Niceforonia brunnea</i>	x	x	x	x
<i>Niceforonia peraccai</i>	x	x	x	x
<i>Noblella lochites</i>	x	x	x	x
<i>Osornophryne guacamayo</i>	x	x	x	x

Nombre científico	Variables usadas para MNE			
	PCA_T	PCA_P	MDE	RUG
<i>Osornophryne simpsoni</i>	x	x		x
<i>Phyllomedusa ecuatoriana</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis actites</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis baryecus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis bellae</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis buenaventura</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis celator</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis churuwaii</i>	x	x		x
<i>Pristimantis cremnobates</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis cryophilus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis devillei</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis eugeniae</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis festae</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis gagliardoii</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis ganonotus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis gentryi</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis gladiator</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis glandulosus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis gloria</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis huicundo</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis incanus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis inusitatus</i>	x	x		x
<i>Pristimantis lividus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis lutzae</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis mazar</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis mindo</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis minimus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis modipeplus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis muricatus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis nigrogriseus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis ocreatus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis orcesi</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis ornatissimus</i>	x	x		x
<i>Pristimantis petersi</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis pteridophilus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis pycnodermis</i>	x	x		x

Nombre científico	Variables usadas para MNE			
	PCA_T	PCA_P	MDE	RUG
<i>Pristimantis quinquagesimus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis roni</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis rubicundus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis sobetes</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis spinosus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis surdus</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis truebae</i>	x	x	x	x
<i>Pristimantis vertebralis</i>	x	x	x	x
<i>Rhaebo caeruleostictus</i>	x	x	x	x
<i>Strabomantis necerus</i>	x	x	x	x
<i>Telmatobius niger</i>	x	x	x	x

Anexo 4: Promedio de los índice TSS y AUC calculados para 76 especies de anfibios endémicos de Ecuador utilizando 5 algoritmos GLM, GAM, RF y GBM.

Nombre científico	Localidades	TSS	AUC
<i>Allobates fratisenescus</i>	13	0.998	0.999
<i>Atelopus balios</i>	12	0.998	0.98
<i>Atelopus bomolochos</i>	37	0.998	0.997
<i>Atelopus boulengeri</i>	10	0.996	0.995
<i>Atelopus ignescens</i>	117	0.882	0.985
<i>Atelopus longirostris</i>	40	0.984	0.998
<i>Atelopus mindoensis</i>	20	0.992	0.999
<i>Atelopus nepiozomus</i>	12	0.998	0.998
<i>Atelopus petersi</i>	15	0.998	0.997
<i>Atelopus planispina</i>	10	0.999	0.995
<i>Boana nigra</i>	13	0.99	0.999
<i>Chiasmocleis parkeri</i>	11	0.997	0.997
<i>Engystomops coloradorum</i>	22	0.996	0.999
<i>Engystomops guayaco</i>	26	0.959	0.996
<i>Epipedobates darwinwallacei</i>	19	0.996	0.997
<i>Epipedobates tricolor</i>	33	0.996	0.996
<i>Espadarana callistomma</i>	23	0.995	0.994
<i>Gastrotheca cuencana</i>	12	0.995	0.995
<i>Gastrotheca elicioi</i>	17	0.999	0.999
<i>Hyloxalus infraguttatus</i>	148	0.969	0.997
<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	37	0.923	0.991

Nombre científico	Localidades	TSS	AUC
<i>Hyloxalus maculosus</i>	13	0.999	0.999
<i>Hyloxalus shuar</i>	23	0.995	0.999
<i>Hyloxalus vertebralis</i>	83	0.921	0.988
<i>Lynchius flavomaculatus</i>	14	0.996	0.997
<i>Niceforonia brunnea</i>	11	0.987	0.999
<i>Niceforonia peraccai</i>	13	0.999	0.999
<i>Noblella lochites</i>	28	0.986	0.998
<i>Osornophryne guacamayo</i>	27	0.973	0.99
<i>Osornophryne simpsoni</i>	10	0.996	0.997
<i>Phyllomedusa ecuatoriana</i>	13	0.995	0.999
<i>Pristimantis actites</i>	28	0.977	0.997
<i>Pristimantis baryecuu</i>	12	0.999	0.999
<i>Pristimantis bellae</i>	11	0.997	0.999
<i>Pristimantis buenaventura</i>	17	0.994	0.999
<i>Pristimantis celator</i>	12	0.997	0.999
<i>Pristimantis churuwai</i>	16	0.996	0.999
<i>Pristimantis cremnobates</i>	11	0.999	0.999
<i>Pristimantis cryophilus</i>	49	0.965	0.995
<i>Pristimantis devillei</i>	28	0.995	0.999
<i>Pristimantis eugeniae</i>	31	0.998	0.999
<i>Pristimantis festae</i>	19	0.992	0.999
<i>Pristimantis gagliardo</i>	12	0.999	0.999
<i>Pristimantis ganonotus</i>	21	0.991	0.999
<i>Pristimantis gentryi</i>	13	0.996	0.989
<i>Pristimantis gladiator</i>	22	0.989	0.997
<i>Pristimantis glandulosus</i>	21	0.993	0.999
<i>Pristimantis gloria</i>	17	0.994	0.999
<i>Pristimantis huicundo</i>	14	0.999	0.999
<i>Pristimantis incanus</i>	18	0.99	0.999
<i>Pristimantis inusitatus</i>	14	0.998	0.999
<i>Pristimantis lividus</i>	11	0.999	0.999
<i>Pristimantis lutzae</i>	39	0.958	0.995
<i>Pristimantis mazar</i>	10	0.999	0.997
<i>Pristimantis mindo</i>	17	0.999	0.999
<i>Pristimantis minimus</i>	11	0.999	0.997
<i>Pristimantis modipeplus</i>	15	0.994	0.999
<i>Pristimantis muricatus</i>	14	0.997	0.998
<i>Pristimantis nigrogriseus</i>	13	0.999	0.999
<i>Pristimantis ocreatus</i>	11	0.999	0.999
<i>Pristimantis orcesi</i>	18	0.991	0.998
<i>Pristimantis ornatissimus</i>	16	0.994	0.999
<i>Pristimantis petersi</i>	31	0.99	0.999

Nombre científico	Localidades	TSS	AUC
<i>Pristimantis pteridophilus</i>	33	0.99	0.998
<i>Pristimantis pycnodermis</i>	31	0.986	0.998
<i>Pristimantis quinquagesimus</i>	24	0.992	0.999
<i>Pristimantis roni</i>	15	0.997	0.999
<i>Pristimantis rubicundus</i>	21	0.988	0.998
<i>Pristimantis sobetes</i>	34	0.992	0.999
<i>Pristimantis spinosus</i>	28	0.977	0.995
<i>Pristimantis surdus</i>	29	0.981	0.996
<i>Pristimantis truebae</i>	19	0.993	0.998
<i>Pristimantis vertebralis</i>	41	0.981	0.997
<i>Rhaebo caeruleostictus</i>	29	0.977	0.998
<i>Strabomantis necerus</i>	14	0.999	0.999
<i>Telmatobius niger</i>	34	0.947	0.992
Media		0.987908	0.997026
Desviación estándar		0.019644	0.003429

Anexo 5: Área en km² de 76 especies de anfibios modelados en condiciones presentes y de cambio climático con el escenario RCP 4.5y RCP 8.5. Área estable= Representa el área ocupada actualmente por la especie y se prevé que permanezca ocupado en el futuro. Área ocupada = Representa a la suma del área estable más la ganada.

Nombre científico	Presente	Área en Km ² RCP 4.5				Área en Km ² RCP 8.5			
		Estable	Ocupada	Pérdida	Ganada	Estable	Ocupada	Pérdida	Ganada
<i>Gastrotheca elicioi</i>	167.4	56.7	105.0	110.8	48.3	41.7	84.1	125.8	42.5
<i>Osornophryne simpsoni</i>	168.3	95.0	197.5	73.3	102.5	85.0	198.3	83.3	113.3
<i>Pristimantis huicundo</i>	208.3	0.0	0.0	208.3	0.0	0.0	0.0	208.3	0.0
<i>Pristimantis mazar</i>	244.9	3.3	10.8	174.2	7.5	28.3	50.0	216.6	21.7
<i>Pristimantis gagliardoi</i>	254.1	3.3	10.8	250.8	7.5	28.3	52.5	225.7	24.2
<i>Pristimantis modipeplus</i>	298.2	233.3	402.5	65.0	169.2	233.3	402.4	65.0	169.1
<i>Pristimantis minimus</i>	344.0	5.0	5.0	339.2	0.0	1.7	1.7	342.4	0.0
<i>Pristimantis cremnobates</i>	372.4	344.2	601.6	28.3	257.5	302.5	562.4	70.0	259.9
<i>Gastrotheca cuencana</i>	383.2	81.7	564.1	301.7	482.5	165.0	638.1	218.2	473.1
<i>Niceforonia brunnea</i>	427.3	61.7	85.0	365.8	23.3	61.7	85.0	365.7	23.3
<i>Pristimantis ocreatus</i>	473.1	1.7	30.8	471.6	29.2	0.0	0.0	473.1	0.0
<i>Atelopus balios</i>	525.6	333.3	543.3	192.5	210.0	200.8	442.4	324.9	241.6
<i>Pristimantis nigrogriseus</i>	539.0	202.5	483.3	336.7	280.8	192.5	470.7	346.5	278.2
<i>Allobates fratisenescus</i>	542.3	0.8	3.3	541.6	2.5	0.0	0.8	542.3	0.8
<i>Pristimantis bellae</i>	569.8	532.5	681.6	37.5	149.2	538.3	722.4	31.7	184.1
<i>Pristimantis lividus</i>	587.3	225.8	983.3	361.7	757.5	322.5	1053.9	264.9	731.4
<i>Pristimantis baryecus</i>	651.4	59.2	68.3	592.5	9.2	30.0	33.3	621.4	3.3
<i>Niceforonia peraccai</i>	694.7	425.0	853.3	270.0	428.3	390.8	660.7	304.0	269.9
<i>Pristimantis gentryi</i>	723.0	150.0	811.6	573.3	661.6	246.7	658.2	476.5	411.5

Nombre científico	Presente	Área en Km ² RCP 4.5				Área en Km ² RCP 8.5			
		Estable	Ocupada	Pérdida	Ganada	Estable	Ocupada	Pérdida	Ganada
<i>Atelopus nepiozomus</i>	748.0	116.7	140.0	631.6	23.3	114.2	130.8	633.9	16.7
<i>Pristimantis mindo</i>	761.4	42.5	77.5	719.1	35.0	6.7	11.7	754.7	5.0
<i>Atelopus planispina</i>	765.5	585.8	2374.1	180.0	1788.3	405.0	2567.5	360.7	2162.5
<i>Hyloxalus maculosus</i>	821.3	148.3	186.7	673.3	38.3	32.5	35.8	788.9	3.3
<i>Pristimantis roni</i>	835.5	121.7	126.7	714.1	5.0	34.2	36.7	801.3	2.5
<i>Chiasmocleis parkeri</i>	895.5	0.0	0.0	895.8	0.0	0.0	0.0	895.5	0.0
<i>Epipedobates tricolor</i>	1004.6	569.1	1349.9	435.8	780.8	510.8	1275.5	494.0	764.7
<i>Pristimantis inusitatus</i>	1052.9	608.3	1108.3	445.0	500.0	572.5	1157.2	464.0	584.8
<i>Atelopus petersi</i>	1131.2	362.5	886.6	769.1	524.1	408.3	1053.1	723.0	644.7
<i>Epipedobates darwinwallacei</i>	1147.0	623.3	1021.6	524.1	398.3	307.5	526.6	839.7	219.1
<i>Pristimantis muricatus</i>	1186.2	413.3	685.8	773.3	272.5	375.8	757.3	810.5	381.5
<i>Strabomantis necerus</i>	1198.7	173.3	628.3	1025.8	455.0	36.7	106.6	1162.0	70.0
<i>Atelopus boulengeri</i>	1220.3	196.7	1299.1	1024.1	1102.5	87.5	958.0	1132.9	870.5
<i>Engystomops coloradorum</i>	1285.3	86.7	420.0	1199.1	333.3	16.7	209.9	1268.7	193.3
<i>Pristimantis churuwai</i>	1365.3	680.8	1729.1	685.0	1048.3	417.5	1548.7	948.0	1131.2
<i>Pristimantis celator</i>	1376.9	708.3	880.8	669.1	172.5	293.3	328.3	1083.7	35.0
<i>Pristimantis gloria</i>	1391.1	161.7	214.2	1230.0	52.5	320.8	411.6	1070.4	90.8
<i>Espadarana callistomma</i>	1546.9	0.0	0.0	1547.4	0.0	0.0	0.0	1546.9	0.0
<i>Pristimantis buenaventura</i>	1668.5	1269.9	1991.6	399.2	721.6	836.6	1028.2	832.2	191.6
<i>Phyllomedusa ecuatoriana</i>	1776.0	178.3	252.5	1598.3	74.2	178.3	252.5	1597.7	74.1
<i>Pristimantis quinquagesimus</i>	1842.6	1080.0	1435.8	763.3	355.8	525.0	587.5	1317.8	62.5
<i>Lynchius flavomaculatus</i>	1914.2	1099.1	2015.8	815.8	916.6	1006.6	1848.0	908.0	841.3
<i>Pristimantis truebae</i>	1953.4	720.8	1790.8	1233.3	1070.0	969.1	2293.6	984.6	1324.5

Nombre científico	Presente	Área en Km ² RCP 4.5				Área en Km ² RCP 8.5			
		Estable	Ocupada	Pérdida	Ganada	Estable	Ocupada	Pérdida	Ganada
<i>Hyloxalus shuar</i>	2001.7	1417.4	2714.9	585.0	1297.4	1188.3	2571.9	813.8	1383.6
<i>Pristimantis ornatissimus</i>	2009.2	321.7	1474.1	1688.3	1152.5	19.2	473.2	1990.0	454.0
<i>Boana nigra</i>	2352.4	1908.3	2927.4	445.0	1019.1	1384.1	2336.2	968.8	952.1
<i>Pristimantis devillei</i>	2532.3	1251.6	2759.9	1281.6	1508.3	1419.9	3066.0	1112.9	1646.0
<i>Atelopus mindoensis</i>	2589.8	1457.4	2615.7	1133.3	1158.3	1042.5	1702.2	1547.7	659.7
<i>Pristimantis orcesi</i>	2732.2	1520.8	2022.4	1212.5	501.6	1791.6	2112.3	941.3	320.7
<i>Pristimantis incanus</i>	2746.4	2069.9	3205.7	177.5	1135.8	1703.3	3133.5	1043.7	1430.3
<i>Atelopus longirostris</i>	2993.8	1899.9	2858.2	1095.0	958.3	1158.3	1444.8	1157.9	286.6
<i>Pristimantis petersi</i>	3092.1	2745.7	4036.5	347.5	1290.8	2315.7	4219.1	777.2	1903.4
<i>Pristimantis pteridophilus</i>	3108.8	1237.5	1587.4	1872.4	350.0	567.5	654.9	2541.5	87.5
<i>Pristimantis eugeniae</i>	3151.2	1790.8	2435.7	1361.6	645.0	1207.5	1424.0	1944.2	216.6
<i>Pristimantis sobetes</i>	3199.6	2514.1	3895.7	686.6	1381.6	2041.6	3189.5	1158.7	1147.9
<i>Pristimantis ganonotus</i>	3312.0	1846.6	2051.6	1466.6	205.0	1846.6	2051.5	1466.1	204.9
<i>Pristimantis festae</i>	3392.0	1329.1	2778.2	2064.1	1449.1	1368.3	2700.2	2024.2	1332.0
<i>Pristimantis rubicundus</i>	3498.6	2604.1	3784.8	895.8	1180.8	1948.3	3042.8	1551.0	1094.6
<i>Pristimantis pycnodermis</i>	3741.8	290.0	305.8	3453.2	15.8	755.0	784.1	2987.1	29.2
<i>Noblella lochites</i>	3974.2	944.1	1140.8	3031.5	196.7	641.6	761.6	3332.8	120.0
<i>Pristimantis gladiator</i>	4288.3	2974.9	5311.5	1314.9	2336.6	2884.9	5390.5	1404.4	2505.7
<i>Pristimantis surdus</i>	4898.0	3406.5	4401.5	1493.3	995.0	2749.1	3309.7	2150.0	560.6
<i>Pristimantis vertebralis</i>	5127.1	3518.2	4564.0	1610.8	1045.8	3002.4	3619.6	2125.8	617.3
<i>Pristimantis glandulosus</i>	5742.7	3941.5	6248.9	1803.3	2307.4	4327.3	7097.1	1416.9	2769.7
<i>Pristimantis spinosus</i>	5751.0	2876.6	4188.2	2876.6	1311.6	2864.1	3937.0	2888.0	1072.9
<i>Pristimantis actites</i>	6003.4	5224.0	8778.0	781.6	3554.0	4561.5	7262.1	1443.6	2700.6

Nombre científico	Presente	Área en Km ² RCP 4.5				Área en Km ² RCP 8.5			
		Estable	Ocupada	Pérdida	Ganada	Estable	Ocupada	Pérdida	Ganada
<i>Rhaebo caeruleostictus</i>	6225.8	2753.2	5934.8	3474.9	3181.5	1990.8	4006.6	4235.8	2015.9
<i>Atelopus bomolochos</i>	6824.8	4820.6	5553.1	2006.6	732.5	5556.4	6465.2	1270.3	908.8
<i>Osornophryne guacamayo</i>	8262.5	7118.9	10674.6	1146.6	3555.7	6954.7	11236.3	1310.3	4281.6
<i>Pristimantis cryophilus</i>	10284.2	5683.1	7694.7	4604.8	2011.6	7172.2	9269.7	3114.6	2097.5
<i>Hyloxalus infraguttatus</i>	10579.1	8753.0	13307.0	1829.9	4554.0	7985.5	12538.7	2596.5	4553.2
<i>Engystomops guayaco</i>	11244.7	8322.2	10727.9	2926.5	2405.7	9611.3	12660.9	1636.8	3049.6
<i>Pristimantis lutzae</i>	12042.7	9032.1	12840.3	3014.9	3808.2	10432.9	14952.8	1613.5	4519.9
<i>Telmatobius niger</i>	12812.4	10082.1	12356.2	2734.9	2274.1	11752.9	14333.5	1063.7	2580.6
<i>Hyloxalus vertebralis</i>	17053.2	14498.6	19724.2	2560.7	5225.6	15437.7	21696.9	1621.0	6259.2
<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	18647.5	15656.9	22309.9	2997.4	6653.1	14389.4	19892.2	4263.3	5502.8
<i>Atelopus ignescens</i>	19513.0	18551.8	24594.0	968.3	6042.3	19080.9	25732.4	439.0	6651.5
TOTAL	252791.34	167125	248860.05	85189.93	81735.06	163477.6	242311.1	88677.85	78833.45
PROMEDIO	3326.2019	2199.01	3274.4743	1120.92	1075.461	2151.021	3188.304	1166.814	1037.282

Anexo 6: Datos descriptivos del nicho ecológico potencial predicho para 76 especies de anfibios.

Presencia del nicho potencial.				
Escenarios	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Presente	2211.2	971.8	125.2	3978.5
RCP 4.5	2274	930.45	125.8	4338.9
RCP 8.5	2284.8	907.68	116.5	4067.6
Pérdida de nicho potencial.				
RCP 4.5	2149.9	955.59	123.52	3783.6
RCP 8.5	2176.6	952.58	176.21	3783.6
Ganancia de nicho potencial.				
RCP 4.5	2227.7	932.56	145.4	3770.7
RCP 8.5	2181.8	909.08	130.68	3683.7

Anexo 7: Área de nicho potencial y futuro de 76 especies de anfibios endémicos y amenazados que se encuentra representado en el SNAP.

Especie	Presente		RCP 4.5		RCP 8.5	
	Área en SNAP (Km2)	% de protección	Área en SNAP (Km2)	% de protección	Área en SNAP (Km2)	% de protección
<i>Allobates fratisenesescus</i>	2.50	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Atelopus balios</i>	2.50	0.48	1.67	0.31	1.67	0.38
<i>Atelopus bomolochos</i>	104.16	1.53	93.33	1.68	96.66	1.50
<i>Atelopus boulengeri</i>	13.33	1.09	9.17	0.71	8.33	0.87
<i>Atelopus ignescens</i>	86.66	0.44	120.00	0.49	110.83	0.43
<i>Atelopus longirostris</i>	32.50	1.09	12.50	0.44	11.67	0.81
<i>Atelopus mindoensis</i>	69.16	2.67	38.33	1.47	44.16	2.59
<i>Atelopus nepiozomus</i>	39.17	5.23	8.33	5.95	10.00	7.64
<i>Atelopus petersi</i>	61.66	5.45	80.83	9.12	70.00	6.65
<i>Atelopus planispina</i>	25.00	3.26	28.33	1.19	25.83	1.01
<i>Boana nigra</i>	60.00	2.55	47.50	1.62	38.33	1.64
<i>Chiasmocleis parkeri</i>	6.67	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Engystomops coloradorum</i>	11.67	0.91	25.83	6.15	18.33	8.73
<i>Engystomops guayaco</i>	13.33	0.12	16.67	0.16	20.00	0.16
<i>Epipedobates darwinwallacei</i>	20.83	1.82	18.33	1.79	10.00	1.90
<i>Epipedobates tricolor</i>	34.17	3.40	34.17	2.53	31.67	2.48
<i>Espadarana callistomma</i>	29.17	1.88	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gastrotheca cuencana</i>	0.83	0.22	0.83	0.15	1.67	0.26
<i>Gastrotheca elicioi</i>	0.83	0.50	4.17	3.97	3.33	3.96
<i>Hyloxalus infraguttatus</i>	109.16	1.03	67.50	0.51	73.33	0.58
<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	123.33	0.66	159.99	0.72	171.66	0.86
<i>Hyloxalus maculosus</i>	10.00	1.22	1.67	0.89	0.83	2.33
<i>Hyloxalus shuar</i>	85.00	4.24	69.16	2.55	60.83	2.37

Especie	Presente		RCP 4.5		RCP 8.5	
	Área en SNAP (Km2)	% de protección	Área en SNAP (Km2)	% de protección	Área en SNAP (Km2)	% de protección
<i>Hyloxalus vertebralis</i>	151.66	0.89	157.49	0.80	91.66	0.42
<i>Lynchius flavomaculatus</i>	130.83	6.83	88.33	4.38	64.16	3.47
<i>Niceforonia brunnea</i>	26.67	6.24	35.83	42.16	20.00	23.53
<i>Niceforonia peraccai</i>	146.66	21.10	182.49	21.39	171.66	25.98
<i>Noblella lochites</i>	42.50	1.07	16.67	1.46	12.50	1.64
<i>Osornophryne guacamayo</i>	130.83	1.58	169.99	1.59	134.99	1.20
<i>Osornophryne simpsoni</i>	26.67	15.84	12.50	6.33	10.00	5.04
<i>Phyllomedusa ecuatoriana</i>	10.83	0.61	14.17	5.61	11.67	4.62
<i>Pristimantis actites</i>	139.99	2.33	133.33	1.52	125.83	1.73
<i>Pristimantis baryecus</i>	58.33	8.95	14.17	20.73	9.17	27.50
<i>Pristimantis bellae</i>	16.67	2.92	32.50	4.77	28.33	3.92
<i>Pristimantis buenaventura</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.73
<i>Pristimantis celator</i>	47.50	3.45	35.83	4.07	7.50	2.28
<i>Pristimantis churuwai</i>	73.33	5.37	83.33	4.82	70.83	4.57
<i>Pristimantis cremnobates</i>	22.50	6.04	20.00	3.32	15.83	2.82
<i>Pristimantis cryophilus</i>	115.83	1.13	105.00	1.36	111.66	1.20
<i>Pristimantis devillei</i>	163.33	6.45	257.49	9.33	212.49	6.93
<i>Pristimantis eugeniae</i>	30.83	0.98	27.50	1.13	15.00	1.05
<i>Pristimantis festae</i>	32.50	0.96	69.16	2.49	89.16	3.30
<i>Pristimantis gagliardoi</i>	46.66	18.36	6.67	61.54	19.17	36.51
<i>Pristimantis ganonotus</i>	60.00	1.81	83.33	4.06	63.33	3.09
<i>Pristimantis gentryi</i>	82.50	11.41	93.33	11.50	90.83	13.80
<i>Pristimantis gladiator</i>	239.99	5.59	269.99	5.08	267.49	4.96
<i>Pristimantis glandulosus</i>	261.66	4.55	240.82	3.85	242.49	3.42

Especie	Presente		RCP 4.5		RCP 8.5	
	Área en SNAP (Km2)	% de protección	Área en SNAP (Km2)	% de protección	Área en SNAP (Km2)	% de protección
Pristimantis gloria	50.00	3.59	22.50	10.51	33.33	8.10
Pristimantis huicundo	16.67	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pristimantis incanus	139.99	5.10	204.16	6.37	214.99	6.86
Pristimantis inusitatus	115.83	11.00	129.99	11.73	155.83	13.47
Pristimantis lividus	65.00	11.06	97.50	9.92	125.83	11.94
Pristimantis lutzae	115.00	0.95	125.83	0.98	139.16	0.93
Pristimantis mazar	13.33	5.44	2.50	23.08	5.83	11.67
Pristimantis mindo	18.33	2.41	0.00	0.00	0.00	0.00
Pristimantis minimus	3.33	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00
Pristimantis modipeplus	10.00	3.35	25.83	6.42	25.83	6.42
Pristimantis muricatus	93.33	7.87	70.00	10.21	80.00	10.56
Pristimantis nigrogriseus	89.16	16.54	70.83	14.66	60.00	12.75
Pristimantis ocreatus	11.67	2.46	0.83	2.70	0.00	0.00
Pristimantis orcesi	112.50	4.12	133.33	6.59	129.99	6.15
Pristimantis ornatissimus	15.00	0.75	26.67	1.81	22.50	4.76
Pristimantis pteridophilus	40.00	1.29	25.00	1.57	12.50	1.91
Pristimantis petersi	0.00	0.00	80.83	2.00	70.00	1.66
Pristimantis pycnodermis	83.33	2.23	42.50	13.90	57.50	7.33
Pristimantis quinquagesimus	37.50	2.03	23.33	1.63	9.17	1.56
Pristimantis roni	40.00	4.79	37.50	29.61	16.67	45.46
Pristimantis rubicundus	75.00	2.14	88.33	2.33	61.66	2.03
Pristimantis sobetes	70.00	2.19	52.50	1.35	60.83	1.91
Pristimantis spinosus	127.49	2.22	119.16	2.85	133.33	3.39
Pristimantis surdus	77.50	1.58	81.66	1.86	133.33	4.03

Especie	Presente		RCP 4.5		RCP 8.5	
	Área en SNAP (Km2)	% de protección	Área en SNAP (Km2)	% de protección	Área en SNAP (Km2)	% de protección
Pristimantis truebae	94.16	4.82	112.50	6.28	132.49	5.78
Pristimantis vertebralis	113.33	2.21	76.66	1.68	91.66	2.53
Rhaebo caeruleostictus	105.00	1.69	88.33	1.49	98.33	2.45
Strabomantis necerus	28.33	2.36	35.00	5.57	5.83	5.47
Telmatobius niger	151.66	1.18	121.66	0.98	137.49	0.96
TOTAL	4912.3035		4883.138		4716.478	
PROMEDIO	66.38247973	3.915904049	66.89	6.078459982	62.88637333	5.47929818

Anexo 8: Mapas de modelos de nicho ecológico potencial de especies de anfibios endémicos y amenazados de Ecuador.

