

**Distribución Actual y Potencial de los Anfibios Amenazados de la Cordillera Oriental
Colombiana en un Escenario de Cambio Climático: Implicaciones en la Conservación**

Mónica María Albornoz Espinel
1.094.267.826

Universidad de Pamplona
Facultad de Ciencias Básicas
Programa de Biología
Pamplona, Norte de Santander, Colombia
2016

**Distribución Actual y Potencial de los Anfibios Amenazados de la Cordillera Oriental
Colombiana en un Escenario de Cambio Climático: Implicaciones en la Conservación**

Estudiante

**Mónica María Albornoz Espinel
1.094.267.826**

Director:

B.Sc. M.Sc. Aldemar A. Acevedo Rincón

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Básicas

Programa de Biología

Pamplona, Norte de Santander, Colombia

2016

**TRABAJO DE GRADO REALIZADO CON EL FIN DE OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGA DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA**

Agradecimientos

Al profesor Aldemar Acevedo por ser un gran apoyo durante la elaboración de mi trabajo, además de motivarme y exigirme durante todo el proceso., y ayudarme a ser una futura profesional más integra.

A mis padres y mis hermanos por su apoyo incondicional durante todo mi proceso educativo y formación personal, por guiarme y acompañarme durante cada día y motivarme a ser una mejor persona cada día y a tener más confianza en mí misma.

Al Programa de Biología, la Facultad de Ciencias Básicas y a la Vicerrectoría de Investigaciones por su gran apoyo al Semillero de investigación de Ecología y Biogeografía.



Contenido

Agradecimientos	5
Lista de tablas	9
Resumen	10
INTRODUCCIÓN	9
MARCO DE REFERENCIA	11
Diversidad de anfibios.....	11
Diversidad de anfibios en Colombia	11
Importancia de los anfibios	12
Declinación en las poblaciones de anfibios.....	13
Efecto del cambio climático sobre las poblaciones de anfibios.....	16
Anfibios amenazados en Colombia	17
Distribución actual y potencial.....	18
Modelamiento de nicho	19
OBJETIVOS	22
Objetivo General	22
Objetivos Específicos.....	22
MATERIALES Y MÉTODOS	23
Área de estudio	23
Obtención de registros históricos.....	24
Distribución de los anfibios con respecto a las áreas protegidas.....	24
Obtención y procesamiento de datos climáticos	25
Modelamiento de la distribución actual y en un escenario de cambio climático de las especies y validación.....	26
Importancia de las variables ambientales	27
Evaluación de los modelos	27
Áreas prioritarias para la conservación	27
RESULTADOS	28
Distribución de los anfibios con respecto a las áreas protegidas.....	28
Modelamiento de la distribución actual y en un escenario de cambio climático.....	32
Modelos potenciales por especie.....	32
<i>Atelopus lozanoi</i>	32
<i>Atelopus mandingues</i>	33
<i>Atelopus marinkellei</i>	33
<i>Atelopus muisca</i>	34
<i>Atelopus minutulus</i>	36
<i>Atelopus monohernandezi</i>	36
<i>Atelopus subornatus</i>	36
<i>Allobates juanii</i>	37
<i>Bolitoglossa capitana</i>	39
<i>Hyloxalus ruizi</i>	40
<i>Andinobates virolinensis</i>	41
<i>Hyalinobatrachium esmeralda</i>	41
<i>Pristimantis jorgevelosai</i>	41

<i>Pristimantis renjiform</i>	42
<i>Pristimantis bacchus</i>	44
<i>Pristimantis merostictus</i>	44
<i>Bolitoglossa pandi</i>	44
<i>Allobates ranoides</i>	44
<i>Atelopus mittermeiri</i>	46
<i>Hyloscirtus denticulatus</i>	46
<i>Hyloscirtus piceigularis</i>	46
<i>Hyloscirtus lynchi</i>	46
<i>Pristimantis douglasi</i>	48
<i>Pristimantis elegans</i>	48
<i>Pristimantis frater</i>	48
<i>Pristimantis petersorum</i>	48
<i>Pristimantis affinis</i>	51
<i>Pristimantis bicolor</i>	51
<i>Pristimantis carranguerorum</i>	51
<i>Hyloscirtus torrenticola</i>	52
<i>Bolitoglossa lozanoi</i>	54
<i>Hyloxalus vergeli</i>	54
<i>Hyalinobatrachium ibama</i>	54
<i>Rulyrana adiazeta</i>	54
<i>Centrolene buckleyi</i>	56
<i>Centrolene daidaleum</i>	56
<i>Hypodactylus dolops</i>	56
<i>Hyloscirtus lindae</i>	56
Áreas prioritarias para la conservación	59
Modelo de riqueza potencial actual	59
Modelo de riqueza potencial actual – 2050 optimista	60
Modelo de riqueza potencial actual – 2070 optimista	61
Modelo de riqueza potencial actual – 2050 pesimista	62
Modelo de riqueza potencial actual – 2070 pesimista	63
DISCUSIÓN	64
REFERENCIAS	71

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio, la Cordillera Oriental Colombiana.....	23
Figura 2. Áreas protegidas de la Cordillera Oriental Colombiana.....	28
Figura 3. Registros de los anfibios amenazados de la Cordillera Oriental Colombiana.....	29
Figura 4. Número de especies y registros dentro y fuera de áreas bajo algún tipo de protección.....	29
Figura 5. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) A. lozanoi B) A. mandingues C) A. marinkellei D) A. muisca.....	35
Figura 6. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) A. minutulus B) A. monohernandezi C) A. subornatus D) A. juanii.....	38
Figura 7. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) B. capitana B) H. ruizi.....	39
Figura 8. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) B. virolinensis B) H. esmeralda C) P. jorgevelosai D) P. renjiformis.....	43
Figura 9. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) P. bacchus B) P. merostictus C) B. pandi D) A. ranoides.....	45
Figura 10. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) A. mittermeieri B) H. denticulentus C) H. piceigularis D) H. Lynchi.....	47
Figura 11. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) P. douglasi B) P. elegans C) P. frater D) P. petersorum.....	50
Figura 12. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) P. affinis B) P. bicolor C) P. carrangerorum D) H. Torrenticola.....	53
Figura 13. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) B. lozanoi B) H. vergeli C) H. ibama D) R. adiazeta.....	55
Figura 14. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) C. buckleyi B) C. daidaleum C) H. dolops D) H. Lindae.....	58
Figura 15. Relación entre el modelo de riqueza potencial actual y las áreas protegidas A) Riqueza potencial B) Modelo de elevación C) Riqueza potencial en las PAs.....	59
Figura 16. Relación entre el modelo de riqueza potencial RCP4.5 en el 2050 y las áreas protegidas A) Riqueza potencial B) Modelo de elevación C) Riqueza potencial en las PAs.....	60
Figura 17. Relación entre el modelo de riqueza potencial RCP4.5 en el 2070 y las áreas protegidas A) Riqueza potencial en el año 2070 (optimista) B) Modelo de elevación C) Riqueza potencial del 2070 en el escenario optimista en las áreas protegidas.....	61
Figura 18. Relación entre el modelo de riqueza potencial pesimista en el 2050 y las áreas protegidas A) Riqueza potencial en el año 2050 (pesimista) B) Modelo de elevación C) Riqueza potencial del 2050 en el escenario pesimista en las áreas protegidas.....	62
Figura 19. Relación entre el modelo de riqueza potencial pesimista en el 2070 y las áreas protegidas A) Riqueza potencial en el año 2070 (pesimista) B) Modelo de elevación C) Riqueza potencial (2070 en el escenario pesimista) con relación a las áreas protegidas.....	63
Figura 20. Representatividad general de las variables climáticas en los modelos de distribución potencial.....	64

Lista de tablas

Tabla 1. Variables bioclimáticas.	25
Tabla 2. Especies de anfibios en las áreas protegidas de la cordillera Oriental de Colombia.....	30

Anexos

Anexo 1. Variables de mayor aporte al modelo de distribución potencial y validación.	84
Anexo 2. Variables de mayor aporte al modelo de distribución potencial para el escenario optimista para los años 2050 y 2070 y la validación por AUC.....	92
Anexo 3. Variables de mayor aporte al modelo de distribución potencial para el escenario pesimista para los años 2050 y 2070 y la validación por AUC.....	105
Anexo 4. Porcentaje de ausencia y presencia de las especies en los modelos potenciales... ..	117

Resumen

Colombia es uno de los países Megadiversos a nivel de anfibios con 803 especies, de las cuales 215 se encuentran en alguna categoría de amenaza (Peligro crítico, En Peligro o Vulnerable), y de estas el 29% se encuentran distribuidas a lo largo de la cordillera Oriental, cuya área ha sido objeto de modificaciones aceleradas ocasionadas por el impacto antrópico, que han llevado a la destrucción y deterioro de hábitats naturales, disminuyendo consigo el área de distribución de muchas especies de anfibios. La declinación global de los anfibios es uno de los mayores desafíos en la biología de la conservación. Varios factores, incluyendo la contaminación, el cambio climático, las enfermedades emergentes y la destrucción del hábitat han acelerado el ritmo de disminución de las poblaciones de anfibios, que se suma a su escasa representación en áreas protegidas (PAs). En este trabajo se evaluó el nivel de protección de las PAs de 52 especies de anfibios amenazados a partir de 509 registros, y se modeló la distribución actual y potencial de 38 especies anfibios amenazados a partir de 470 registros en dos escenarios de cambio climático (optimista y pesimista) para el 2050 y 2070, donde se presentaron cambios en los rangos potenciales de distribución de las especies de anfibios, con expansiones potenciales para las especies de tierras bajas y medias, y marcados procesos de pérdida potencial de área para las especies de tierra altas. Para la mayoría de modelos, las variables más representativas fueron las asociadas a la temperatura y precipitación. A su vez, nuestros resultados exponen el limitado nivel conservación que presentan la mayoría de especies de anfibios al no estar bien representadas en términos de distribución en las PAs, ya que, solo 25 áreas albergan algún registro de anfibios amenazados, lo cual también se puede evidenciar en la cobertura de las áreas protegidas frente a los modelos potenciales de riqueza, cuyos resultados arrojaron una limitada representatividad en las PAs, generándose patrones altos de riqueza fuera de las áreas protegidas. Este estudio demuestra la necesidad de establecer programas de conservación y áreas prioritarias de protección adecuadas para la cordillera Oriental colombiana.

Palabras clave: Modelamiento, anfibios, cordillera oriental, conservación

INTRODUCCIÓN

América del Sur es el hogar de la mitad de la riqueza mundial total de anfibios; Sin embargo, la mayoría de estas especies se encuadran en las categorías nacionales o internacionales de amenaza (Young et al., 2001). Colombia contiene una diversidad de hábitats óptimos para anfibios debido a su gran área geográfica, que abarca una variedad de características climáticas y orográficas, facilitando el establecimiento de una amplia variedad de especies (Ruiz *et al.*, 1996). Las dos regiones más ricas en especies son las cordilleras Occidental y Central, mientras que la cordillera Oriental posee un alto porcentaje de endemismos (84%) (Lynch *et al.*, 1997). Dichos aspectos, hacen de Colombia uno de los países megadiversos en cuanto a anfibios se refiere; se reportan para el país 790 especies que involucra cerca del 10% de las especies descritas a nivel mundial (Rivera-Correa, 2012; Acosta-Galvis y Cuentas, 2016). La mayoría de las especies de ranas en Colombia pertenecen a las familias Craugastoridae (37,8%) e Hylidae (20,5%), seguido de las familias Bufonidae, Centrolenidae, y Dendrobatidae (10,5%) (Rueda-Almonacid *et al.*, 2004). Sin embargo, los anfibios son considerados uno de los grupos de vertebrados más amenazados a nivel mundial (Stuart *et al.*, 2004, Stuart, 2012). La tasa actual de extinción de los anfibios es doscientas veces mayor que la tasa de extinción del grupo basal (McCallum, 2007). Desde finales de 1980, la repentina desaparición de muchas poblaciones de anfibios en varios sitios en América del Norte y del Sur, Europa y Australia se ha documentado (Stuart *et al.*, 2004). Estas disminuciones en la densidad de población siguen acelerándose, que afecta a todo un grupo de anfibios que ocupan deforestadas y espacios intermedios de una manera similar a aquellos que ocupan sectores vírgenes y remotos que están incluidos dentro del Sistema de Áreas Protegidas (APs) (Gardner, 2001; Rueda-Almonacid *et al.*, 2004, Nori *et al.*, 2015). Los principales factores causantes de esta disminución son la destrucción y fragmentación del hábitat, que crean parches aislados de bosque. Este aislamiento repercute negativamente en los componentes bióticos, que afectan a los patrones de dispersión y el flujo de genes de algunos anfibios (Gardner, 2001; Rueda-Almonacid *et al.*, 2004, Cushman, 2006), a su vez, otros factores como enfermedades emergentes, cambio climático, especies invasoras, entre otros, han reducido la viabilidad de las poblaciones e incrementan su vulnerabilidad a la extinción (Hoffmann., 2010). Para Colombia, el 30% de los anfibios se encuentran categorizados dentro de algún grado de amenaza de extinción (0.88% EX, 24.2% CR, 38.3% EN, 36.5% VU), ocupando el primer lugar a nivel mundial en la lista de especies con mayor número de especies amenazadas de anfibios (Ángulo *et al.*, 2006).

No obstante, los pocos estudios sobre historia natural, distribución, ecología y diversidad de anfibios, han limitado la evaluación de amenazas, información que es importante para determinar posibles extinciones locales para fomentar el desarrollo de investigaciones que pretendan afrontar problemas como el declive de los anfibios, y sugerir la implementación de planes de manejo y conservación adecuados. Por lo tanto, esta investigación abordó aspectos sobre la distribución actual según el grado de protección en las áreas protegidas y se evaluó la distribución potencial de los anfibios amenazados de la Cordillera Oriental de Colombia en un escenario de cambio climático; una de las regiones con más vacíos de información en lo que a diversidad y estado de conservación se refiere, esto con el propósito de proponer zonas prioritarias para la conservación e identificar zonas con potenciales riesgos de amenaza.

MARCO DE REFERENCIA

Diversidad de anfibios

Los anfibios comprenden 6460 especies descritas actualmente, estos se agrupan en tres grandes órdenes taxonómicos: Anura (ranas y sapos, con cuerpo compacto, sin cola, extremidades posteriores con gran desarrollo, con 5723 especies, representando el 88% de los taxa), Caudata (salamandras y tritones, cuerpo alargado con cola, extremidades del mismo tamaño, con 559 especies, representando el 9% de los taxa) y Gymnophiona (Cecilias, ausencia de extremidades, con 178 especies, 3% de los taxa) (IUCN, 2015; Garin y Hussein, 2013). Existen diferencias significativas entre estos grupos tanto en el número de especies, como en el estado de amenaza de estos. Las ranas y sapos superan en diversidad a las salamandras y tritones y se conocen aún menos las cecilias. El orden Anura contiene el nivel de amenaza promedio para los anfibios como grupo con 30,82% (1764 especies) entre amenazadas y extintas, el orden Caudata muestra significativamente mayores niveles de amenaza, con el 49,19% (275 especies) de especies amenazadas y extintas, y finalmente las Gymnophiona parecen estar relativamente menos amenazadas con sólo 4,5% (8 especies) (Angulo *et al.*, 2006; IUCN, 2015).

Los anfibios se encuentran en todos los continentes en los ambientes terrestres y de agua dulce, pero ausentes en los hábitat más fríos o secos del planeta (Frost *et al.*, 2006), sin embargo, se encuentran distribuidas en particular en América Latina la cual alberga gran diversidad de anfibios que representa la mitad del total de la riqueza mundial de estos animales, aunque un gran porcentaje de éstos se encuentran en alguna categoría de amenaza (Young *et al.*, 2001).

Diversidad de anfibios en Colombia

Colombia está posicionado como uno de los países megadiversos en lo que a anfibios se refiere con 803 especies (746 Anuros, 25 Caudados y 32 Gymnophiona), ocupando con esta cifra el segundo lugar en riqueza de esta clase de vertebrados en el mundo, después de Brasil, e involucra cerca del 10% de las especies descritas a nivel mundial (Acosta-Galvis Cuentas, 2016). La mayoría de las especies de anuros en Colombia pertenecen a las familias Craugastoridae (33,4%), Hylidae (19,03%), seguidas por las familias Bufonidae, Centrolenidae y Dendrobatidae (10,8%) (Acosta-Galvis y Cuentas, 2016; Rueda *et al.*, 2004). Esta amplia variedad es el producto de la gran gama

de características geográficas, climáticas y orográficas presentes en el país, las cuales han generado una amplia heterogeneidad de hábitats óptimos para los anfibios (Ruiz *et al.*, 1996) desde páramos hasta bosques andinos, selvas húmedas tropicales, bosques secos, humedales y sabanas (Ospina *et al.*, 2015; Romero *et al.*, 2008). Sobresaliendo los ecosistemas andinos con su elevada humedad y abundantes suministros de agua que han favorecido históricamente la presencia de anfibios, principalmente por las características fisiológicas y la historia evolutiva de este grupo (Navas, 2006).

Importancia de los anfibios

Los anfibios son un componente importante de los ecosistemas, por lo que su aporte como biomasa a los flujos de energía, los convierte en pieza fundamental del ecosistema, al actuar como depredadores de invertebrados y como elementos importantes en la dieta de otros vertebrados (Duellman y Trueb., 1994). Además, los anfibios han sido considerados excelentes modelos para establecer el nivel de deterioro de los hábitats y ecosistemas del mundo (Rueda-Almonacid *et al.*, 2004), dado que figuran como uno de los grupos más sensibles a la alteración y pérdida de hábitats naturales, introducción de especies exóticas, sobreexplotación, contaminantes atmosféricos, uso de agroquímicos y cambios climáticos globales (Young *et al.*, 2004). Lo anterior se atribuye en gran medida a sus características fisiológicas, comportamentales y ecológicas. Los anfibios presentan ciclos de vida complejos. Pasan las primeras etapas como larvas en el medio acuático, que abandonan cuando alcanzan el estado adulto para colonizar el medio terrestre, aunque siguen dependiendo del agua para realizar sus puestas. Como requieren dos tipos de hábitat en buen estado para vivir, se puede decir que son más exigentes que otros animales. Cuentan con una piel delicada, desprovista de estructuras protectoras como pelos o plumas, altamente permeable a sustancias tóxicas. En la actualidad, la presencia generalizada de sustancias contaminantes en el agua, el aire y los suelos llevan a que este grupo se encuentre tan amenazado. Son por lo tanto muy sensibles a la alteración de su hábitat, aunque esta sensibilidad los convierte en perfectos indicadores de la calidad del medio ambiente (WWF, 2013).

Declinación en las poblaciones de anfibios

Desde finales de la década de 1980 se comenzó a documentar como un fenómeno global la desaparición repentina de un gran número de poblaciones de anfibios en varios sitios de Norteamérica, Suramérica, Europa y Australia; estas declinaciones en las densidades poblacionales han sido muy rápidas, han afectado grupos enteros de anfibios, tanto en áreas deforestadas e intervenidas como en zonas prístinas y remotas incluidas dentro del Sistema de Áreas Protegidas (Rueda-Almonacid *et al.*, 2004). Ahora se sabe que las tasas de extinción actuales para los anfibios pueden ser hasta 200 veces mayor que las tasas de extinción natural (Roelants *et al.*, 2007). Donde el 32%, casi 6600 especies de anfibios del mundo se encuentran en peligro de extinción, el 43% que experimentaron descensos y otro 22% con se encuentran con datos insuficientes (Hayes *et al.*, 2010; Stuart *et al.*, 2004).

Existen varias causas que explican la disminución de los anfibios a nivel mundial tanto en áreas perturbadas como en zonas prístinas y prácticamente inalteradas por causas antrópicas:

- ✓ **La pérdida y fragmentación del hábitat:** Aunque algunos anfibios son capaces no sólo de persistir sino también de prosperar en zonas urbanizadas o en áreas agrícolas, muchas especies requieren hábitats inalterados (o relativamente inalterados) (Whittaker *et al.*, 2013), por lo que la degradación del hábitat es el principal factor de la declinación de los anfibios, en el cual crean parches de bosque aislado, ocasionando un gran impacto en el componente biótico, afectando los patrones de dispersión y flujo genético de algunos anfibios (Rueda-Almonacid *et al.*, 2004), y reduciendo así la abundancia y diversidad de los anfibios en las zonas afectadas. Ya que debido a la deforestación las especies enfrentan cambios drásticos, como compactación y desecación del suelo, reducción en la versatilidad del hábitat y pérdida de los cuerpos de agua.

Además de la degradación del hábitat, la contaminación procedente de la agricultura como herbicidas, insecticidas, fertilizantes y otros químicos, afectan a los anfibios en las etapas de vida acuática, ya sea directamente o por interacciones sinérgicas con otros factores (Hayes *et al.*, 2010) los contaminantes químicos pueden matar directamente las larvas a ciertas concentraciones, pero incluso en concentraciones sub-letales pueden afectar el

comportamiento, y su desarrollo sexual (Relyea y Diecks, 2008; Whittaker *et al.*, 2013), como es el caso de los bifenilos policlorados (BPCS), sustancias químicas industriales usadas en retardadores de fuego y adhesivos que al ser liberadas al ambiente tienen la capacidad de bloquear la comunicación intercelular e inducir la producción de ciertas enzimas que mimetizan, interfieren o destruyen estrógenos naturales durante las etapas críticas del desarrollo. El impacto causado por estos intrusos endócrinos incluye disfunción de la tiroides, disminución de la fertilidad, anormalidades metabólicas, masculinización o feminización y daños al sistema nervioso e inmunológico.

- ✓ **Enfermedades emergentes:** Existe una fuerte asociación entre los factores ambientales que provocan estrés en los individuos y la presencia de enfermedades que se da cuando el sistema inmunológico se afecta, como por ejemplo el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*) que ataca el órgano más sensible de los anfibios (la piel), causando la muerte (Angulo *et al.*, 2006). Esta enfermedad en conjunto con el cambio climático ha sido asociada a declinaciones masivas de comunidades de Anfibios (Pounds *et al.*, 2006). Han hecho desaparecer unas 200 especies en los últimos 30 años, a escala global en todo el mundo (WWF, 2013). Se reportó que la tasa actual de extinción de los anfibios es doscientas veces superior a la tasa de extinción basal del grupo (McCallum, 2007), esto se ha presentado tanto en áreas protegidas como zonas perturbadas (Whittaker *et al.*, 2013).

Hoy en día, se ha registrado el patógeno prácticamente en todo el mundo (Fisher *et al.*, 2009; Olson *et al.*, 2013), desde los desiertos costeros hasta los bosques de alta montaña. Sin embargo, dados los requerimientos térmicos del patógeno, los registros más comunes de infección se presentan en localidades montañosas en altitudes entre 1000 y 3500 m.s.n.m. las cuales, son zonas de alto endemismo y diversidad de anfibios (Young *et al.*, 2004). Hasta el momento se ha registrado la infección en más de 516 especies de anfibios en 15 biomas (Gower *et al.*, 2013). La quitridiomycosis es de gran preocupación ya que es la primera enfermedad emergente que ha causado un gran declive e incluso extinciones de muchas especies (Mendoza-Almeralla *et al.*, 2014; Whittaker *et al.*, 2013).

- ✓ **Especies invasoras:** El establecimiento y propagación de este tipo de especies es una de las principales amenazas a la biodiversidad en todo el mundo y hay muchos ejemplos en los cuales los anfibios se ven afectados. Las especies invasoras pueden afectar a los anfibios como competidores, depredadores y como vectores de enfermedades. La Rana Toro (*Lithobates catesbeianus*) (Rueda *et al.*, 2004) es nativa del este de América del Norte, pero esta ha sido transportada por todo el mundo por los seres humanos. En las últimas décadas, las ranas toro se han establecido en muchas de las zonas en donde se han disminuido las poblaciones de ranas nativas. Aunque muchos anfibios nativos están muriendo de quitridiomycosis, *Lithobates catesbeiana*, *X. laevis* y *Rhinella marina* son especies que se infectan y toleran la infección, por lo que a lo largo del tiempo provocan una alta prevalencia de *Bd* en los ecosistemas (Mendoza-Almeralla *et al.*, 2014)

Los peces son generalmente especies dominantes en los sistemas acuáticos y su introducción por intermedio humano a nuevos hábitats acuáticos ha tenido consecuencias devastadoras, especialmente para aquellas especies de anfibios que evolucionaron sin peces depredadores. Peces como: el pez mosquito, carpas, truchas, se alimentan de los huevos de anfibios y larvas (Whittaker *et al.*, 2013).

- ✓ **El cambio climático:** Al ser un aumento en la temperatura de la superficie de la tierra alrededor de 0,6 °C desde el siglo pasado, una reducción en la cobertura de la nieve, un aumento en el nivel del mar, además de variaciones en las precipitaciones, y mayor frecuencia de episodios templados del fenómeno de El Niño, esta serie de cambios alteran los patrones locales de temperatura y precipitación, esto trae consigo como consecuencia perturbaciones en las condiciones de macro y micro-clima de los anfibios haciéndolos mucho más vulnerables (Bergós, 2014).

Efecto del cambio climático sobre las poblaciones de anfibios

Los anfibios son uno de los grupos taxonómicos que sufren más las consecuencias del cambio climático junto a los corales tropicales (Parmesan, 2006), esto se debe principalmente a su dependencia a las condiciones ambientales, principalmente la temperatura y la humedad, las cuales pueden afectar su fisiología reproductiva, dinámica poblacional (Walther *et al.*, 2002) y rangos de distribución, los rasgos que se espera que el cambio climático afecte a los anfibios son en su metabolismo, debido al aumento en las temperaturas, disminución en el tamaño poblacional asociado principalmente a la limitación de los recursos, también consecuencias sobre la fecundidad, la supervivencia frente a depredadores, la exposición a la desecación, la susceptibilidad frente a enfermedades, además de provocar la pérdida de sitios adecuados para la reproducción, entre otros (Bergós, 2014).

Para el caso de Colombia se ha planteado que en los páramos la temperatura se ha incrementado (desde mediados de los 70's) en 1°C por década, a la vez que se han reducido los eventos extremos en la precipitación; mientras que las zonas de subparamo y de bosque altoandino los incrementos fluctúan entre 0.3 y 0.6 °C por década y la precipitación se ha incrementado.

El cambio climático puede afectar gravemente las poblaciones de anfibios ya que al presentarse eventos extremos de sequía, debido a cambios en los patrones de precipitación a lo largo del año, puede traer consigo la reducción en la profundidad de los cuerpos de agua, exponiendo a los huevos y renacuajos a los rayos UV-B y contaminantes, que debilitan el sistema inmune de los anfibios lo cual incrementarán la probabilidad de infección por hongos y la mortalidad en los adultos, también la exposición a éstos puede reducir el éxito de la eclosión de embriones, e incrementar la frecuencia de tumores cancerígenos (Urbina *et al.*, 2011; Whittaker *et al.*, 2013)

Otro de los efectos del cambio climático es el incremento de la temperatura en los hábitats donde viven los anfibios, al incrementarse la temperatura, los anfibios se agregan y se hacen en un mismo hábitat, lo que promueve el acercamiento de parásitos a los anfibios. Pounds *et al.* (2006) afirma que en altitudes intermedias el cambio climático es un factor clave para la desaparición de poblaciones de anfibios, ya que promueve un gradiente termal cercano al intervalo de 17 a 25 °C, el cual es adecuado para el crecimiento del patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis*, estudios de

Hof, Araujo, Jetz y Rahbek (2011) evaluaron si la diversidad de anfibios se podría ver afectada por la interacción espacial entre cambio climático y la quitridiomycosis entre los años 1980 a 2080. En cuanto al cambio climático, estos autores encontraron que las zonas geográficas potencialmente más afectadas o amenazadas para los anuros son: el norte de los Andes, el Amazonas y el cerrado en Sudamérica, el Sub Sáhara tropical en África y en una pequeña región del sureste de Asia (Mendoza-Almeralla *et al.*, 2014).

Si se tiene en cuenta que los ecosistemas naturales en Colombia se encuentran seriamente fragmentados, es muy posible que en escenarios de cambio climático, las especies de anfibios invasoras (p.ej. *Lithobates catesbeianus*, *Eleutherodactylus johnstonei*) y aquellas nativas con alta capacidad de dispersión traslocada (p. ej. *Rhinella marina*) incrementen su distribución geográfica altitudinal generando la desaparición de especies endémicas, empobreciendo el ensamblaje y sus funciones ecológicas y en algunos casos afectando la integridad de las áreas naturales protegidas (Nori *et al.*, 2011).

De esta forma, se ve clarificado de que el cambio climático es un factor que afecta la estructura, composición y funcionalidad de los ensamblajes de los anfibios, ya que este interactúa de manera sinérgica junto a otros factores tales como: enfermedades infecciosas emergentes como el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*, especies invasoras y vulnerabilidad debido a la radiación ultravioleta (Ruiz y Rueda-Almonacid, 2008).

Anfibios amenazados en Colombia

Colombia, encabeza la lista de países con mayor número de anfibios amenazados a nivel mundial, lo cual se refleja en los registros de disminuciones en especies de *Pristimantis*, *Dendrobates*, *Colostethus*, *Centrolene* y *Atelopus* (IUCN, 2008). La gran mayoría de especies amenazadas en Colombia se distribuyen en la región Andina, y probablemente por la contribución de un sinnúmero de factores intrínsecos y extrínsecos, que actúan de manera sinérgica (Cooper *et al.*, 2008), esta debe ser la región de mayor prioridad a la hora de generar una iniciativa para la conservación de especies de anfibios en el país (Urbina *et al.*, 2011).

Una de las mayores causas directas del declive es la deforestación o pérdida de hábitat, en Colombia se deforestan hoy aproximadamente 260.000 hectáreas al año. Es una tasa que ha bajado con relación a las décadas de los sesenta y setenta, cuando ascendió a 600.000 hectáreas y con relación a los ochenta cuando llegó a alcanzar en algunos años la cifra de 800.000 hectáreas anuales, en donde dicha deforestación ha tenido como principal destinatario la ganadería. Sin embargo, las Áreas Naturales Protegidas constituyen una de las estrategias más importantes para la protección de la biodiversidad in-situ. Su eje principal es el Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN) que cuenta con 46 unidades equivalentes al 71% de la extensión protegida del país, existen otras categorías de protección menos restrictivas que los parques nacionales entre las cuales se destacan los Distritos de Manejo Integrado que representan el 21% de la extensión protegida del país y las Áreas declaradas por lo municipios y departamentos que representan el 3.47% (PNN de Colombia, 2015), sin embargo otro factor que tiene protagonismo en el declive de los anfibios en el país es el hongo quitridio *Bd* que se puede encontrar tanto en zonas perturbadas como en áreas protegidas este ha sido detectado en el Valle del Cauca (Velásquez *et al.*, 2008), Cundinamarca y Santander (Ruiz y Rueda-Almonacid, 2008), Boyacá, Cundinamarca y Meta (Quintero-Marín, 2008) y Norte de Santander (Acevedo *et al.*, 2011, 2013, 2014).

Distribución actual y potencial

La distribución de los seres vivos es consecuencia de la combinación de múltiples factores tanto ambientales como históricos, entendidos estos últimos como los relacionados con los eventos geológicos, donde algunas especies solo se encuentran en determinados ambientes a los cuales se han adaptado a lo largo de miles de años, así por ejemplo, existen especies que solo se encuentran en climas templados, mientras que otras solo se encuentran en lugares cálidos y húmedos.

La presencia de una especie está determinada por diversos factores que operan con diferentes intensidades a diferentes escalas (Pearson y Dawson, 2003). Dichos factores incluyen la relación de los organismos con su ambiente (condiciones climáticas y de hábitat) y las interacciones interespecíficas como la competencia, depredación y parasitismo (Ortíz-Yusty, 2014)

Cuando se habla de distribución deben distinguirse dos categorías diferentes: la real (también llamada ocurrencia) y la potencial. La distribución real se refiere a los sitios en los que se han observado o colectado individuos y la potencial hace referencia a las áreas que tienen condiciones ambientales muy similares a los sitios donde se encuentran las especies y que tienen muy altas probabilidades de estar ocupadas por estas mismas especies (Gámez, 2011).

Con el fin de maximizar el conocimiento del rango geográfico de las especies, el uso de modelos de distribución de especies (SDM, por sus siglas en inglés) se ha incrementado en los últimos años (Elith *et al.*, 2006; Merow *et al.*, 2013; Peterson, 2006; Soberón y Peterson, 2005). Estos modelos se basan en las relaciones de la especie con variables ambientales y en sus requerimientos ecológicos para proyectar su distribución potencial y permitir evaluar el efecto que podría tener algún cambio en el ambiente sobre dicha distribución (Ortíz-Yusty, 2014).

Modelamiento de nicho

Los datos de la distribución de las especies suelen ser incompletos, y en general sólo se cuenta con información de presencia. Es más, salvo especies muy comunes o extensamente estudiadas, el número de registros por especie suele ser bajo (Pearson *et al.*, 2007). Una de las herramientas más difundidas en la actualidad para la estimación de la distribución potencial, son los “modelos de nicho” o “modelos de envoltura climática” (Lobo *et al.*, 2010). Estos modelos estiman la distribución potencial correlacionando información de ocurrencia con predictores ambientales. El término de nicho ecológico se refiere a la relación de las variables ambientales que brindan las condiciones ecológicas necesarias en las que las poblaciones de una especie dada, son capaces de crecer y mantenerse en el tiempo (Soberón y Peterson, 2005)

El modelado del nicho ecológico es un instrumento que nos permite analizar los factores ecológicos asociados a distintas poblaciones de determinada especie y que la influyen en distintos grados y modos, información que analizada por distintos tipos de algoritmos nos posibilita proyectar a nivel geográfico el área potencial que ocupa la especie e identificar los sitios adecuados para la supervivencia de las poblaciones de una especie por medio de la identificación de sus requerimientos ambientales (Phillips, 2006)

Existen factores que influyen en la distribución de las especies como la temperatura, disponibilidad de agua, topografía, etc. Las distintas mediciones de estos factores son registradas por un cierto tiempo en todo el mundo y se han estandarizado para formar capas bioclimáticas. Estas capas permiten analizar el espacio ecológico de las especies, ya que se pueden obtener los valores bioclimáticos correspondientes a cada dato de presencia de alguna especie de interés y usarlos en un algoritmo de modelación que permita obtener un modelo de nicho ecológico.

Los modelos de distribución, habitualmente se construyen con los siguientes pasos:

- ✓ Cartografía, colecciones biológicas, datos recogidos en campo (bases de datos).
- ✓ Puntos de ocurrencia de la especie.
- ✓ Variables del clima actual que genere el modelo de distribución potencial.
- ✓ Variables del clima futuro, para generar el modelo de distribución potencial futura.

(Cervantes, 2015)

Estudios enfocados en la comparación de distintos métodos de modelación indican que MaxEnt es uno de los métodos más robustos (Tognelli *et al.*, 2009), además de ser un modelo que sólo requiere datos de presencia y las variables ambientales, y aparte de tener la capacidad de ser poco sensible al tamaño de la muestra utilizada para la predicción (Figuroa *et al.*, 2016), MaxEnt fue propuesto por el equipo de Phillips *et al.*, (2004) de la Universidad de Princeton. Es una técnica de aprendizaje automático, la cual utilizando un algoritmo estima la distribución más uniforme (“de máxima entropía”) en base a los sitios de muestreo, y teniendo en cuenta las restricciones impuestas por las condiciones de dichos sitios. Es decir, el programa calcula la distribución de una especie, en un espacio geográfico dado, a partir de la relación observada entre las localidades de colecta y las características ambientales p. ej. El clima y la topografía de las mismas (Figuroa *et al.*, 2016; Toranza, 2011) El programa proporciona las curvas de respuesta de la especie ante las variables ambientales y estima la importancia de cada variable en la distribución de la especie. El modelo se valida con el área bajo la curva (AUC) derivada de la curva operada por el receptor (ROC), características también presentes en el software (Briones *et al.*, 2012; Phillips *et al.*, 2006).

La bondad de los modelos estadísticos se ha estimado mediante el estadístico AUC, cuyos valores pueden estar entre 0,5 y 1. Un valor de 0,5 significa que el modelo no tiene valor discriminante (es

equivalente a una clasificación al azar) y, en el otro extremo, un valor de 1 indica que el modelo ha separado presencias de ausencias con un ajuste perfecto, sin errores. (Phillips, 2006)

Estos modelos tienen múltiples aplicaciones dentro de las que pueden mencionarse: detección de nuevas áreas de distribución o nuevas especies (Pearson *et al.*, 2007), estudios sobre impactos potenciales del cambio climático (Levinsky *et al.*, 2007), predicción de invasiones biológicas o expansión de vectores biológicos y/o patógenos (Holt *et al.*, 2009; Ward, 2007), aportes al diseño de planes de conservación (Ferrier, 2002).

OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la distribución actual y potencial de los anfibios amenazados de la cordillera Oriental colombiana, en un escenario de cambio climático y sus implicaciones en la conservación.

Objetivos Específicos

- Evaluar la distribución conocida de las especies de anfibios en alguna categoría de amenaza en relación a las áreas protegidas de la Cordillera Oriental Colombiana.
- Modelar el efecto de un escenario de cambio climático sobre la distribución futura de los anfibios amenazados en la Cordillera Oriental Colombiana.
- Determinar áreas prioritarias para la conservación de anfibios, mediante la generación de modelos predictivos de distribución en la Cordillera Oriental Colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La cordillera Oriental colombiana tiene una longitud superior a 1.200 km; y un área de superficie 144.252 km² se extiende desde el Macizo Colombiano hasta la cordillera de Mérida en Venezuela (Duque, 2007) (Fig. 1), con variados paisajes en donde se destacan profundos cañones como el de Chicamocha; extensos altiplanos como el cundiboyacense y piedemontes en donde predominan formas como conos aluviotorrenciales. La Cordillera Oriental de los Andes de Colombia es la más larga, extendiéndose incluso hasta Venezuela. Se encuentra dentro de los departamentos de Huila, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander y Cesar e, incluso, un poco en el sur de La Guajira y el occidente de Putumayo, Caquetá, Meta, Casanare y Arauca.

Tres zonas de vida están representadas dentro de la ecorregión: Bosque húmedo premontano, bosque montano adecuada bosque húmedo, subalpino y bosque seco premontano, en la parte sur, se encuentra húmedo bosque de piedemonte, conectado a los bosques húmedos del noroeste de la región del amazonas (Fund, 2014).

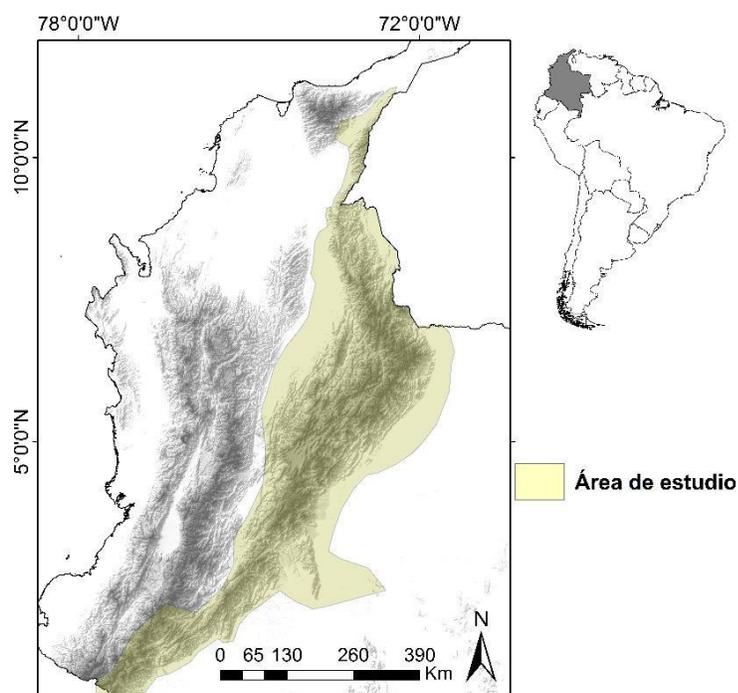


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio, la Cordillera Oriental Colombiana.

Obtención de registros históricos

Para la obtención de datos biológicos se realizó un listado taxonómico de todas las especies de anfibios de la Cordillera Oriental que se encontraran en alguna categoría de amenaza (Vulnerable, En Peligro y En Peligro Crítico) según los criterios de la IUCN, una vez seleccionadas las especies, se realizó una búsqueda de los registros históricos mediante la revisión de publicaciones científicas basada en libros, revistas, colecciones biológicas como la de la Universidad de Pamplona y la de la Universidad Nacional de Colombia, además se consultaron bases de datos en línea como GBIF (Global Biodiversity Information Facility; “<http://www.gbif.org/>”), IUCN (The International Union for Conservation of Nature, “<http://www.iucnredlist.org/>”), Batrachia (“<http://www.batrachia.com/>”) y Amphibians species of the world (“<http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/Amphibia/>”).

Con las localidades georreferenciadas se utilizó dicha información, en los casos que sólo se disponía de la localidad de colecta cada registro y se georreferenció por medio de ArcGis 10.1, las coordenadas geográficas se registraron en grados decimales, con esta información se elaboró una base de datos con las especies y sus coordenadas correspondientes, además de los rangos altitudinales y los criterios de amenaza y otra base de datos que sólo incluyó la especie, la latitud y longitud en formato delimitado por comas (*.csv) para ser leída por MaxEnt.

Distribución de los anfibios con respecto a las áreas protegidas

Se obtuvieron las capas correspondientes a las áreas protegidas de la base de datos de Parques Nacionales de Colombia (Parques Nacionales de Colombia, 2016) donde se seleccionaron áreas correspondientes a: Parques Nacionales Naturales, Santuarios de Fauna y Flora, Reservas Forestales (nacionales y regionales), y distritos regionales de manejo integrado. Luego se realizó un polígono en ArcGis 10.1 el cual abarcó toda el área de estudio para así poder seleccionar únicamente las áreas protegidas que se encontraran dentro de la Cordillera Oriental. Para cada registro geográfico de las especies de anfibios evaluadas (independiente de la cantidad de registros) se le solaparon con las capas de las áreas protegidas mediante ArcGis 10.1, con el fin de generar relaciones espaciales para determinar la frecuencia de registros presentes dentro de las áreas protegidas y los registros por fuera de estas.

Obtención y procesamiento de datos climáticos

Se obtuvieron las capas de las 19 variables bioclimáticas (Tabla 1) con una resolución de 30 segundos de arco ($\sim 1\text{km}^2$) a partir de la base climática “WorldClim” (<http://www.worldclim.org/>), para la distribución potencial actual la información correspondiente a cada celda de la capa representa valores ambientales interpolados a partir de datos observados entre los años 1950 al 2000, y para la distribución potencial en el escenario de cambio climático las 19 variables climáticas se encuentran extrapoladas para el año 2050 y 2070, bajo los modelos de concentración de gases de efecto invernadero RCP4.5 y RCP8.5 que representan un escenario “optimista” (RCP 4.5) y otro escenario más “pesimista” (RCP85) (Weyant *et al.*, 2009). Dado que las capas de información original cubren la totalidad del planeta, hubo la necesidad de recortar estas por medio de polígonos en ArcGis para el área de la cordillera Oriental.

Tabla 1. Variables bioclimáticas.

Variables bioclimáticas	
Bio 1	Temperatura media anual
Bio 2	Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima)
Bio 3	Isotermalidad (Bio2 / Bio7)
Bio 4	Estacionalidad de temperatura
Bio 5	Temperatura máxima del mes más caliente
Bio 6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio 7	Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6)
Bio 8	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio 9	Temperatura media del trimestre más seco
Bio 10	Temperatura media del trimestre más caliente
Bio 11	Temperatura media del trimestre más frío
Bio 12	Precipitación total anual
Bio 13	Precipitación del mes más húmedo
Bio 14	Precipitación del mes más seco
Bio 15	Estacionalidad de la precipitación
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio 17	Precipitación del trimestre más seco
Bio 18	Precipitación del trimestre más caliente
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío

Para las variables que se encontraron altamente correlacionadas se utilizó la herramienta “Remove Highly Correlated Variables” de ArcGis 10.1 la cual evalúa las correlaciones entre todos los datos de entrada (variables climáticas) y procede a excluir las que se encuentren correlacionadas.

Modelamiento de la distribución actual y en un escenario de cambio climático de las especies y validación

Se realizaron modelos para la distribución potencial actual de las especies de anfibios y también en futuros escenarios de cambio climático para los años 2050 y 2070 tanto en escenarios optimistas con un RCP 4.5 y pesimista con un RCP 8.5, el escenario RCP 8.5 representa una de las emisiones de gases de efecto invernadero más alta predichas en comparación con RCP 4.5, aunque ambos asumen aumento de la población humana, y modestas mejoras en la tecnología y la intensidad energética, lo que lleva a una mayor demanda de energía y el aumento las emisiones de gases de efecto invernadero en el largo plazo teniendo en cuenta la ausencia de políticas de mitigación del cambio climático. Los modelos se realizaron mediante el programa MaxEnt versión 3.3 (Phillips et al., 2006) este es un programa que implementa un algoritmo de máxima entropía, su fundamento matemático se sustenta en determinar cuáles variables ambientales intersectan en el punto de georreferencia donde se observó la especie y de esta forma estima una probabilidad promedio para cada variable ambiental que se intersecta en cada uno de los puntos de ocurrencia sometidos en el análisis, para calcular la idoneidad de hábitat para cada especie estudiada.

El programa utiliza dos entradas de datos, las localidades donde se ha registrado la especie (datos solo de presencia) y las capas de las condiciones ambientales de la zona de estudio, estos modelos predictivos se generaron con el 75% de los registros por especie como datos de entrenamiento y el otro 25% de los datos se utilizaron para la evaluación o datos de prueba en únicamente las especies que presentaran más de cuatro registros y posteriormente se convirtieron binarios los mapas de distribución potencial con valores de presencia-ausencia mediante ArcGis 10.1.

Importancia de las variables ambientales

Para establecer la importancia de las distintas variables ambientales se realizó el análisis de Jackknife, en el cual ajusta los modelos con una sola variable a la vez y se mide el ajuste respecto al modelo completo (con todas las variables), luego se ajustan excluyendo una variable cada vez y se comparan con el modelo completo, con este procedimiento se puede identificar las variables que aporten más información al modelo por si solas.

Evaluación de los modelos

Se evaluó el rendimiento de los modelos obtenidos por MaxEnt mediante el cálculo de los errores de comisión y omisión en el área bajo la curva (AUC) de la curva ROC (“Característica operada por el Receptor”), estos se evaluaron con los valores del área bajo la curva (AUC) que caracteriza el desempeño del modelo de distribución, el área bajo la curva (AUC) varía de 0 a 1, entre más cercano sea de 1 el valor de AUC quiere decir que el modelo tiene un buen desempeño, mientras los valores cercanos o por debajo de 0.5 indican que modelo no es más informativo que lo obtenido por el azar y en general se considera que valores por encima de 0.70 indican un buen ajuste del modelo.

Áreas prioritarias para la conservación

Para proponer áreas prioritarias para la conservación de los anfibios se realizaron modelos de riqueza potencial mediante “Estimate Species Richness” la cual es una herramienta de ArcGis 10.1 la cual calcula la riqueza de especies utilizando los modelos de distribución binarios, los cuales se solapan los mapas binarios de todas las especies para los diferentes escenarios, tanto para la distribución potencial actual como los de cambio climático (escenario optimista y pesimista), y luego se superponen las capas de las áreas protegidas sobre los mapas de riqueza potencial para así poder relacionar cuanto porcentaje se encuentra dentro y fuera de las áreas de protección y cuáles son las áreas con mayor riqueza potencial de especies.

RESULTADOS

Distribución de los anfibios con respecto a las áreas protegidas

Para este análisis se usaron 509 registros geográficos correspondientes a 52 especies de anfibios amenazados. A partir del trazado del polígono a lo largo de la cordillera Oriental de Colombia se encontraron 25 áreas con algún tipo de protección ambiental (Fig. 2), representadas en su mayoría por reservas naturales, reservas forestales y zonas de manejo integrado, mientras que solamente ocho son parques nacionales naturales.

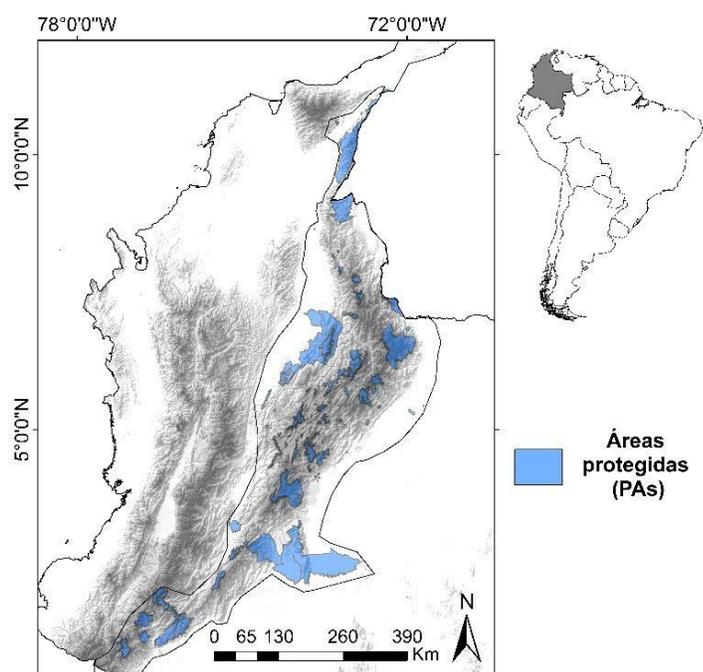


Figura 2. Áreas protegidas de la Cordillera Oriental Colombiana

Mediante la evaluación de la distribución geográfica de las especies amenazadas (Fig. 3), se encontró que 32 especies el 61% representadas por 156 registros el 30% presentan al menos un reporte dentro de algún área protegida (Fig. 4), mientras que solamente 18 especies que representan el 35% están presentes dentro de algún parque nacional (Tabla 2).

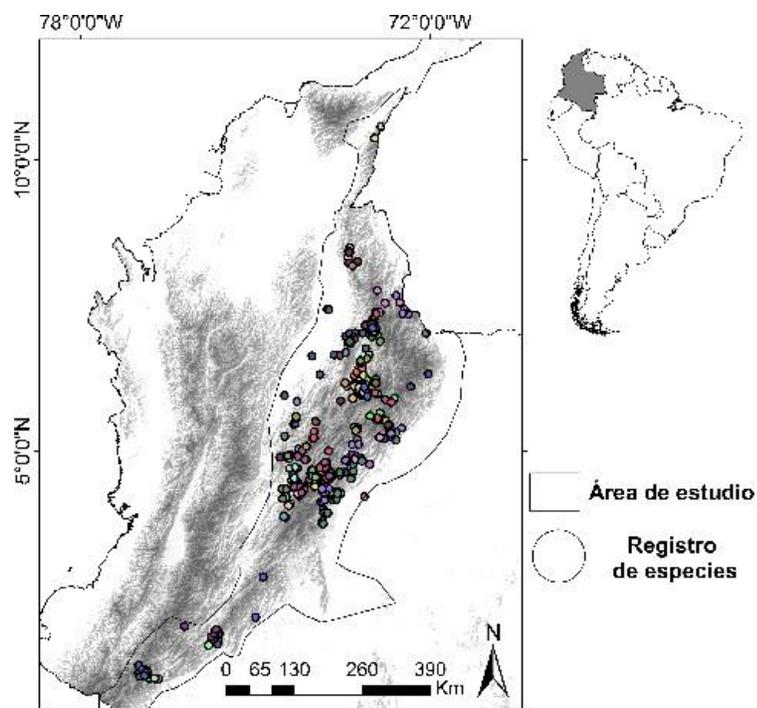


Figura 3. Registros de los anfibios amenazados de la Cordillera Oriental Colombiana.

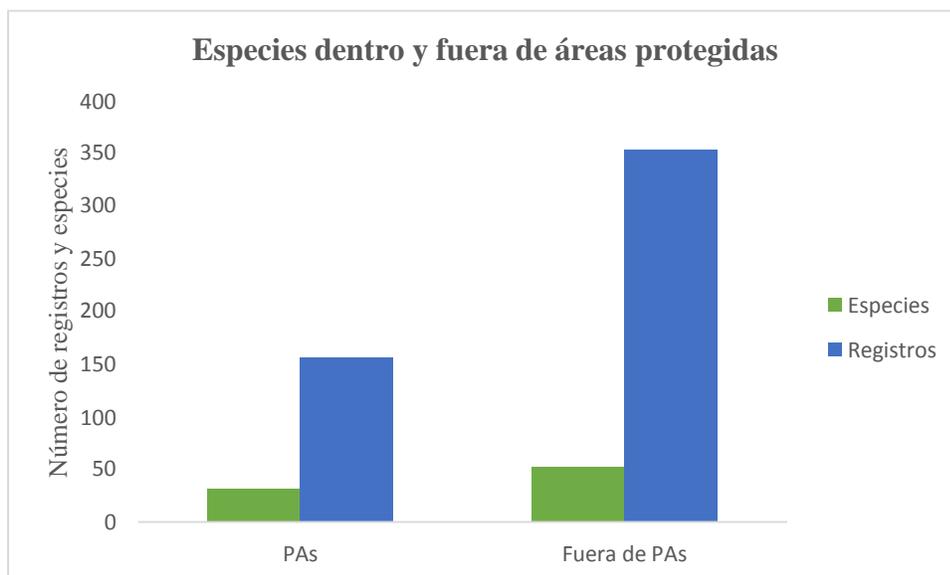


Figura 4. Número de especies y registros dentro y fuera de áreas bajo algún tipo de protección.

En contraste, todas las especies evaluadas presentan al menos un registro fuera de las áreas protegidas con 353 registros (69% de los datos) (Fig. 4), mientras que 20 especies (38%) están completamente fuera de algún área protegida. De los Sistemas de áreas protegidas con mayor extensión de protección se encuentran Guanentá Alto Río Fonce (departamentos de Santander y

Boyacá) el cual es el área que alberga el mayor número de especies con ocho y 13 registros, seguido por El Parque Nacional Natural Chingaza (departamentos de Cundinamarca y Meta) con siete especies y 24 registros, y La Serranía de los Yariguíes (departamento de Santander) con seis especies y 20 registros (Tabla 1). Mientras que, para las reservas naturales y zonas de protección de menor tamaño se encuentran concentrados el mayor número de registros, como es el caso de los Páramos Guantiva - La Rusia (departamentos de Boyacá y Santander) con la presencia de 15 especies de anfibios amenazados y 37 registros. (Tabla. 2).

Tabla 2. Especies de anfibios en las áreas protegidas de la cordillera Oriental de Colombia.

Área Protegida	Categoría	Especies	Registros
Chingaza	PNN	<i>Atelopus lozanoi</i>	3
Chingaza	PNN	<i>Atelopus mandingues</i>	2
Chingaza	PNN	<i>Atelopus muisca</i>	8
Chingaza	PNN	<i>Pristimantis affinis</i>	2
Chingaza	PNN	<i>Pristimantis carrangerorum</i>	1
Chingaza	PNN	<i>Pristimantis elegans</i>	8
Serranía de Los Yariguíes	PNN	<i>Hyloscirtus denticulatus</i>	1
Serranía de Los Yariguíes	PNN	<i>Rulyrana adiazeta</i>	2
Serranía de Los Yariguíes	PNN	<i>Bolitoglossa lozanoi</i>	4
Serranía de Los Yariguíes	PNN	<i>Pristimantis bacchus</i>	4
Serranía de Los Yariguíes	PNN	<i>Pristimantis bicolor</i>	6
Serranía de Los Yariguíes	PNN	<i>Pristimantis merostictus</i>	3
Tamá	PNN	<i>Tachiramantis douglasi</i>	1
Tamá	PNN	<i>Pristimantis frater</i>	2
Tamá	PNN	<i>Allobates juanii</i>	1
Pisba	PNN	<i>Atelopus marinkellei</i>	1
Sumapaz	PNN	<i>Pristimantis elegans</i>	2
Serranía del Perijá	PNN	<i>Hyloscirtus piceigularis</i>	2
Cordillera de los Picachos	PNN	<i>Atelopus petriruizi</i>	1
El Cocuy	PNN	<i>Pristimantis carrangerorum</i>	1
Guanentá Alto Río Fonce	SFF	<i>Pristimantis jorgevelosai</i>	1
Guanentá Alto Río Fonce	SFF	<i>Atelopus mittermeieri</i>	2
Guanentá Alto Río Fonce	SFF	<i>Atelopus monohernandezii</i>	2
Guanentá Alto Río Fonce	SFF	<i>Pristimantis bacchus</i>	2
Guanentá Alto Río Fonce	SFF	<i>Pristimantis elegans</i>	1
Guanentá Alto Río Fonce	SFF	<i>Pristimantis merostictus</i>	3
Guanentá Alto Río Fonce	SFF	<i>Centrolene buckleyi</i>	1
Guanentá Alto Río Fonce	SFF	<i>Hyloscirtus piceigularis</i>	1

El Rasgón	PRN	<i>Pristimantis jorgevelosai</i>	2
El Rasgon	PRN	<i>Hyalinobatrachium ibama</i>	1
El Rasgon	PRN	<i>Pristimantis bicolor</i>	3
El Rasgon	PRN	<i>Pristimantis douglasi</i>	3
El Rasgon	PRN	<i>Pristimantis merostictus</i>	6
El Rasgon	PRN	<i>Centrolene buckleyi</i>	1
El Rasgon	PRN	<i>Hyloscirtus piceigularis</i>	1
Cerro La Judía	PRN	<i>Pristimantis jorgevelosai</i>	2
Cerro La Judía	PRN	<i>Pristimantis bicolor</i>	1
Cerro La Judía	PRN	<i>Pristimantis douglasi</i>	2
Cerro La Judía	PRN	<i>Hyloscirtus lynchi</i>	2
Siscunsi-Ocetá	PRN	<i>Atelopus lozanoi</i>	1
Siscunsi-Ocetá	PRN	<i>Atelopus marinkellei</i>	5
Santurbán	PRN	<i>Pristimantis douglasi</i>	2
Serranía de las Quinchas	PRN	<i>Centrolene petrophilum</i>	1
Bosque Oriental de Bogotá	RFP	<i>Pristimantis elegans</i>	4
Bosque Oriental de Bogotá	RFP	<i>Centrolene buckleyi</i>	2
Bosque Oriental de Bogotá	RFP	<i>Hyloxalus edwardsi</i>	1
Ríos Blanco y Negro	RFP	<i>Atelopus lozanoi</i>	1
Ríos Blanco y Negro	RFP	<i>Atelopus muisca</i>	1
Quebrada Honda	RFP	<i>Allobates juanii</i>	1
Páramo Guargua y Laguna Verde	RFP	<i>Pristimantis elegans</i>	1
Páramo Guargua y Laguna Verde	RFP	<i>Centrolene buckleyi</i>	2
Reserva Protectora Colombia	RFP	<i>Atelopus mandingues</i>	1
Cuchilla de Peñas Blancas	RFP	<i>Hyloxalus vergeli</i>	1
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Pristimantis acutirostris</i>	3
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Strabomantis ingeri</i>	2
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Atelopus mittermeieri</i>	3
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Atelopus monohernandezi</i>	3
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Hyalinobatrachium ibama</i>	1
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Rulyrana adiazeta</i>	1
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Pristimantis bacchus</i>	3
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Pristimantis bicolor</i>	6
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Pristimantis elegans</i>	1
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Pristimantis renjiforum</i>	3
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Pristimantis merostictus</i>	3
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Andinobates virolinensis</i>	5
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Hyloscirtus piceigularis</i>	1
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Hyloscirtus denticulentus</i>	1
Páramos Guantiva-La Rusia	DRMI	<i>Hyloscirtus lynchi</i>	1
Río Subachoque y Pantano de Arce	DRMI	<i>Pristimantis elegans</i>	2

Salto de Tequendama y Cerro Manjui	DRMI	<i>Bolitoglossa capitana</i>	1
------------------------------------	------	------------------------------	---

PNN: Parque nacional natural **PRN:** Parque Regional Natural **SFF:** Santuario de Fauna y Flora **DRMI:** Distrito Regional de Manejo Integrado **RFP:** Reserva Forestal Protectora

Modelamiento de la distribución actual y en un escenario de cambio climático

Para el modelamiento de distribución de especies (SDM) tanto para el escenario actual como para los escenarios de cambio climático futuros, se modelaron 38 especies y 470 registros, ya que estas especies contaban con más de cuatro registros y este es el valor mínimo para poder realizar las validaciones de los modelos de MaxEnt, además de tener un mayor espectro de las variables climáticas requeridas por las especies.

Respecto a los valores de validación arrojados por la curva ROC (AUC) se observó que los modelos potenciales actuales presentaron un alto rendimiento obteniendo un AUC entre 0.75-0.99 (datos de entrenamiento) y 0.68-0.99 (datos de prueba). Para los modelos en el escenario optimista un AUC 0.67-0.99 (datos de prueba) en el 2050 y un AUC 0.73-0.99 (datos de prueba) para el 2070, en el escenario pesimista para el 2050 se obtuvo un AUC 0.675-0.99 (datos de prueba), y para el 2070 un AUC 0.529-1 (datos de prueba), donde los datos de prueba del modelo fueron tomados del 25% de los datos y el otro 75% como los datos de entrenamiento del modelo, por lo que generalmente los AUC de estos últimos tienden a ser elevados (Anexo 1, 2 y 3).

Modelos potenciales por especie

Los valores de los cambios en las áreas se pueden observar en la Anexo 2. Donde se comparan los cambios entre el modelo potencial actual y los escenarios futuros optimista y pesimista para el 2050 y 2070.

Atelopus lozanoi

En el modelo de la distribución potencial actual para *Atelopus lozanoi* (Fig. 5 A) las variables que más aportaron al modelo fueron bio11 (Temperatura media del trimestre más frío), bio8 (Temperatura media del trimestre más húmedo) y bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7), en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para este fueron con el escenario optimista para el 2050, bio6 (Temperatura mínima del mes más frío),

bio10 (Temperatura media del trimestre más caliente) y bio11, y para el 2070 fueron bio6, bio10 y bio13 (Precipitación del mes más húmedo). En el caso del escenario pesimista en el 2050 fueron bio6, bio8 y bio1 (Temperatura media anual), y en el año 2070 bio6, bio3 y bio13. El mapa que muestra la distribución potencial actual para esta especie contrastado con los mapas de distribución potencial futura para el 2050 y 2070 en los escenarios optimistas y pesimistas reflejaron una disminución de la distribución potencial de *A. lozanoi* del 15,38% para el año 2050 en ambos escenarios de cambio climático, y para el 2070 en los escenarios optimista y pesimista, una disminución del 38,46 y 46,15% respectivamente del área modelada. (Anexo 1, 2, 3 y 4, Fig. 5 A).

Atelopus mandingues

El SDM actual para el caso de *Atelopus mandingues* (Fig. 5 B) las variables que más aportaron al modelo fueron bio6, bio19 (Precipitación del trimestre más frío) y bio5 (Temperatura máxima del mes más caliente) en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para este fueron con el escenario optimista para el 2050, bio6, bio13, bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo) y bio18 (Precipitación del trimestre más caliente), y para el 2070 fueron bio6, bio13, bio18 y bio16. En el caso del escenario pesimista en el 2050 fueron bio6, bio18, bio16 y bio14 (Precipitación del mes más seco), y en el año 2070 bio13, bio6, bio16 y bio18. El mapa de la distribución potencial para esta especie contrastado con los mapas de distribución potencial futura para el 2050 y 2070 en los escenarios optimistas y pesimistas, los cuales reflejaron una disminución del 50% en el RCP4.5 para el 2050, sin embargo hubo una mayor disminución en el escenario pesimista ya que la disminución fue del 90% para ambos años (Anexo 1, 2, 3 y 4)

Atelopus marinkellei

El SDM actual para el caso de *Atelopus marinkellei* (Anexo 1, 2 y 3) las variables que más aportaron al modelo fueron bio11, bio14 y bio18 en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para este fueron con el escenario optimista del 2050, bio18, bio6 y bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar), mientras que, para el 2070 del escenario optimista y en los dos años del escenario pesimista, las variables fueron las mismas, bio6, bio4 y bio12 (Precipitación total anual). El mapa de la distribución potencial para esta especie contrastado con los mapas de distribución potencial futura

para el 2050 y 2070 en los escenarios optimistas y pesimistas reflejaron una disminución del 41% para los dos años del escenario optimista y para el 2050 del escenario pesimista (Fig.5C, Anexo 4).

Atelopus muisca

El modelo de distribución potencial actual para *Atelopus muisca* mostró que las variables que más aportaron al modelo fueron bio6, bio14 y bio3, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para este fueron con en el escenario optimista para el 2050, bio6 y bio15 (Estacionalidad de la precipitación), mientras que, en el 2070 optimista y los dos años del escenario pesimistas fueron bio6 y bio18 con diferentes porcentajes de contribución (Anexo 1, 2 y 3). La distribución potencial actual contrasta con los mapas de distribución potencial futura en los escenarios optimistas y pesimistas, los cuales reflejaron una disminución del 50% en los dos años del escenario optimista (Fig. 5 D, Anexo 4).

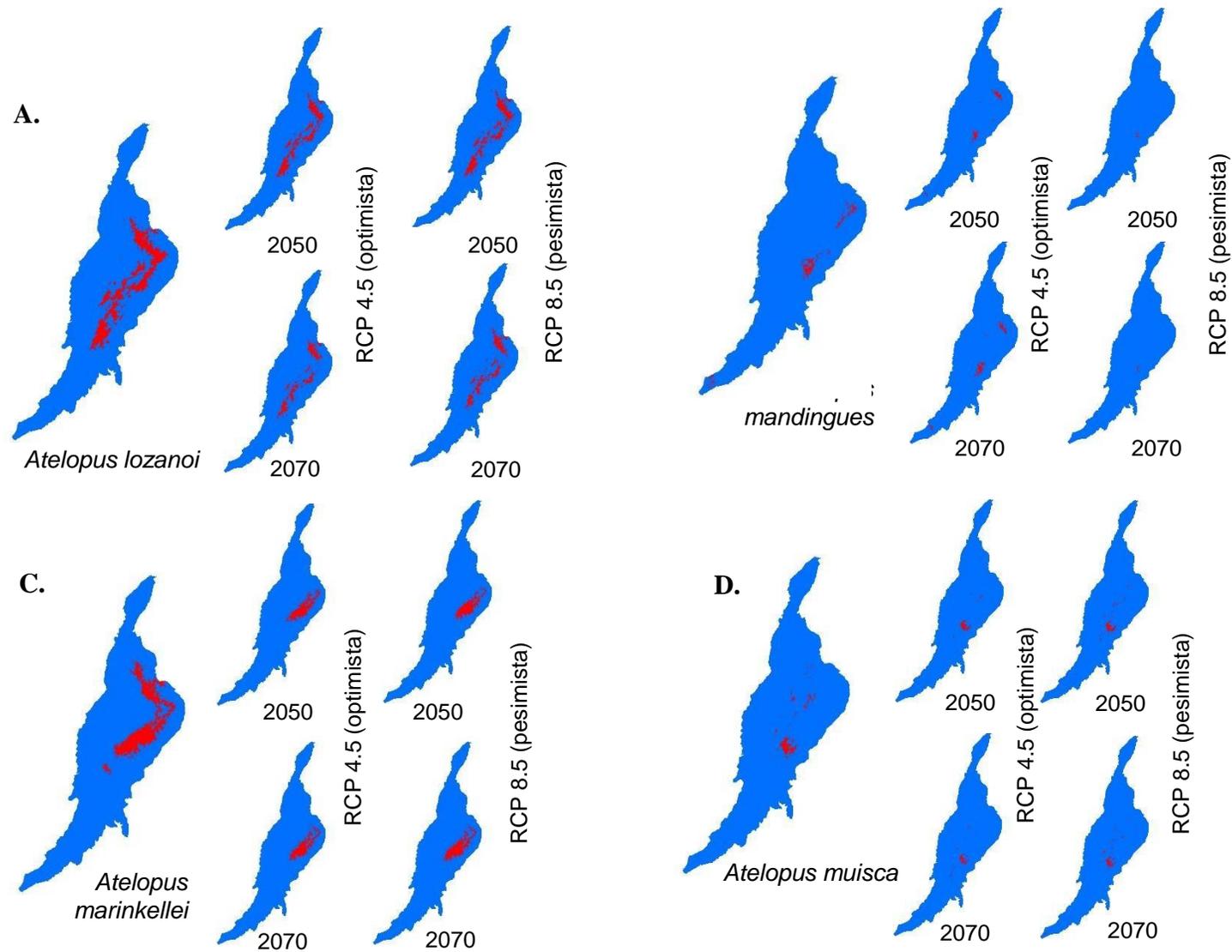


Figura 5. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) *A. lozanoi* B) *A. mandingues* C) *A. marinkellei* D) *A. muisca*.

Atelopus minutulus

Para el modelo de la distribución potencial actual para *Atelopus minutulus*, las variables que aportaron más al modelo fueron bio7, bio15 y bio8, en contraste con los modelos de distribución potencial futura que mostraron que las variables más importantes fueron en el escenario optimista (2050 y 2070) y pesimista (2070) bio4, bio16 y bio15, y en el caso del escenario pesimista en el 2050, bio16, bio4 y bio14. El mapa de la distribución potencial para esta especie contrastado con los mapas de distribución potencial futura para el 2050 y 2070 en los escenarios optimistas y pesimistas, reflejaron una disminución de la distribución potencial de *A. minutulus* del 75% en y entre el 62,5-87,5% respectivamente (Fig. 6 A, Anexo 1, 2, 3 y 4).

Atelopus monohernandezii

Para el modelo de la distribución potencial actual para *Atelopus monohernandezii* las variables que aportaron más al modelo fueron bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima)), bio10 y bio12 en contraste con los modelos de distribución potencial futura que mostraron que las variables más importantes fueron en el escenario optimista para el 2050 y 2070 bio2, bio6 y bio14, en el caso del escenario pesimista para los dos años fueron las variables bio2, bio6 y bio19 (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial para esta especie contrastado con los mapas de distribución potencial futura, reflejaron una disminución 33% en el escenario optimistas y del 66% para el pesimista (Fig. 6 B, Anexo 4).

Atelopus subornatus

El SDM actual de *Atelopus subornatus* arrojó que las variables que aportaron más al modelo fueron bio13, bio7 y bio6, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para este fueron con el escenario optimista para el 2050, bio4, bio13, y bio9, y para el 2070 bio19, bio7 y bio4. En el caso del escenario pesimista en el 2050 y 2070 fueron bio4, bio13 y bio7 (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial para esta especie contrastado con los mapas de distribución potencial futura reflejó un aumento de la distribución potencial en 6.6% para el año 2050 y 2070 (Fig. 6 C, Anexo 4).

Allobates juanii

El modelo de distribución potencial actual para *Allobates juanii* arrojó que las variables que más aportaron al modelo fueron bio12, bio13 y bio18, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para este fueron con el escenario optimista para el 2050, bio16, bio12 y bio13, y para el 2070 (optimista) y 2050 (pesimista) bio16, bio13 y bio19 (Anexo 1, 2 y 3, Fig. 6 D).

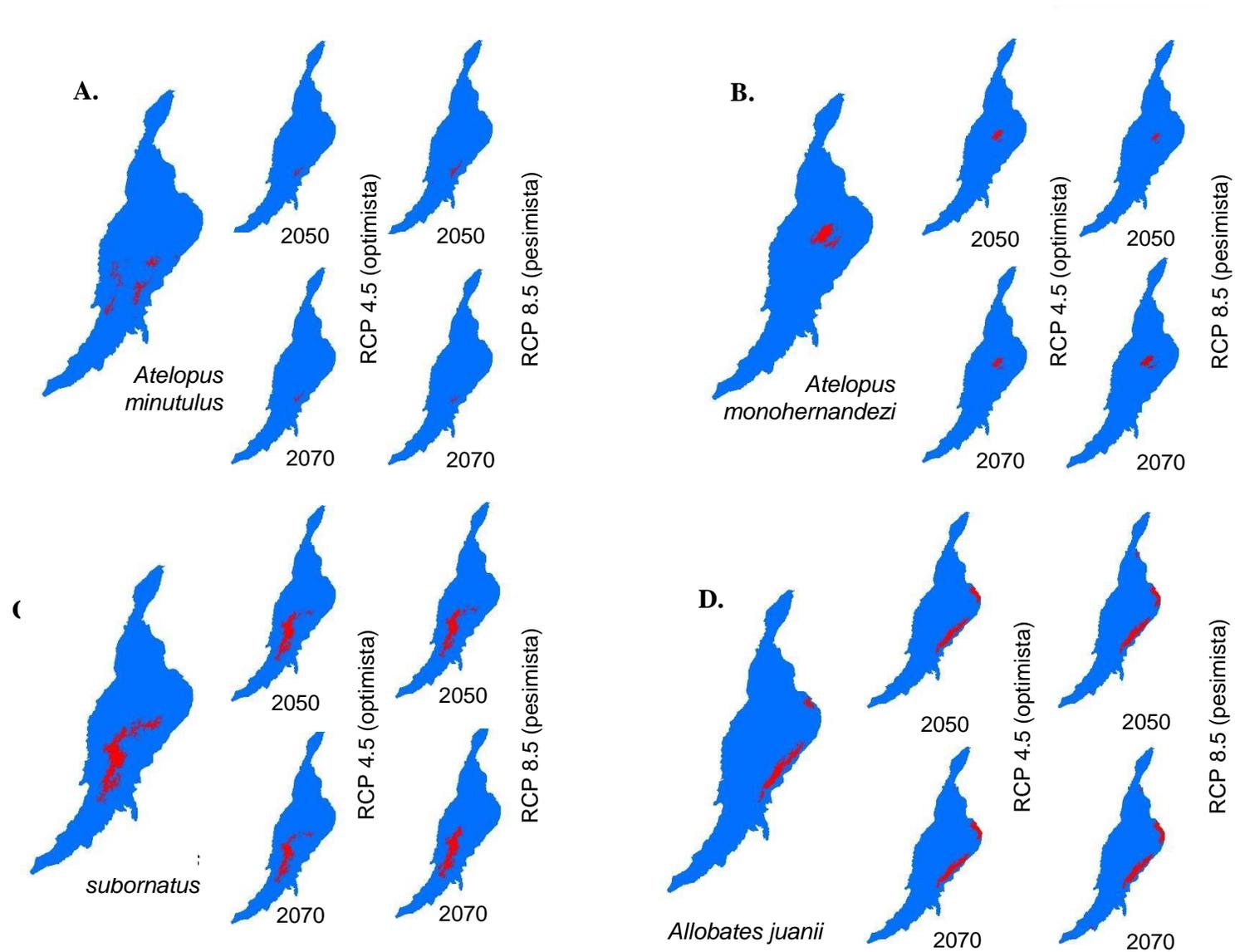


Figura 6. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) *A. minutulus* B) *A. monoherndezi* C) *A. subornatus* D) *A. juanii*.

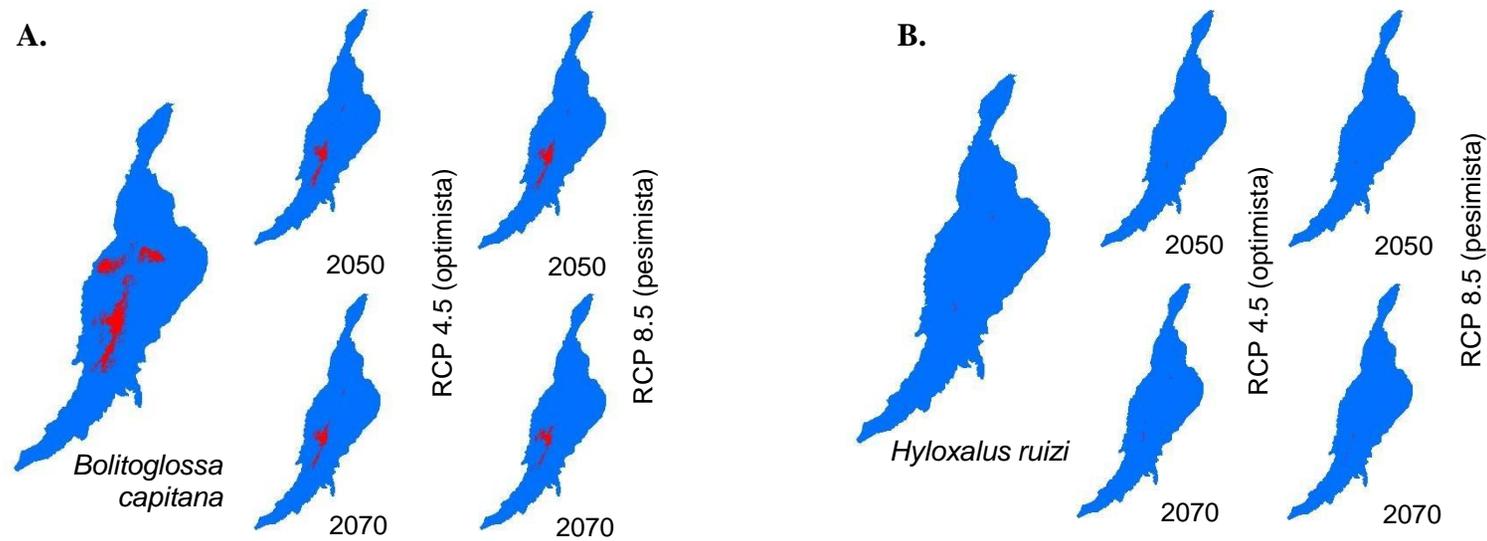


Figura 7. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) *B. capitana* B) *H. ruizi*

Bolitoglossa capitana

El SDM actual para *Bolitoglossa capitana* mostró que las variables que más aportaron al modelo fueron bio4, bio14 y bio5, el SDM futuro en los dos escenarios mostraron que las variables más importantes fueron bio4 y bio14 (Anexo 1, 2 y 3), el mapa de la distribución potencial contrastado con los mapas de distribución potencial futura reflejó una disminución de la distribución potencial futura entre 53-61% para los escenarios pesimista y optimista (Fig. 7 A, Anexo 4).

Hyloxalus ruizi

Para el SDM actual de *Hyloxalus ruizi* las variables que más aportaron al modelo fueron bio13, bio14 y bio7, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables fueron las mismas en el escenario optimista para el 2050 y 2070, bio3, bio12 y bio14, en el caso del escenario pesimista (2050 y 2070) también se presentaron las mismas variables con mayor peso en los dos años las cuales fueron bio12, bio3 y bio7 (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial actual contrastado con la potencial futura (escenarios optimistas y pesimistas) reflejaron una disminución superior al 84% (Fig. 7 B, Anexo 4).

Andinobates virolinensis

El modelo de distribución potencial actual para el caso de *Andinobates virolinensis* mostró que las variables que más aportaron al modelo fueron bio2, bio4 y bio12, en contraste con los modelos de distribución potencial futura que mostraron que las variables más importantes para los dos escenarios (optimista y pesimista) en ambos periodos de tiempo fueron bio2, bio6 y bio17 (Precipitación del trimestre más seco) (Anexo 1, 2 y 3), con porcentajes de contribución similares en todos los modelos futuros (Fig. 8 A).

Hyalinobatrachium esmeralda

Para el modelo de distribución potencial actual para *Hyalinobatrachium esmeralda* mostró que las variables que más aportaron al modelo fueron bio16, bio19 y bio7, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para el escenario optimista (2050 y 2070) fueron bio19, bio13 y bio12, en el caso del escenario pesimista en los dos periodos (2050 y 2070) dos de las tres variables fueron similares, estas fueron bio16 y bio19 (Anexo 1, 2 y 3, Fig. 8 B).

Pristimantis jorgevelosai

Para el modelo de distribución potencial actual para el caso de *Pristimantis jorgevelosai* las variables que más aportaron al modelo fueron bio19, bio6 y bio4, en contraste con los modelos de distribución potencial futura que mostraron que las variables más importantes para el escenario optimista en los dos periodos fueron bio6 y bio4, mientras que, para el escenario pesimista del 2050 fueron bio5 y bio4, y para el 2070 fueron bio19 y bio6 (Anexo 1, 2 y 3). Además, se presentó una disminución de la distribución potencial en el 2050 (optimista) y 2070 (pesimista) entre el 10-80% con respecto a la distribución potencial actual (Fig. 8 C, Anexo 4).

Pristimantis renjiform

El modelo de distribución potencial actual para el caso de *Pristimantis renjiform* arrojó que las variables que más aportaron al modelo fueron bio12, bio4 y bio9, por su parte, el modelo de distribución potencial comparte dos de estas variables (bio4 y bio12), con porcentajes de contribución distintos y la presencia de otras variables de peso para los modelos futuros como bio13 para el 2050 (optimista) con una contribución de 45.4% y bio16 para 2050 (pesimista) con una contribución de 41,4% (Anexo 1, 2 y 3). El SDM actual contrastado con los futuros reflejaron una disminución de la distribución potencial futura de un 50% con respecto a la distribución potencial actual (Fig. 8 D, Anexo 4).

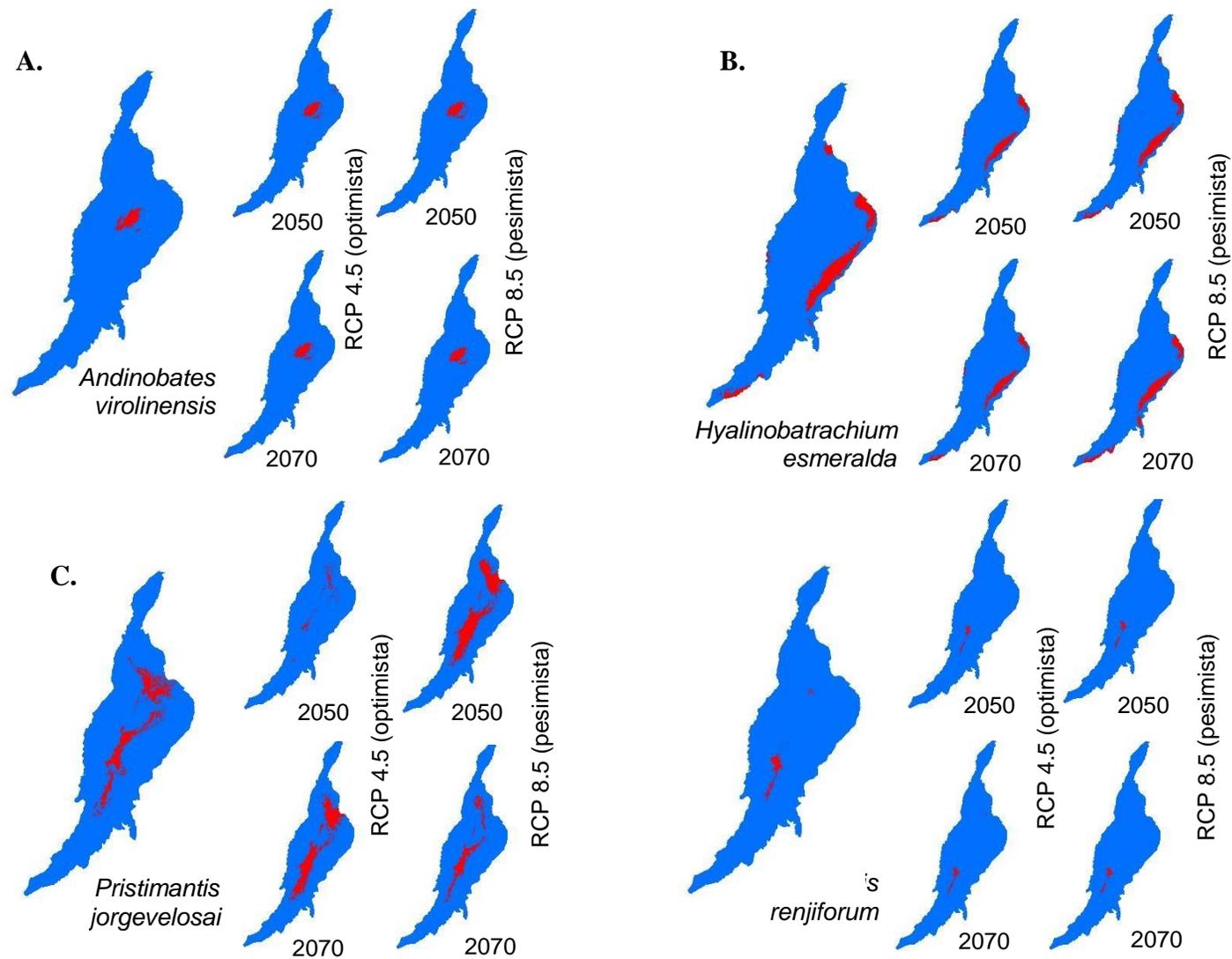


Figura 8. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) *B. virolinensis* B) *H. esmeralda* C) *P. jorgevelosai* D) *P. renjiformis*.

Pristimantis bacchus

El modelo de distribución potencial actual para el caso de *Pristimantis bacchus* mostró que las variables que más aportaron al modelo fueron bio6, bio3 y bio14 en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para los dos escenarios (pesimista y optimista) fueron bio14, bio19 y bio6 (Fig. 9 A, Anexo 1, 2 y 3).

Pristimantis merostictus

Para el modelo de distribución potencial actual para el caso de *Pristimantis merostictus* las variables que más aportaron al modelo fueron bio19, bio4 y bio6, mientras que para el modelo de distribución potencial futura en los dos escenarios (optimista y pesimista) para ambos periodos de tiempo las variables fueron las mismas bio19 y bio14, con porcentajes de contribución bastante similares (Fig. 9 B, Anexo 1, 2 y 3).

Bolitoglossa pandi

El modelo de distribución potencial actual para el caso de *Bolitoglossa pandi* los resultados arrojaron que las variables que más aportaron al modelo fueron bio2, bio3 y bio15, donde el modelo de distribución potencial futura mostró que las variables más importantes para los dos escenarios (optimista y pesimista) en ambos periodos de tiempo fueron bio4 y bio7, con diferentes porcentajes de contribución (Fig. 9 C, Anexo 1, 2 y 3).

Allobates ranoides

Para el modelo de distribución potencial actual para el caso de *Allobates ranoides* las variables que más aportaron al modelo tanto el SDM actual como en los escenarios futuros fueron bio17 y bio2 a excepción del modelo pesimista del 2070 que las variables fueron bio14, bio18 y bio2, con un aumento en los porcentajes de distribución en los futuros escenarios de cambio climático con respecto a los modelos de distribución potencial actual (Fig. 9 D, Anexo 1, 2 y 3).

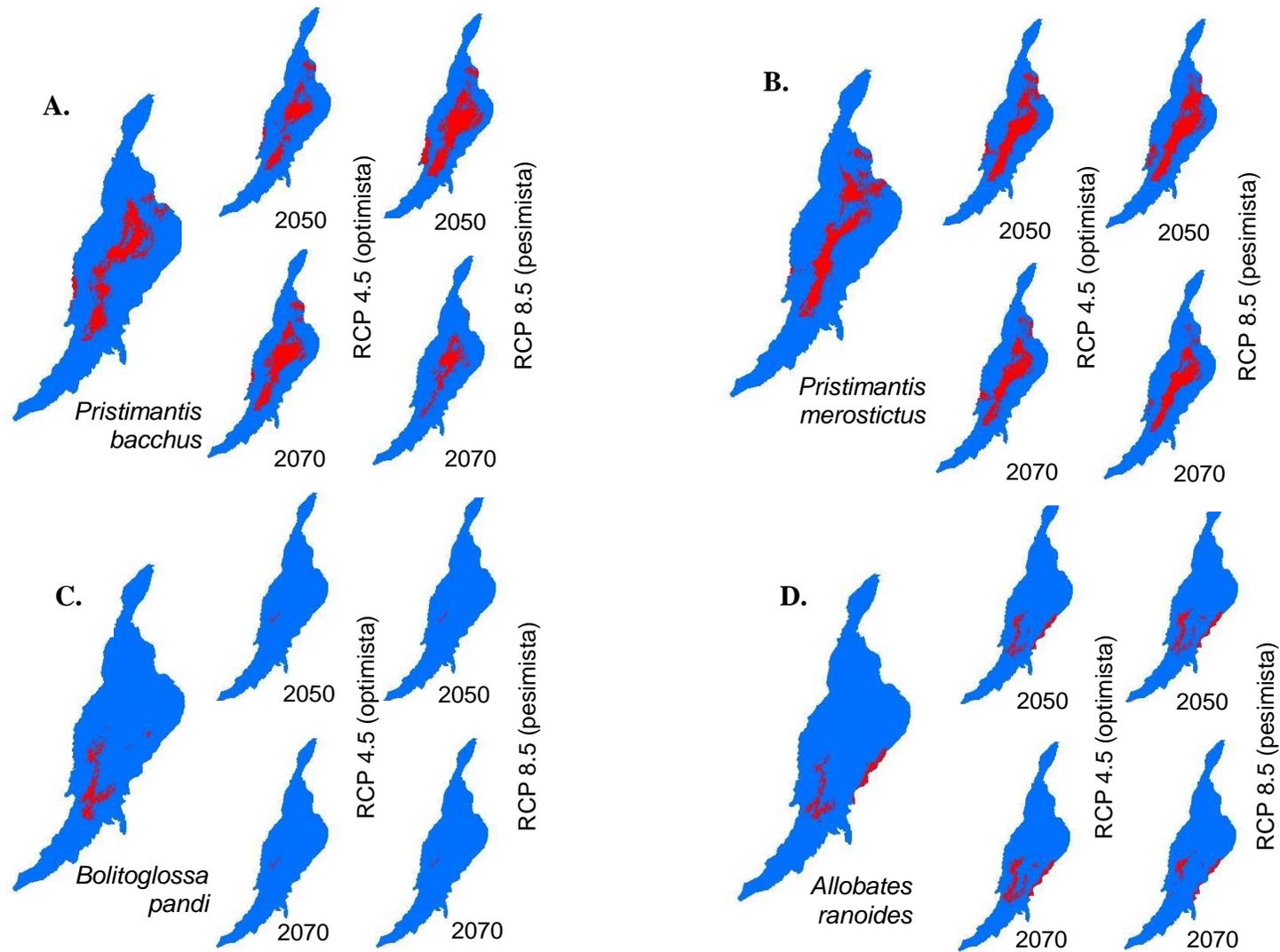


Figura 9. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) *P. bacchus* B) *P. merostictus* C) *B. pandi* D) *A. ranoides*.

Atelopus mittermeiri

El modelo de distribución potencial actual para *Atelopus mittermeiri* arrojó que la distribución potencial futura en los dos escenarios de cambio climático, se ve influenciado por las variables bio2, bio6 y bio19, las cuales son las mismas para los dos escenarios (optimista y pesimista) en todos los modelos (Anexo 1, 2 y 3). Con respecto a la distribución potencial actual en los modelos futuros se presentó una disminución entre el 14.2-42.8% (Fig. 10 A, Anexo 4).

Hyloscirtus denticulentus

El modelo de distribución potencial actual de *Hyloscirtus denticulentus* mostró que las variables que más aportaron al modelo fueron bio19, bio7 y bio4, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que arrojó que las variables más importantes fueron en el escenario optimista para el 2050, bio9, bio4 y bio18, y para el 2070 bio5, bio3 y bio18, mientras que, para el escenario pesimista, en el 2050 bio19, bio9 y bio18, y en el año 2070 bio5, bio4 y bio18 (Anexo 1, 2 y 3). En cuanto a los porcentajes de distribución potencial, en los escenarios futuros disminuyeron entre 8,7-14% (Fig. 10 B, Anexo 4).

Hyloscirtus piceigularis

El SDM actual de *Hyloscirtus piceigularis* y para la distribución potencial futura en los dos escenarios de cambio climático las variables que más aportaron al modelo fueron las mismas en todos los casos, las cuales fueron bio19, bio6, con porcentajes de contribución bastante similares en todos los modelos (Anexo 1, 2 y 3). Comparando los porcentajes de distribución potencial actual con los futuros se puede ver una disminución en los futuros escenarios de cambio climático entre 8,1-40,9% (Fig. 10 C, Anexo 4).

Hyloscirtus lynchi

El SDM actual de *Hyloscirtus lynchi* y para la distribución potencial futura en los dos escenarios de cambio climático, arrojó las mismas variables en todos los casos, las cuales fueron bio6 y bio19, con porcentajes de contribución bastante similares en todos los modelos (Fig. 10 D, Anexo 1, 2 y 3).

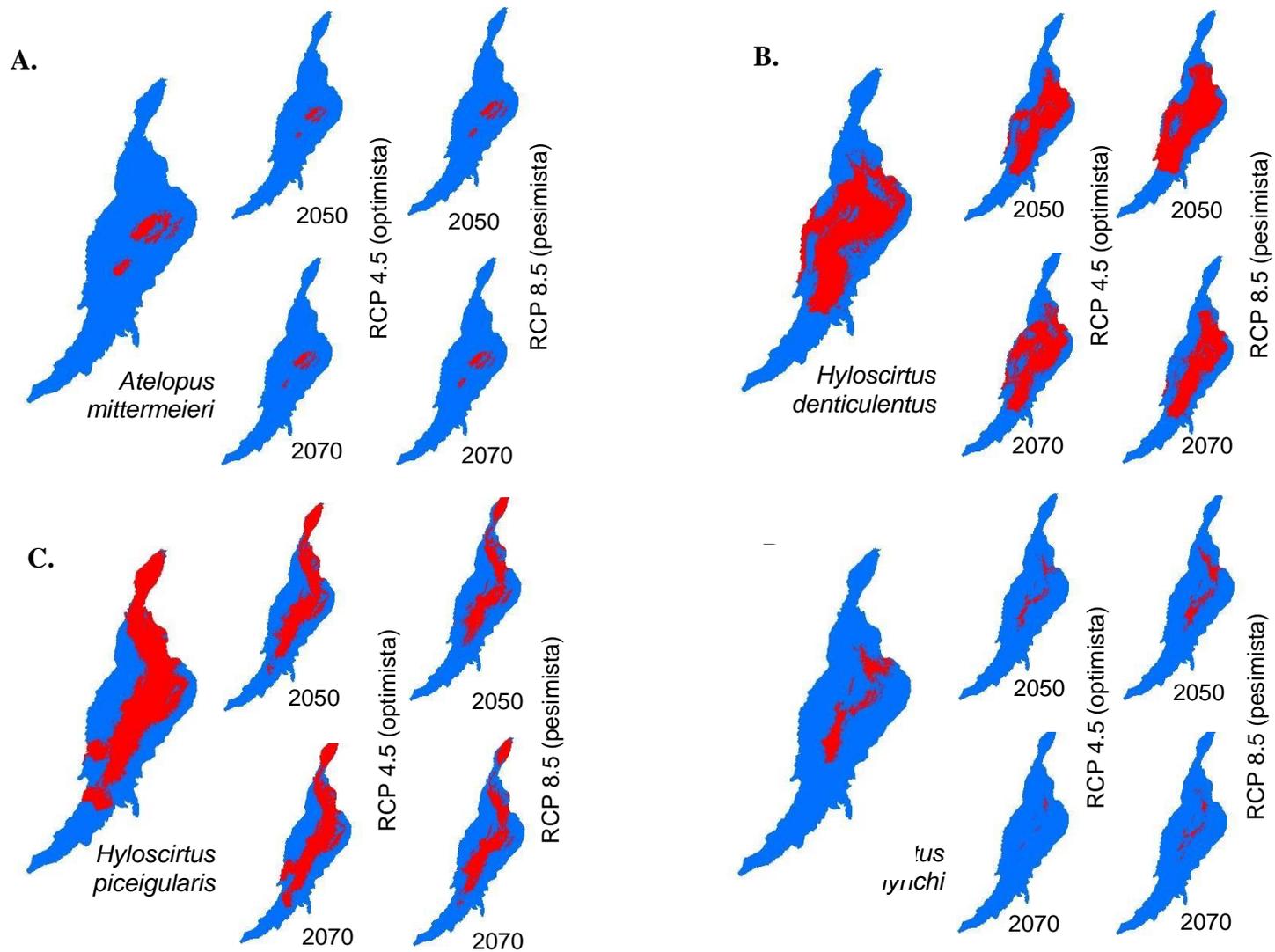


Figura 10. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) *A. mittermeieri* B) *H. denticulentus* C) *H. piceigularis* D) *H. lynchi*.

Pristimantis douglasi

El modelo de distribución potencial actual para el caso de *Pristimantis douglasi* arrojó que las variables que más aportaron al modelo fueron bio19, bio9 y bio13 en contraste con los modelos de distribución potencial futura que mostraron que las variables más importantes para los dos escenarios (optimista y pesimista) expusieron las mismas variables de mayor peso en ambos periodos de tiempo, las cuales fueron bio4 y bio6 (Anexo 1, 2 y 3). Con respecto a los porcentajes de la distribución en el 2050 (en los dos escenarios) hubo una disminución entre el 48% y el 64% siendo el porcentaje más alto para el escenario pesimista, y para el año 2070 hubo una disminución entre el 48% y el 52% con respecto a la distribución potencial actual de la especie (Fig. 11 A, Anexo 4).

Pristimantis elegans

Para el modelo de distribución potencial actual de *Pristimantis elegans* y en los modelos futuros en los dos escenarios de cambio climático, las variables con mayor porcentaje de contribución fueron las mismas bio6 y bio15 (Anexo 1, 2 y 3). Con respecto a los porcentajes de la distribución en el 2050 (en el escenario pesimista) y del 2070 (optimista), la distribución potencial aumenta en 10% con respecto a la distribución potencial actual de la especie, y para el 2050 (optimista) y 2070 (pesimista) hubo una disminución del 5% con respecto a la SDM actual (Fig. 11 B, Anexo 4).

Pristimantis frater

En el modelo de distribución potencial actual de *Pristimantis frater* y en los modelos futuros la variable con mayor porcentaje de contribución fue bio16 con un porcentaje entre 69.9 y 78.6%, con respecto a los porcentajes de la distribución potencial actual (Anexo 1, 2 y 3). En los escenarios del cambio climático estos porcentajes aumentan más del doble con respecto a la actual (Fig. 11 C).

Pristimantis petersorum

El modelo de distribución potencial actual para el caso de *Pristimantis petersorum* mostró que las variables que más aportaron al modelo fueron bio8, bio4 y bio2 en contraste con el modelo de distribución potencial futura, que mostró que las variables más importantes fueron para el 2050 (optimista), bio6, bio4 y bio18, y para el 2070 bio6, bio14 y bio19. En el caso del escenario pesimista en el 2050 fueron bio6, bio3 y bio4, mientras que en el año 2070 fue bio6, bio7 y bio18 (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial para esta especie en un área de 46.030 km² solo se encuentra presente en el 1% del territorio, para los SDM futuros hay un aumento en la distribución potencial alcanzando entre 2% y 5% del territorio (Fig. 11 D, Anexo 4).

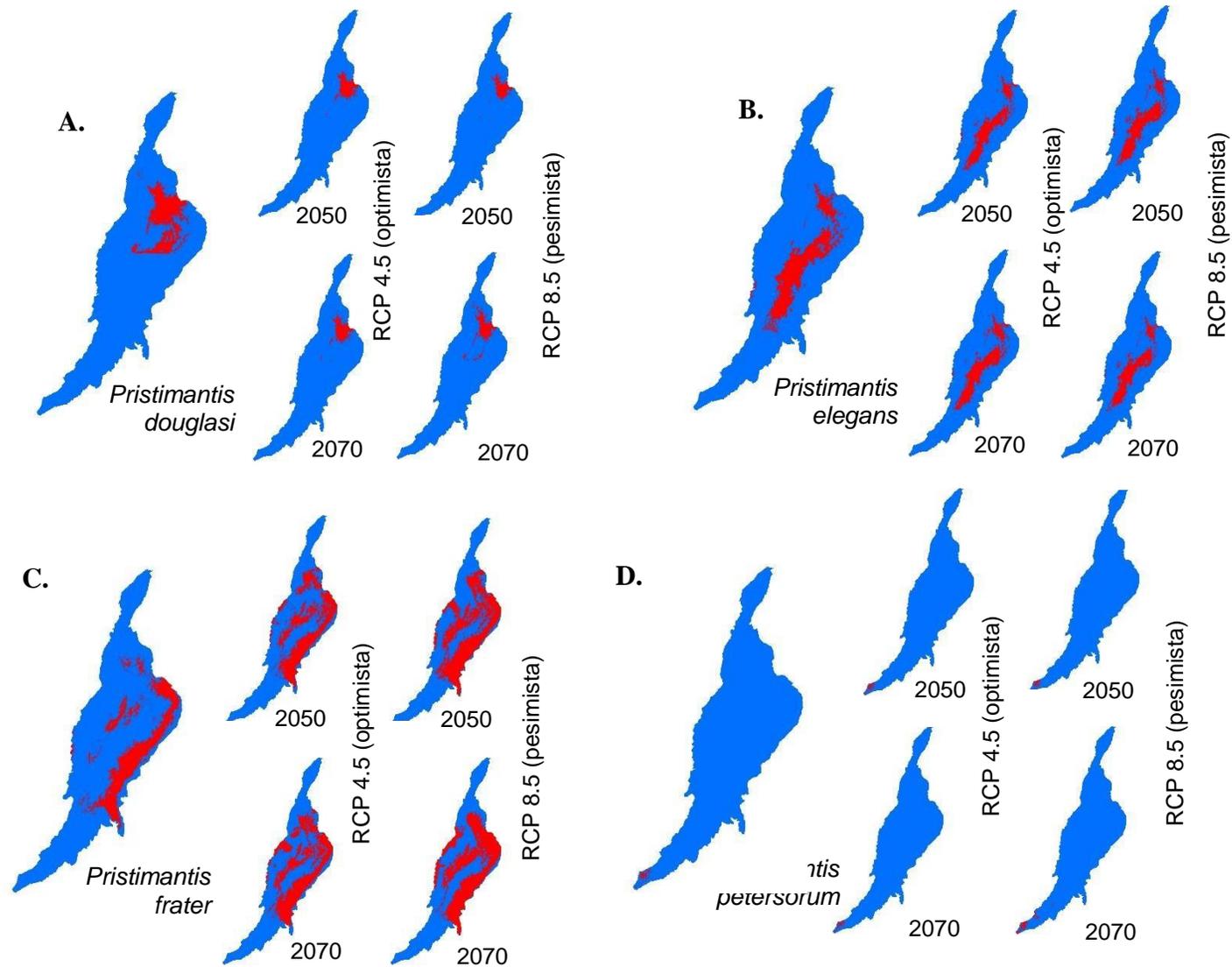


Figura 11. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) *P. douglasi* B) *P. elegans* C) *P. frater* D) *P. petersorum*.

Pristimantis affinis

En el modelo de distribución potencial actual de *Pristimantis affinis* mostró que en los modelos futuros en los dos escenarios de cambio climático las variables con mayor porcentaje de contribución fueron bio6, bio18 y bio15, siendo bio6 la variable con mayor porcentaje de contribución en todos los modelos superior al 53% (Anexo 1, 2 y 3). La SDM futura aumenta con respecto a la SDM actual en el 2050 (optimista) y 2070 (pesimista) en un 59%, sin embargo, para el año 2050 (pesimista) la distribución potencial aumentó en 6% (Fig. 12 A, Anexo 4).

Pristimantis bicolor

En el modelo de distribución potencial actual de *Pristimantis bicolor* y en los modelos futuros en los dos escenarios de cambio climático las variables con mayor porcentaje de contribución fueron bio4 y bio19, a excepción de 2070 (pesimista) las cuales fueron bio19 y bio18 (Anexo 1, 2 y 3). La distribución potencial futura aumenta con respecto a la distribución potencial actual en más del 13% (Fig. 12 B, Anexo 4).

Pristimantis carrangerorum

En el modelo de distribución potencial actual de *Pristimantis carrangerorum* las variables que más aportaron al modelo fueron bio19, bio14 y bio6, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes en el escenario optimista fueron bio19, bio6, y bio15, mientras que en el escenario pesimista para el 2050 fueron bio16, bio6 y bio4, y para el 2070 del mismo escenario las variables fueron bio15, bio16 y bio6 (Anexo 1, 2 y 3). La distribución potencial actual con respecto al SDM futuro, en el futuro aumentaron un 8% en los dos escenarios de los años 2070 y 2050 respectivamente. Para el año 2050 del escenario optimista hubo un aumento del 54% y en el escenario pesimista en el 2070 hubo un incremento del 15% con respecto a la distribución actual potencial de la especie (Fig. 12 C, Anexo 4).

Hyloscirtus torrenticola

En el modelo de distribución potencial actual de *Hyloscirtus torrenticola* las variables que más aportaron al modelo fueron bio3, bio15 y bio13, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para este fueron con el escenario optimista para el 2050, bio3 y bio15, y para el 2070 bio3 y bio4, en el caso del escenario pesimista para el 2050 fue bio3 y bio18, en el 2070 fueron bio4 y bio19 (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial actual con respecto al SDM futuro mostró que los porcentajes de distribución potencial son muy similares, a excepción del 2050 pesimista donde este porcentaje disminuye un 90% (Fig. 12 D, Anexo 4).

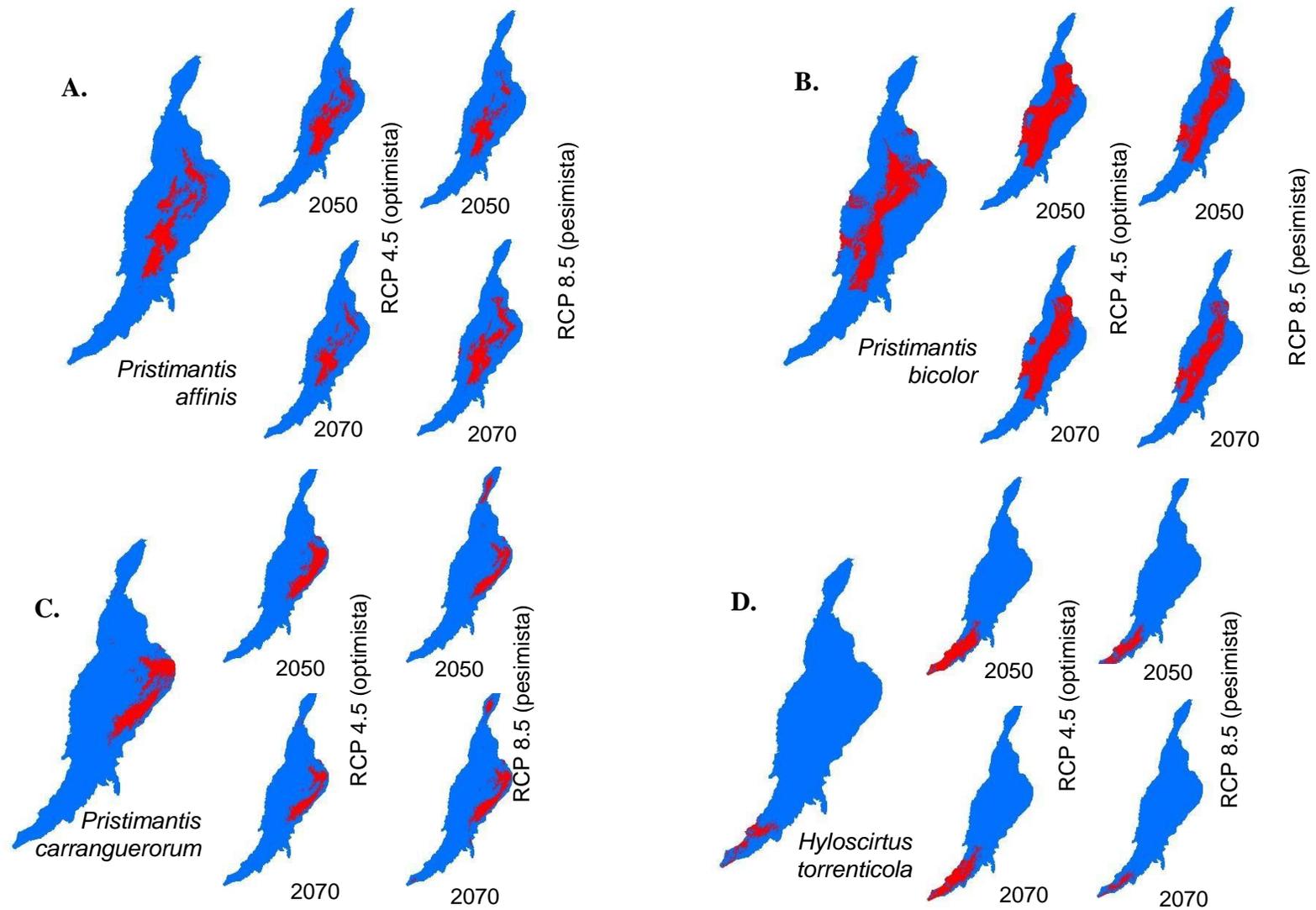


Figura 12. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) *P. affinis* B) *P. bicolor* C) *P. carrangerorum* D) *H. Torrenticola*.

Bolitoglossa lozanoi

El modelo de distribución potencial actual para el caso de *Bolitoglossa lozanoi* las variables que más aportaron al modelo fueron bio3 y bio14, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para este fueron con el escenario optimista para el 2050, bio6, bio4 y bio15, y para el 2070 bio6, bio7 y bio15, en el caso del escenario pesimista para los dos periodos (2050 y 2070) las variables fueron las mismas (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial para esta especie en un área de 105.323 km² disminuyó en los escenarios futuros entre 6-25% con respecto al modelo actual (Fig. 13 A, Anexo 4).

Hyloxalus vergeli

El modelo de distribución potencial actual para el caso de *Hyloxalus vergeli* y en los modelos futuros las variables que más aportaron al modelo fueron bio12 y bio4 con porcentajes de contribución distintos para cada modelo, a excepción del 2070 (pesimista) que las variables que más aportaron al modelo fueron bio4 y bio17 (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de distribución potencial para esta especie mostró una disminución en el porcentaje de distribución entre el 22 y 45% con respecto al porcentaje del SDM actual (Fig. 12 B, Anexo 4).

Hyalinobatrachium ibama

En el modelo de distribución potencial actual de *Hyalinobatrachium ibama* y en los modelos futuros en los dos escenarios de cambio climático las variables con mayor porcentaje de contribución fueron bio4 y bio19, siendo bio4 la variable con mayor porcentaje de contribución en todos los modelos superior al 49% (Fig. 12 C, Anexo 1, 2, 3 y 4).

Rulyrana adiazeta

Para el modelo de distribución potencial actual para el caso de *Rulyrana adiazeta* las variables que más aportaron al modelo fueron bio4, bio2 y bio15, en los SDM futuros las variables de mayor peso fueron bio2 y bio15, teniendo bio15 un porcentaje de contribución superior al 43% (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial para esta especie en un área de 147.700 km² aumentó en los escenarios futuros con respecto al modelo actual (Fig. 12 D).

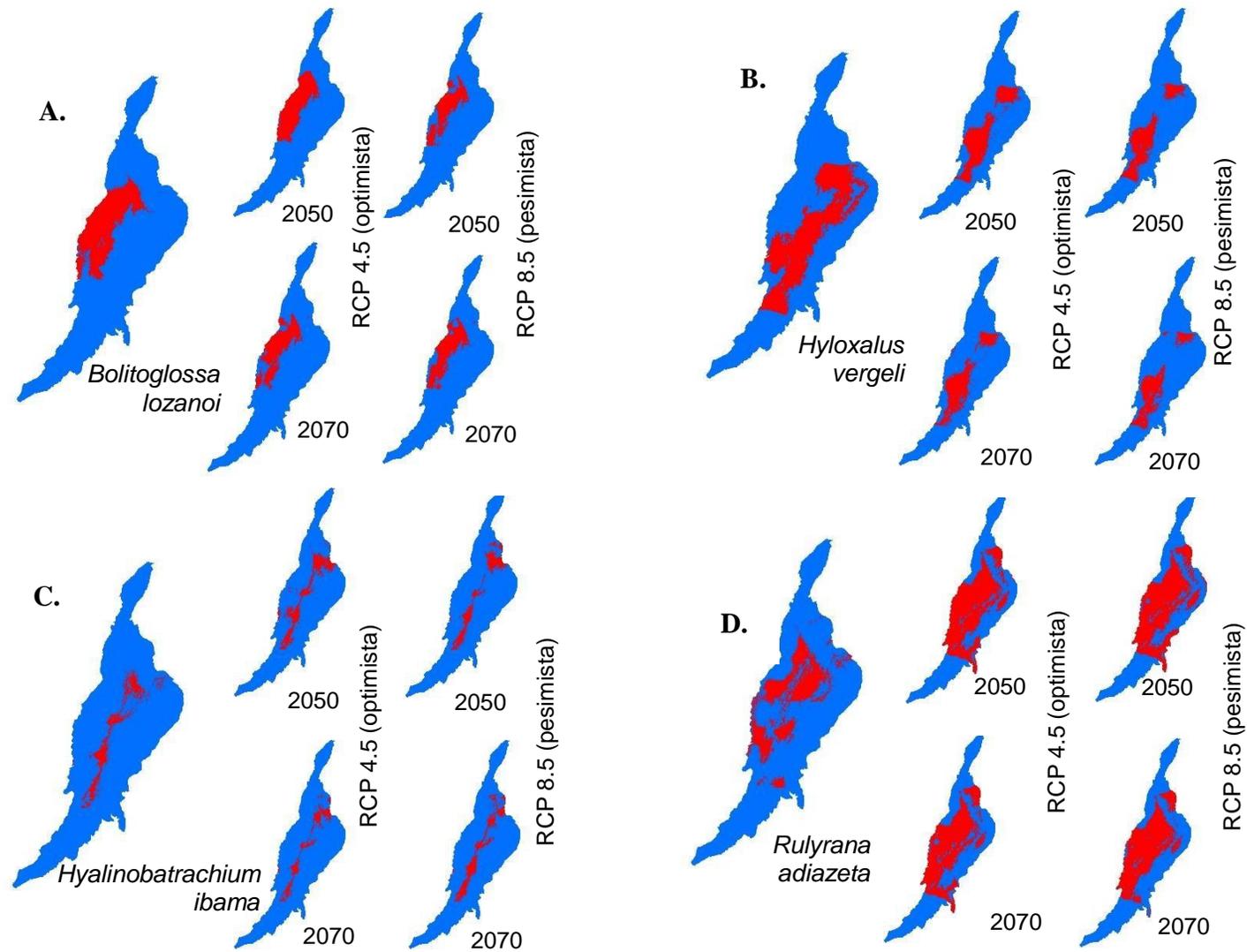


Figura 13. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) *B. lozanoi* B) *H. vergeli* C) *H. ibama* D) *R. adiazeta*.

Centrolene buckleyi

En el modelo de distribución potencial actual de *Centrolene buckleyi* las variables que más aportaron al modelo fueron bio1, bio12 y bio19, en contraste con los modelos de distribución potencial futura en el escenario optimista para el 2050 y pesimista para el 2070 que fueron bio6 y bio16, mientras que para el 2070 optimista y 2050 pesimista fueron bio6 y bio19 con porcentajes de contribución distintos (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial actual con respecto al SDM futuro, en el futuro disminuyó únicamente en un 5%, a excepción de 2050 pesimista que aumentó en un 5% (Fig. 14 A, Anexo 4).

Centrolene daidaleum

En el modelo de distribución potencial actual de *Centrolene daidaleum* y potencial futuro las variables que más aportaron a los modelos fueron bio19 y bio6, con porcentajes de contribución distintos, en el caso del escenario 2050 optimista, aparte de bio6 la variable que más aporta al modelo es bio16 (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial actual con respecto al SDM futuro aumentó 12% en el año 2070 optimista (Fig. 14 B, Anexo 4).

Hypodactylus dolops

En el modelo de distribución potencial actual de *Hypodactylus dolops* las variables que más aportaron al modelo fueron bio13, bio3 y bio19, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes en los dos escenarios fueron bio4 y bio6 con porcentajes de contribución bastante similares entre los modelos (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial actual con respecto al SDM futuro disminuyeron entre 96.95-99.96% (Fig. 14 C, Anexo 4).

Hyloscirtus lindae

En el modelo de distribución potencial actual de *Hyloscirtus lindae* las variables que más aportaron al modelo fueron bio1, bio4 y bio3, en contraste con el modelo de distribución potencial futura que mostró que las variables más importantes para este fueron para el 2050 optimista, bio6, bio3 y

bio10, para el 2070 bio6, bio19 y bio1, en el caso del escenario pesimista para el 2050 fue bio6, bio14 y bio1, en el 2070 fueron bio6, bio18 y bio10 (Anexo 1, 2 y 3). El mapa de la distribución potencial actual con respecto al SDM futuro disminuyó más del 80% siendo el modelo con menor distribución potencial el pesimista en el 2050 con una disminución del 97.5% (Fig. 14 D, Anexo 4)

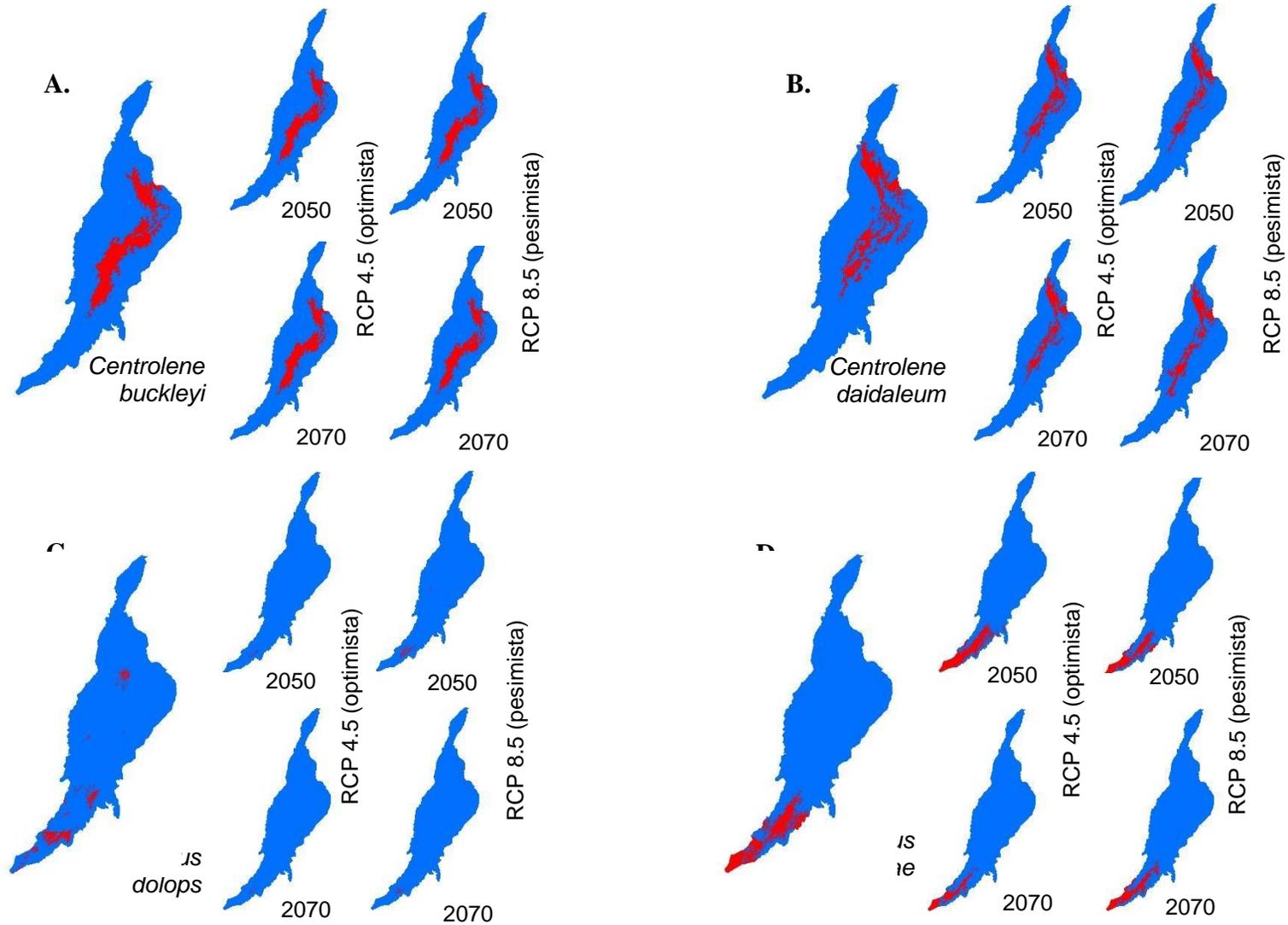


Figura 14. Modelos binarios de la SDM actual y en futuros escenarios de cambio climático A) *C. buckleyi* B) *C. daidaleum* C) *H. dolops* D) *H. Lindae*.

Áreas prioritarias para la conservación

Modelo de riqueza potencial actual

En el modelo de riqueza potencial actual (Fig. 15A) las zonas rojas son las que tienen mayor número de especies potenciales, concentrándose en zonas altas entre los 1900-2799 m.s.n.m. y 2800-4000 m.s.n.m. (Fig. 15B). Las zonas con menor riqueza potencial en color azul claro, contiene de cinco a diez especies y se encuentran principalmente en zonas bajas entre los 300 y 2000 m.s.n.m. Al relacionar el mapa de la distribución potencial actual con la capa de las áreas protegidas, se puede observar que las áreas con mayor riqueza potencial (Fig. 15C) no se encuentran dentro de ningún áreas de protección, y las áreas que albergan algún porcentaje de riqueza potencial superior a 14 especies no son los parques naturales, sino las áreas de protección con menor extensión, como lo son Zonas de páramo y reservas regionales.

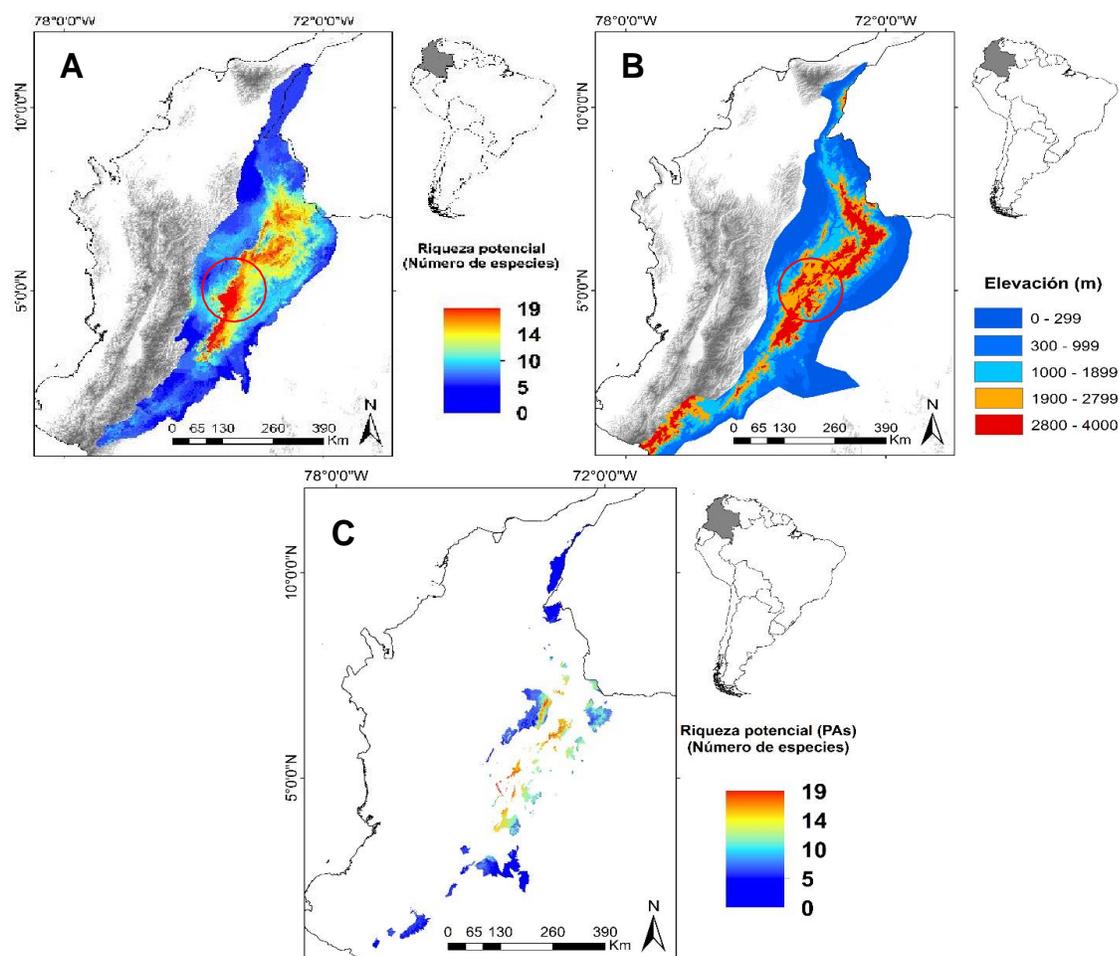


Figura 15. Relación entre el modelo de riqueza potencial actual y las áreas protegidas A) Riqueza potencial B) Modelo de elevación C) Riqueza potencial en las PAs.

Modelo de riqueza potencial actual – 2050 optimista

Para el modelo de riqueza potencial futuro para el año 2050 en el escenario optimista (Fig. 16A), las zonas con mayor riqueza potencial también se encuentran en las zonas altas entre los 1900-2799 m.s.n.m. hasta los 4000 m.s.n.m. (Fig. 16B) como en el caso de la distribución potencial actual, las zonas con menor riqueza potencial se encuentran entre los 300 - 1899 m.s.n.m., al relacionar el mapa optimista del 2050 con las áreas protegidas, se puede observar que solo una área correspondiente a Los páramos de Guarca categoriza como una zona de riego y manejo integrado cuenta con una riqueza potencial alta entre 13-18 especies, por su parte, solo cuatro áreas cuentan con 9-13 especies, de las cuales solo dos son parques nacionales (Chingaza y Sumapaz) y el resto de las áreas con un valor de riqueza potencial bastante bajo o nulo (Fig. 16C), las cuales en su mayoría están representadas por reservas regiones y áreas de páramo.

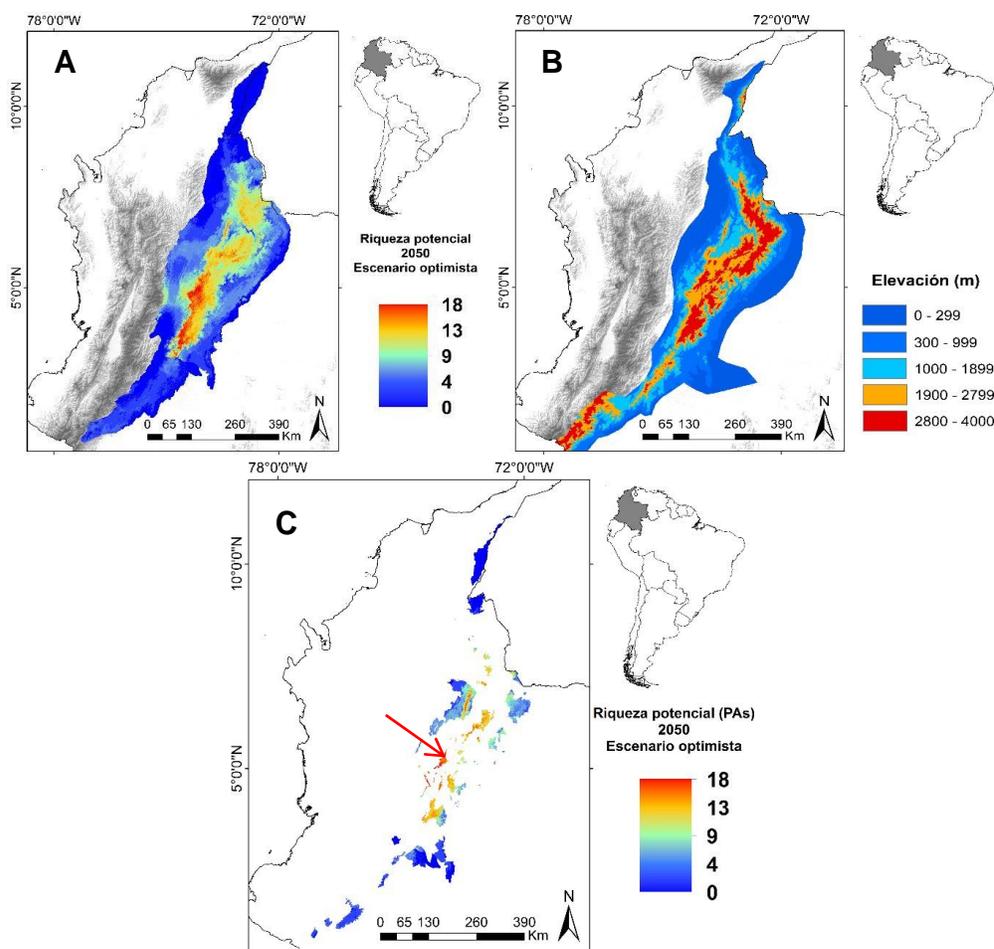


Figura 16. Relación entre el modelo de riqueza potencial RCP4.5 en el 2050 y las áreas protegidas A) Riqueza potencial B) Modelo de elevación C) Riqueza potencial en las PAs.

Modelo de riqueza potencial actual – 2070 optimista

El modelo de riqueza potencial futuro para el año 2070 en el escenario optimista (Fig. 17A), las zonas con mayor riqueza potencial se encuentran entre los 1900-2799 m.s.n.m., las zonas con menor riqueza potencial se incrementaron en el área de estudio hacia la región oriental de la cordillera en zonas entre los 300 - 1899 m.s.n.m. (Fig. 17B), al relacionar el mapa de la distribución potencial optimista del 2070 con las áreas protegidas, se puede observar que el área que abarca la mayor riqueza potencial de anfibios no se encuentra resguardada bajo ningún área de protección y los valores de riqueza para los rangos entre 8 y 13 especies es similar al año 2050, con poca representación de áreas protegidas de áreas mayor a los 50.000 km² (Fig. 17C).

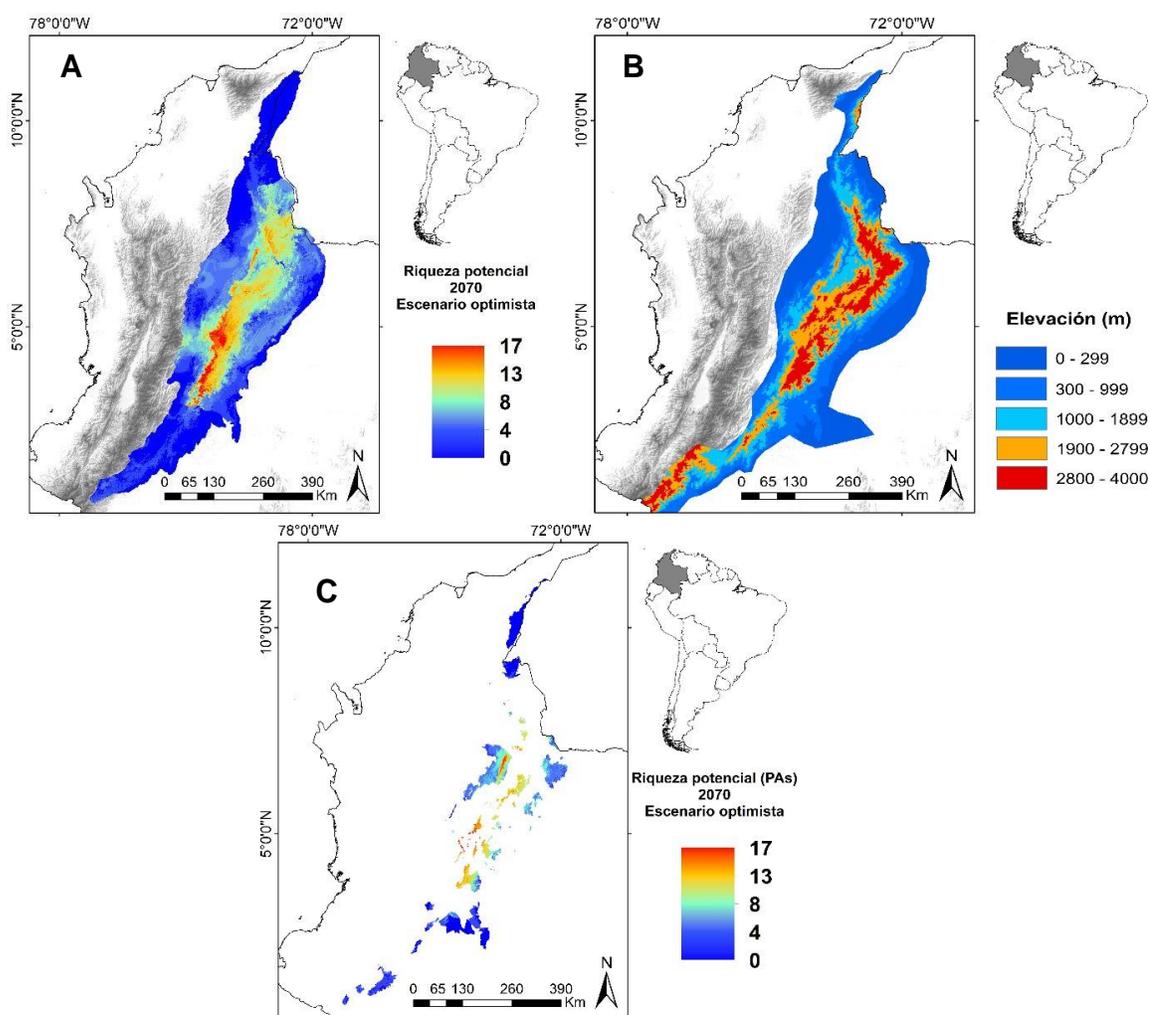


Figura 17. Relación entre el modelo de riqueza potencial RCP4.5 en el 2070 y las áreas protegidas A) Riqueza potencial en el año 2070 (optimista) B) Modelo de elevación C) Riqueza potencial del 2070 en el escenario optimista en las áreas protegidas.

Modelo de riqueza potencial actual – 2050 pesimista

El modelo de riqueza potencial futuro pesimista en el año 2050 (Fig. 18A), muestran que las zonas con mayor riqueza potencial al igual que en modelos anteriores se encuentra entre 1900-2799 m.s.n.m., y en las zonas más altas entre los 2800-4000 m.s.n.m. la riqueza potencial esta entre los 4 y 13 especies (Fig. 18B), las áreas protegidas de la cordillera solo cuentan con una sola área con riqueza potencial de 18 especies y otras pequeñas áreas que salvaguardan riqueza potencial más baja entre 13 y 9 especies (Fig. 18C).

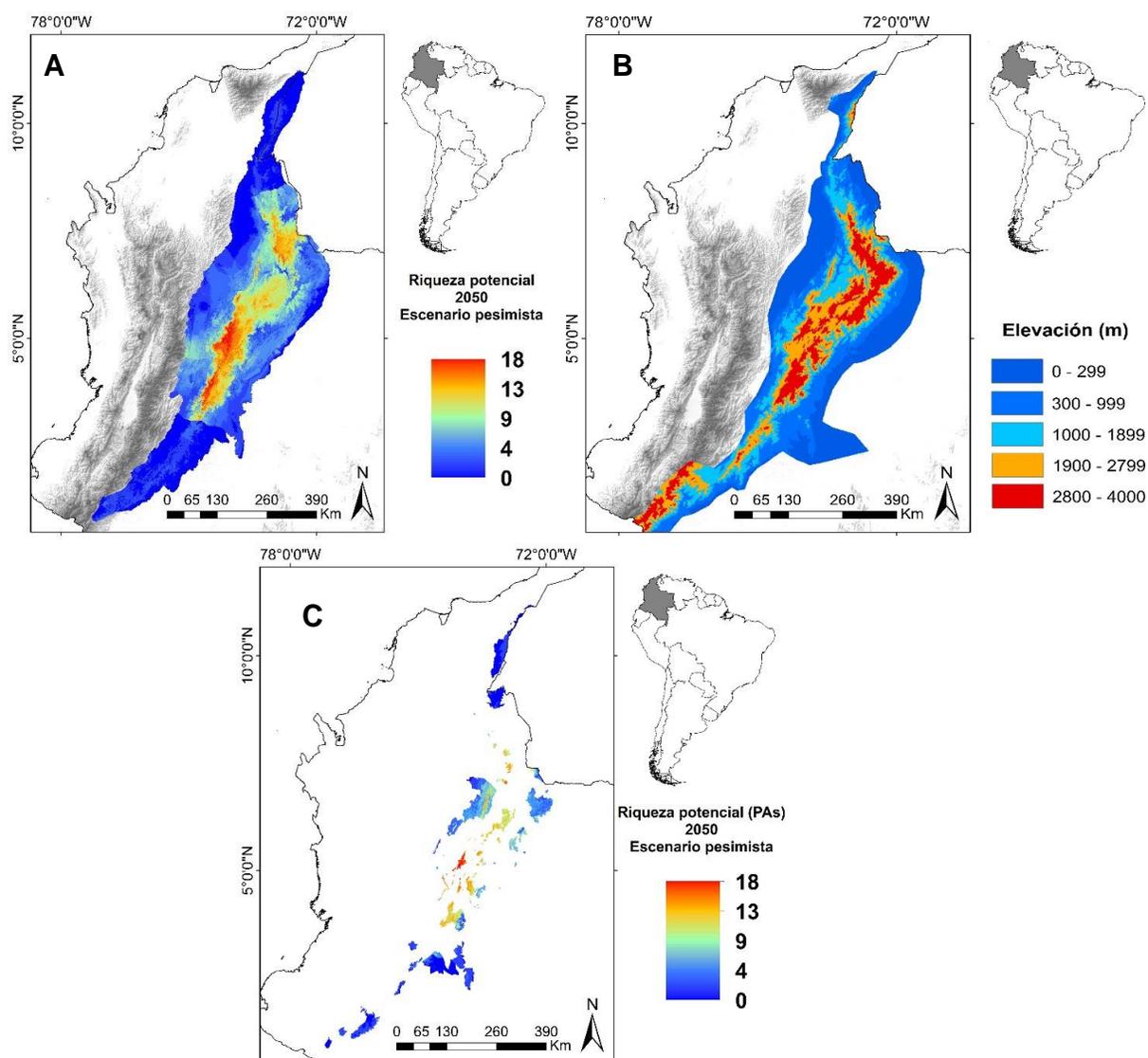


Figura 18. Relación entre el modelo de riqueza potencial pesimista en el 2050 y las áreas protegidas A) Riqueza potencial en el año 2050 (pesimista) B) Modelo de elevación C) Riqueza potencial del 2050 en el escenario pesimista en las áreas protegidas.

Modelo de riqueza potencial actual – 2070 pesimista

El modelo de riqueza potencial futuro pesimista en el año 2070 (Fig. 19A), muestran que las zonas con mayor riqueza potencial aumentaron ligeramente con respecto a los modelos anteriores y esta se encuentra al igual que en modelos previos entre 1900-2799 m.s.n.m., y en las zonas más altas entre los 2800-4000 m.s.n.m. la riqueza potencial esta entre los 4 y 13 especies (Fig. 19B), y cuatro áreas protegidas de la cordillera con menor área que los PNN albergan parte de la riqueza potencial (18 especies) y otras pequeñas áreas que salvaguardan riqueza potencial más baja entre 13 y 9 especies (Fig. 19C).

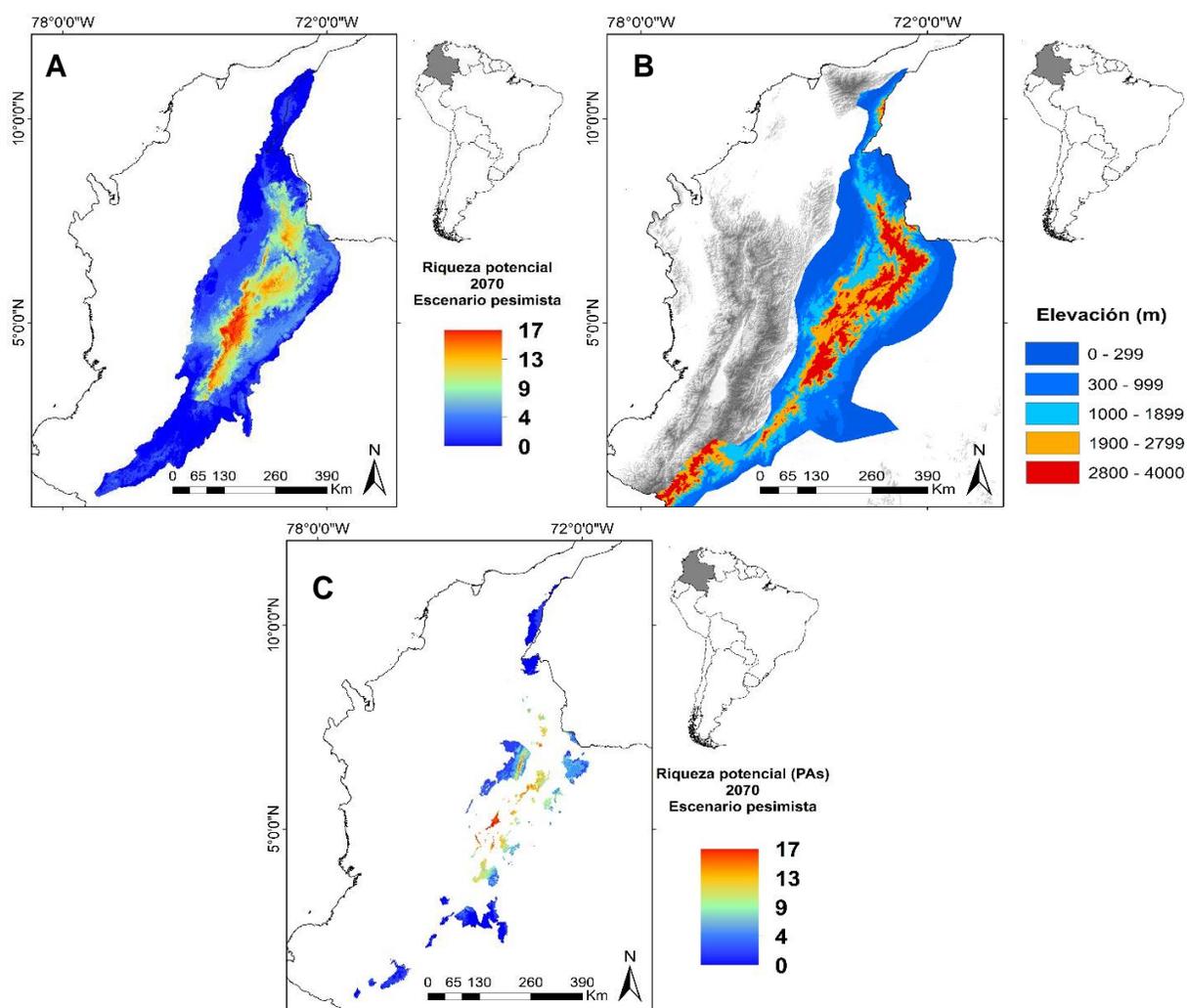


Figura 19. Relación entre el modelo de riqueza potencial pesimista en el 2070 y las áreas protegidas A) Riqueza potencial en el año 2070 (pesimista) B) Modelo de elevación C) Riqueza potencial (2070 en el escenario pesimista) con relación a las áreas protegidas.

DISCUSIÓN

Nuestros resultados representan la primera evaluación de los cambios en la distribución actual y futura de los anfibios amenazados de la Cordillera Oriental de Colombia y su estado de conservación respecto al grado de cobertura de las áreas protegidas y el cambio climático. Los modelos de distribución potencial generados en este trabajo, y los modelos potenciales en escenarios futuros (2050-2070 años), arrojan que Bio6 = Temperatura mínima del mes más frío, Bio19 = Precipitación del mes más frío, y Bio4 = Estacionalidad de temperatura, son los más importantes predictores para la mayoría de las especies (Figura 20), lo cual se puede explicar ya que los rangos de distribución para los anfibios de la Cordillera Oriental se encuentran restringidos para zonas Andinas y Alto Andinas, a excepción de algunos registros para las zonas bajas de la cordillera. Por lo cual, para la mayoría de especies sobre los 1500 m.s.n.m. se pueden presentar requerimientos ambientales que tienden hacia aspectos restrictivos de temperatura y precipitación sobre todo en los meses fríos, lo cual regula las condiciones fisiológicas para los anfibios de estas altitudes (Navas, 1999, 2006; Carey *et al.*, 2003). Las historias vitales de los anfibios son sumamente sensibles a la temperatura y a la precipitación, y hay una clara evidencia que el reciente cambio climático ha tenido como resultado para algunas especies cambios en sus patrones de reproducción (Corn, 2005).

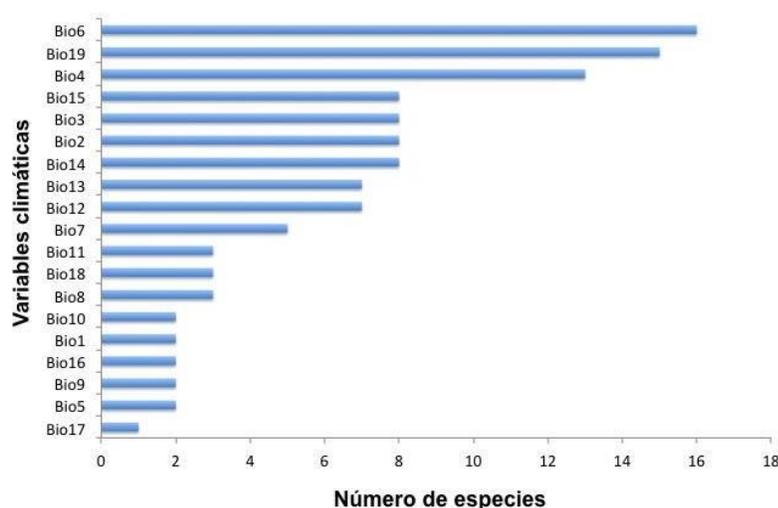


Figura 20. Representatividad general de las variables climáticas en los modelos de distribución potencial.

De las 38 especies modeladas las pertenecientes al género *Atelopus* presenta los patrones de disminución de área potencial más marcada con un porcentaje entre el 38 al 90 % (Anexo 4), lo cual se relaciona con las categorías de amenaza para las especies en Peligro crítico y en Peligro, cuya área de disminución se encuentra entre 10 km² a 5000 km² (IUCN, 2015).

Comparando las especies evaluadas, resaltan las del género *Atelopus*, las cuales están consideradas como uno de los grupos que más efectos adversos a tenido en su conservación (La Marca *et al.*, 2005). De las especies conocidas, 45 especies han reducido sus poblaciones a por lo menos el 50% y solamente 10 especies tienen poblaciones estables, configurándose este suceso como la mayor disminución poblacional para cualquier género de ranas o quizás de vertebrados que se haya registrado en la historia (La Marca *et al.*, 2005; Rueda-Almonacid *et al.*, 2005; Coloma *et al.*, 2007). La mayoría de las especies tienen distribuciones geográficas relativamente pequeñas, algunos sólo se les conoce una sola población confinadas pequeños bordes de ríos (Lötters, 1996), y algunos de los que se distribuyen más ampliamente son especies alopátricamente complejas (Lötters *et al.*, 2002). Nuestro estudio evaluó ocho especies de *Atelopus*, las cuales en su mayoría están categorizadas como en Peligro crítico (*A. marinkellei*, *A. lozanoi*, *A. muisca*, *A. subornatus*, *A. mandingues*) distribuidas en zonas altas (>2800 m.s.n.m.), mientras que *A. minutulus* y *A. monohernandezii* se distribuyen en zonas intermedias (1300 – 2000 m.s.n.m), en áreas inferiores a los 5000 km² (IUCN, 2015). Para dichas especies las condiciones de temperatura media y mínima y la precipitación, sobre todo en los meses más fríos, juegan un rol importante en las posibles condiciones que modelan la distribución para las especies de *Atelopus*, lo cual es concordante con lo sugerido para los anfibios de zonas altoandinas, donde las condiciones ambientales son restrictivas para varias especies (Navas, 1999, 2006). Por lo cual, cambios drásticos en las condiciones climáticas de las zonas alto Andinas puede generar eventos considerables en la disminución de los rangos de distribución de las especies de *Atelopus*. Una razón por la cual la distribución geográfica de la mayoría de las especies de *Atelopus* es restringida a zonas pequeñas es que el 85% de *Atelopus* viven entre los 1,500-4,500 m.s.n.m. cuyos rasgos de historia de vida y biogeográficas son factores asociados con la disminución de los anfibios (Lips *et al.*, 2003), como enfermedades emergentes y destrucción de hábitats como factores importantes en la causa de mortalidad súbita y masiva (La Marca *et al.*, 2005, Lips, 1999). Las medidas de conservación propuestas para *Atelopus* incluyen programas in situ y ex situ de cría y educación ambiental local

(La Marca et al., 2005). Sin embargo, la conservación de *Atelopus* y otras especies de anfibios Andinos requiere conocimientos adecuados a nivel taxonómico, biogeográfico y ecológico (Lötters, 2005).

Por su parte el género *Pristimantis*, de la familia Craugastoridae representa menos del 27% del total de la diversidad de anuros en el país (AmphibiaWeb, 2014), por lo cual, presenta desafíos importantes en términos de conservación sobre todo para especies con distribución Andina y Alto Andina. Para las especies de *Pristimantis* en la categoría de Peligro y Vulnerable evaluadas (Anexo 1), las variables climáticas predictoras más frecuentes fueron las asociadas con la temperatura mínima y la precipitación del mes más frío, la estacionalidad de la precipitación y temperatura, lo cual se relaciona con las variables que influyen en el establecimiento de las especies presentes en regiones Andinas (Navas 1997).

En los anfibios, es conocido que la temperatura afecta el rendimiento de comportamental, tasas de crecimiento, tasas de desarrollo y tamaño corporal de los adultos (Berven, 1982; Lüddecke, 1997). Además, las altas elevaciones exhiben altos niveles de radiación ultravioleta (UV) donde la radiación UV puede producir trastornos ontogenéticos en anuros y es a menudo considerado como un factor en la disminución de la población (Broomhall *et al.*, 2000).

En general para todas las especies evaluadas, las relaciones climáticas influyen en los patrones predictivos de distribución. La característica de ectotérmicos, y todos los aspectos de la historia de vida de los anfibios están fuertemente influenciadas por el ambiente externo, incluyendo tiempo y clima, ya que la temperatura es un factor particularmente importante que afecta las características fisiológicas de los anfibios (Navas, 1997).

Las temperaturas experimentadas por los anuros de altos rangos altitudinales, pueden ser perjudiciales para las ranas tropicales de tierras bajas ya que podrían experimentar dificultades en el movimiento cuando se expone a temperaturas cercanas a 14°C (Navas, 1996 b) y podrían exhibir incapacidad para moverse en temperaturas entre 7-10° C (Christian *et al.*,1988). Sin embargo, las ranas de alta elevación presentan una mayor capacidad para la actividad a bajas temperaturas, sin daños en la capacidad de moverse a temperaturas inferiores a 15° C (Navas, 1996).

Los anuros sin embargo pueden presentar cambios en su fisiología para ajustar su actividad a temperaturas más bajas en altas elevaciones. Esta notable plasticidad en diversos anuros muestra que la temperatura en sí no podría haber sido el principal factor responsable de la disminución de la diversidad de anuros a lo largo de los Andes gradientes altitudinales en los trópicos (Feder y Lynch, 1982; Navas, 1997).

Es posible que para algunos taxones otros factores de estrés ambiental puedan ser más importante que la temperatura. El pH del agua, la intensidad de la radiación UV, y otras variables que pueden influir en el desarrollo de los huevos y su eclosión como posibles candidatos. (Navas, 2006).

Cambio climático

Muchos estudios en ecosistemas templados han propuesto que el calentamiento global puede impulsar a las especies a cambiar de ámbito geográfico; sin embargo, la falta de estudios en los trópicos hace difícil evidenciar un patrón altitudinal claro (Colwell *et al.*, 2008, Urbina-Cardona, 2011). Corn (2005) discute que la relación entre las condiciones propicias para los anfibios y el cambio climático puede ser ambigua, pero es bastante fácil de predecir consecuencias graves que afecten la abundancia y la distribución de los anfibios, si las predicciones del cambio climático para escenarios futuros se llegaran a cumplir.

Según los modelos predictivos futuros, los resultados de los modelos climáticos basados en el aumento de las concentraciones de CO₂ atmosférico, predicen que las temperaturas medias globales subirían 1.2 a 3.5° C, pero los aumentos serían mayores en latitudes medias y altas y mayor sobre los continentes que sobre los océanos (MacCracken *et al.*, 2001). Por lo cual, cambios en los niveles de temperatura puede afectar la biología de numerosas especies en todo el mundo. La temperatura promedio global ha aumentado aproximadamente 0,6° C durante el siglo pasado, que es el período más caliente del milenio anterior (Jones *et al.*, 2001). Este aumento de temperatura es atribuible en gran medida al aumento de los gases de efecto invernadero (Crowley, 2000). Por lo tanto, puesto que la disminución de los anfibios es ya un problema relevante, el potencial de riesgo mucho mayor de la extinción hace que sea importante para comprender cómo el cambio climático afecta a los

anfibios (Corn, 2005). Nuestros modelos encontraron una reducción en el área potencial de distribución para los escenarios futuros, donde se evidenció una disminución principalmente para las especies de los géneros *Atelopus*, *Pristimantis* y *Bolitoglossa*, los cuales son los grupos más amenazados en Colombia (Rueda-Almonacid et al., 2004).

Dichos resultados se pueden relacionar con los efectos que se pueden generar a partir del cambio climático, como: un reducido proceso de éxito reproductivo, reducción del suministro de alimentos, y una alteración en el comportamiento reproductivo (Corn, 2005). Donnelly y Crump (1998) predicen que los efectos serán mayores en las especies endémicas, aquellas restringidas a un lugar específico y que por lo general tienen requerimientos ecológicos especializados como algunas especies de *Atelopus* y *Bolitoglossa* evaluadas en este estudio. Por otro lado, posibles cambios en los rangos de distribución de especies de anfibios, se pueden ver alterados ya que si los cambios climáticos generen efectos positivos en términos de expansiones, esto representado sobre todo para especies de tierras bajas y medias, como las evidenciadas en este estudio para: *P. frater*, *R. adiazeta*, *P. jorgevelosai*, *H. Ibama*, *P. carranguerorum* entre otras (Anexo 4) las cuales se encuentran en la categoría de Vulnerable con un área superior a los 20.000 km² según la IUCN (2015). Sin embargo, los cambios para muchas especies de anfibios de los Andes tropicales está restringida evolutivamente a rangos altitudinales de distribución menores a 500 m de altitud (Bernal y Lynch, 2008), por lo cual, la probabilidad de que ocurran eventos futuros de expansión son difíciles de imaginar. Por otro lado, aquellas especies que logren cambiar altitudinalmente su distribución, competirán en el nuevo ambiente colonizado con aquellas especies que se hayan mantenido en su hábitat, aumentando la sobreposición de nicho trófico y espacial entre las especies y poblaciones sobrevivientes (Urbina-Cardona, 2011).

Áreas protegidas y zonas prioritarias de conservación

Las áreas protegidas han sido concebidas como espacios naturales de importancia ecológica que resguardan la diversidad biológica (Dudley, 2008), ocupando el 13% del área global (Bertzky et

al., 2012), y cuya expansión ha sido variable entre las diferentes regiones del planeta, siendo Norte y Suramérica las regiones con mayor expansión (Zimmerer *et al.*, 2004), lo cual se soporta por el énfasis sobre la estrategia de expansión de las PAs en estas regiones (Le Saout *et al.*, 2013, Naughton-Treves *et al.*, 2005, Nori *et al.*, 2015). Sin embargo, los vacíos en términos de eficiencia en el resguardo de la diversidad pueden ser evidentes en algunas regiones y en grupos biológicos particulares (Venter *et al.*, 2014; Butchart *et al.*, 2015; Nori *et al.*, 2015), como lo son los anfibios, los cuales están considerados como el grupo que más vacíos tiene en términos de protección en relación al número elevado de especies en alguna categoría de amenaza (Rueda-Almonacid *et al.*, 2004), registrándose que un 25% de los anfibios del planeta están por fuera de las PAs (Nori *et al.*, 2015).

Nuestros resultados exponen el limitado nivel conservación que presentan la mayoría de especies de anfibios al no estar bien representadas en términos de distribución en las PAs, ya que, solo 25 PAs de los 131 de la cordillera Oriental albergan algún registro para los anfibios amenazados, lo cual también se puede evidenciar en la cobertura de las áreas protegidas frente a los modelos potenciales de riqueza (Figuras 15-19). Todas las especies evaluadas tienen al menos un registro fuera de las áreas protegidas, y el 38% de especies están por completo fuera de estas, lo cual contrasta con el 61% de especies que tienen presencia limitada dentro de algún área con protección ambiental. Por ejemplo, géneros más vulnerables como *Atelopus*, están representados por siete especies con registros dentro de algún área protegida, mientras que tres especies (*A. minutulus*, *A. pedimarmoratus*, *A. subornatus*) presentan todos los registros fuera de los PAs, datando el último registro en 1985, 1996 y 1999 respectivamente. No obstante, parques nacionales naturales como Chingaza, Pisba, y la Cordillera de los Picachos representan áreas que pueden albergar poblaciones remanentes que aún no han sido detectadas, al igual que para las especies del género *Pristimantis* que representan el género con mayor número de especies amenazadas para la Cordillera Oriental (IUCN, 2015).

Sin embargo, la situación actual de las localidades correspondientes al 41% de los registros históricos se encuentran en zonas con algún impacto antrópico, las cuales en su mayoría están representadas por cultivos, por lo cual en términos de conservación podría estar generando extinciones locales, ya que la mayoría de las especies esta relacionadas con zonas con cobertura

boscosa o áreas de páramos que se han perdido progresivamente. Lo cual contrasta con áreas fuera de las PAs que mantienen una cobertura de vegetación natural, en donde 46 especies están presentes con 28% de los registros históricos, dicha información refuerza la necesidad de establecer nuevas áreas protegidas que salvaguarden posibles poblaciones de anfibios amenazados que se encuentran por fuera de las áreas protegidas. No obstante, en la mayoría de los casos los recursos y fondos son limitados para la adquisición de nuevos espacios geográficos, por lo que los esfuerzos deben complementarse con una adecuada gestión de las áreas protegidas existentes (Le Saout *et al.*, 2013, Naughton-Treves *et al.*, 2005).

Consideraciones finales

La cordillera Andina de Colombia, es considerada como una de las más ricas en diversidad de anfibios (Lynch *et al.*, 1997), de modo que las regiones altas podrían explicar la mayor parte de la diversidad de anfibios de Colombia. No obstante, la cordillera Oriental ha sido considerada como una de las cadenas montañosas menos diversas en anfibios con 131 especies aproximadamente, sin embargo, se resalta el alto número de especies endémicas con 76 (Bernal & Lynch, 2008). Sin embargo, cabe resaltar que los registros de especies están en su mayoría restringidos para franjas altitudinales entre los 1500 y 2600 m.s.n.m. y para la zona del suroriente de la cordillera (Suárez-Mayorga, 1999; Lynch y Suárez-Mayorga, 2002, Bernal y Lynch, 2008), por lo cual, son pocas las especies de anfibios registrados en el norte de esta cordillera.

Colombia, encabeza la lista de países con mayor número de anfibios amenazados con 276 (IUCN, 2015), esto se refleja en los registros de disminuciones en especies de los géneros *Pristimantis*, *Dendrobates*, *Colostethus*, *Centrolene* y *Atelopus* (IUCN, 2008). La gran mayoría de especies amenazadas en Colombia se distribuyen en la región Andina, y probablemente por la contribución de factores intrínsecos y extrínsecos, que actúan de manera sinérgica (Cooper *et al.*, 2008), por lo cual esta debe ser la región de mayor prioridad a la hora de generar una iniciativa para la conservación de especies de anfibios en el país (Urbina *et al.*, 2011). Sí se tiene en cuenta que los ecosistemas naturales de Colombia se encuentran seriamente fragmentados, es posible que en escenarios de cambio climático, las especies de anfibios invasoras (p. ej. *Lithobates catesbeianus*, *Eleutherodactylus johnstonei*) y aquellas nativas con alta capacidad de dispersión traslocada (p.ej.

Rhinella marina) incrementen su distribución geográfica altitudinal generando la desaparición de especies endémicas, empobreciendo el ensamblaje y sus funciones ecológicas y en algunos casos afectando la integridad de las PAs (Nori *et al.*, 2011). A su vez es necesario incrementar los programas de monitoreo dentro y fuera de los PAs y establecer protocolos adecuados para el diagnóstico de enfermedades emergentes como la Chytridiomycosis, que en la mayoría de los casos han sido asociados como uno de los factores determinantes en la disminución de las poblaciones de anfibios en conjunto con la pérdida de hábitats (Acevedo *et al.*, 2016a, 2016b).

Según Urbina-Cardona, (2011) la conservación de la herpetofauna andina en escenarios de cambio climático, debe vincular dos estrategias de manejo complementarias: (a) controlar la pérdida de hábitat e incrementar la conectividad estructural y funcional a lo largo de gradientes naturales (p. ej. altitudinales), con el de que la herpetofauna pueda adaptar sus rangos altitudinales con el cambio climático; y (b) manejar las matrices antropogénicas y los bordes de los fragmentos remanentes para minimizar los disturbios y mejorar la calidad de hábitat para aquellas especies (Urbina-Cardona *et al.*, 2006) que no pueden migrar en busca de nuevas áreas a colonizar.

REFERENCIAS

- Acevedo, A. (2014). *Bolitoglossa tamaense*. Libro Anfibios de Colombia, Sociedad Colombiana de Herpetología Vol. 2.
- Acevedo, A., Franco, R. y Silva, K. (2013). Amphibians of the Tama National Park: Hidden Biodiversity and New Salamander Species from Colombia. *FrogLog*, 21, 55-57.
- Acevedo, A. A., Silva, K.L., Franco, R.y Lizcano, D.J. (2011). Distribución, historia natural y conservación de una rana marsupial poco conocida, *Gastrotheca helenae* (Anura: Hemiphractidae) en el Parque Natural Nacional Tamá. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 15, 68-74.

- Acevedo, A., Franco, R. y Carrero, D. (2016). Diversity of Andean amphibians of the Tamá National Natural Park in Colombia: a survey for the presence of *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Animal Biodiversity and Conservation*, 39, 1,1-10.
- Acevedo, A. A., Martínez, M., Armesto, O., Solano, F., Silva, K., y Lizcano, D. (2016). Detection of *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Amphibians from Northeastern Colombia. Herpetological Review*. In press.
- Acosta-Galvis, A. R. & Cuentas, D. (2016). Lista de los Anfibios de Colombia. Retrieved from <http://www.batrachia.com>
- AmphibiaWeb. Information on amphibian biology and conservation. [web application]. Berkeley, California: AmphibiaWeb. Available at: <http://amphibiaweb.org/> (Accessed: May 01, 2014).
- Angulo, A., Rueda-Almonacid, J. V., Rodríguez-Mahecha, J.V y Lamarca, E. (Eds). (2006) Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo N° 2. Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá D.C.
- Bergós, L. (2014). Estrategias para la conservación de anfibios y reptiles vulnerables al cambio climático. Universidad de la República Uruguay. 5-12.
- Bernal, M. H. y Lynch, J. D. (2008). Review and Analysis of Altitudinal Distribution of the Andean Anurans in Colombia. *Zootaxa*,1826, 1–25.
- Bertzky B, Corrigan C, Kemsey J, Kenney S, Ravilious C, Besançon C, Burgess N (2012): Protected Planet Report 2012: Tracking progress towards global targets for protected areas. IUCN, Gland, Switzerland and UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- Berven, K. A. (1982). The genetic basis of altitudinal variation in the woodfrog *Rana sylvatica*: 1. An experimental analysis of life history traits. *Evolution*,36, 962-983.
- Briones-Salas, M., Lavariega, M. y Lira-Torres, I. (2012). Distribución actual y potencial del jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de biodiversidad*, 83, 1, 246-257.

- Broomhall, D., Osborne, W. S., Cunningham, R. B. (2000) Comparative effects of ambient ultraviolet-B radiation on two sympatric species of Australian frogs. *Conserv. Biol*, 14, 420-427
- Butchart, S. H. M., Clarke, M., Smith R. J., Sykes, R. E., Scharlemann, J. P. W., Harfoot, M. ... Burgess, N. D. (2015). Shortfalls and solutions for meeting national and global conservation area targets. *Conservation letters*, 8, 5, 329-337
- Carey, C. y Alexander, M. (2003). Climate change and amphibian declines: is there link?. *Diversity and Distributions*, 9, 111-121
- Cervantes, L. J. (2015). Distribución actual y potencial de *Ecnomiohyla miotympanum* (Cope, 1863), usando DIVA-GIS y MaxEnt (tesis de licenciatura). Universidad Veracruzana, Veracruz, Mexico.
- Christian, K. A., Nunez, F., Clos, L. y Diaz, L. (1988) Thermal relations of some tropical frogs along an altitudinal gradient. *Biotropica*, 20, 236-239
- Coloma, L. A., Lötters, S., Duellman, W. E., Miranda-Leyva, A. (2007). A taxonomic revision of *Atelopus pachydermus*, and description of two new (extinct?) species of *Atelopus* from Ecuador (Anura: Bufonidae). *Zootaxa*, 1557, 1–32.
- Colwell, R. K., Brehm, G., Cardelus, C., Gilman, A. y Longino, J. T. (2008). Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science*, 322, 258, doi: 10.1126/science.1162547
- Cooper, P.J.M., Dimes, J., Rao, K.P.C., Shapiro, B., Shiferaw, B. and Twomlow, S. (2008). Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of sub-Saharan Africa: An essential first step in adapting to future climate change? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 126, 24–35.
- Corn, P. S. (2005). Climate change and amphibians. *Animal Biodiversity and Conservation*, 28, 1, 59–67.

- Crowley, T. J. (2000). Causes of climate change over the past 1000 years. *Science*, 289: 270–277.
- Donnelly, M. A. & Crump, M. L. (1998). Potential effects of climate change on two neotropical amphibian assemblages. *Climatic Change*, 39, 541–561.
- Dudley, N. (Editor) (2008). Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. Gland, Switzerland, ver: http://www.iucn.org/about/union/commissions/wcpa/wcpa_puball/wcpa_pubssubject/wcpa_categoriespub/?1662/Guidelines-for-applying-protected-área-managementcategories
- Duque, G. (2007). Amenazas naturales de en los Andes de Colombia. Cátedra Pedro Nel Gómez. Universidad Nacional de Colombia
- Elith, J., Graham, C .H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A. ... Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 2,129-151.
- Feder, M. E., Lynch, J. F. (1982). Effects of latitude, season, elevation, and microhabitat on field body temperature on neotropical and temperate zone salamanders. *Ecology*, 63,1657-1664.
- Ferrier, S. (2002). Mapping Spatial Pattern in Biodiversity for Regional Conservation Planning: Where to from Here? *Systematic Biology*, 51, 331-363.
- Fisher, M. C., Garner, T. W. y Walker, S. F. (2009). Global emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis* and amphibian chytridiomycosis in space, time, and host. *Annual Review of Microbiology*, 63, 291–310.
- Figuroa, J., Stucchi, M. y Rojas-VeraPinto, R. (2016). Modelación de la distribución del oso andino *Tremarctos ornatus* en el bosque seco del Marañón (Perù). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 230-238.

- Frost, D. R., Grant, T., Faivovich, J., Bain, R., Haas, A., Lio Haddad, C., ... Wheeler, W. C. (2006). The amphibian tree of life. *Bulletin American Museum of Natural History*, 297:1, 370.
- Fund, W. (2014). Cordillera Oriental montane forests. (30 de abril del 2015) Página web accesible en: <http://www.eoearth.org/view/article/151498>
- Gámez, R. (2001). Guía para la elaboración de mapas de distribución potencial. Universidad de Veracruzana.
- Garin, C. F. & Hussein, Y. (2013). Guía de Reconocimiento de Anfibios y Reptiles de la Región de Valparaíso. Espinoza, A. & Benavides, D. (Eds.). Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), 63.
- Gower, D. J., Doherty-Bone, T., Loader, S. P. Wilkinson, M., Kouete, M. T., Tapley, B. (2013). *Batrachochytrium dendrobatidis* infection and lethal chytridiomycosis in caecilian amphibians (Gymnophiona). *EcoHealth*, 10, 173–183.
- Hayes, T. B., Falso, P., Galliiveau, M. y Stice, M. (2010). The cause of global amphibian declines: a developmental endocrinologist's perspective. *Journal of Experimental Biology*, 213, 921-933. doi:10.1242/jeb.040865.
- Hof, C., Araujo, M. B., Jetz, W. y Rahbek, C. (2011). Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity. *Nature*, 480, 516–519.
- Holt, A. C., Salkeld, D. J., Fritz, C. L., Tucker, J. R. y Gong, P. (2009). Spatial analysis of plague in California: niche modeling predictions of the current distribution and potential response to climate change. *International Journal of Health Geographics*, 8, 38.
- IUCN. (2015). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015-4*. <http://www.iucnredlist.org>. Downloaded on 19 November 2015.
- IUCN, Conservation International & NatureServe (2008) *The Global Amphibian Assessment*. IUCN, Washington, DC, USA [<http://www.globalamphibians.org>].

- Jones, P. D., Osborn, T. J. & Briffa, K. R. (2001). The evolution of climate over the last millennium. *Science*, 292: 662–667.
- La Marca, E., Lips, K., Lötters, S., Young, B., Puschendorf, R., Marty, C., Rueda-Almonacid, V.R. ... Pounds, A. (2005) Pushed to the edge of extinction: widespread population declines in Neotropical harlequin frogs (genus *Atelopus*). *Biotropica*, 37, 190–201.
- Le Saout, M., Hoffmann, Y., Shi, A., Hughes, C., Bernard, T. M., Brooks, B. ... Rodrigues, A. S. L. (2013). Protected areas and effective biodiversity conservation. *Science*, 342, 803–805
- Levinsky, I., Skov, F. Svenning, J. y Rahbek, C. (2007). Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals. *Biodiversity and Conservation*, 16, 3803-3816.
- Lips, K. (1999) Mass mortality and population declines of anurans at an upland site in western Panama. *Conservation Biology*, 13, 117–227.
- Lips, K., Reeve, J.D. y Witters, L.R. (2003) Ecological traits predicting amphibian population declines in Central America. *Conservation Biology*, 17, 1078–1088
- Lobo, J. M. Jiménez-Valverde, A. y Hortal, J. (2010). The uncertain nature of absences and their importance in species distribution modelling. *Ecography*, 33, 103-114.
- Lötters, S. (1996) *The Neotropical Toad Genus Atelopus*. Vences & Glaw, Cologne, Germany.
- Lötters, S., Haas, W., Schick, S. y Böhme, W. (2002) On the systematics of the harlequin frogs (Amphibia: Bufonidae: *Atelopus*) from Amazonia. II: redescription of *Atelopus pulcher* (Boulenger, 1882) from the eastern Andean versant in Peru. *Salamandra*, 38, 165–184.
- Lötters, S., Schulte, R, Córdova, J. H. y Veith M. (2005). Conservation priorities for harlequin frogs (*Atelopus* spp.) of Peru. *Oryx*, 39, 03, 343-346. doi: 10.1017/S0030605305000852
- Luddecke, H. (1997). Colonization of the eastern Andes of Colombia by anurans: Evidence from natural history data of *Hyla labialis*. *Salamandra*, 33, 11-132
- Lynch, J. D., Ruiz-Carranza, P. M. y Ardila-Robayo, M. C. (1997). Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 21, 80, 237-248.

- Lynch, J. D. y Suárez-Mayorga, A. M. (2002). Análisis biogeográfico de los anfibios paramunos. *Caldasia*, 24, 2, 471-480.
- Mccallum, M. L. (2007). Amphibian Decline or Extinction? Current Declines Dwarf Background Extinction Rate. *Journal of herpetology*, 41, 438-491.
- MacCracken, M., Barron, E., Easterling, D., Felzer, B. y Karl, T. (2001). Scenarios for climate variability and change. In: *Climate change impacts on the United States: the potential consequences of climate variability and change*, 13–71 (National Assessment Synthesis Team, Eds.). Univ. Press, Cambridge.
- Mendoza-Almeralla, C., Burrowes, P. y Parra-Olea, G. (2014). La quitridiomycosis en los anfibios de México: una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 238-248.
- Merow, C., Smith, M. J. y Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36, 10, 1058-1069.
- Navas, C. A. (1996). Metabolic physiology, locomotor performance, and thermal niche breadth in neotropical anurans. *Physiol. Zool.* 69, 1481-1501
- Navas, C. A. (1997). Thermal extremes at high elevations in the Andes: Physiological ecology of frogs. *J. Therm. Biol.* 22, 467-477.
- Navas, C. A. (1999). Biodiversidad de anfibios y reptiles en el páramo: una visión ecofisiológica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 23, 465–474.
- Navas, C. A. (2006). Patterns of distribution of anurans in high Andean tropical elevations: Insights from integrating biogeography and evolutionary physiology. *Integrative and Comparative Biology*. 46 (1), 82-91.
- Naughton-Treves, L., Holland, M., y Brandon, K. (2005). The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 219–252

- Nori, J. Urbina-cardona, J.N. Loyola, R.D. Lescano, J.N. y Leynaud, G.C. (2011). Climate Change and American Bullfrog Invasion: What Could We Expect in South America? PLoS ONE, 6(10): e25718.
- Nori, R., Piccardi, L., Migliori, M., Guidazzoli, G., Frasca, F., De Luca, D. (2015). The virtual reality Walking Corsi Test. Computers in Human Behavior, 48, 72–77
<http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.035>
- Olson, D. H., Aanensen, D. M., Ronnenberg, K. L., Powell, C. I., Walker, S. F., Bielby, J. (2013). Mapping the global emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis*, the amphibian chytrid fungus. *PLoS One*, 8, e56802.
- Ospina, O. L., Vanegas, S., Escobar, G. A., Ramírez, W. y Sánchez, J. J. (2015). Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, D.C. Colombia, 92.
- Ortíz-Yusty, C., Restrepo, A. y Páez, V. P. (2014). Distribución potencial del *Podocnemis lewyana* (Reptilia: Podocnemididae) y su posible fluctuación bajo escenarios de cambio climática global. *Acta biol. Colombia*. 19, 3, 471-481.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 37, 637-669.
- Parques Nacionales de Colombia. (2016). Áreas protegidas de Colombia. Rescatado de <https://www.parquesnacionales.gov.co/PNN>.
- Pearson, R. G. y Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. *Glob Ecology Biogeography*. 12, 5, 361-371.

- Peterson, A. T. (2006). Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatics*, 3, 59-72.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. y Peterson, A. T. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102-117.
- Phillips, S. J., Dudik, M. y Schapire, R. E. (2004). A Maximum Entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the 21st International Machine Learning Conference* (eds. R. Greiner y D. Schuurmans). ACM Press, Banff, Alberta, Canada.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231–259.
- Pounds, J. L., Bustamante, M. R., Coloma, L. A, Consuegra, J. A., Fogden, M. P. L., Foster, P. N., ... Young, B. E. (2006). Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, 439, 161-167.
- Quintero-Marín, M.P. (2008). Estimating infection level and vulnerability of Andean frogs to the pathogenic fungus, *Batrachochytrium dendrobatidis*. Magister thesis.. Universidad de los Andes, Bogotá. 27.
- Relyea, R. A. y Diecks, N. (2008). An unforeseen chain of events: lethal effects of pesticides on frogs at sublethal concentrations. *Ecological Applications*. 18, 1728–1742.
- Roelants, K., Gower, D. J., Wilkinson, M., Loader, S. P., Biju, S. D., Guillaume, K., Moriau, L. y Bossuyt, F. (2007). Global patterns of diversification in the history of modern amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104, 887-892.

- Romero, M., Cabrera, E. y Ortiz, N. (2008). Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2006-2007. Instituto de Investigación Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia. 186.
- Rueda-Almonacid, J.V., Lynch, J.D. y Amézquita, A. (Eds.). (2004). Libro Rojo de Anfibios de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Conservación Internacional-Colombia. *Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Medio Ambiente*. Bogotá. 384.
- Rueda-Almonacid, J. V., Rodríguez-Mahecha, J. V., Lötters, S., La Marca, E., Kahn, T. y Angulo, A. (Eds.). (2005). *Ranas arlequines*. Conservación Internacional. Panamericana Formas e Impresos S. A. Bogotá, Colombia.
- Ruiz-Carranza, P. M., Ardila Robayo M. C. y Lynch, J. D. (1996). Lista Actualizada de la fauna Amphibia de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 20, 365-415.
- Ruiz, A. y Rueda-Almonacid, J.V. (2008). *Batrachochytrium dendrobatidis* and chytridiomycosis in anuran amphibians of Colombia. *Eco-Health*, 5(1):27-33.
- Soberon, J. y Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1-10.
- Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S. L., Fischman, D. L., y Waller, R. W. (2004). Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306, 1783-1786.
- Suárez-Mayorga, A. M. (1999). Lista preliminar de la fauna amphibia presente en el transecto La Montañita-Alto Gabinete, Caquetá, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23 (suplemento especial), 395-405.

- Toranza, C. (2011). Riqueza de anfibios de Uruguay: Determinantes ambientales y posibles efectos del cambio climático (tesis de maestría). Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay.
- Urbina-Cardona, J. N., Olivares-Pérez, M. y Reynoso, V. H. (2006). Herpetofauna diversity and microenvironment correlates across the pastureedge- interior gradient in tropical rainforest fragments in the region of Los Tuxtlas, Veracruz. *Biological Conservation*, 132, 61-75.
- Urbina-Cardona, J. N. (2011). Gradientes andinos en la diversidad y patrones de endemismo de anfibios y reptiles en Colombia: Posibles respuestas al cambio climático. *Universidad Militar Nueva Granada*, 7, 1, 74-91
- Urbina, N., Burrowes, P. Osorono, M. y Crawford, A. (2011). Prioridades en la conservación de anfibios ante su crisis global: hacia la construcción del plan de acción para la conservación de los anfibios de Colombia. III Congreso Colombiano de Zoología, Libro de memorias. Asociación Colombiana de Zoología. Medellín-Antioquia. 57.
- Velásquez, B. E., Castro-Herrera, F., Bolivar, W. y Herrera-Montes, M. I. (2008). Infección por el hongo quitrido *Batrachochytrium dendrobatidis* en anuros de la Cordillera Occidental de Colombia. *Herpetotropicos-Journal On Tropical Amphibians And Reptiles*, 4, 65–70.
- Venter, O., Fuller, R. A., Segan, D. B., Carwardine, J., Brooks, T. (2014) Targeting Global Protected Area Expansion for Imperiled Biodiversity. *PLoS Biol*, 12(6):e1001891. doi: 10.1371/journal.pbio.1001891
- Walther, G., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., ... Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- Ward, D. F. (2007). Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand. *Biological Invasions*. 9, 723-735.
- Whittaker, K., Koo, M. y Wake, D. (2013). Global Declines of Amphibians. *Encyclopedia of Biodiversity, second edition. Elsevier*. Volume 3, 691-699.

- WWF. (2013). Guía de iniciativas locales para los anfibios, Pequeños proyectos para un gran beneficio. España. 5.
- Young, B. E., Lips, K. R., Reaser, J. K., Ibáñez, R., Salas, A. W., Cedeño, J. R., ... Romo, D. (2001). Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation Biology*, 15, 1213–1223.
- Young, B.E., Stuart, S.N., Chanson, J.S., Cox, N.A. y Boucher, T.M. (2004). Joyas que están desapareciendo: El estado de los anfibios en el Nuevo Mundo. NatureServe, Arlington, Virginia. 60.
- Zimmerer, K. S., Galt, M. E. y Buck, M.V. (2004). Globalization and multi-spatial trends in the coverage of protected-area conservation (1980-2000). *Ambio*, 33, 520-529

ANEXOS

Anexo 1. Variables de mayor aporte al modelo de distribución potencial y validación

Espece	Criterio	Rango altitudinal	Variables climáticas	Contribución	AUC training	AUC test
<i>Allobates juanii</i>	CR	479- 880	bio12 (Precipitación anual)	47.6	0.985	0.987
			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	38.7		
			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	8.1		
<i>Atelopus lozanoi</i>	CR	2330-3500	bio11 (Temperatura media del trimestre más frío)	64.1	0.951	0.77
			bio8 (Temperatura media del trimestre más húmedo)	14.1		
			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	7.9		
<i>Atelopus mandingues</i>	CR	2600-3200	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	63.8	0.994	0.999
			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	27.5		
			bio5 (Temperatura máxima del mes más caliente)	8.6		
<i>Atelopus marinkellei</i>	CR	2600-3500	bio11 (Temperatura media del trimestre más frío)	46.6	0.977	0.898
			bio14 (Precipitación del mes más seco)	25.4		
			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	14.6		
<i>Atelopus minutulus</i>	CR	1320- 1666	bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	69.1	0.958	0.982
			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	30.7		

			bio8 (Temperatura media del trimestre más húmedo)	0.2		
<i>Atelopus monohernandezi</i>	CR	1623-2400	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	68.8	0.99	0.98
			bio10 (Temperatura media del trimestre más caliente)	26.1		
			bio12 (Precipitación anual)	2.9		
<i>Atelopus muisca</i>	CR	2715-3500	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	52.5	0.995	0.994
			bio14 (Precipitación del mes más seco)	20.9		
			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	20.9		
<i>Atelopus subornatus</i>	CR	1830-2800	bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	23.2	0.969	0.995
			bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	16.9		
			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	15.6		
			bio14 (Precipitación del mes más seco)	11		
<i>Bolitoglossa capitana</i>	CR	1538-2500	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	75.9	0.955	0.995
			bio14 (Precipitación del mes más seco)	18.2		
			bio5 (Temperatura máxima del mes más caliente)	5.7		
<i>Hyloxalus ruizi</i>	CR	1900-2600	bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	61.7	0.999	0.963
			bio14 (Precipitación del mes más seco)	10.2		

			bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	9.5		
<i>Allobates ranoides</i>	EN	400-1600	bio17 (Precipitación del trimestre más seco)	43	0.93	0.987
			bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	39.8		
			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	17.3		
<i>Andinobates virolinensis</i>	EN	1300-2300	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	66.7	0.992	0.992
			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	13.5		
			bio12 (Precipitación anual)	6.4		
<i>Atelopus mittermeieri</i>	EN	1700-3000	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	57.9	0.981	0.992
			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	37.7		
			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	2.1		
<i>Bolitoglossa pandi</i>	EN	1200-2000	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	73.3	0.952	0.832
			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	18.4		
			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	8		
<i>Hyalinobatrachium esmeralda</i>	EN	800-1700	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	44.2	0.98	0.91

			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	27.3		
			bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	8.1		
<i>Hyloscirtus denticulatus</i>	EN	1300-2400	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	39.9	0.975	0.946
			bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	24.6		
			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	16.9		
<i>Hyloscirtus lynchi</i>	EN	2000-3200	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	63.3	0.937	0.969
			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	26.2		
			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	8.3		
<i>Hyloscirtus piceigularis</i>	EN	1700-2600	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	55.8	0.849	0.681
			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	32.8		
			bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	11.4		
<i>Pristimantis bacchus</i>	EN	1400-2600	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	29.5	0.92	0.98
			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	27.2		
			bio14 (Precipitación del mes más seco)	16.7		
<i>Pristimantis jorgevelosai</i>	EN	1900-2600	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	42	0.969	0.917
			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	29.1		

			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	13.6		
<i>Pristimantis merostictus</i>	EN	1600-2600	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	51.5	0.91	0.896
			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	20		
			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	15.4		
<i>Pristimantis renjiforum</i>	EN	200-2800	bio12 (Precipitación anual)	53.4	0.992	0.981
			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	33.5		
			bio9 (Temperatura media del trimestre más seco)	9.2		
<i>Bolitoglossa lozanoi</i>	VU	300-1300	bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	71.2	0.873	0.802
			bio14 (Precipitación del mes más seco)	7.3		
			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	7.3		
<i>Centrolene buckleyi</i>	VU	2500-3400	bio1 (Temperatura media anual)	69.9	0.922	0.883
			bio12 (Precipitación anual)	16.7		
			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	5.9		
<i>Centrolene daidaleum</i>	VU	1500-2060	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	49	0.936	0.995
			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	47.5		
			bio11 (Temperatura media del trimestre más frío)	2.2		
<i>Hyalinobatrachium ibama</i>	VU	1445-2400	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	79.1	0.96	0.832

			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	12.1		
			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	7.9		
<i>Hyloscirtus lindae</i>	VU	2000-2600	bio1 (Temperatura media anual)	47.3	0.928	0.985
			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	14.5		
			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	13.8		
<i>Hyloscirtus torrenticola</i>	VU	700-2200	bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	41.9	0.932	0.68
			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	29.9		
			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	20.9		
<i>Hyloxalus vergeli</i>	VU	1000-2300	bio12 (Precipitación anual)	88.6	0.756	0.695
			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	11.4		
<i>Hypodactylus dolops</i>	VU	919-1490	bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	26	0.999	0.968
			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	21.8		
			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	18.6		
			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	16.9		
<i>Pristimantis affinis</i>	VU	1800-3000	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	74.5	0.919	0.854
			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	13.5		

			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	5.9		
<i>Pristimantis bicolor</i>	VU	1740-2654	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	55.1	0.883	0.861
			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	21.6		
			bio12 (Precipitación anual)	8.4		
<i>Pristimantis carrangerorum</i>	VU	800-2300	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	36.9	0.96	0.956
			bio14 (Precipitación del mes más seco)	26.1		
			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	20.1		
<i>Pristimantis douglasi</i>	VU	1300-2800	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	34.3	0.95	0.958
			bio9 (Temperatura media del trimestre más seco)	31.3		
			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	9.6		
<i>Pristimantis elegans</i>	VU	2833-3500	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	46.7	0.96	0.933
			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	18.9		
			bio10 (Temperatura media del trimestre más caliente)	8.3		
<i>Pristimantis frater</i>	VU	1369-2400	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	74.5	0.945	0.94
			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	12.2		
			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	5.7		

<i>Pristimantis petersorum</i>	VU	1400-2712	bio8 (Temperatura media del trimestre más húmedo)	53.7	0.985	0.978
			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	17.9		
			bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	11.6		
<i>Rulyrana adiazeta</i>	VU	1023-1900	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	44.2	0.835	0.743
			bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	39.5		
			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	14.5		

Anexo 2. Variables de mayor aporte al modelo de distribución potencial para el escenario optimista para los años 2050 y 2070 y la validación por AUC

		Escenario optimista 2050				Escenario optimista 2070			
Especie	Criterio	Variables climáticas	Contribución	AUC training	AUC test	Variables climáticas	Contribución	AUC training	AUC test
<i>Allobates juanii</i>	CR	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	55.1	0.982	0.982	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	74.2	0.983	0.978
		bio12 (Precipitación total anual)	17.3			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	10.8		
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	8.7			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	6.1		
<i>Atelopus lozanoi</i>	CR	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	57.1	0.959	0.77	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	50.5	0.978	0.788
		bio10 (Temperatura media del trimestre más caliente)	11.1			bio10 (Temperatura media del trimestre más caliente)	9.5		
		bio11 (Temperatura media del trimestre más frío)	9.4			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	9.3		

<i>Atelopus mandingues</i>	CR	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	25.8	1	0.999	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	25	0.999	0.999
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	21.4			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	24.8		
		bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	12			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	13.7		
		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	10.1			bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	13.5		
<i>Atelopus marinkellei</i>	CR	bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	29.6	0.984	0.95	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	31.4	0.984	0.943
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	27.5			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	25.4		
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	19.7			bio12 (Precipitación total anual)	12.9		
<i>Atelopus minutulus</i>	CR	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	34	0.993	0.993	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	24.8	0.992	0.991

		bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	31			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	24.5		
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	15.2			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	17.2		
<i>Atelopus monohernan dezi</i>	CR	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	50.3	0.995	0.949	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	52.3	0.995	0.949
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	21			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	24.9		
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	8.7			bio14 (Precipitación del mes más seco)	7.9		
<i>Atelopus muisca</i>	CR	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	51.8	0.997	0.99	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	41.9	0.997	0.993
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	11.8			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	17.1		
		bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	8.8			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	9		

<i>Atelopus subornatus</i>	CR	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	33.7	0.968	0.997	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	17.8	0.971	0.996
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	21.6			bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	13.1		
		bio9 (Temperatura media del trimestre más seco)	14.7			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	12.1		
		bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	12.2			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	11.5		
<i>Bolitoglossa capitana</i>	CR	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	91.7	0.981	0.998	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	92.4	0.98	0.994
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	8.2			bio14 (Precipitación del mes más seco)	6.3		
<i>Hyloxalus ruizi</i>	CR	bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	40.7	1	0.981	bio12 (Precipitación total anual)	47.8	0.999	0.982
		bio12 (Precipitación total anual)	17.5			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	18.9		
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	11.6			bio14 (Precipitación del mes más seco)	14		

<i>Allobates ranoides</i>	EN	bio17 (Precipitación del trimestre más seco)	56.5	0.943	0.983	bio17 (Precipitación del trimestre más seco)	51.9	0.924	0.948
		bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	25.4			bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	22.7		
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	14.2			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	14.9		
<i>Andinobates virolinensis</i>	EN	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	67.6	0.991	0.993	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	66.8	0.991	0.993
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	12.4			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	14.8		
		bio17 (Precipitación del trimestre más seco)	12.1			bio17 (Precipitación del trimestre más seco)	11.9		
<i>Atelopus mittermeieri</i>	EN	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	56.1	0.988	0.994	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	56.5	0.986	0.993
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	33.5			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	35.2		

		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	6.8			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	4.4		
<i>Bolitoglossa pandi</i>	EN	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	46	0.997	0.741	bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	37.7	0.995	0.75 5
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	22.7			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	32.5		
		bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	16.6			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	11.7		
<i>Hyalinobatrachium esmeralda</i>	EN	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	71.3	0.983	0.919	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	72.2	0.984	0.92 5
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	10.8			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	10.7		
		bio12 (Precipitación total anual)	9			bio12 (Precipitación total anual)	8.8		
<i>Hyloscirtus denticulatus</i>	EN	bio9 (Temperatura media del trimestre más seco)	46.1	0.761	0.871	bio5 (Temperatura máxima del mes más caliente)	38.2	0.827	0.90 6
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	32.3			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	28.9		

		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	7.6			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	26.7		
<i>Hyloscirtus lynchi</i>	EN	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	56.6	0.959	0.91	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	49.3	0.993	0.994
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	38.2			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	46.3		
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	2.8			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	3.1		
<i>Hyloscirtus piceigularis</i>	EN	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	52.7	0.874	0.671	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	58	0.876	0.744
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	32			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	28.6		
		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	11.2			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	5		
<i>Pristimantis bacchus</i>	EN	bio14 (Precipitación del mes más seco)	47.2	0.918	0.971	bio14 (Precipitación del mes más seco)	45.8	0.907	0.971
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	25.3			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	34.8		

		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	20.4			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	17.4		
<i>Pristimantis jorgevelosai</i>	EN	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	27.4	0.991	0.964	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	39.8	0.951	0.955
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	19.8			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	29.9		
		bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	17.2			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	9.2		
<i>Pristimantis merostictus</i>	EN	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	54.9	0.87	0.752	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	54.4	0.926	0.756
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	22.8			bio14 (Precipitación del mes más seco)	24.9		
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	17.5			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	9.8		
<i>Pristimantis renjiform</i>	EN	bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	45.4	0.995	0.983	bio12 (Precipitación total anual)	50.9	0.995	0.992
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	23.9			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	12.6		

		bio12 (Precipitación total anual)	13.6			bio9 (Temperatura media del trimestre más seco)	9		
<i>Bolitoglossa lozanoi</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	55.3	0.863	0.836	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	33.1	0.892	0.832
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	16.7			bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	18.1		
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	15.6			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	14.4		
<i>Centrolene buckleyi</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	60	0.922	0.889	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	57.7	0.924	0.881
		bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	12.7			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	10.5		
		bio10 (Temperatura media del trimestre más caliente)	6.9			bio11 (Temperatura media del trimestre más frío)	7.4		
<i>Centrolene daidaleum</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	38.7	0.929	0.85	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	35.3	0.933	0.881

		bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	26.3			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	29.9		
		bio8 (Temperatura media del trimestre más húmedo)	19.8			bio8 (Temperatura media del trimestre más húmedo)	15.9		
<i>Hyalinobatrachium ibama</i>	VU	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	89.8	0.948	0.585	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	61.9	0.974	0.73 3
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	5.2			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	12.2		
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	3.3			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	9.7		
<i>Hyloscirtus lindae</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	36.2	0.919	0.957	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	34.7	0.942	0.87 5
		bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	15.2			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	22.2		
		bio10 (Temperatura media del trimestre más caliente)	12.3			bio1 (Temperatura media anual)	9.9		
<i>Hyloscirtus torrenticola</i>	VU	bio3 (Isotermalidad	86.4	0.763	0.869	bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	61.2	0.762	0.79 6

		(Bio2 / Bio7) (* 100))							
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	11.7			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	33.6		
		bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	1			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	4.6		
<i>Hyloxalus vergeli</i>	VU	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	60.6	0.85	0.753	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	57.5	0.902	0.83 2
		bio12 (Precipitación total anual)	37.6			bio12 (Precipitación total anual)	16.9		
<i>Hypodactylus dolops</i>	VU	bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	50.5	0.999	0.947	bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	38.4	0.999	0.99
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	28.4			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	34.6		
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	7.8			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	16.1		
<i>Pristimantis affinis</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	61.2	0.937	0.832	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	60.7	0.96	0.85 1

		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	10.8			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	13.3		
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	9			bio14 (Precipitación del mes más seco)	5.5		
<i>Pristimantis bicolor</i>	VU	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	28.3	0.842	0.808	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	34	0.882	0.886
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	26.1			bio14 (Precipitación del mes más seco)	37.5		
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	19.9			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	18.8		
<i>Pristimantis carrangerorum</i>	VU	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	35.8	0.954	0.955	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	36.1	0.961	0.941
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	24			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	19.6		
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	13.9			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	15.5		

<i>Pristimantis douglasi</i>	VU	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	43.9	0.967	0.976	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	40	0.962	0.98 1
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	32.6			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	33.1		
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	9.7			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	10.4		
<i>Pristimantis elegans</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	44.4	0.954	0.937	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	42.8	0.953	0.93 5
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	23.7			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	20.8		
		bio11 (Temperatura media del trimestre más frío)	7.4			bio5 (Temperatura máxima del mes más caliente)	12.1		
<i>Pristimantis frater</i>	VU	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	69.9	0.948	0.903	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	71.6	0.94	0.90 7
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	6.7			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	5.7		
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	5.6			bio14 (Precipitación del mes más seco)	5.3		

<i>Pristimantis petersorum</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	45.8	0.995	0.979	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	55.9	0.995	0.985
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	12.2			bio14 (Precipitación del mes más seco)	11.8		
		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	8.1			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	6.3		
<i>Rulyrana adiazeta</i>	VU	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	46.6	0.833	0.754	bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	48.7	0.869	0.88
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	43.5			bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	30.7		
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	7.8			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	8.2		

Anexo 3. Variables de mayor aporte al modelo de distribución potencial para el escenario pesimista para los años 2050 y 2070 y la validación por AUC

		Escenario pesimista 2050				Escenario pesimista 2070			
Especie	Criterio	Variables climáticas	Contribución	AUC training	AUC test	Variables climáticas	Contribución	AUC training	AUC test

<i>Allobates juanii</i>	CR	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	73.3	0.981	0.977	bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	45.3	0.981	0.976
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	9.9			bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	25.3		
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	6.4			bio12 (Precipitación total anual)	11.3		
<i>Atelopus lozanoi</i>	CR	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	55.8	0.756	0.959	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	42.7	0.981	0.75
		bio8 (Temperatura media del trimestre más húmedo)	9.4			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	14.4		
		bio1 (Temperatura media anual)	7.9			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	8.2		
<i>Atelopus mandingues</i>	CR	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	27.3	0.999	1	bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	25.9	0.999	1
		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	19.9			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	24		
		bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	10.9			bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	17.4		
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	9.5			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	14.2		
<i>Atelopus marinkellei</i>	CR	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	31.3	0.985	0.954	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	28.3	0.983	0.944

		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	27.8			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	26.2		
		bio12 (Precipitación total anual)	11.6			bio12 (Precipitación total anual)	9.4		
<i>Atelopus minutulus</i>	CR	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	30.7	0.99	0.991	bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	27.5	0.995	0.999
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	25.2			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	21.6		
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	17.1			bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	20.9		
<i>Atelopus monoherna ndezi</i>	CR	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	54.5	0.996	0.922	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	58.5	0.995	0.948
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	22.5			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	24.4		
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	8.8			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	6.9		
<i>Atelopus muisca</i>	CR	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	47.1	0.996	0.997	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	46.6	0.996	0.99

		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	15.3			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	19.1		
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	11.3			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	10.3		
<i>Atelopus subornatus</i>	CR	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	20.6	0.967	0.995	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	31.2	0.954	0.977
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	18.8			bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	13.5		
		bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	15.6			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	12.9		
		bio9 (Temperatura media del trimestre más seco)	12.6			bio9 (Temperatura media del trimestre más seco)	12.8		
<i>Bolitoglossa capitana</i>	CR	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	84.2	0.979	0.998	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	75.4	0.983	0.998
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	14.9			bio14 (Precipitación del mes más seco)	18.7		
<i>Hyloxalus ruizi</i>	CR	bio12 (Precipitación total anual)	50.7	1	0.978	bio12 (Precipitación total anual)	581	0.999	0.99
		bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	13.7			bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	10.6		
		bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	13			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	7.5		

<i>Allobates ranoides</i>	EN	bio17 (Precipitación del trimestre más seco)	56.2	0.937	0.955	bio14 (Precipitación del mes más seco)	75.4	0.959	0.802
		bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	16.6			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	12.7		
		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	16			bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	7.1		
<i>Andinobates virolinensis</i>	EN	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	68.4	0.991	0.993	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	66.5	0.991	0.993
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	12.3			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	14.9		
		bio17 (Precipitación del trimestre más seco)	9.8			bio17 (Precipitación del trimestre más seco)	9.3		
<i>Atelopus mittermeieri</i>	EN	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	56.2	0.985	0.995	bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	56	0.984	0.993
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	32.2			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	31.6		

		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	9.5			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	9.8		
<i>Bolitoglossa pandi</i>	EN	bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	32.7	0.997	0.675	bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	32.1	0.998	0.722
		bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	25.9			bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	21.6		
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	20.9			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	19.7		
<i>Hyalinobatrachium esmeralda</i>	EN	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	71.9	0.98	0.915	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	78.1	0.979	0.894
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	12.5			bio12 (Precipitación total anual)	13.9		
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	11.7			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	6.3		
<i>Hyloscirtus denticulatus</i>	EN	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	36.8	0.779	0.788	bio5 (Temperatura máxima del mes más caliente)	55.9	0.695	0.863
		bio9 (Temperatura media del trimestre más seco)	27			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	30.2		
		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	10.5			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	6.7		

<i>Hyloscirtus lynchi</i>	EN	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	56	0.938	0.978	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	46.1	0.976	0.977
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	31.9			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	45.5		
		bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (*100))	5.8			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	4.8		
<i>Hyloscirtus piceigularis</i>	EN	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	47.7	0.892	0.755	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	60.4	0.898	0.818
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	28			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	21.1		
		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	16.3			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	9.4		
<i>Pristimantis bacchus</i>	EN	bio14 (Precipitación del mes más seco)	40.4	0.887	0.974	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	30.1	0.938	0.937
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	32.6			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	26.3		
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	19.1			bio14 (Precipitación del mes más seco)	18.6		
<i>Pristimantis jorgevelosi</i>	EN	bio5 (Temperatura máxima del mes más caliente)	42.3	0.914	0.824	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	53.4	0.965	0.818

		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	24.3			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	23.1		
		bio12 (Precipitación total anual)	15.7			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	8.1		
<i>Pristimantis merostictus</i>	EN	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	59.2	0.903	0.741	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	73	0.922	0.865
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	24.7			bio14 (Precipitación del mes más seco)	13.3		
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	6.5			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	8.3		
<i>Pristimantis renjiformis</i>	EN	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	41.4	0.992	0.987	bio12 (Precipitación total anual)	48.1	0.992	0.988
		bio12 (Precipitación total anual)	16.3			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	14.9		
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	14.8			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	12.1		
<i>Bolitoglossa lozanoi</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	41.3	0.899	0.802	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	42.7	0.902	0.789
		bio15 (Estacionalidad de)	29			bio15 (Estacionalidad de la precipitación)	28.8		

		la precipitación (coeficiente de variación)				(coeficiente de variación)			
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	7			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	7.5		
<i>Centrolene buckleyi</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	55.6	0.927	0.897	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	53.5	0.92	0.896
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	18.9			bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	14.5		
		bio11 (Temperatura media del trimestre más frío)	6.2			bio5 (Temperatura máxima del mes más caliente)	7.1		
<i>Centrolene daidaleum</i>	VU	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	34.8	0.926	0.876	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	55.5	0.926	0.9
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	24.2			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	28		
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	18.5			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	9.6		
<i>Hyalinobat rachium ibama</i>	VU	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	76.1	0.919	0.655	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	47.9	0.933	0.704

		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	10.8			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	30.7		
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	9			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	9.4		
<i>Hyloscirtus lindae</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	40.1	0.915	0.894	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	40.4	0.917	0.883
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	13.9			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	12.9		
		bio1 (Temperatura media anual)	10.8			bio10 (Temperatura media del trimestre más caliente)	9.3		
<i>Hyloscirtus torrenticola</i>	VU	bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	75.7	0.822	0.709	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	59	0.922	0.529
		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	10.5			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	17.7		
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	9.4			bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	14.7		
<i>Hyloxalus vergeli</i>	VU	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	57.6	0.849	0.791	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	64.6	0.868	0.783

		bio12 (Precipitación total anual)	34.5			bio17 (Precipitación del trimestre más seco)	25.4		
<i>Hypodactylus dolops</i>	VU	bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	49.2	0.997	0.969	bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	49.8	0.998	0.959
		bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	15.6			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	14.4		
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	11.6			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	10.3		
<i>Pristimantis affinis</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	53	0.945	0.856	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	63.1	0.914	0.767
		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	17.2			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	15.8		
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	10.4			bio8 (Temperatura media del trimestre más húmedo)	6.8		
<i>Pristimantis bicolor</i>	VU	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	39.9	0.873	0.864	bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	50.2	0.928	0.923
		bio14 (Precipitación del mes más seco)	29.8			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	11.4		
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	12.3			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	10.8		

<i>Pristimantis carranquerorum</i>	VU	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	34.5	0.956	0.93	bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	26.5	0.956	0.915
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	23.9			bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	23.3		
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	19.6			bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	19		
<i>Pristimantis douglasi</i>	VU	bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	34.4	0.952	0.965	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	32.5	0.952	0.962
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	32.6			bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	30.1		
		bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	8.9			bio12 (Precipitación total anual)	12.3		
<i>Pristimantis elegans</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	45.2	0.961	0.92	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	45.9	0.954	0.941
		bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	21.5			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	18.7		
		bio5 (Temperatura máxima del mes más caliente)	8			bio8 (Temperatura media del trimestre más húmedo)	7.7		

<i>Pristimantis frater</i>	VU	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	78.6	0.931	0.922	bio16 (Precipitación del trimestre más húmedo)	74.6	0.925	0.946
		bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	6.4			bio13 (Precipitación del mes más húmedo)	8.5		
		bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	4.3			bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	4.8		
<i>Pristimantis petersorum</i>	VU	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	53.3	0.992	0.986	bio6 (Temperatura mínima del mes más frío)	60.7	0.984	0.99
		bio3 (Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100))	11.5			bio7 (Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6))	15.1		
		bio4 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100))	6.4			bio18 (Precipitación del trimestre más caliente)	8.2		
<i>Rulyrana adiazeta</i>	VU	bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	51	0.86	0.848	bio15 (Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación))	52.4	0.871	0.882
		bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	27.9			bio2 (Rango de temperatura diurno medio (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	17.7		
		bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	11.2			bio19 (Precipitación del trimestre más frío)	17.3		

Anexo 4. Porcentaje de ausencia y presencia de las especies en los modelos potenciales

Especie	Criterio	Ausente (%)	Presente (%)	RCP4.5 2050 Ausente	RCP4.5 2050 Presente	RCP8.5 2050 Ausente	RCP8.5 2050 Presente	RCP4.5 2070 Ausente	RCP4.5 2070 Presente	RCP8.5 2070 Ausente	RCP8.5 2070 Presente	Área total (Km ²)
<i>Atelopus lozanoi</i>	CR	87	13	89	11	89	11	92	8	93	7	147706
<i>Atelopus minutulus</i>	CR	92	8	98	2	97	3	98	2	99	1	50726
<i>Atelopus mandingues</i>	CR	98	2	99	1	99.8	0.2	98	2	99.8	0.2	201849
<i>Atelopus monohernandezi</i>	CR	97	3	98	2	99	1	98	2	99	1	201850
<i>Atelopus marinkellei</i>	CR	88	12	93	7	93	7	93	7	92	8	147707
<i>Atelopus muisca</i>	CR	98	2	99	1	98	2	99	1	98	2	201850
<i>Atelopus subornatus</i>	CR	85	15	84	16	85	15	87	13	84	16	79023
<i>Hyloxalus ruizi</i>	CR	99	1	99.96	0.04	99.97	0.03	99.84	0.16	99.89	0.11	201850
<i>Allobates juanii</i>	CR	96	4	94	6	93	7	94	6	93	7	201846
<i>Bolitoglossa capitana</i>	CR	87	13	95	5	94	6	95	5	96	4	98878
<i>Pristimantis jorgevelosai</i>	EN	90	10	98	2	78	22	82	18	91	9	147708
<i>Pristimantis renjiformum</i>	EN	98	2	99	1	99	1	99	1	99	1	201850
<i>Pristimantis bacchus</i>	EN	82	18	82	18	66	34	72	28	85	15	147709
<i>Pristimantis merostictus</i>	EN	81	19	71	29	69	31	76	24	77	23	147720
<i>Bolitoglossa pandi</i>	EN	92	8	99	1	99	1	99	1	99	1	88433
<i>Allobates ranoides</i>	EN	90	10	86	14	83	17	79	21	90	10	72451
<i>Atelopus mittermeieri</i>	EN	93	7	96	4	94	6	95	5	94	6	147699
<i>Hyloscirtus piceigularis</i>	EN	51	49	62	38	71	29	55	45	70	30	175693
<i>Hyloscirtus denticulatus</i>	EN	43	57	48	52	31	69	42	58	51	49	147699

<i>Hyloscirtus lynchi</i>	EN	86	14	93	7	87	13	99	1	95	5	125384
<i>Hyalinobatrachium esmeralda</i>	EN	91	9	93	7	91	9	93	7	90	10	201840
<i>Andinobates virolinensis</i>	EN	98	2	97	3	97	3	97	3	97	3	201850
<i>Pristimantis affinis</i>	VU	83	17	73	27	82	18	83	17	73	27	142757
<i>Pristimantis carrangerorum</i>	VU	87	13	80	20	86	14	86	14	85	15	201842
<i>Pristimantis bicolor</i>	VU	71	29	47	53	60	40	54	46	67	33	147712
<i>Pristimantis douglasi</i>	VU	75	25	87	13	91	9	88	12	87	13	77798
<i>Pristimantis elegans</i>	VU	81	19	82	18	79	21	79	21	82	18	147708
<i>Pristimantis frater</i>	VU	77	23	58	42	47	53	54	46	45	55	147706
<i>Pristimantis petersorum</i>	VU	99	1	98	2	98	2	98	2	96	4	46031
<i>Hyloscirtus torrenticola</i>	VU	90	10	90	10	99	1	90	10	89	11	46026
<i>Hyloscirtus lindae</i>	VU	60	40	92	8	99	1	93	7	95	5	38846
<i>Hyloxalus vergeli</i>	VU	60	40	69	31	74	26	74	26	78	22	136058
<i>Hyalinobatrachium ibama</i>	VU	92	8	85	15	88	12	91	9	87	13	147711
<i>Rulyrana adiazeta</i>	VU	75	25	38	62	35	65	43	57	44	56	147701
<i>Bolitoglossa lozanoi</i>	VU	68	32	62	38	73	27	76	24	70	30	105324
<i>Centrolene buckleyi</i>	VU	80	20	81	19	79	21	81	19	81	19	147711
<i>Centrolene daidaleum</i>	VU	84	16	82	18	85	15	86	14	84	16	149052
<i>Hypodactylus dolops</i>	VU	98	2	100	0.0007	100	0.061	100	0.061	100	0.044	201849

