

Acta de Correcciones al Proyecto de Grado
Biología

Fecha: Septiembre 08 de 2021

Autores: María Paula Reyes Zuluaga

Nombre del Proyecto de Grado: Importancia de las áreas protegidas para la conservación de los anuros endémicos amenazados de Colombia: ¿son suficientes? ¿son complementarias?

Director: Daniel Osorio Domínguez

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.



Firma del Director del Proyecto de Grado

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado
en cumplimiento de los requisitos exigidos por la
Pontificia Universidad Javeriana para optar el
título de Biólogo.

Camilo Rocha

Dr. HERNAN CAMILO ROCHA NIÑO
Decano Facultad de Ingeniería

Mateo López Victoria

DR. MATEO LOPEZ VICTORIA
Director Carrera Biología

Daniel Osorio

DANIEL OSORIO DOMÍNGUEZ
Director Trabajo de Grado

Felipe Estela Uribe

FELIPE ESTELA URIBE
Jurado 1

Wilmar Bolívar García

WILMAR BOLIVAR GARCÍA
Jurado 2

Santiago de Cali, septiembre 13 de 2021

Doctor Mateo López Victoria
Director del Programa de Biología
Pontificia Universidad Javeriana Cali

Asunto: Sustentación de tesis de la estudiante María Paula Reyes Zuluaga

Mediante la presente carta manifiesto que yo Daniel Osorio Dominguez con cc 6.199189 fui el encargado de dirigir el trabajo de tesis de la estudiante María Paula Reyes Zuluaga cuyo título es: Importancia de las áreas protegidas para la conservación de los anuros endémicos amenazados de Colombia: ¿son suficientes? ¿son complementarias? La cual fue sustentada el día 2 de septiembre.

Atentamente

Handwritten signature of Daniel Osorio in black ink.

Daniel Osorio Domínguez, PhD.

Director

**IMPORTANCIA DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS PARA LA CONSERVACIÓN DE
LOS ANUROS ENDÉMICOS AMENAZADOS DE COLOMBIA: ¿SON
SUFICIENTES? ¿SON COMPLEMENTARIAS?**

MARÍA PAULA REYES ZULUAGA

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
BIOLOGÍA
SANTIAGO DE CALI**

2021

**IMPORTANCIA DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS PARA LA CONSERVACIÓN DE
LOS ANUROS ENDÉMICOS AMENAZADOS DE COLOMBIA: ¿SON
SUFICIENTES? ¿SON COMPLEMENTARIAS?**

MARÍA PAULA REYES ZULUAGA

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE BIÓLOGO**

DIRECTOR

DANIEL OSORIO DOMÍNGUEZ, PhD

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

BIOLOGÍA

SANTIAGO DE CALI

2021

ÍNDICE

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVOS	13
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
ÁREA DE ESTUDIO	14
DATOS ESPACIALES	15
CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN.....	16
CRITERIO DE REPRESENTATIVIDAD.....	17
PORCENTAJE ACTUAL VS IDEAL DE REPRESENTACIÓN.....	19
RELACIÓN DEL TAMAÑO DEL ÁREA PROTEGIDA Y LA RIQUEZA DE ESPECIES	19
RIQUEZA DE ESPECIES VS TIPO DE ÁREA PROTEGIDA Y CATEGORÍA DE AMENAZA	19
MAPA RIQUEZA DE ESPECIES	20
RESULTADOS.....	20
DATOS Y MAPAS DE DISTRIBUCIÓN.....	20
REPRESENTATIVIDAD DE ESPECIES DENTRO DE ÁREAS PROTEGIDAS.....	21
PORCENTAJE ACTUAL VS IDEAL DE PROTECCIÓN.....	23
RELACIÓN TAMAÑO DEL ÁREA PROTEGIDA – RIQUEZA DE ESPECIES	25
RIQUEZA DE ESPECIES VS TIPO DE ÁREA PROTEGIDA Y CATEGORÍA DE AMENAZA	25
MAPA RIQUEZA DE ESPECIES	26
CONCLUSIÓN.....	33
REFERENCIAS	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de especies dentro de un área protegida, por categoría de amenaza de la IUCN.....	22
Tabla 2. Número de especies gap, parcial gap y cubiertas, y porcentaje al que equivalen	24
Tabla 3. Número de especies gap, parcial gap y cubiertas.	24

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio a escala de paisaje..	14
Figura 2. Nuevo mapa de distribución realizado para la especie <i>Strabomantis ruizi</i>	17
Figura 3. Relación entre la extensión de ocurrencia de cada especie y su objetivo de representación.	18
Figura 4. Todos los mapas de las distribuciones de especies endémicas elaborados.....	21
Figura 6. Relación número de especies – tamaño del área protegida (en hectáreas).....	25
Figura 7. Relación riqueza de especies – tipo de área protegida y categoría de amenaza de la IUCN.	26
Figura 8. Mapa riqueza de especies de anuros endémicos de Colombia.....	27
Figura 9. Relación entre la categoría de amenaza y el tamaño de la distribución de la especie.....	28

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la universidad, al director de carrera, a mis profesores (as), y a mi director de tesis Daniel Osorio por su continua guía, el apoyo y las enseñanzas que me dieron durante mi paso por la universidad para formarme como un profesional integral.

Gracias a mis amigos (as) y compañeros (as) por acompañarme y vivir conmigo esta etapa de mi vida. A mis amigos (as) más cercanos (as) por apoyarme y darme ánimos en cada paso que daba en la realización de este proyecto y durante mi tránsito en la universidad, especialmente a una amiga incondicional, Nicolle Avilán Barrero, que sin ella la vida universitaria no hubiese sido la misma.

A mi madre por todos sus consejos y por siempre apoyarme en todas las decisiones que tomaba.

Y finalmente, a los que fueron mi mundo, mi abuela, abuelo y mi perro (Q.E.P.D.), porque no hay ni un solo día que no piense en ustedes.

María Paula

RESUMEN

Los anfibios son el grupo más amenazado del mundo, el cambio climático, la pérdida de hábitat y las enfermedades infecciosas, son sus principales amenazas. Colombia siendo el segundo país con mayor número de especies de anfibios, la conservación de la biodiversidad se convierte en un tema fundamental. Las áreas protegidas son reconocidas como una herramienta vital para esta labor. Sin embargo, figuras como los resguardos indígenas también terminan siendo determinantes en la protección y conservación de la biodiversidad. No obstante, de todas las áreas protegidas en Colombia, diferentes estudios, en diferentes regiones de país han demostrado la baja proporción de especies protegidas. En el presente estudio se realizaron nuevos mapas de distribución para las especies endémicas de anuros presentes en Colombia. Utilizando Sistemas de Información Geográfica, se superpusieron los nuevos mapas de distribución de las especies con diferentes categorías de amenaza incluida la categoría DD (Data Deficient) de la IUCN con las diferentes áreas protegidas de Colombia y los resguardos indígenas. para proporcionar un análisis Gap que evalúo qué tan bien están representados las especies dentro de estas redes. Se determinó, que solo el 3,13% de las especies evaluadas están completamente cubiertas por APs, el 83% de las especies se consideraron Parcial Gap, y las restantes (13.5%) son especies Gap, es decir, que no están contenidas en ningún AP. Se demostró que no hay una correlación entre la riqueza de especies dentro de un AP y el tamaño de esta. Las APs de pequeño tamaño podían tener muchas como pocas especies dentro de ellas, pues esto se debía a la ubicación de las APs en el país. La Cordillera de los Andes es la región que alberga mayor número de anuros, que posee una baja cantidad de áreas protegidas, y las aquí presentes son de pequeño tamaño debido a que es la zona más poblada de todo el país. La importancia de su conservación, a través de iniciativas tanto gubernamentales como sociales destinadas a expandir estratégicamente las redes de áreas protegidas actuales, y a su vez, fortalecer las estrategias de conservación dentro de las AP ya consolidadas, es de extrema importancia considerando los altos valores de la huella humana en la zona, y deforestación de millones de hectáreas anualmente, que podrían agravar el escenario de la crisis actual de los anuros en el país.

Palabras clave: Colombia, Anura, Especies amenazadas, Áreas protegidas, Análisis Gap

ABSTRACT

Amphibians are the most endangered group in the world; climate change, habitat loss and infectious diseases are their main threats. Colombia being the second country with the second largest number of amphibian species, biodiversity conservation becomes a fundamental issue. Protected areas are recognized as a vital tool for this task. However, indigenous reserves also end up being decisive in the protection and conservation of biodiversity. Nevertheless, of all the protected areas in Colombia, different studies in different regions of the country have demonstrated the low proportion of protected species. In the present study, new distribution maps were made for the endemic species of anurans present in Colombia. Using Geographic Information Systems, the new distribution maps of species with different threat categories including the IUCN category DD (Data Deficient) were overlapped with the different protected areas of Colombia and indigenous reserves, to provide a Gap analysis that evaluated how well the species are represented within these networks. It was determined that only 3.13% of the species evaluated are completely covered by PAs, 83% of the species were considered Partial Gap, and the remaining (13.5%) are Gap species, i.e., they are not contained in any PA. It was shown that there is no correlation between species richness within a PA and the size of the PA. Small PAs could have as many as few species within them, as this was due to the location of the PAs in the country. The Andes Mountains is the region with the largest number of anurans, which has a low number of protected areas, and those present here are small in size due to the fact that it is the most populated area in the entire country. The importance of their conservation, through both governmental and social initiatives aimed at strategically expanding the current networks of protected areas, and at the same time, strengthening conservation strategies within the already consolidated PAs, is of extreme importance considering the high values of the human footprint in the area, and deforestation of millions of hectares annually, which could aggravate the current crisis scenario of anurans in the country.

Key words: Colombia, Anura, Threatened species, Protected areas, Gap analysis

INTRODUCCIÓN

Los anfibios son el grupo más amenazado del mundo, donde el 41% de sus especies se encuentran bajo alguna de las categorías de amenaza reconocida por la IUCN (Stuart et al., 2004; IUCN, 2020). No obstante, se cree que el porcentaje de especies amenazadas es superior, debido a que no se conocen el verdadero grado de amenaza de más de 1000 especies por ser difíciles de evaluar o por su escasa información (DD, Deficient Data) (Stuart et al., 2004).

Las diferentes actividades humanas como la deforestación, han causado la pérdida y fragmentación del hábitat, siendo esta la principal causa de la disminución de las especies y la extinción de varias poblaciones en todo el mundo (Gardner et al., 2007); y los anfibios no son la excepción. Existen varias causas de la inminente amenaza a los anfibios, tales como, el cambio climático, la pérdida y fragmentación de hábitat y las enfermedades como la patogenicidad de la quitridiomycosis (Stuart et al., 2004; Cushman, 2006; Hof et al., 2011). Esto debido a la tendencia de estos organismos a la filopatría, a la poca tolerancia a un hábitat estrecho, y la alta vulnerabilidad a la modificación de las características hidrológicas y geográficas en su hábitat (Sanderson et al., 2002).

En concreto, para los anfibios, la pérdida y fragmentación del hábitat es la mayor amenaza. Cushman (2006) afirma que estos factores aumentan el riesgo de extinción, debido a un mayor riesgo de eventos demográficos, estocásticos y genéticos, a la reducción del tamaño de los parches, y al mayor aislamiento entre ellos. Un ejemplo de esto es la fragmentación del hábitat por carreteras y/u otras barreras, que llevan a una disminución en la dispersión de los organismos, el aumento en la mortalidad y la reducción de la diversidad genética (Cushman, 2006). Por otra parte, estudios han demostrado que en general, las áreas que albergan las faunas más ricas se ven desproporcionadamente más afectadas por uno o múltiples factores de amenaza, y las previsiones a 2080 no son alentadoras, indicando que dos tercios de las áreas con faunas más ricas se verán afectadas (Hof et al., 2011).

Existen grandes preocupaciones con respecto a la rápida pérdida y degradación de los ecosistemas tropicales, especialmente, porque son sitios donde abundan la mayor biodiversidad terrestre del mundo (Bax & Francesconi, 2018). En un esfuerzo por minimizar

la pérdida de especies y sus hábitats, las áreas protegidas (de ahora en adelante AP), cumplen un papel fundamental, pues se consideran como la primera línea de defensa para proteger la biodiversidad, dado que se han visto como una estrategia para la protección de presiones externas, como la pérdida de hábitat (Ochoa-Ochoa et al., 2009; Jenkins & Joppa, 2009; Juárez-Ramírez, Aguilar-López & Pineda, 2016).

En un mundo con altas necesidades de expansión y desarrollo, las áreas protegidas son reconocidas como una herramienta vital para la conservación de la biodiversidad (PNN, 2002-2009; Bruner et al., 2001; Rodrigues et al., 2004). Colombia al ser uno de los países más diversos del mundo, y siendo el segundo país con mayor número de especies de anfibios, posee diferentes estrategias de conservación para la biodiversidad (Kattan et al., 2004; SiB Colombia, 2019). Estas estrategias de conservación van desde el establecimiento y mantenimiento de áreas protegidas (1116 AP, equivalente al 15% del territorio nacional) organizadas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), que permiten, no solo la protección de las especies, ya sea que funcionen como un hábitat para ellas, sino también, como conexión con otras áreas protegidas, como stepping stones (Ochoa et al., 2009; Volenec & Dobson, 2019). También incluyen, la creación de estrategias de manejo sostenible y otros proyectos de conservación. Adicionalmente se ha planteado de manera complementaria la restauración del hábitat y el manejo de especies invasoras, la implementación de acciones de conservación a través de las iniciativas sociales, y la educación ambiental (PNN, 2015; MADS, 2019).

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) es el conjunto de áreas protegidas, actores, estrategias e instrumentos para cumplir con los objetivos de conservación del país (Lenis, 2014). Estas incluyen todas las áreas protegidas de gobernanza pública, privada, y del ámbito de gestión nacional, regional o local (Santamaría, Areiza, Matallana, Solano, & Galán, 2018). Dentro de las APs de gobernanza pública se encuentran las categorías del Sistema de Parques Nacionales Naturales, las Reservas Forestales Protectoras, Parques Nacionales Regionales, Distritos de Manejo Integrado, Distritos de Conservación de Suelos y Áreas de Recreación; por otra parte, las Reservas Naturales de la Sociedad Civil están catalogadas bajo la gobernanza de carácter privado.

Por otra parte, Colombia posee 767 resguardos indígenas, en territorios que suman más de 26 millones de hectáreas, que terminan siendo determinantes para la protección, y la conservación de áreas de gran valor natural (WWF, 2020). Dado que, su visión alejada de la visión occidental, de ver a la tierra como un bien comercializable, sino con sentido de pertenencia y de cuidado a esta. Es de vital importancia empezar a considerar a los resguardos indígenas como un tipo de área protegida, pues estas áreas cumplen un importante papel en el manejo de ecosistemas y biodiversidad (Palomo et al., 2014).

Tal es el rol de los resguardos indígenas en la conservación, que el Congreso Mundial de Barcelona IUCN (2008) pidió reconocer la importancia de los territorios indígenas en esta labor. Esto debido a la cultura, tradición y cosmovisión que poseen, donde la estrecha relación con el territorio y la tierra hacen parte de su identidad cultural, que está basada en el sentido de pertenencia a la naturaleza como legado ancestral de su origen (Cortes Villa, 2018).

De todos los grupos evaluados en áreas protegidas alrededor del mundo, los anfibios son el taxón menos representado (Rodrigues et al., 2004). Estudios a nivel mundial lo ratifican; como el de Nori et al., (2015) quienes encontraron que el 24% de los anfibios del mundo no se encuentran representados en ningún área protegida. La situación es aún peor para grupos como las ranas arborícolas neotropicales amenazadas, donde 9 de las 16 especies estudiadas tienen el 25% de su distribución geográfica potencial dentro de áreas naturales protegidas, y los 7 restantes ni siquiera alcanzan esta cifra (Urbina-Cardona, & Loyola, 2008).

Para Colombia la situación es muy parecida, estudios como el de Bax et al. (2018) concluyeron que, de las zonas evaluadas, los andes colombianos es una de las regiones que peor desempeño muestra en términos de proporciones totales de especies protegidas y la extensión relativa de la superficie terrestre cubierta. Así mismo, otro estudio realizado por Albornoz-Espinel, Cáceres-Martínez, & Acevedo (2017) sobre las áreas protegidas para la conservación de anfibios amenazados en la Cordillera Oriental, confirmaron el nivel limitado de conservación en la mayoría de especies de anfibios en esta zona, pues las especies no están bien representadas con respecto a su distribución en áreas protegidas debido a que solo 25 de las 190 AP en la Cordillera Oriental albergaban estos organismos.

El proteger la biodiversidad dependerá de varios objetivos, uno de ellos es la representatividad (Abellán & Sánchez-Fernández, 2015). La cual se refiere a la proporción de especies contenidas dentro de una reserva (Pressey et al., 2002); donde los anfibios son el taxón que mayor problema tiene. El objetivo de esta tesis es determinar el grado de representatividad que tienen los anfibios endémicos en las diferentes figuras de protección, incluidos los resguardos indígenas. Para esto, se elaboraron nuevos mapas de distribución para las especies de anuros endémicos de Colombia, pues se utilizó una aproximación que es más conservadora en representatividad empleada por Tognelli et al. (2008), acotando exclusivamente las zonas donde hay hábitat disponible para la especie. Una vez esto, se hace importante determinar el nivel de protección de estos organismos, con el objetivo de obtener una representación de este taxón dentro de las diferentes APs, para así, analizar el papel que cumple este tipo de reservas en la conservación de los anuros, a través del cálculo del grado de representatividad en relación a la distribución de este taxón.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el nivel de representación de los anuros endémicos de Colombia dentro y fuera del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), a través de nuevos mapas de distribución más conservadores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.** Elaborar nuevos mapas de distribución de las especies de anuros endémicos de Colombia.
- 2.** Establecer el grado de representatividad de los anuros endémicos de Colombia dentro del SINAP y los resguardos indígenas

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Para este estudio se tuvieron en cuenta todas las especies endémicas del territorio nacional excluyendo el sistema insular. De igual manera, se tuvieron en cuenta todas las áreas pertenecientes al sistema nacional de áreas protegidas (SINAP) y los resguardos indígenas.

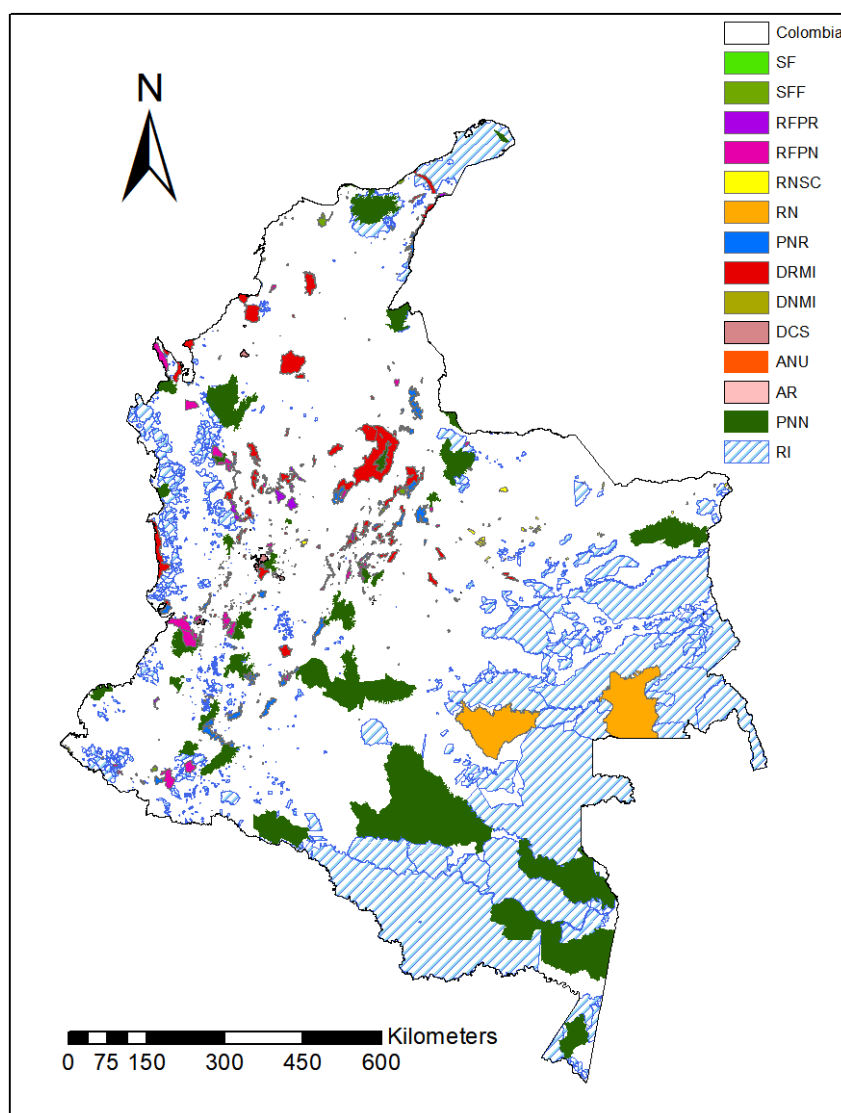


Figura 1. Área de estudio a escala de paisaje. Los tipos de áreas protegidas son: ANU, área natural única; AR, área de recreación; DCS, distritos de conservación de suelos; DRMI, distritos regionales de manejo integrado; PNN, parque nacional natural; PNR, parques naturales regionales; RNSC, reserva natural de la sociedad civil; RFPR, reservas forestales protectoras regionales; RFPN, reservas forestales protectoras nacionales; RI, resguardo indígena; SF, santuario de fauna; SFF, santuario de fauna y flora.

Datos espaciales

Los mapas de distribución de especies de la IUCN (<https://www.iucnredlist.org>) han sido útiles para realizar diferentes análisis espaciales (como, Rodrigues et al., 2004a, 2004b), sin embargo, tienen el problema de sobredimensionar el área de distribución por incluir zonas donde no hay hábitat para la especie. De igual manera, algunos se encuentran desactualizados y no tienen en cuenta nuevos registros. Por esta razón, se decidió realizar nuevos mapas de distribución teniendo en cuenta los nuevos registros y que estuvieran acotados exclusivamente a las zonas donde aún hay hábitat disponible para las especies.

La información espacial de las especies de anuros de Colombia se obtuvo de la base de datos de SIB Colombia (www.sibcolombia.net). Para esto, se descargó toda la información de registros biológicos del orden anura en Colombia, posteriormente se hizo de una depuración teniendo en cuenta tres criterios: a) que la especie fuese endémica de Colombia, b) que tuvieran coordenadas geográficas, c) que su hábitat fuera exclusivo o parcialmente de bosque; las especies que no cumplían con estos criterios no se tuvieron en cuenta para el análisis. Para determinar si la especie era endémica o no, se confirmó con la lista de anfibios de Colombia (www.batrachia.com).

Adicionalmente, se revisó la pseudonimia de todas las especies, ya que muchas de estas tenían nombres que correspondían a su antigua clasificación taxonómica. Para esto, se examinó la clasificación taxonómica de cada especie en la página del Museo Americano de Historia Natural, Amphibians Of The World (amphibiansoftheworld.amnh.org) (Frost, 2021).

Teniendo los puntos de ocurrencia unificados para cada especie, se hizo otra depuración, eliminando los puntos extremos, corroborándolos con los registros de página de la lista de anfibios de Colombia (Batrachia) y la IUCN. Esto debido, a que algunos puntos no concordaban con el patrón de distribución que actualmente se conoce de la especie.

Los datos de la distribución de las áreas protegidas para Colombia se obtuvieron de la base de datos mundial sobre áreas protegidas Protected World (www.protectedplanet.net), teniendo en cuenta las diferentes clasificaciones (ej. PNN, Santuario de Flora y Fauna, Reserva de la Sociedad Civil, etc). También se utilizó la distribución de los resguardos indígenas en el territorio colombiano, extraídos de la página de SIG-OT Colombia

(<https://sigot.igac.gov.co>). Adicionalmente, se utilizó la capa de bosque no bosque más actualizada (año 2018) descargada de la página del IDEAM (www.ideam.gov.co). Finalmente, para determinar la altura sobre el nivel del mar de los puntos de ocurrencia se utilizó la cobertura SRTM 90 m Digital Elevation Model de Colombia, generados por la NASA (<https://cgiarcsi.community>).

Construcción de los modelos de distribución

Para la construcción de los modelos de distribución de las especies de anuros se utilizó el programa de ArcGis 10.8 (ESRI, 2020). Todas las capas utilizadas, se proyectaron en coordenadas planas (MAGNA, Colombia, Bogotá).

Después de depurar los datos recopilados de cada especie, se desplegaron los puntos de ocurrencia y el modelo de elevación para Colombia (SRTM90). Se creó una geometría convexa alrededor de los puntos y después de hacer el polígono para cada especie se generó un buffer de 10 km con el fin de no hacerlo acotado a los puntos externos de su distribución.

Posteriormente, se cortó el modelo convexo con el modelo de elevación, a la capa resultante se le extrajo las alturas de cada uno de los puntos. Determinando las alturas máxima y mínima de cada especie según los datos suministrados por los puntos de ocurrencia, se extrajo una nueva capa cortando todo lo que esté por encima de la altura mínima y todo lo que esté por debajo de la altura máxima, dando como resultado un mapa dentro de los límites de altura donde podría estar la especie.

Finalmente, se desplegó el mapa de bosque no bosque, el cual se cortó sobre la capa vectorial resultante, dado que las especies son propias de bosque, para restringir y acotar su rango actual de distribución. El resultado, una nueva capa vectorial de tipo polígono, esta se consideró como la representación de la distribución de la especie (Figura 2). Finalmente, se le adjudicó a cada especie el criterio de amenaza según la IUCN (IUCN, 2020).

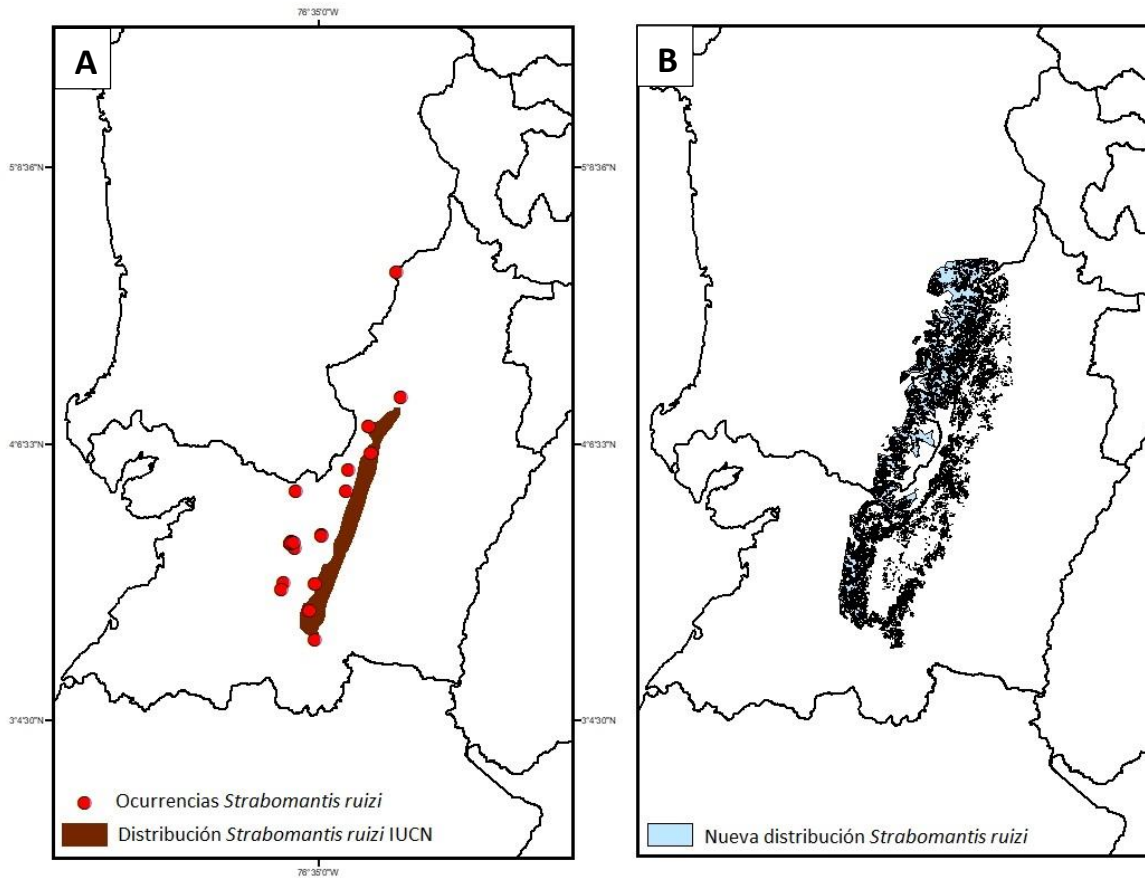


Figura 2. Nuevo mapa de distribución realizado para la especie *Strabomantis ruizi*. (A) El polígono representa el área de distribución según la IUCN, y los puntos representan las ocurrencias de la especie. (B) La nueva distribución de la especie, elaborada a partir de los puntos de ocurrencia

Criterio de representatividad

Con las capas de distribución geográfica de las especies de anuros endémicos de Colombia y las áreas protegidas, se calculó el número de especies y el área (hectáreas) que ocupan dentro de estas. Una vez esto, se calculó el porcentaje de sus áreas de distribución que se encuentran dentro de las áreas protegidas, discriminando por categoría de área protegida. Lo mismo se hizo para los resguardos indígenas.

Aunque se considera que una especie está protegida si su distribución geográfica coincide mínimo con el 10% del área de un área protegida, los anuros en Colombia poseen pequeños rangos de distribución, los cuales tienden a ser raras no solo en términos de distribución, sino

en términos de abundancia (Rodrigues et al. 2004). Por lo tanto, para determinar que especies endémicas se encuentran protegidas, se utilizó el criterio establecido por Tognelli et al. (2008), el cual asume que especies con rangos geográficos $\leq 1000 \text{ km}^2$ deben tener el 100% de su rango dentro de áreas protegidas, mientras que especies con rangos $\geq 250000 \text{ km}^2$ solo requieren que el 10% de su distribución se encuentre incluida en áreas protegidas. Los porcentajes requeridos para considerar protegidas las especies de rangos intermedios se determinaron a partir de la interpolación de los valores anteriores (Figura 3).

Finalmente, se estableció si una especie era Parcial Gap (i.e. si las áreas protegidas cubrían solo una fracción de su objetivo de representación, especie Gap (i.e. si no se encuentra cubierta por ningún área protegida), o una especie cubierta (i.e. si el objetivo establecido se encuentra totalmente protegida).

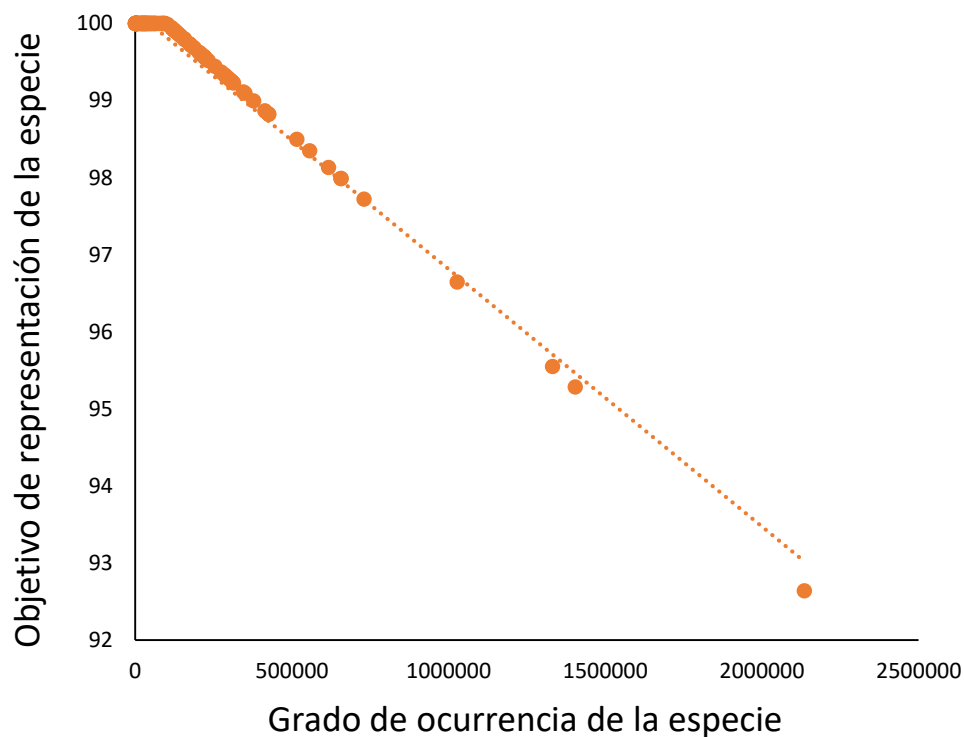


Figura 3. Relación entre la extensión de ocurrencia de cada especie y su objetivo de representación (porcentaje de rango que debe ser superpuesto por áreas protegidas para que las especies se consideren cubiertas).

Porcentaje actual vs ideal de representación

Como se mencionó anteriormente, para cada especie endémica se le calculó del porcentaje de su área de distribución que se encuentra dentro de las áreas protegidas (AP), que es lo mismo que decir el porcentaje de ocurrencia. A su vez, y con la clasificación de Tognelli et al., (2008) se obtuvo para cada especie endémica el porcentaje de su distribución que debería estar incluida en una AP para ser considerada una especie protegida (objetivo de representación). Con estos dos datos se realizó una prueba t-student pareada, con el objetivo de determinar si los valores de las medias del porcentaje de ocurrencia y el objetivo de representación presenta diferencias significativas.

Por motivos del estudio, se optó por solo trabajar con especies endémicas que estuvieran dentro de alguna categoría de peligro de la IUCN, como, en peligro crítico (CR), en peligro (EN), vulnerable (VU), y, casi amenazada (NT). También, las especies endémicas clasificadas como datos insuficientes (DD) fueron incluidas como parte de una categoría de peligro de la IUCN, esto debido a la escasa información que existe para ser clasificada bajo una categoría de amenaza, por lo que se consideró apropiado darles el mismo grado de atención que poseen los taxones amenazados, por lo menos hasta que su estado de conservación pueda ser evaluado.

Relación del tamaño del área protegida y la riqueza de especies

Para determinar si el tamaño del área protegida se encuentra relacionada con la riqueza de especies endémicas se realizó un análisis de regresión lineal. Ya que esta prueba permite determinar el grado en que la variable independiente influye en la variable dependiente, en este caso si la riqueza de especies está determinada por el tamaño del área protegida.

Riqueza de especies vs tipo de área protegida y categoría de amenaza

Para determinar si la categoría del área protegida tenía relación con el número de especies endémicas protegidas y la categoría de amenazas de la IUCN se realizó un ANOVA de dos vías, para estudiar simultáneamente los efectos del tipo de área protegida y la categoría de amenaza, sobre la riqueza de especies.

Adicionalmente, se hizo una ANOVA para determinar si hay relación entre la categoría de amenaza y el tamaño de distribución de la especie endémica. Todas las pruebas estadísticas se llevaron a cabo con el programa Past versión 4.05b (Hammer et al., 2001).

Mapa riqueza de especies

Finalmente, para visualizar la riqueza de anuros endémicos de Colombia dentro y fuera de las áreas protegidas, se realizó una cuadrícula de 25 km², donde a cada cuadrícula se le calculó el número de especies presentes, contrastando el mapa de Colombia con las cuadrículas y los mapas de distribuciones de las especies endémicas previamente realizados.

El mapa resultante también permitió determinar de manera visual si realmente los sitios con mayor diversidad de especies se encuentran dentro de las áreas protegidas.

RESULTADOS

Datos y mapas de distribución

Después de depurar la información se logró realizar los mapas de distribución para 263 especies endémicas de Colombia (Figura 4).

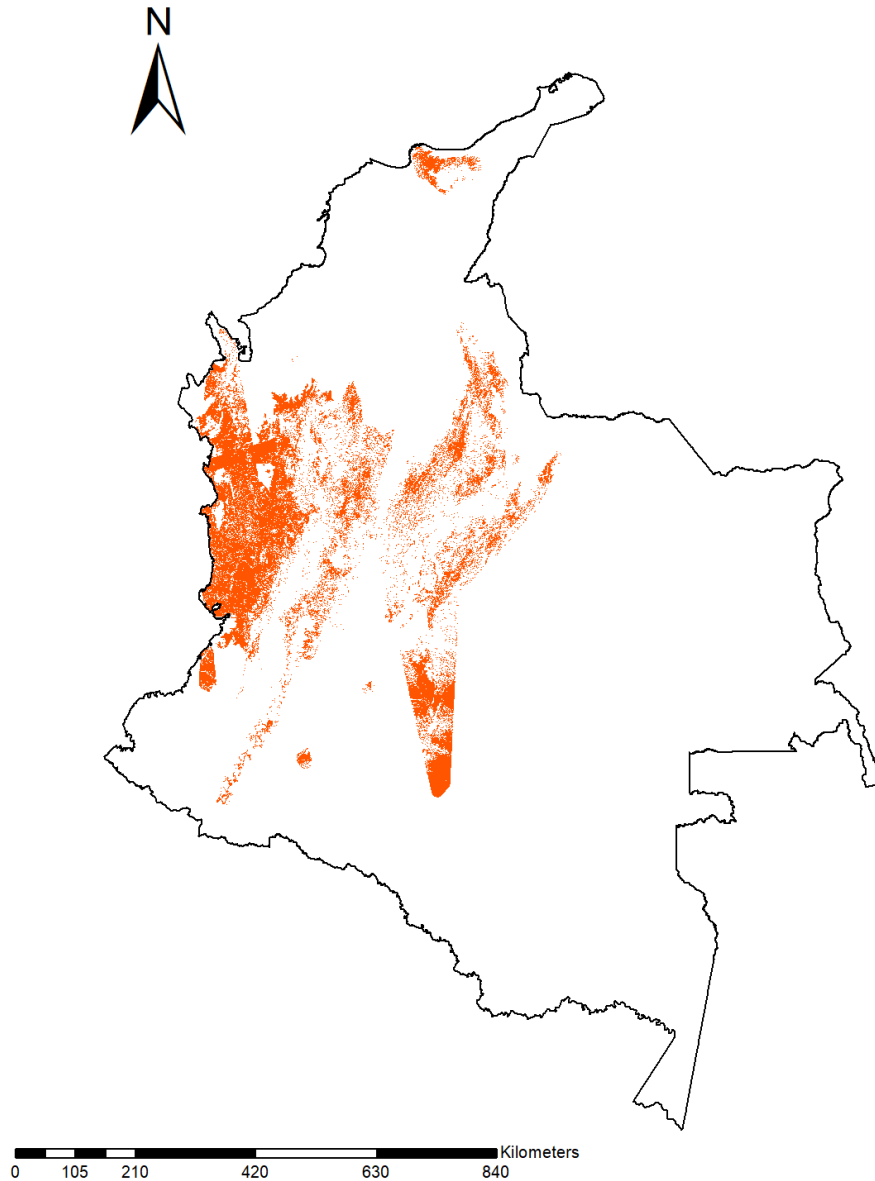


Figura 4. Todos los mapas de las distribuciones de especies endémicas elaborados (n=263)

Representatividad de especies dentro de áreas protegidas

De las 263 especies endémicas a las que le fue posible realizar un nuevo mapa de distribución, el 76.81%, es decir, 202 especies están incluidas dentro de algún área protegida y/o resguardo indígena. De estas, 138 están dentro de alguna categoría de peligro de la IUCN (CR, EN, VU, NT), 39 especies dentro de la categoría de datos insuficientes (DD), y 25 especies en la categoría de preocupación menor (LC) (Tabla 1)

Tabla 1. Número de especies dentro de un área protegida, por categoría de amenaza de la IUCN

Categoría IUCN	Número de spp.
CR	27
DD	39
EN	42
LC	25
NT	24
VU	45
Total	202

Como solo se optó por trabajar con especies endémicas con categoría de peligro, se obtuvo que 26 especies de anuros endémicos pertenecientes a alguna categoría (CR, EN, VU, NT, DD), son Gap, es decir, que no se encuentran distribuidas dentro de algún AP (Tabla 2) (Anexo 1). De esta manera, quedaron 177 especies para evaluar su grado de protección.

De las 177 especies, se pudo determinar que los tipos de áreas protegidas que tenían mayor cantidad de especies (>100 spp.) dentro de su área fueron los Parques Nacionales Naturales, seguido de las Reservas Natural de la Sociedad Civil, Reservas Forestales Protectoras Nacionales, y, por último, los Distritos Regionales de Manejo Integrado. Adicionalmente, los PNN son las áreas protegidas que albergan un mayor número de especies con las categorías de amenaza más alta (CR y EN) (Figura 5).

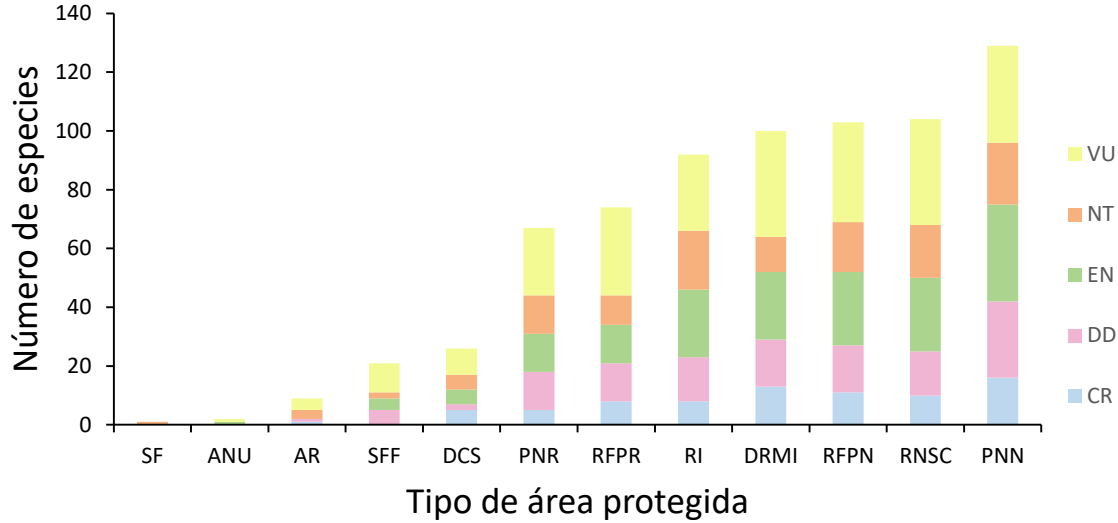


Figura 5. Número de especies en diferentes tipos de áreas protegidas y diferentes categorías de amenaza. Los tipos de áreas protegidas son: ANU, área natural única; AR, área de recreación; DCS, distritos de conservación de suelos; DRMI, distritos regionales de manejo integrado; PNN, parque nacional natural; PNR, parques naturales regionales; RNSC, reserva natural de la sociedad civil; RFPN, reservas forestales protectoras nacionales; RFPR, reservas forestales protectoras regionales; RI, resguardo indígena; SF, santuario de fauna; SFF, santuario de fauna y flora. Las categorías de amenaza de la IUCN son: VU, vulnerable; NT, casi amenazado; EN, en peligro; DD, datos insuficientes; CR, en peligro crítico.

Porcentaje actual vs ideal de protección

A las especies resultantes que tienen algún tipo de representatividad en algún área protegida, se les calculó el porcentaje de ocurrencia, es decir, el porcentaje del área de distribución de la especie dentro de un área protegida (AP), al sacar este valor, 11 de las 177 especies que están incluidas dentro de algún tipo de AP tuvieron que ser eliminadas, debido a que estaban generando ruido por duplicidad en la información, quedando de esta manera 166 para análisis posteriores.

Aplicando el criterio de Tognelli et al. (2008) a las 166 especies restantes, Según sus objetivos de representación, el número de especies cubiertas es de solo 6 (3.125% del total), siendo aquellas quienes su rango de distribución se encuentra dentro de cualquier área protegida. Por lo tanto, 160 especies se consideran parcial gap, es decir, son especies que

logran parcialmente su objetivo de conservación o representación (Tabla 2). En general, una gran fracción (31.77%) de los anuros endémicos de Colombia tienen entre el 20-40% de su objeto de conservación protegido (Tabla 3).

Tabla 2. Número de especies gap, parcial gap y cubiertas, y porcentaje al que equivalen

Categoría	Número de especies*	Porcentaje
Gap	26	13.542
Parcial Gap	160	83.333
Totalmente Cubiertas	6	3.125

Nota. *Indica el número de especies endémicas de Colombia con alguna categoría de peligro de IUCN (CR, EN, VU, NT y DD). Los valores porcentuales son la fracción del objetivo de representación de cada especie cubierta en áreas protegidas.

Tabla 3. Número de especies gap, parcial gap y cubiertas.

Porcentaje de objetivo cubierto	Número de especies*	Porcentaje de especies
Gap	26	13.542
< 20%	36	18.75
20-40%	61	31.771
40-60%	36	18.75
60-80%	19	9.896
80-100%	8	4.167
≥ 100%**	6	3.125
TOTAL	192	100

Nota. *Indica el número de especies endémicas de Colombia con alguna categoría de peligro de IUCN (CR, EN, VU, NT y DD). Los valores porcentuales son la fracción del objetivo de representación de cada especie cubierta en áreas protegidas. **El cien por ciento indica que una especie está completamente cubierta.

Con la prueba estadística de t student pareada, se encontró que existen diferencias significativas entre lo que realmente está protegido y lo que debería de estar protegido, es decir, entre el porcentaje de ocurrencia y el objetivo de representación ($t = -31.166$; $P < 0.05$).

Relación tamaño del área protegida – riqueza de especies

Mediante el análisis de regresión se encontró que no hay relación entre el tamaño del área protegida y el número de especies que alberga ($r^2 = 0.000396$, $P = 0.60176$) (Figura 6).

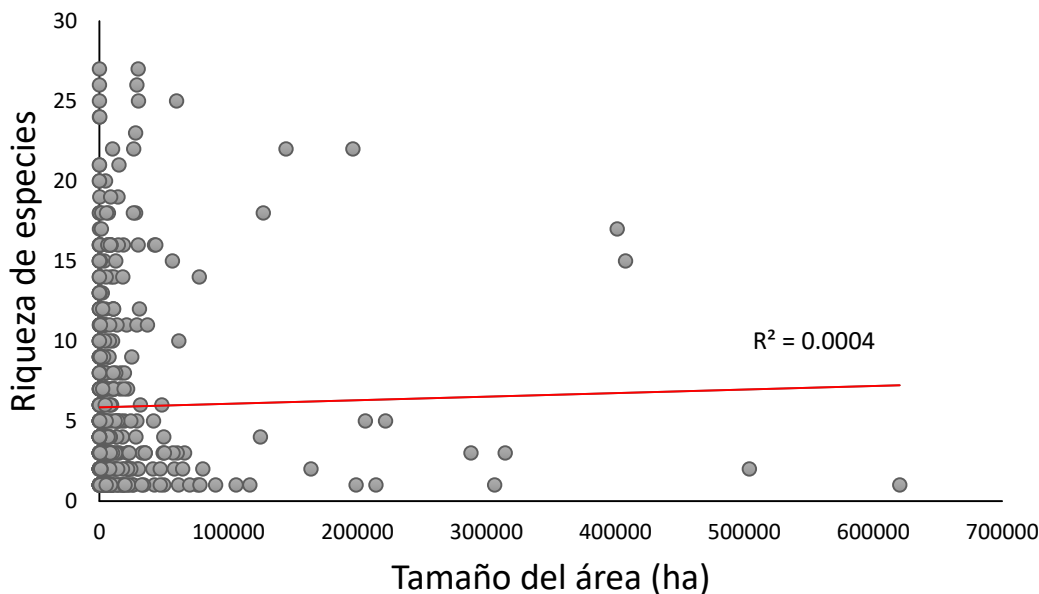


Figura 6. Relación número de especies – tamaño del área protegida (en hectáreas)

Riqueza de especies vs tipo de área protegida y categoría de amenaza

El ANOVA de dos vías, dio como resultado que existen diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes factores ($F = 7.237$, $df = 3444$, $P < 0.05$), por lo que para este modelo existe una interacción entre tipo de área protegida y la categoría de amenaza. Las mayores diferencias, en cuanto a términos de riqueza de especie endémica, se encuentran entre los resguardos indígenas y los otros tipos de áreas protegidas. Así mismo, entre las diferentes categorías de amenaza, pues son diferentes entre sí, exceptuado la categoría de datos insuficientes (DD) vs en peligro (EN), pues estas dos, no son estadísticamente significativas para ser consideradas como diferentes ($p > 0.4344$).

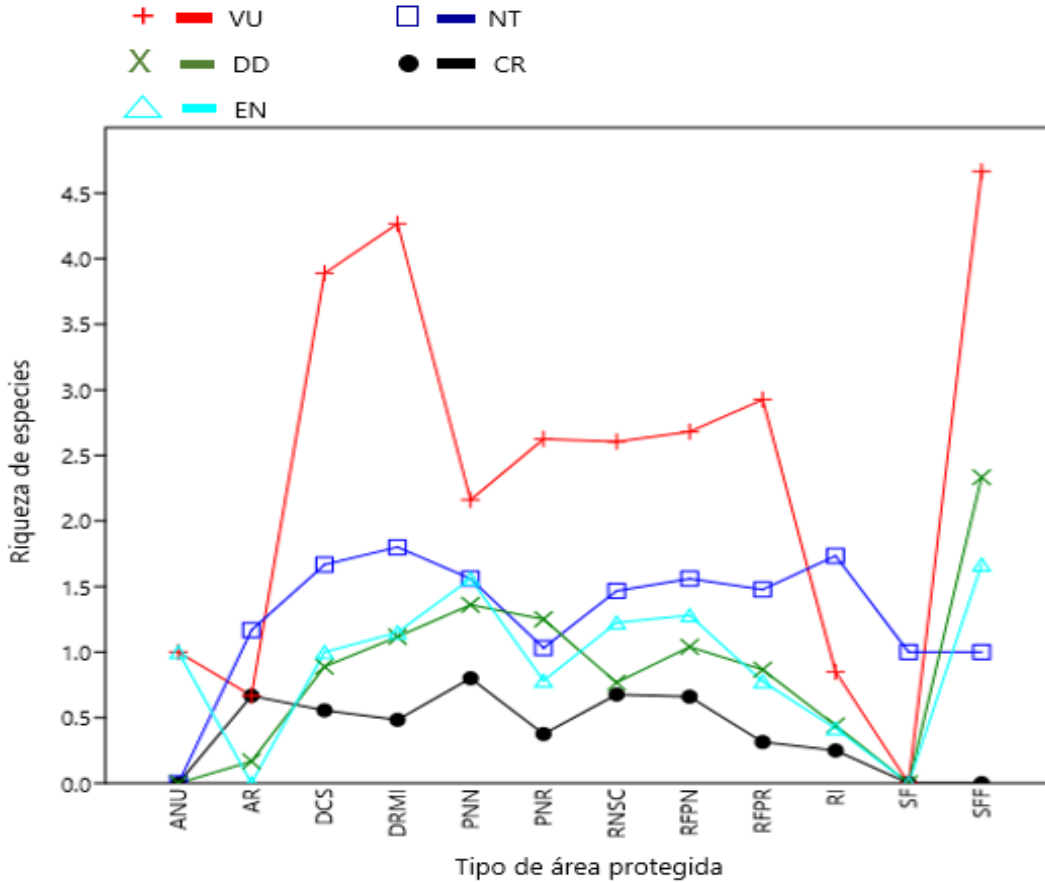


Figura 7. Relación riqueza de especies – tipo de área protegida y categoría de amenaza de la IUCN. Los tipos de áreas protegidas son: ANU, área natural única; AR, área de recreación; DCS, distritos de conservación de suelos; DRMI, distritos regionales de manejo integrado; PNN, parque nacional natural; PNR, parques naturales regionales; RNSC, reserva natural de la sociedad civil; RFPN, reservas forestales protectoras nacionales; RFPR, reservas forestales protectoras regionales; RI, resguardo indígena; SF, santuario de fauna; SFF, santuario de fauna y flora.

Mapa riqueza de especies

El mapa resultante permitió observar de manera gráfica las zonas de Colombia que poseen mayor riqueza de especies endémicas con alguna categoría de amenaza de la IUCN (CR, EN, VU, NT, DD). Los colores representan la riqueza de especies por cuadrícula de 25km². Un color rojo intenso representa mayor número de especies, mientras que un color más claro representa menor número de especies. En contraste, el blanco indica la ausencia de especies endémicas de anuros.

En general, la Cordillera de los Andes, las sierras periféricas de Macarena y Santa Marta, y gran parte del chocó biogeográfico colombiano tenían presencia de especies. Las cordilleras occidental y central de los andes fueron las más ricas en el número total de especies endémicas con alguna categoría de amenaza de la IUCN (CR, EN, VU, NT, DD).

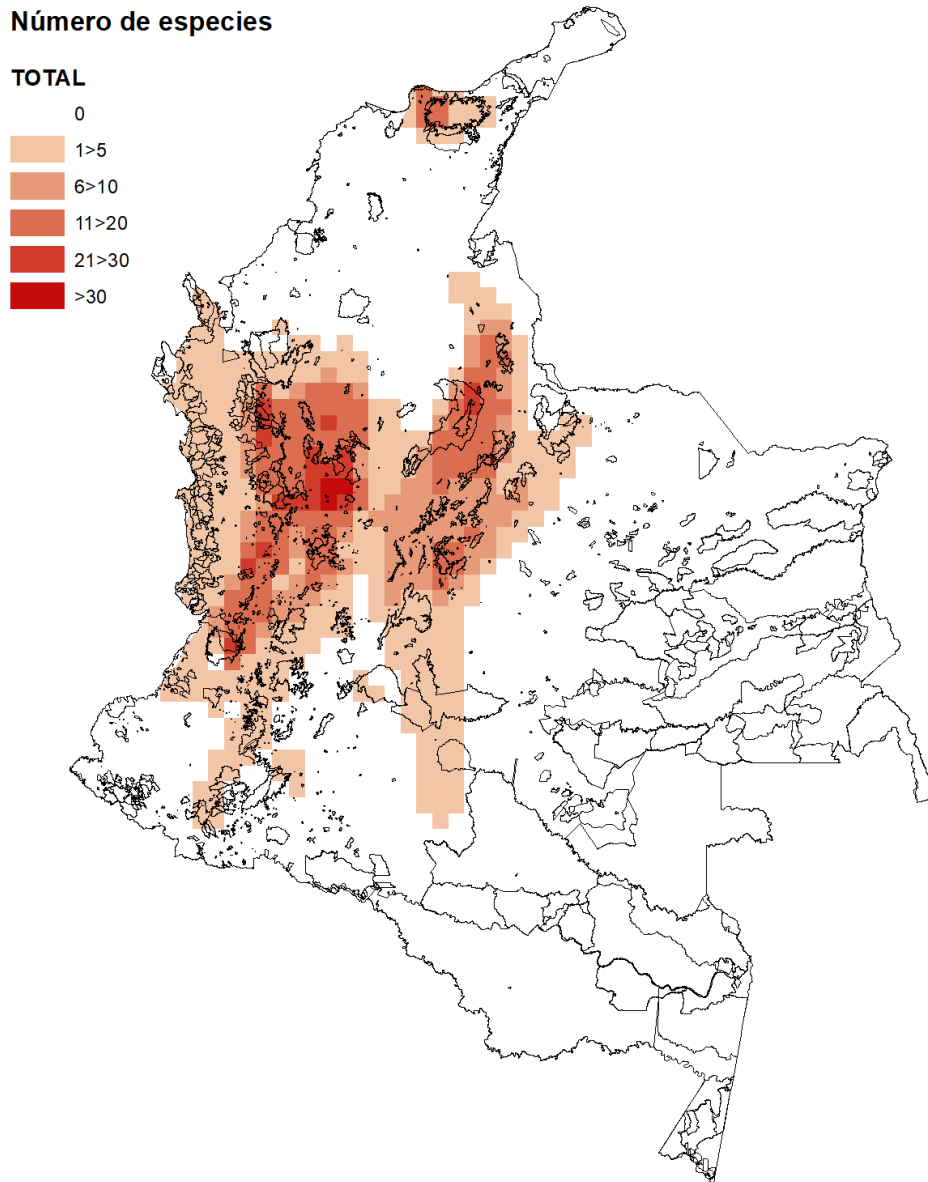


Figura 8. Mapa riqueza de especies de anuros endémicos de Colombia. Los colores representan el número de especies por cuadrícula de 25km.

Con la comparación estadística entre la categoría de amenaza y el tamaño de distribución de la especie, se encontró que hay diferencias significativas entre los tamaños de distribución de las especies y el criterio de amenaza de la IUCN ($F = 8.489$, $df = 85.48$, $P < 0.05$). Con la gráfica de los datos y los resultados anteriores se precisa que existe una relación entre el tamaño de la distribución de la especie y la categoría de amenaza, pues, las especies con tamaños de distribución más grandes se encuentran en categorías de menor amenaza, lo contrario pasa con las especies con tamaños de distribución más reducidos, quienes tienen una mayor categoría de peligro (Figura 9).

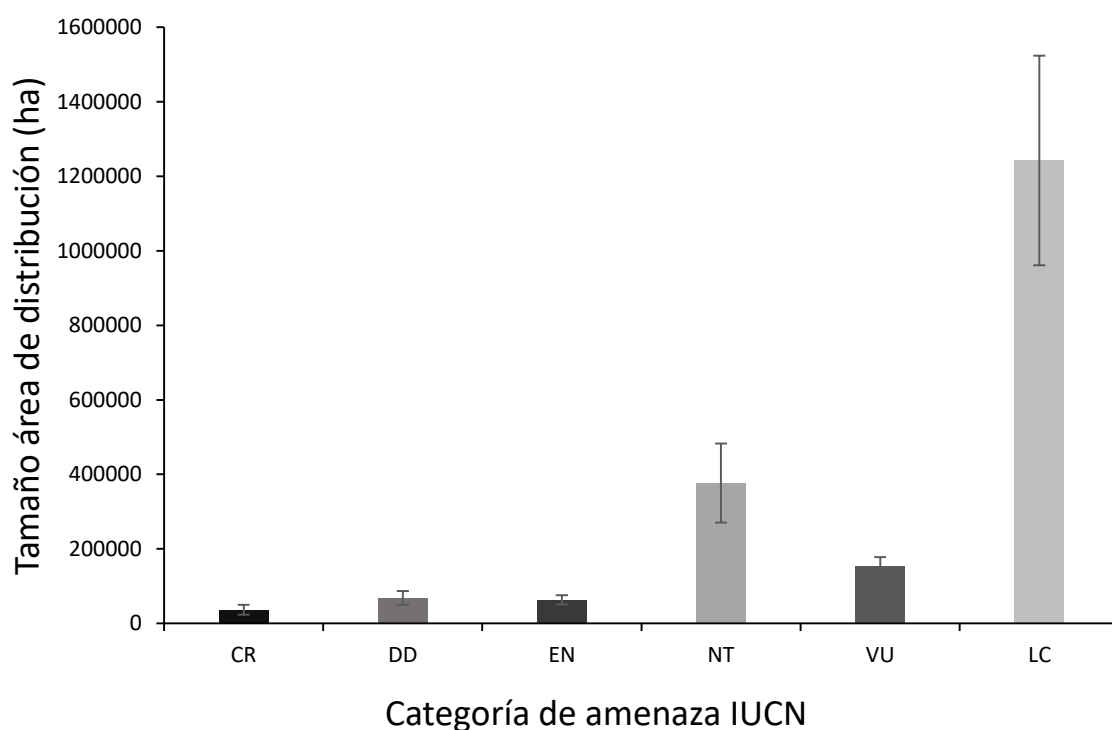


Figura 9. Relación entre la categoría de amenaza y el tamaño de la distribución de la especie. Gráfico muestra el error estándar. Las categorías de amenaza de la IUCN son: CR, en peligro crítico; DD, datos insuficientes; EN, en peligro; NT, casi amenazado; VU, vulnerable; LC, preocupación menor.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el Sistema Nacional de Áreas Protegidas en Colombia es ineficaz en la tarea de proteger la diversidad de anuros endémicos coincidiendo con otros análisis realizados para Colombia como para otras regiones del mundo. Estudios como el de Rodrigues et al. (2004 a, b), Tognelli et al. (2008), Ochoa-Ochoa et al. (2009), Bax, & Francesconi (2018) y Coad et al. (2019) han demostrado que un alto número de especies de anfibios pueden considerarse especies Gap, puesto que ninguna de sus áreas de distribución geográfica está cubiertas por áreas protegidas. En el caso de los anuros endémicos amenazados el porcentaje de especies Gap se ubica alrededor del 13.5% (Tabla 2 y Tabla 3).

El hecho de que solo el 3,12% de las especies evaluadas estén completamente representadas (Tabla 2 y Tabla 3) por áreas protegidas, es preocupante si se tiene en cuenta que es un grupo que atraviesa una gran crisis en todo el mundo, debido a la pérdida de hábitat, que está asociado con actividades como la agricultura, la ganadería, las plantaciones forestales, la urbanización, entre otras (Armesto & Señaris, 2017). Al igual que los anfibios amenazados de los Andes Tropicales que solo tienen 6% de sus especies cubiertas por APs (Bax, & Francesconi, 2018). Nuestros resultados coinciden con los resultados a escala global, pues se estima que solo el 4% de los anfibios terrestres, tienen representatividad dentro de las áreas protegidas mundiales existentes (Coad et al., 2019). También se halló que la mayoría de las especies endémicas evaluadas (86%) se consideran parcial gap (Tabla 3), resultados comparables con el estudio realizado por Tognelli et al. (2008), quienes hallaron que las especies endémicas en Chile están proporcionalmente menos bien representadas y varias de ellas están amenazadas.

Las comunidades indígenas tienen un papel crucial en la protección de los bosques y en la conservación de la naturaleza, tal es así, que son los principales protectores de los bosques del mundo, llegando a conservar el 80% de la biodiversidad y los bosques que habitan (WWF, 2020). Esto es importante, teniendo en cuenta que las especies evaluadas son propias de bosque. Razón por cual, estos podrían estar cumpliendo un papel complementario al SINAP en cuanto a la protección de los anuros, como es el caso de la Cordillera de los Andes, el chocó biogeográfico y la Sierra Nevada de Santa Marta. Sin embargo, en la Orinoquia y la

amazonia donde se encuentran los resguardos indígenas más grandes, estos no juegan un papel importante en la protección de estos organismos, puesto que, las especies endémicas de anuros para Colombia se encuentran concentradas principalmente en los Andes, el Choco biogeográfico y la Sierra Nevada de Santa Marta (Figura 8).

El alto número de especies endémicas que tienen algún tipo de representatividad en los PNN (n=129) podrían explicarse por el tamaño de su área, pues en su mayoría son APs de gran tamaño. Sin embargo, las RNSC (n=104) a pesar de ser reservas más pequeñas se determinó que tenían de igual manera una gran cantidad de especies. Se podría llegar a pensar que las áreas protegidas de gran tamaño (e.g. PNN Cordillera de los Picachos con más de 400.000ha) abarcan mayor número de especies que las áreas protegidas de menor área, sin embargo, en este estudio se encontró que las áreas protegidas de menor tamaño (< 50.000ha) pueden tener muchas especies o pocas, es decir, que el tamaño del área protegida no se relacionaba con la riqueza de especies endémicas (Figura 6).

A pesar de que se encontró que hay mayor número de especies en los PNN, en términos de relación de la riqueza de especies con el tamaño del área (Figura 6), se evidenció que hay una baja riqueza de anuros endémicos en áreas protegidas grandes del país. Esto se debe por una parte a que son áreas que en su mayoría se encuentran en zonas donde no hay especies de anuros como en la Amazonia y la Orinoquía (e.g. Parque Nacional Natural Cahuinari) (Figura 1 y Figura 8). Por otra parte, muchas AP de gran tamaño se encuentran en zonas que comprenden una mayor altitud (e.g. Parque Nacional Natural Los Nevados con alturas que alcanzan los 5000 msnm). Esto si se tiene en cuenta que la mayor riqueza de anuros se encuentra entre los 1000 y los 2000 msnm, la cual disminuye a medida que aumenta la elevación, siendo más notable la disminución a partir de los 3000 msnm (Armesto, & Señaris, 2017).

De igual forma, se determinó que la riqueza de especies endémicas varía dependiendo tanto del tipo de área protegida como de la categoría de amenaza (Figura 7). Existen diferencias significativas entre la distribución geográfica de los anuros y los criterios de la IUCN. Lo que quiere decir, que, para los anuros endémicos del país, habría una relación entre el tamaño de la distribución de la especie y el rango de amenaza en el que está. Aunque, si bien es cierto que parte de estos criterios de amenaza tienen que ver con el tamaño del rango, estos

resultados muestran que los anuros con categorías DD (datos insuficientes), no muestran diferencias significativas con otras categorías como lo son CR (en peligro crítico) y EN (En peligro), lo que podría significar, que estas especies clasificadas como DD, se encuentran bajo algún tipo de amenaza.

Hablando en términos de riqueza de especies endémicas por regiones en Colombia, se evidenció que especialmente la cordillera occidental y central de los Andes, y la Sierra de Santa Marta contenían mayor número de especies por área (i.e. por cuadrícula de 25km) (Figura 8). En este sentido, los Andes es la que más enfrenta desafíos, pues es la zona con mayor densidad poblacional (Etter & VanWeergener, 2000). Por consiguiente, esta región está caracterizada por ser el centro de la actividad económica del país, históricamente hablando, es la región con mayor actividad humana, que se ha visto mayormente afectada por el cambio en el uso y cobertura del suelo desde tiempos precolombinos (Etter & VanWeergener, 2000; Rodríguez, Armenteras-Pascual & Retana, 2013). Para el año 2000, solo el 39.5% de la región contenía ecosistemas naturales (Rodríguez, Armenteras, Morales, & Romero 2006). Datos preocupantes, si se tiene en cuenta que los anfibios son organismos susceptibles a los cambios producidos en el ambiente (e.g. modificación del hábitat, a los cambios en los patrones de temperatura, lluvias o humedad), y que por alta actividad humana sus hábitats se han visto afectados.

A pesar de que la Cordillera Occidental y Central son reconocidas como las que mayor número de especies de anfibios posee (Bernal & Lynch, 2008), el número de áreas protegidas en esta zona es relativamente bajo, por lo cual, el número de áreas protegidas en esta zona terminan siendo insuficientes en la tarea de proteger a los anuros de la región. Los cuales, aún persisten en áreas naturales por fuera de estas APs. Estas poblaciones quedan desprotegidas ante la deforestación, transformándolos en zonas abiertas, que generan una pérdida irreversible de las poblaciones de anuros, puesto que restringe la distribución geográfica de las especies, favoreciendo la llegada de especies invasoras que podrían presentar competencia interespecífica para las especies endémicas (Ochoa-Ochoa et al., 2009; Catenazzi, 2015; Armesto & Señaris, 2017).

Tanto en este estudio, como el de Rodrigues et al. (2004a) concordamos que los Andes es una región con prioridad urgente para el establecimiento de nuevas áreas protegidas. Pese a

que estudios como el de Rodríguez et al., (2013) muestran que las APs en los Andes son efectivas en la reducción de la deformación y el fuego, y además, son eficaces para reducir las presiones asociadas con la extracción de leña, la caza y otras actividades; la pérdida de hábitat que ocurre en áreas adyacentes a las APs pueden afectar algunos procesos ecológicos, puesto que, actividades como la agricultura y la minería están ejerciendo un fuerte impacto sobre las comunidades de anuros en la región, sin mencionar el desarrollo urbano que también es ejerce un impacto.

La falta de una adecuada protección de las especies y la gran cantidad de especies parcial gap en los Andes requiere de una acción urgente, especialmente teniendo en cuenta el bajo porcentaje de áreas protegidas ubicadas aquí, los altos valores de la huella humana en la región andina, que cambiaron del 3% al 5,6% entre 1970 y 2015 (Correa Ayram et al., 2020). Adicionalmente, la deforestación de 1,5 millones de hectáreas de bosque en los Andes, durante 1985 – 2000 (Rodríguez Eraso, Armenteras-Pascual, & Alumbremos, 2013). En este sentido, la magnitud del impacto que las actividades humanas tienen sobre la biodiversidad y los ecosistemas naturales no han disminuido, sino por el contrario han aumentado, especialmente, en temas como la cobertura y el uso de tierra (e.g. agricultura), generando impactos repetitivos que pueden ocasionar cambios irreversibles.

Por otra parte, estudios como el de Nori et al. (2015) asegura que el efecto combinado de los déficits en la red de áreas protegidas y la influencia humana en una región clave como lo son los Andes, podría agravar el escenario de la crisis actual de los anuros. Sumado a esto, las ecorregiones andina y pacífica presentan valores de conectividad bajos, debido a las áreas naturales degradadas y aisladas que poseen (Castillo et al., 2020). Todo esto, y sumado al hecho de que existe una relación entre el nivel de amenaza de los anuros endémicos de Colombia y el tamaño de la distribución de la especie, razón por la que, especies con tamaños de distribución grandes se encuentran en categorías de menor amenaza, y especies con tamaños de distribución reducidos tienen una mayor categoría de peligro de IUCN (Figura 9). Con todo esto, es que radica la urgencia de preservar los últimos remanentes de bosque en los andes.

Una de las alternativas que está tomando más fuerza en la actualidad, es la de la participación de población local, debido a que juega un papel importante en el aumento del rango de

protección de especies amenazadas y endémicas, a través de la protección de los remanentes de bosques (Ochoa-Ochoa et al., 2009), con la creación de pequeñas reservas. A pesar de que estos organismos prefieren un bosque en estado primario o un bosque con sucesión en etapa avanzada para vivir, es posible que las reservas pequeñas a pesar de tener ambientes transformados, puedan contener hábitats de alta calidad, que sirvan como pequeños parches para preservar especies no protegidas dentro del sistema gubernamental. A su vez estos pueden servir como “stepping stone”, para contribuir a la conectividad entre partes de la red de reservas y otros parches de hábitat existente, y que en un futuro puedan facilitar el movimiento de los individuos (Gardner et al., 2007; Ochoa-Ochoa et al., 2009; Volenec & Dobson, 2019).

Estas áreas protegidas de carácter privado conocidas en Colombia como Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC) proveen bastantes beneficios desde a priori como a posteriori a su creación, tanto al gobierno como a los propietarios. Empezando porque son fáciles y rápidas de instaurar, son reservas que involucran propietarios de tierras privadas. Además, logran tener un contacto directo con la población para fomentar la conservación, mejora la conectividad entre áreas protegidas y con mecanismos financieros como la extensión de impuesto, incentiva a la población de crear nuevas áreas que permitiría la conservación de especies. A su vez, desde un planteamiento de conservación desde un sistema, como los agroecosistemas, incentiva a la población que tienen tierras productivas a conservar, puesto que, mientras la comunidad se beneficia de las actividades económicas que realiza en el sitio (e.g. agricultura, ganadería), también se puede conservar el ecosistema en condiciones que sirvan como corredores importantes para las poblaciones de anuros. Estas estrategias en todo momento deben involucrar a la comunidad aledaña para que se favorezca la sinergia entre estos y el ente gubernamental en la tarea de conservar estos ecosistemas importantes para la biodiversidad, y en especial, para los anuros.

CONCLUSIÓN

Este estudio reveló que el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia es ineficaz en la tarea de proteger la diversidad de anuros endémicos amenazados. Esta ineficacia no se debe en sí al tamaño del AP, pues se demostró que no hay correlación entre este y la riqueza

de especies. Sino que, puede deberse a la ubicación de las AP actualmente consolidadas, respecto a las zonas que son consideradas hotspot de anuros endémicos en el país. La Cordillera de los Andes es la región que alberga mayor número de anuros, especialmente las vertientes occidental y central de los Andes.

Los Andes además de ser un punto crítico de biodiversidad, es la zona más poblada de todo el país, que posee una baja cantidad de áreas protegidas, altos valores de la huella humana, y deforestación de millones de hectáreas, que podrían agravar el escenario de la crisis actual de los anuros en el país. De ahí radica la importancia de su conservación, a través de iniciativas tanto gubernamentales como sociales destinadas a preservar y conservar el ecosistema, y así asegurar la viabilidad de las poblaciones de anuros.

REFERENCIAS

- Abellán, P., & Sánchez-Fernández, D. (2015). A gap analysis comparing the effectiveness of Natura 2000 and national protected area networks in representing European amphibians and reptiles. *Biodiversity and Conservation*, 24(6), 1377-1390. doi: 10.1007/s10531-015-0862-3
- Armesto, L. O., & Señaris, J. C. (2017). Anuros del norte de los Andes: patrones de riqueza de especies y estado de conservación. *Papeis avulsos de zoologia*, 57(39), 491-526. doi: 10.11606/0031-1049.2017.57.39
- Albornoz-Espinel, M. M., Cáceres-Martínez, C. H., & Acevedo, A. A. (2017). Protected areas assessment for the conservation of threatened amphibians in the Cordillera Oriental of Colombia. *Herpetology Notes*, 10, 685-696.
- Bax, V., & Francesconi, W. (2018). Conservation gaps and priorities in the Tropical Andes biodiversity hotspot: Implications for the expansion of protected areas. *Journal of environmental management*, 232, 387-396. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.11.086.
- Bernal, M. H., & Lynch, J. D. (2008). Review and analysis of altitudinal distribution of the Andean anurans in Colombia. *Zootaxa*, 1826(1), 1. doi: 10.11646/zootaxa.1826.1.1

- Bruner, A. G., Gullison, R. E., Rice, R. E., & Da Fonseca, G. A. (2001). Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science*, 291(5501), 125-128. doi: 10.1126/science.291.5501.125
- Castillo, L. S., Correa Ayram, C. A., Matallana Tobón, C. L., Corzo, G., Areiza, A., Serrano, F., ... & Godínez-Gómez, O. (2020). Connectivity of Protected Areas: Effect of Human Pressure and Subnational Contributions in the Ecoregions of Tropical Andean Countries. *Land*, 9(8), 239. doi: 10.3390/land9080239.
- Catenazzi, Alessandro. (2015). State of the World's Amphibians. *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 91-119. doi: 10.1146/annurev-environ-102014-021358.
- Coad, L., Watson, J. E., Geldmann, J., Burgess, N. D., Leverington, F., Hockings, M., ... & Di Marco, M. (2019). Widespread shortfalls in protected area resourcing undermine efforts to conserve biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), 259-264. doi: 10.1002/fee.2042.
- Correa Ayram, C., Etter, A., Díaz-Timoté, J., Buriticá, S. R., Ramírez, W., & Corzo, G. (2020). Spatiotemporal evaluation of the human footprint in Colombia: Four decades of anthropic impact in highly biodiverse ecosystems. *Ecological Indicators*, 117, 106630. doi: 10.1101/2020.05.15.098855.
- Cortes Villa, A. M. (2018). Resguardos indígenas en la conservación: territorios en traslape.
- Cushman, S. A. (2006). Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: a review and prospectus. *Biological conservation*, 128(2), 231-240. doi: 10.1016/j.biocon.2005.09.031
- Duellman, W. E. 1999. Distribution patterns of amphibians in South America. En: Duellman, W.E. (Ed.). *Patterns of distribution of amphibians*. A global perspective. Baltimore, The Johns Hopkins University Press. p. 255-327.
- ESRI. 2011. ArcGIS (version 10.8). Software. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc.

- Etter, A., & van Wyngaarden, W. (2000). Patterns of landscape transformation in Colombia, with emphasis in the Andean region. *Ambio: A journal of the Human Environment*, 29(7), 432-439. doi: 10.1579/0044-7447-29.7.432.
- Frost, D. R. 2021. Amphibian Species of the World: Referencia Online. Version 6.1 (Agosto de 2020). Electronic Database accessible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA. doi: 10.5531/db.vz.0001
- Gardner, T. A., Ribeiro-Júnior, M. A., Barlow, J. O. S., Ávila-Pires, T. C. S., Hoogmoed, M. S., & Peres, C. A. (2007). The value of primary, secondary, and plantation forests for a neotropical herpetofauna. *Conservation biology*, 21(3), 775-787. doi: 10.1111/j.1523-1739.2007.00659.x
- Hammer, Ø., D. Harper & P. Ryan. 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica*, 4: 9 p. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- Hof, C., Araújo, M. B., Jetz, W., & Rahbek, C. (2011). Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity. *Nature*, 480(7378), 516-519. doi: 10.1038/nature10650.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2020. IUCN red list of threatened species: version 2020. Recuperado de www.iucnredlist.org (Accedido el 16 jun. 2020).
- Jenkins, C. N., & Joppa, L. (2009). Expansion of the global terrestrial protected area system. *Biological conservation*, 142(10), 2166-2174.
- Juárez-Ramírez, M. C., Aguilar-Lopez, J. L., & Pineda, E. (2016). Protected natural areas and the conservation of amphibians in a highly transformed mountainous region in Mexico. *Herpetological Conservation and Biology*, 11(1), 19-28.
- Kattan, G. H., Franco, P., Rojas, V., & Morales, G. (2004). Biological diversification in a complex region: a spatial analysis of faunistic diversity and biogeography of the

- Andes of Colombia. *Journal of Biogeography*, 31(11), 1829-1839. doi: 10.1111/j.1365-2699.2004.01109.x
- Lenis, Y. R. (2014). La historia de las áreas protegidas en Colombia, sus firmas de gobierno y las alternativas para la gobernanza. *Sociedad y economía*, (27), 155-175.
- MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). (21 de mayo de 2019). *Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo, celebra el Día Mundial de la Biodiversidad*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/4317-colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo-celebra-el-dia-mundial-de-la-biodiversidad>
- Nori, J., Lemes, P., Urbina-Cardona, N., Baldo, D., Lescano, J., & Loyola, R. (2015). Amphibian conservation, land-use changes and protected areas: A global overview. *Biological Conservation*, 191, 367-374. doi: 10.1016/j.biocon.2015.07.028.
- Ochoa-Ochoa, L., Urbina-Cardona, J. N., Vázquez, L. B., Flores-Villela, O., & Bezaury-Creel, J. (2009). The effects of governmental protected areas and social initiatives for land protection on the conservation of Mexican amphibians. *PloS one*, 4(9). doi: 10.1371/journal.pone.0006878.
- Palomo, I., Montes, C., Martín-Lopez, B., González, J. A., García-Llorente, M., Alcorlo, P., & Mora, M. R. G. (2014). Incorporating the social–ecological approach in protected areas in the Anthropocene. *BioScience*, 64(3), 181-191. doi: 10.1093/biosci/bit033
- PNN (Parques Nacionales Naturales de Colombia). 2002-2009. *Sistema Nacional de Áreas Protegidas – SINAP*. Recuperado de www.parquesnacionales.gov.co (Accedido el 16 de jun. 2020)
- PNN (Parques Nacionales Naturales de Colombia). 2015. *Áreas protegidas: territorios para la vida y la paz. Áreas protegidas, paisajes rurales y urbanos: uniendo esfuerzos para la conservación*. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Bogotá, Colombia.

- Pressey, R. L., Whish, G. L., Barrett, T. W., & Watts, M. E. (2002). Effectiveness of protected areas in north-eastern New South Wales: recent trends in six measures. *Biological Conservation*, 106(1), 57-69. doi: 10.1016/S0006-3207(01)00229-4.
- Rodrigues, A. S., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., Cowling, R. M., ... & Long, J. S. (2004a). Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature*, 428(6983), 640-643. doi: 10.1038/nature02422
- Rodrigues, A., Akcakaya, H. R., Andelman, S., Bakarr, M., Boitani, L., Brooks, T., ... Xie, Y. (2004b). Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *BioScience*. 54. 10.1641/0006-3568(2004)054[1092:GGAPRF]2.0.CO;2.
- Rodríguez Eraso, N., Armenteras-Pascual, D., & Alumbrosos, J.R. (2013). Land use and land cover change in the Colombian Andes: Dynamics and future scenarios. *Journal of Land Use Science*, 8, 154–174. doi: 10.1080/1747423X.2011.650228.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M., & Romero, M. (2006). Ecosistemas de los Andes colombianos. 2da. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (Bogotá, Colombia). 154p.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., & Retana, J. (2013). Effectiveness of protected areas in the Colombian Andes: deforestation, fire and land-use changes. *Regional Environmental Change*, 13(2), 423-435.
- Sanderson, E. W., Jaiteh, M., Levy, M. A., Redford, K. H., Wannebo, A. V., & Woolmer, G. (2002). The human footprint and the last of the wild. *BioScience*, 52(10), 891-904.
- Santamaría M., Areiza A., Matallana C., Solano, C y Galán S. 2018. Estrategias complementarias de conservación en Colombia. Instituto Humboldt, Resnatur y Fundación Natura. Bogotá, Colombia. 29 p
- SiB Colombia (Sistema de Información sobre Biodiversidad en Colombia). (2019). Biodiversidad en Cifras 2019. Recuperado de www.sibcolombia.net (Accedido el 16 de jun. 2020)

- Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S., Fischman, D. L., & Waller, R. W. (2004). Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306(5702), 1783-1786. doi: 10.1126/science.1103538.
- Tognelli, M. F., De Arellano, P. I. R., & Marquet, P. A. (2008). How well do the existing and proposed reserve networks represent vertebrate species in Chile?. *Diversity and Distributions*, 14(1), 148-158. doi: 10.1111/j.1472-4642.2007.00437.x.
- Urbina-Cardona, Nicolas & Loyola, Rafael. (2008). Applying Niche-Based Models to Predict Endangered-Hylid Potential Distributions: Are Neotropical Protected Areas Effective Enough?. *Tropical Conservation Science*. 1. 417-445. doi: 10.1177/194008290800100408.
- Volenc, Z. M., & Dobson, A. P. (2020). Conservation value of small reserves. *Conservation Biology*, 34(1), 66-79. doi: 10.1111/cobi.13308.
- WWF (World Wildlife Fund). (24 de octubre de 2020). El aporte de los pueblos indígenas al país es invaluable. <https://www.wwf.org.co/?uNewsID=364960>

ANEXO I. Número de especies por categoría de la IUCN

Categoría de IUCN	Número de spp.
CR	32
EN	50
VU	47
NT	26
LC	60
DD	48
Total	263

ANEXO 2. Listado de especies con porcentaje de ocurrencia actual y su objetivo de representación en áreas protegidas

Nombre de la especie	IUCN	% ocurrencia	Objetivo representación (%)
<i>Andinobates viridis</i>	CR	100	100
<i>Centrolene acanthidiocephalum</i>	DD	100	100
<i>Niceforonia aderca</i>	DD	100	100
<i>Atelopus mittermeieri</i>	EN	100	100
<i>Pristimantis grandiceps</i>	DD	100	100
<i>Atelopus monohernandezii</i>	CR	100	100
<i>Pristimantis ixalus</i>	DD	99.29548186	100
<i>Pristimantis aemulatus</i>	DD	90.48050856	100
<i>Pristimantis megalops</i>	NT	86.53644223	100
<i>Silverstoneia minutissima</i>	NT	86.39866607	100
<i>Pristimantis cristinae</i>	EN	85.11251863	100
<i>Pristimantis johannesdei</i>	VU	84.53640048	100
<i>Pristimantis delicatus</i>	EN	82.76237805	100
<i>Pristimantis tayrona</i>	NT	80.06778455	100
<i>Pristimantis repens</i>	VU	78.35981941	100
<i>Leucostethus brachistriatus</i>	DD	77.64510352	100
<i>Pristimantis aurantiguttatus</i>	DD	74.49448251	100
<i>Nymphargus prasinus</i>	VU	74.44162985	100
<i>Pristimantis phragmipleuron</i>	CR	72.46464164	100
<i>Niceforonia nana</i>	DD	71.61018958	100
<i>Atelopus muisca</i>	EN	71.10976982	100
<i>Pristimantis mnionaetes</i>	EN	69.95926639	100
<i>Rhinella nicefori</i>	EN	69.77321846	100
<i>Pristimantis quicato</i>	NT	68.50656706	100
<i>Cochranella ramirezi</i>	DD	68.06788783	99.65297695
<i>Pristimantis bacchus</i>	EN	67.67532658	100
<i>Pristimantis macrummendozai</i>	DD	66.24545072	100
<i>Atelopus carauta</i>	DD	65.63619229	100
<i>Ikakogi tayrona</i>	VU	62.60127507	100
<i>Pristimantis polychrus</i>	VU	62.14297484	100

<i>Atelopus sernai</i>	CR	62.00717957	100
<i>Pristimantis ruthveni</i>	EN	61.94712052	100
<i>Pristimantis capitonis</i>	EN	60.51457785	100
<i>Pristimantis bellona</i>	EN	59.39511507	100
<i>Rhinella tenrec</i>	EN	58.88420809	100
<i>Atelopus mandingues</i>	DD	58.20293889	100
<i>Hyloscirtus piceigularis</i>	EN	56.29164394	100
<i>Hyloxalus saltuarius</i>	DD	56.08471537	100
<i>Pristimantis insignitus</i>	NT	55.36125574	100
<i>Pristimantis viridis</i>	EN	55.32626926	100
<i>Andinobates virolinensis</i>	VU	54.59650196	99.52066475
<i>Leucostethus ramirezi</i>	DD	53.87511236	100
<i>Rhinella ruizi</i>	VU	53.29192613	100
<i>Atelopus quimbaya</i>	CR	51.90323521	100
<i>Pristimantis farisorum</i>	NT	51.65890804	100
<i>Pristimantis scoloblepharus</i>	EN	50.88363664	100
<i>Pristimantis lutitus</i>	DD	50.02619057	99.41911535
<i>Pristimantis merostictus</i>	VU	49.00427776	99.11262424
<i>Pristimantis zophus</i>	NT	48.29389498	99.85920473
<i>Hyloscirtus antioquia</i>	VU	48.19955648	100
<i>Agalychnis terranova</i>	NT	47.92166579	95.54900022
<i>Hyloscirtus callipeza</i>	VU	46.90505074	99.55672494
<i>Atelopus subornatus</i>	CR	46.03623844	100
<i>Hyloscirtus lynchi</i>	CR	45.80858752	99.25581416
<i>Pristimantis jorgevelosai</i>	EN	45.32209861	100
<i>Hyloxalus sanctamariensis</i>	DD	45.05720402	100
<i>Pristimantis calcaratus</i>	VU	44.2377276	99.68403521
<i>Strabomantis cheiroplethus</i>	VU	43.56008833	100
<i>Andinobates cassidyhornae</i>	VU	43.14008915	100
<i>Pristimantis acutirostris</i>	EN	42.14782002	99.92673536
<i>Pristimantis bicolor</i>	VU	41.75846031	97.72289891
<i>Centrolene quindianum</i>	VU	41.6604572	100
<i>Pristimantis parectatus</i>	EN	41.59154916	99.98900196
<i>Hyloscirtus bogotensis</i>	NT	41.37995805	98.34961439
<i>Atelopus nocturnus</i>	CR	41.15204875	100
<i>Pristimantis elegans</i>	VU	40.99896239	99.83905502
<i>Rulyrana adiazeta</i>	VU	40.63320403	98.86825797
<i>Andinobates opisthomelas</i>	VU	40.48523175	97.98954087
<i>Pristimantis sanguineus</i>	NT	40.06320249	99.22807639
<i>Pristimantis ruedai</i>	VU	39.18422281	99.5872405
<i>Silverstoneia erasmios</i>	DD	38.98332824	99.71712257
<i>Pristimantis vicarius</i>	NT	38.90514578	100
<i>Pristimantis uisae</i>	DD	38.79435936	99.54254886

<i>Hyloxalus fascianigrus</i>	VU	38.76021406	100
<i>Phyllobates aurotaenia</i>	NT	38.52040774	96.64843635
<i>Nymphargus spilotus</i>	DD	38.43162792	100
<i>Hyloscirtus denticulatus</i>	EN	38.3927723	99.31806818
<i>Strabomantis ingeri</i>	VU	38.30871833	99.09463329
<i>Pristimantis torrenticola</i>	CR	38.17196678	100
<i>Pristimantis fetusus</i>	NT	37.26703175	100
<i>Pristimantis carlossanchezi</i>	DD	37.08436456	100
<i>Pristimantis platytilus</i>	VU	36.8792566	99.61816038
<i>Pristimantis cabrerai</i>	DD	36.83151393	98.03629525
<i>Pristimantis suetus</i>	VU	36.31464386	99.72718797
<i>Pristimantis viridicans</i>	EN	35.72691045	100
<i>Niceforonia latens</i>	EN	35.64365314	100
<i>Leucostethus fraterdanieli</i>	NT	35.04574028	95.28658765
<i>Pristimantis maculosus</i>	VU	34.56582442	100
<i>Pristimantis orpacobates</i>	NT	34.409781	97.98880708
<i>Hyloscirtus simmonsii</i>	VU	34.29432796	100
<i>Colostethus agilis</i>	EN	34.09530757	99.62720193
<i>Agalychnis danieli</i>	DD	33.58166413	100
<i>Pristimantis deinops</i>	EN	33.34643903	100
<i>Pristimantis jubatus</i>	NT	33.20606971	100
<i>Diasporus anthrax</i>	DD	33.20044283	99.26221573
<i>Pristimantis dorsopictus</i>	VU	33.01439834	98.99666342
<i>Hyloxalus ramose</i>	DD	32.48055981	100
<i>Hemiphractus johnsoni</i>	EN	32.18111754	100
<i>Pristimantis gracilis</i>	VU	31.22602877	99.57141525
<i>Gastrotheca antomia</i>	CR	31.15521904	99.36817808
<i>Pristimantis batrachites</i>	DD	31.03857444	100
<i>Centrolene antioquiensis</i>	NT	29.79148715	99.44200543
<i>Pristimantis molybrignus</i>	CR	29.57174681	99.794019
<i>Rhinella macrorrhina</i>	VU	29.39612427	99.33697638
<i>Pristimantis helvolus</i>	EN	29.28394239	100
<i>Atelopus sonsonensis</i>	CR	29.09815121	100
<i>Pristimantis juanchoi</i>	VU	28.01669687	100
<i>Phyllobates terribilis</i>	EN	28.01625295	99.79887734
<i>Atelopus spurrelli</i>	NT	27.99456652	92.64203591
<i>Nymphargus rosada</i>	VU	27.96794605	99.71067717
<i>Colostethus imbricolus</i>	DD	27.92865051	100
<i>Pristimantis baiotis</i>	DD	27.74103017	100
<i>Strabomantis necopinus</i>	VU	27.2708791	100
<i>Pristimantis angustilineatus</i>	EN	26.95562214	100
<i>Pristimantis alalocophus</i>	EN	25.6619172	99.79246049
<i>Tachiramantis douglasi</i>	VU	25.21082928	99.56249773

<i>Pristimantis carmelitae</i>	EN	25.05383865	100
<i>Centrolene daidalea</i>	VU	24.78236291	99.90267377
<i>Gastrotheca bufona</i>	VU	24.53660935	99.91825853
<i>Pristimantis lichenoides</i>	CR	24.30112534	100
<i>Cochranella megista</i>	EN	23.62160334	100
<i>Andinobates bombetes</i>	VU	23.25041518	99.28496521
<i>Pristimantis lemur</i>	VU	22.13856031	100
<i>Allobates picachos</i>	DD	21.95884976	100
<i>Strabomantis ruizi</i>	EN	21.65275409	99.73901305
<i>Osornophryne percrassa</i>	VU	21.60386552	99.8973582
<i>Atelopus nicefori</i>	CR	21.20458355	99.94472089
<i>Pristimantis silverstonei</i>	NT	20.97975568	100
<i>Allobates cepedai</i>	DD	20.69887457	99.80350476
<i>Sachatamia punctulata</i>	VU	20.40858383	98.82383301
<i>Atelopus petriruizi</i>	CR	18.6201187	100
<i>Pristimantis savagei</i>	NT	18.35229614	98.82130743
<i>Atelopus simulatus</i>	CR	17.19173966	100
<i>Pristimantis veletis</i>	CR	16.17505354	100
<i>Pristimantis fallax</i>	VU	15.73782131	100
<i>Rulyrana susatamai</i>	NT	15.27123247	99.24077261
<i>Colostethus dysprosimus</i>	DD	15.0482718	100
<i>Pristimantis actinolaimus</i>	EN	14.30013417	100
<i>Centrolene petrophilum</i>	EN	13.71768795	100
<i>Atelopus farci</i>	CR	12.35549182	100
<i>Nymphargus garciae</i>	VU	10.74033572	99.93144434
<i>Pristimantis epacrus</i>	DD	10.68303657	100
<i>Pristimantis carrangerorum</i>	DD	10.57688485	99.81149611
<i>Pristimantis renjiformum</i>	EN	10.38111538	100
<i>Nymphargus cristinae</i>	DD	9.448925752	100
<i>Phyllobates bicolor</i>	EN	8.754777471	98.49911102
<i>Pristimantis mars</i>	CR	8.338732766	100
<i>Hyalinobatrachium esmeralda</i>	EN	7.968427889	99.8761195
<i>Andinobates daleswansoni</i>	EN	7.793873931	100
<i>Hyloxalus felixcoperari</i>	DD	7.227910222	100
<i>Cryptobatrachus ruthveni</i>	EN	5.665264075	100
<i>Osteocephalus carri</i>	DD	5.119912225	100
<i>Pristimantis kelephus</i>	CR	4.607525377	100
<i>Pristimantis roseus</i>	NT	4.464897919	98.13056558
<i>Pristimantis tribulosus</i>	CR	3.749361656	100
<i>Pristimantis quantus</i>	EN	2.755774319	100
<i>Allobates juanii</i>	CR	2.535257762	100
<i>Ectopoglossus atopoglossus</i>	DD	2.34725822	100
<i>Atelopus chocoensis</i>	CR	2.2694443	100

<i>Andinobates tolimensis</i>	VU	1.457937607	100
<i>Pristimantis diogenes</i>	VU	1.209893185	100
<i>Pristimantis xylochobates</i>	CR	1.164825459	100
<i>Pristimantis myops</i>	DD	1.085926299	100
<i>Andinobates dorisswansonae</i>	VU	1.078791882	100
<i>Pristimantis ptochus</i>	DD	0.7725971	100
<i>Hyloxalus vergeli</i>	VU	0.716383948	100
