

# GRADIENTES ANDINOS EN LA DIVERSIDAD Y PATRONES DE ENDEMISMO EN ANFIBIOS Y REPTILES DE COLOMBIA: POSIBLES RESPUESTAS AL CAMBIO CLIMATICO

## AMPHIBIAN AND REPTILE' DIVERSITY AND ENDEMISM PATTERNS ALONG ANDEAN GRADIENTS IN COLOMBIA: POSSIBLE RESPONSES TO CLIMATE CHANGE

J. Nicolas Urbina-Cardona<sup>1</sup>

### RESUMEN

En la actualidad, las evidencias del cambio climático sobre la biodiversidad son contundentes y muestran patrones de declive de anfibios y reptiles a nivel global. Los cambios globales, sin embargo, actúan en sinergia con la pérdida, fragmentación y degradación del hábitat, la sobrexplotación, la contaminación, las invasiones biológicas y las enfermedades emergentes, afectando fuertemente la estructura y función de los ecosistemas. En el presente estudio se plantea la reflexión que las especies de anfibios y reptiles más vulnerables al cambio climático en Colombia son aquellas que habitan ambientes andinos (y paramos) y presentan rangos altitudinales estrechos. En este sentido, las especies andinas pueden desaparecer secuencialmente en asocio con los cambios climáticos extremos, la pérdida de neblina, la pérdida de alimento y la desaparición de epifitas en los bosques, dentro de otros microhábitats indispensables para su reproducción, forrajeo y refugio. Por ello es necesario mantener y recuperar la conectividad estructural y funcional en el paisaje, para permitir que las especies cambien de rango geográfico y puedan colonizar tierras altas en busca de nichos ecológicos adecuados a sus límites vitales para su supervivencia y persistencia en el tiempo. Así mismo, es necesario manejar la dinámica interna de los fragmentos remanentes para minimizar los efectos de borde, de extracción selectiva de madera, la dinámica de claros y la invasión de especies, con el fin de mantener la calidad de hábitat para aquellas especies que no pueden migrar en busca de nuevas áreas a colonizar.

**Palabras clave:** Cambio climático, fragmentación de hábitat, extinción de especies, herpetofauna, cambio de rango geográfico.

1. Profesor Asistente, Departamento de Ecología y Territorio, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Autor para correspondencia: nurbina@yahoo.com

### ABSTRACT

At present, the evidence of climate change on biodiversity is strong and shows robust patterns of decline of amphibians and reptiles worldwide. Global changes, however, act in synergy with loss, fragmentation and degradation of habitat, species overexploitation, pollution, biological invasions and emergent diseases, strongly affecting the structure and function of ecosystems. In the present study I suggest that the species of amphibians and reptiles more vulnerable to climate change in Colombia could be those inhabiting Andean forests (and paramos) and have narrow elevational ranges. In this regard, Andean species may disappear sequentially in association with changes in extreme weather events, loss of fog, loss of food and the disappearance of epiphytes in the forests, between other critical microhabitats for breeding, foraging and shelter. It is therefore necessary to maintain and restore the structural functional connectivity in the landscape, to allow species to change their geographic range and can colonize the highlands in search of suitable ecological niches for their vital limits for their survival and persistence over time. It is also necessary to manage the internal dynamics of the remnant to minimize edge effects, selective logging, gap dynamics and species invasions, in order to maintain the quality of habitat for species that cannot migrate in search of new areas to colonize.

**Key words:** climate change, habitat fragmentation, species extinction, herpetofauna, geographic shifts.

### INTRODUCCIÓN

Durante el Terciario inferior las montañas del norte de Suramérica llegaban a 500msnm y presentaban un clima tropical-seco con escasa cobertura vegetal (Van der Hammen 1958; Serrano *et al.*, 2008). Con el aumento de la actividad volcánica en el eje de la cordillera Central, las cordilleras actuales se formaron (e.g. orogenia) durante finales del periodo Terciario e inicios del Cuaternario (Van der Hammen *et al.*, 1973) y con la humedad generada con los ciclos glaciales se dieron las condiciones iniciales para la formación de la vegetación andina y paramuna (Rangel, 2000). Estos periodos glaciares e interglaciares generaron la contracción y expansión de los ámbitos geográficos de los anfibios por largos periodos de tiempo (Navas, 2005). La reciente historia geológica de los Andes ha generado una gran diversidad de climas, suelos y

formaciones geológicas que soportan en la actualidad diferentes tipos de vegetación como páramos, bosques altoandinos, andinos, subandinos y algunos enclaves secos (Romero *et al.*, 2008).

Las regiones altas de Suramérica están principalmente al oeste del continente donde la Cordillera de los Andes corre paralela a la costa del Pacífico con una longitud de 800 km. En la actualidad los Andes del Norte abarca una área de 600.000Km<sup>2</sup> de bosques montanos y paramos, que albergan a la mayoría de la población humana concentrada en grandes ciudades que dependen de los bienes y servicios que proveen estos ecosistemas (Naranjo *et al.*, 2010). La región andina provee servicios ecosistémicos críticos para el mantenimiento de la vida en la tierra como es la disponibilidad de agua en cantidades y calidades adecuadas. La retención

de agua a través de colchones de agua en los páramos (e.g. turberas), la captación indirecta del agua a través de la condensación de la niebla en musgos y epifitas y la regulación de flujos hídricos a través de los bosques andinos hacen que la estructura de los gradientes de vegetación andinos sean cruciales para el soporte de las funciones ecosistémicas y la provisión de bienes y servicios.

Para 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 subparámetro y bosque altoandino los incrementos fluctúan entre 0.3 y 0.6 °C por década y la precipitación se ha incrementado (MAVDT et al., 2010). Así mismo, los glaciares han sufrido una reducción del 3-5% de extensión (20-25 m) por año. En la primera comunicación del gobierno colombiano ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (MAVDT et al., 2001), se alertó que la zona de vida Montana, Subalpina y alpina superior a 2500 msnm donde se localizan subpáramos, páramos, superpáramos y nieves podrían verse afectados entre 90% y 100% desplazándose a alturas mayores de las actuales. Esto tiene fuertes implicaciones ya que gran parte de la biodiversidad de estas alturas está adaptada a condiciones límites

muy precisas de temperatura (e.g. ciclos circadianos) y humedad, y para algunos páramos no existe la posibilidad de desplazamiento altitudinal y el escenario sería la disminución progresiva del área de páramo hasta su desaparición (MAVDT et al., 2001; para una revisión crítica consultar: Jacome, 2010). Así mismo, los bosques andinos se afectarían en 43%, sufriendo transformaciones hacia otros tipos de vegetación como por ejemplo los bosques secos (MAVDT et al., 2001).

El cambio climático puede llegar a tener impactos severos en los ecosistemas andinos al generar cambios en las zonas de vida de la vegetación, incrementar la vulnerabilidad de los bosques a incendios, plagas, especies invasoras y mayor presión de deforestación por establecimiento de sistemas productivos con un manejo intensivo (Serreze, 2009). Específicamente los bosques de *Polylophus* han presentado una distribución geográfica asociada a los patrones de precipitación e históricamente se han adaptado a condiciones climáticas variantes, aunque en la actualidad su resiliencia se ve afectada no solo por el cambio climático, sino también por la transformación causada por el ascenso altitudinal de los cultivos de papa (Rangel-Ch y Arellano, 2010). Así mismo, se ha estimado que los bosques andinos presentarían un cambio de cobertura hacia sistemas productivos en busca

de lugares adecuados para la siembra de especies claves para la seguridad alimentaria en Colombia (Jarvis et al., 2010).

Los bosques montanos pueden verse afectados no solo por cambios en los patrones de temperatura y precipitación, sino también por cambios en la formación de nubes, alterando la composición de los ensamblajes de especies que intentarán cambiar de rango altitudinal pero en ausencia de hábitat natural remanente disponible para colonizar se extinguirán localmente (Foster, 2001). Específicamente para los anfibios y reptiles, se ha planteado que el cambio climático puede afectar sus poblaciones al presentarse eventos extremos de sequía, cambios en los patrones de precipitación a lo largo del año y la pérdida de neblina (Pounds et al., 2005). Estos factores generan la acumulación de polutos en los microhábitats y la reducción en la profundidad de cuerpos de agua, exponiendo a las larvas a los rayos UV-B y contaminantes, que debilitan el sistema inmune de los anfibios e incrementa la probabilidad de infección por hongos y la mortalidad en los adultos (Pounds, 2001). Además del estrés fisiológico generado en los anfibios, las invasiones biológicas incrementan la vulnerabilidad de las especies nativas en escenarios de cambio climático al ampliar su rango geográfico, y colonizar ecosistemas naturales (Hellman et al., 2008). Si se tiene en cuenta que los ecosistemas naturales de Colombia se encuentran seriamente fragmentados, es muy posible que en escenarios de cambio climático, las especies de anfibios y reptiles invasoras (e.g. *Hemidactylus brookii*, *Lithobates catesbeianus*, *Eleutherodactylus johnstonei*) y aquellas nativas con alta capacidad de dispersión traslocada (e.g. *Rhinella marina*) incrementen su distribución geográfica altitudinal generando la desaparición de especies endémicas, empobreciendo el ensamblaje y sus funciones ecológicas (Urbina-Cardona y Castro, 2010) y en algunos casos afectando la integridad de las áreas naturales protegidas (Nori et al. 2011).

Finalmente, la pérdida de neblina en los ecosistemas andinos incrementaría la vulnerabilidad de las especies de anuros al efecto de borde generado en los fragmentos remanentes (*sensu* Toral et al., 2002; Isaacs y Urbina-Cardona 2011).

De esta forma, el cambio climático no es el único factor que afecta la estructura, composición y funcionalidad de los ensamblajes de anfibios y reptiles; este, interactúa sinérgicamente con otros factores tales como enfermedades infecciosas emergentes (como el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis-Bd*; Ruiz y Rueda-Almonacid, 2008; Velásquez et al., 2008), liberación de contaminantes al medio (y su acumulación en las cadenas tróficas; Crump, 2003), sobreexplotación por tráfico ilegal (Rueda, 1999), la invasión biológica potencial de por lo menos 274 especies de plantas y 286 de fauna (Baptiste et al., 2010) y cambios en el uso del suelo (Marsh y Pearman, 1997; Osorno, 1999; Schlaepfer y Gavin, 2001; Urbina-Cardona y Pérez-Torres, 2002; Toral et al., 2002, Cortes et al., 2008, Isaacs y Urbina-Cardona, 2011). Así mismo se han reportado algunas interacciones sinérgicas entre: (a) el cambio climático y la infección de anfibios andinos por *Bd* (Seimon et al., 2007), (b) la diseminación mundial de *Bd* por el comercio de la especie invasora *L. catesbeianus* (Mazzoni et al., 2003), (c) la pérdida y fragmentación del hábitat con el *Bd* (Becker y Zamudio 2011), y (d) la relación entre la infección de *Bd* en *Atelopus* spp. y algunas variables socioeconómicas (producto interno bruto, tamaño poblacional y producción de banano y cerveza; Rohr et al. 2008). Así mismo, la pérdida de hábitat en los fragmentos de vegetación natural remanente podría estar reduciendo la calidad del hábitat donde una especie podría buscar refugio ante cambios microclimáticos, dándose una sinergia entre la pérdida, fragmentación y degradación de los ambientes, con el cambio climático. De esta manera, las actividades antropogénicas interactúan

El cambio climático puede llegar a tener impactos severos en los ecosistemas andinos al generar cambios en las zonas de vida de la vegetación, incrementar la vulnerabilidad de los bosques a incendios, plagas, especies invasoras y mayor presión de deforestación por establecimiento de sistemas productivos con un manejo intensivo (Serreze, 2009).

sinérgicamente con el cambio climático afectando directamente a los ensamblajes de especies (e.g. estructura, composición, diversidad, interacciones bióticas, diversidad genética) y la calidad de su hábitat, e indirectamente su función en el ecosistema, amenazando la provisión de bienes y servicios para la humanidad (Figura 1).

### DIVERSIDAD DE ANFIBIOS Y REPTILES ANDINOS

Colombia alberga el 14% de la biodiversidad del planeta en tan solo el 0.77% de la superficie continental (MAVDT, 2010). Actualmente, Colombia cuenta con el 11.8% (754 especies; Bernal y Lynch, 2008) de anfibios y el 7% (626 especies) de reptiles mundiales (MAVDT, 2010), ocupando el primer y tercer lugar en el mundo, respectivamente. A pesar que la mayor biodiversidad colombiana se concentra en las zonas de piedemonte llanero y estribaciones inferiores de las cordilleras, la biodiversidad de los bosques de montaña presenta alto grado de endemismos (Hernández-Camacho *et al.*, 1992). Esto puede ser debido a que los vertebrados ectotérmicos (e.g. anfibios y reptiles) tropicales se encuentran más especializados en las zonas montañosas (Laurance *et al.*, 2011).

Para la región paramuna de Colombia se han reportado 15 especies de reptiles con altos grados de endemismo en la Sierra Nevada de Santa Marta (Magdalena), Totoro (Cauca), el Cocoy y Chita (Boyaca) (Castaño *et al.*, 2000). Para el caso de los anfibios de Páramo, a nivel nacional se reportan 90 especies cuyo endemismo varía acorde con la cadena montañosa estudiada (Tabla 1).

Dado el alto grado de endemismos de anfibios y reptiles en la región andina, ésta presenta la mayor diversidad nacional, con el 53% del total de especies nacionales de herpetofauna (Romero *et al.*, 2008). Los patrones en los gradientes de la

diversidad anfibia Andina en Colombia se resumen en una reducción en la diversidad relacionada con la latitud y una reducción paralela o equivalente relacionada con la altitud (Lynch, 1986; Navas, 2003) por lo cual el recambio altitudinal de especies es rápido en los trópicos (Ghalambor *et al.*, 2005). Debido a que los ambientes andinos y paramunos son de reciente formación, Lynch (1999), planteó la hipótesis de que la herpetofauna de tierras altas es derivada de las tierras bajas. Esta hipótesis contrasta con Santos y colaboradores (2009), quienes proponen que los Andes tropicales fueron la mayor fuente de dispersión de especies de anfibios hacia tierras bajas derivando en parte la actual anfibiofauna de la Amazonia (Santos *et al.*, 2009). Entender el origen y dispersión de las especies de anfibios y reptiles es un factor clave para interpretar sus posibles respuestas al cambio climático.

A pesar de la incertidumbre acerca del origen de la fauna de anfibios de los Andes, se han definido para Colombia cuatro unidades ecogeográficas Andinas (Sierra Nevada de Santa Martha, Cordillera Occidental, Cordillera Oriental y Cordillera Central incluyendo el Macizo Colombiano) en las cuales los anfibios se distribuyen a lo largo de la amplia extensión de los páramos en las cordilleras Oriental y Central con alto grado de afinidad entre dos agrupaciones de páramos (Cundinamarca/Sur de Boyacá y Pisba/Santanderes) y el gran continuo de paramos del Macizo Colombiano (Lynch *et al.*, 1997). En contraste, los páramos de la cordillera Occidental presentan una distribución tipo archipiélago, con pequeños "fragmentos" de páramo y una gran porción aislada en la Sierra Nevada de Santa Martha (Lynch *et al.*, 1997). En estas regiones se han encontrado clados de anfibios microendémicos a los paramos con alto grado de especialización a ambientes de alta montaña (Navas, 2005). Lynch y Suárez-Mayorga (2002) sugieren que la distribución de los anfibios propios de páramo no se

ve afectada por la temperatura, ni la humedad relativa, ni la disponibilidad de cuerpos de agua para reproducción (70% de las especies presentan desarrollo directo). En ese sentido, es posible que sean las variables estructurales de la vegetación las que estén determinando la distribución de las especies a lo largo de los gradientes de hábitat (Urbina-Cardona y Pérez-Torres, 2002; Urbina-Cardona *et al.*, 2006; Isaacs y Urbina-Cardona, 2011).

Recientemente se ha determinado que la Región Andina de Colombia alberga 396 especies de anuros (Bernal y Lynch, 2008) y 277 especies de reptiles (Romero *et al.*, 2008), siendo la cordillera Oriental la que mayor cantidad de endemismos de anfibios presenta y la cordillera Central la de mayor riqueza con mayor similitud de la anfibiofauna con la cordillera Occidental (Bernal y Lynch, 2008). Específicamente el bioma de Páramo alberga tan solo 39 especies de anfibios posiblemente porque se reduce la variedad de modos reproductivos (huevos terrestres con desarrollo directo; huevos y larvas acuáticos; huevos desarrollados en el dorso de la hembra; huevos terrestres y larvas llevados en el dorso del macho para ser desarrollados en el agua; huevos depositados en las hojas y larvas acuáticas) que pueden sobrevivir en este ambiente al experimentar cambios climáticos circadianos extremos (Lynch y Suárez-Mayorga, 2002) afectando a través del pH del agua y la intensidad de rayos UV, el desarrollo del embrión (Navas, 2005).

### AMENAZAS A LA HERPETOFAUNA ANDINA EN COLOMBIA

Los andes tropicales de Colombia cubren el 24.5% del país en un gradiente que va desde el piedemonte a los 4000msnm (Romero *et al.*, 2008). La región andina colombiana se encuentra protegida en un 8.4% por algún área del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Morales, 2007) y específicamente

**Tabla 1.** Porcentaje de endemismo de anfibios en los páramos de Colombia.

Ámbito geográfico	Porcentaje de endemismo (%)
Nacional	55 <sup>a</sup>
Sierra Nevada de Santa Marta	100 <sup>b</sup>
Cordillera Central	80 <sup>b</sup>
Cordillera Oriental	94 <sup>b</sup>
Macizo Central	62 <sup>b</sup>
Cordillera Occidental	66 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Romero *et al.*, 2008; <sup>b</sup>Ardila y Acosta, 2000.

el bosque andino y subandino se encuentran protegidos en un 4.5 y 6.4%, respectivamente (Armenteras *et al.*, 2003). Así mismo se estima que el 34.9% de la superficie total de paramos de Colombia se encuentra representada en algún área natural protegida (MAVDT, 2010). Estas cifras son poco alentadoras teniendo en cuenta que hasta el momento se estima que se han eliminado, en promedio, el 38% de los ecosistemas naturales de Colombia (MAVDT, 2010). La transformación de miles de hectáreas de bosques naturales puede tener una fuerte incidencia en los regímenes hidrológicos y climáticos del país (Márquez, 2001). Dado que el gradiente altitudinal de bosques altoandinos- andinos-subandinos capta, regula y provee la oferta hídrica superficial del país; la deforestación de estos ecosistemas reduce la interceptación de agua lluvia, lo cual incrementa la escorrentía y disminuye la evaporación, aumentando el riesgo de crecientes durante las épocas de lluvia y de sequía en las de estiaje (Márquez, 2001). Al cambiar las tasas de evaporación y de transpiración,

los balances térmicos también se vuelven extremos e irregulares (e.g. relación entre períodos secos/húmedos y cálidos/fríos). Esta situación, en escenarios de cambio climático de aumento de temperatura (entre 1-3 °C) puede ser más crítica dado que se estima que para el año 2030, habrán desaparecido los glaciares y para el año 2050 el 56% de los páramos de Colombia (Pabón, 2003).

En la actualidad, la diversidad de anfibios de Colombia se encuentra críticamente amenazada llegando al punto de ocupar el primer puesto mundial con 261 especies categorizadas en algún tipo de vulnerabilidad a la extinción (26 géneros de los cuales los más amenazados son *Pristimantis*, *Atelopus*, *Cochranella*, *Centrolene*, *Espadarana*, *Nymphargus*, *Rulyrana* y *Hyalinobatrachium*). Así mismo, a partir de la evaluación por expertos se determinó que por lo menos 130 especies quedaron categorizadas como con datos deficientes (DD) debido a que hace falta incrementar el grado de conocimiento de su historia natural para poder conocer su grado de vulnerabilidad. Si se tiene en cuenta que la mayoría de las especies DD son raras (*sensu* de distribución restringida y con tamaños poblacionales pequeños) y el 70% pertenecen a géneros poco estudiados (*Pristimantis*, *Hyloxalus*, *Caecilia*, *Cochranella*, *Centrolene*, *Espadarana*, *Nymphargus*, *Rulyrana* y *Hyalinobatrachium*) en su historia natural; es muy posible que en la medida que aumenten los estudios ecológicos de la herpetofauna colombiana, el número de especies amenazadas aumente exponencialmente. Por ello es necesario recategorizar a los anfibios para incluir la información poblacional y de distribución generada en los últimos 7 años (desde Rueda-Almonacid *et al.*, 2004). Un fenómeno similar sucede con los reptiles, los cuales hasta el momento no han sido siquiera categorizados para conocer su estatus de amenaza, exceptuando por 25 especies carismáticas y bien conocidas dentro del grupo de las tortugas y los

cocodrilos (Castaño-Mora, 2002). Se esperaría que los reptiles, dentro del grupo de los pequeños lagartos y serpientes, tengan un número similar de especies en peligro debido a la sobrexplotación, la pérdida de hábitat, el cambio climático global y la eliminación de individuos por la aversión de las comunidades humanas rurales (Urbina-Cardona, 2008). En la actualidad ya se ha demostrado el declive de poblaciones de serpientes y pequeños lagartos en algunos lugares (Pounds *et al.*, 1999; 2005; Reading *et al.*, 2010; Sinervo *et al.*, 2010). Son necesarios más estudios en campo para determinar la vulnerabilidad de este grupo ante cambios de uso del suelo como la fragmentación del hábitat (Gardner *et al.*, 2007), y entender la respuesta de las especies a los gradientes microclimáticos, enfermedades emergentes y pérdida de la diversidad genética como factores que podrían reducir la dispersión altitudinal de las especies en escenarios de cambio climático (Urbina-Cardona *et al.*, 2011).

### CAMBIO CLIMATICO Y HERPETOFAUNA ANDINA

Las especies y los ecosistemas son la base en la que depende la vida humana para el desarrollo de actividades productivas de los bosques, la pesca, y los cultivos agrícolas. El cambio climático ya ha afectado a los ecosistemas (naturales y antropogénicos) por lo que es requerida una mayor protección y gestión de los recursos biológicos como estrategia de mitigación y adaptación de las naciones al cambio climático (World Bank, 2008). En Colombia la pérdida de glaciares y paramos generaría una crisis alimentaria y de agua dado que el 50% de la población colombiana vive en áreas montañosas y la agricultura depende de los regímenes hídricos (Pabón, 2003). Sin mencionar otros servicios ecosistémicos que se perderían a causa de la extinción de especies amenazadas, endémicas y predadores tope.

Los ambientes montanos del Neotropico han sido históricamente poblados debido a la abundancia del agua y la fertilidad del suelo, generando perturbación antropogénica en los hábitats nativos (Williams-Linera, 2007). Colombia cuenta con uno de los mayores gradientes altitudinales siendo el pico Simon Bolívar en la Sierra Nevada de Santa Marta el mayor a nivel mundial (de 0 a 5775 msnm). Sin embargo, estos gradientes altitudinales, que determinan el recambio natural de especies (diversidad beta) y algunos flujos ecosistémicos (*sensu* flujos topológicos y corológicos: van Wyngaarden y Fandiño-Lozano, 2005), han sido interrumpidos por la deforestación. En los Andes colombianos se ha reportado que la superficie actual de los ecosistemas naturales es de solo el 38.2% de la cobertura original debido al cambio antropogénico el uso del suelo (Rodríguez *et al.*, 2006). En un escenarios de cambio climático de ascenso o reducción de zonas bioclimáticas (Serrano *et al.*, 2008) donde la biodiversidad tiende a incrementar sus rangos altitudinales y colonizar tierras altas (Seimon *et al.*, 2007), la interrupción de las dinámicas y movimientos de la herpetofauna entre tipos de vegetación (e.g. migraciones altitudinales; Pounds *et al.*, 1999) o tipos de hábitat para su reproducción (*sensu* habitat split; Becker *et al.*, 2007), incrementa la vulnerabilidad de las especies a la extinción. Este fenómeno puede ser especialmente crítico en los Andes Tropicales donde la fauna anura ha tendido a restringir evolutivamente los rangos altitudinales de distribución a menos de 500 m de altitud (Bernal y Lynch, 2008) mientras que el hongo Quitridio que amenaza a los anfibios montanos, aumenta su rango altitudinal (hasta 5348 msnm) debido al derretimiento de las nieves perpetuas por el cambio climático (Seimon *et al.*, 2007). Específicamente para Colombia el hongo quitridio ha sido detectado para el Valle del Cauca (Velásquez *et al.*, 2008), Cundinamarca y Santander (Ruiz y Rueda-Almonacid, 2008), Boyacá,

Cundinamarca y Meta (Quintero-Marín, 2008) y en el PNN isla Gorgona (Flechas *et al.*, 2010).

Así mismo aquellas especies (raras o endémicas) incapaces de tolerar los efectos de borde y dispersarse a través de la matriz antropogénica (Gascon *et al.*, 1999; Urbina-Cardona *et al.*, 2006; Santos-Barrera y Urbina-Cardona, 2011) quedarán aisladas en los fragmentos de vegetación natural y su supervivencia estará sujeta a los cambios microclimáticos y estructurales en los últimos relictos de su hábitat. Al interior de los fragmentos de bosque remanente se puede presentar una cascada de efectos negativos sobre la biodiversidad asociados con las variables ambientales y microclimáticas (*sensu* Urbina-Cardona *et al.*, 2006). Por ello es necesario manejar las matrices antropogénicas (arreglos agroforestales y silviculturales, cercas vivas, labranza mínima, entre otras herramientas del paisaje Lozano-Zambrano 2009) y generar zonas de amortiguación de áreas núcleo para incrementar la permeabilidad del paisaje y la calidad de hábitat en los fragmentos (Urbina-Cardona *et al.*, 2011).

Pounds y colaboradores (1997; 1999; 2005) reporta que la desaparición masiva de lagartijas y anuros de los bosques nublados de Costa Rica debido al incremento de días secos y los cambios en la frecuencia de inmersión de la neblina. Esto puede ser debido a que los anfibios que usan las epifitas en ambientes montanos (para depositar huevos, refugiarse, forrajear, entre otras actividades), son más vulnerables al cambio climático en el momento que se reduce la oferta de hábitat para los musgos, líquenes y hepáticas, alterando el ciclo de vida del dosel (Foster, 2001). 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. Se requiere

determinar el grado de establecimiento, éxito reproductivo y variabilidad genética en estos nuevos hábitats colonizados. Por ello la adaptación de las especies al cambio climático en ambientes andinos dependerá de su viabilidad genética, sus tolerancias ecofisiológicas y de su capacidad de migración y dispersión. Los anfibios y reptiles, como grupo, son sensibles al cambio climático pero a través de diferentes mecanismos que incluyen efectos indirectos mediados a través de interacciones ecológicas (Pounds et al., 2005). La sensibilidad de los anfibios a los cambios en el clima a escala microclimática, local y regional puede ser debida a (Donnelly y Crump, 1998; Foster, 2001):

en la capa de hojarasca, y desaparición de epifitas en el bosque)

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 (e.g. altitudinales), con el fin 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 (*sensu* Urbina-Cardona et al., 2006) que no pueden migrar en busca de nue-

Solo manteniendo y restaurando grandes masas de bosque que almacenen carbono, mejorando la gestión para un uso adecuado del suelo y el agua, y conservando y conectando áreas naturales a lo largo de gradientes altitudinales, se podrá contribuir a la adaptación al cambio climático en la región Andina (World Bank, 2008).

1. La vulnerabilidad a la desecación por poseer piel y huevos permeables
2. Pérdida de energía para actividades reproductivas
3. Supresión del sistema inmunológico
4. Incremento a la vulnerabilidad a virus (e.g. ranavirus), hongos (Bd) y parásitos
5. Reducción de la oferta de alimento (e.g. artrópodos)
6. Reducción de calidad del hábitat y microhábitats adecuados para su persistencia (e.g. desecación de cuerpos de agua, pérdida de humedad

vas áreas a colonizar. Sin embargo, estas estrategias deben controlar la invasión de especies, la dispersión de enfermedades emergentes y la propagación de incendios en hábitats naturales estimulados por el calentamiento global (Urbina-Cardona, 2008; Urbina-Cardona et al., 2011). Solo manteniendo y restaurando grandes masas de bosque que almacenen carbono, mejorando la gestión para un uso adecuado del suelo y el agua, y conservando y conectando áreas naturales a lo largo de gradientes altitudinales, se podrá contribuir a la adaptación al cambio climático en la región Andina (World Bank, 2008).

Hasta el momento se han identificado algunos géneros de anfibios (*Pleuroderma*, *Rhinella*, *Telmatobius*) que han aumentado su rango altitudinal, aprovechando los nuevos microhábitats de alta montaña generados por los deshielos de los glaciales (Seimon et al. 2007). El cambio altitudinal en el ámbito de distribución de las especies puede llegar a ser especialmente crítica en Colombia, donde la temperatura promedio de la superficie se ha incrementado en 0.65°C generando el derretimiento anual de entre 10 a 20m de glaciales (Costa-Posada, 2007). Si bien en los ecosistemas de páramo, las especies de anfibios se han adaptado a amplios rangos diarios de temperatura causados por los ciclos circadianos de alta montaña (0°C a 40°C) a través de estrategias de comportamiento como la termorregulación heliotérmica y uso de sustratos como refugios (Urbina-Cardona et al., 2011), las estrategias ecofisiológicas para evitar o tolerar el congelamiento (e.g. proyectar el agua a la periferia para que se congele y dejar en el centro las vísceras, aisladas del frío extremo o el incremento repentino en los niveles de glucosa; Navas, 2005; 2007) pueden no ser suficientes si los patrones de precipitación se reducen dramáticamente aunado a las enfermedades emergentes, la colonización de especies invasoras y los procesos subyacentes a la pérdida, fragmentación y degradación de los ecosistemas.

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 hacen difícil evidenciar un patrón altitudinal claro (Colwell et al. 2008). Una revisión reciente de estudios acerca de gradientes altitudinales y cambio climático llegó a la conclusión de que las especies tropicales con rangos de distribución altitudinales estrechos, pueden ser térmicamente especializados y por consiguiente más

vulnerables al cambio climático (Laurance et al., 2011). Este patrón fue comprobado en Costa Rica, donde se ha reportado que algunas lagartijas del género *Anolis* (*A. tropidolepis* y *A. altae*) que poseen rangos altitudinales reducidos y que poseen rangos altitudinales reducidos, y habitan tierras altas, han desaparecido; mientras que *A. intermedius*, la cual habita en un gradiente altitudinal mas amplio y que incluye tierras bajas, aun sobrevive (Pounds et al., 1999; 2005). En contraste, Sinervo y colaboradores (2010) encontraron que, en México, las lagartijas del género *Sceloporus* que habitan tierras bajas presentan mayor riesgo de extinción que las especies de tierras altas debido a sus características fisiológicas. Esto podría ser debido a que muchas especies de tierras bajas viven cerca del óptimo térmico de sus nichos (climáticos) fundamentales (Colwell et al., 2008).

La distribución altitudinal de los anfibios andinos colombianos demuestra que la mayoría de las especies tienen rangos estrechos de altitud (menores de 500 m), y sólo unas pocas especies poseen amplia distribución altitudinal (Bernal y Lynch, 2008). Por otra parte, las especies de tierras bajas tienen rangos altitudinales más amplios que las especies de altura (Bernal y Lynch, 2008). Siguiendo la hipótesis de Pounds y colaboradores (1999) y Laurance y colaboradores (2011) las especies de anfibios y reptiles con mayor vulnerabilidad al cambio climático en Colombia serían aquellas que habitan ambientes andinos y presentan rangos altitudinales estrechos.

Los estudios anteriores develan una pregunta de investigación: ¿Cuáles son los factores que pueden hacer que una especie pueda cambiar rápidamente (*sensu* en tiempo ecológico) su rango de distribución altitudinal y sobrevivir en el ambiente colonizado?. Para abordar esta pregunta es necesario considerar aspectos ecofisiológicos (e.g. adaptación al clima extremo de la alta

montaña sobreviviendo incluso al congelamiento), etológicos (e.g. capacidad de desplazamiento), tolerancia a ambientes antropogénicos, plasticidad reproductiva (e.g. selección de nidadas o sitios de reproducción) e interacciones inter e intraespecíficas (e.g. competencia, depredación, parasitismo), entre otros aspectos.

En respuesta a los cambios climáticos, las especies de anfibios y reptiles andinos pueden responder, según la plasticidad fenotípica o la adaptación evolutiva (*sensu* Seimon *et al.*, 2007), de la siguiente manera:

- Adaptándose y generando una respuesta plástica (e.g. cambios comportamentales, incremento en la abundancia, entre otros) a los nuevos cambios en el clima local.
- Cambiando de distribución geográfica hacia las tierras altas para compensar el incremento de temperatura en el microhábitat.
- Siendo extirpada localmente ante la intolerancia al nuevo microclima y la imposibilidad de dispersarse (e.g. incapacidad de atravesar la matriz antropogénica) para encontrar un nicho ecológico adecuado para la persistencia de las poblaciones.

Dado que muchas especies de anuros en peligro de extinción tienen la mayor proporción de su distribución fuera de las áreas protegidas (Urbina-Cardona y Loyola, 2008) y que la fragmentación de hábitat limita la variabilidad genética de las especies (Saunders *et al.*, 1991) es de esperarse que la tercera respuesta planteada sea el futuro para las especies sensibles a la pérdida y fragmentación del hábitat y los efectos de borde. Por ello es indispensable aumentar la representatividad de especies y ecosistemas en las redes de áreas de conservación complementando el sistema de áreas naturales protegidas del orden nacional, local y regional, con las reservas de la sociedad civil (*sensu* Ochoa-Ochoa *et al.*, 2009). Las áreas protegidas

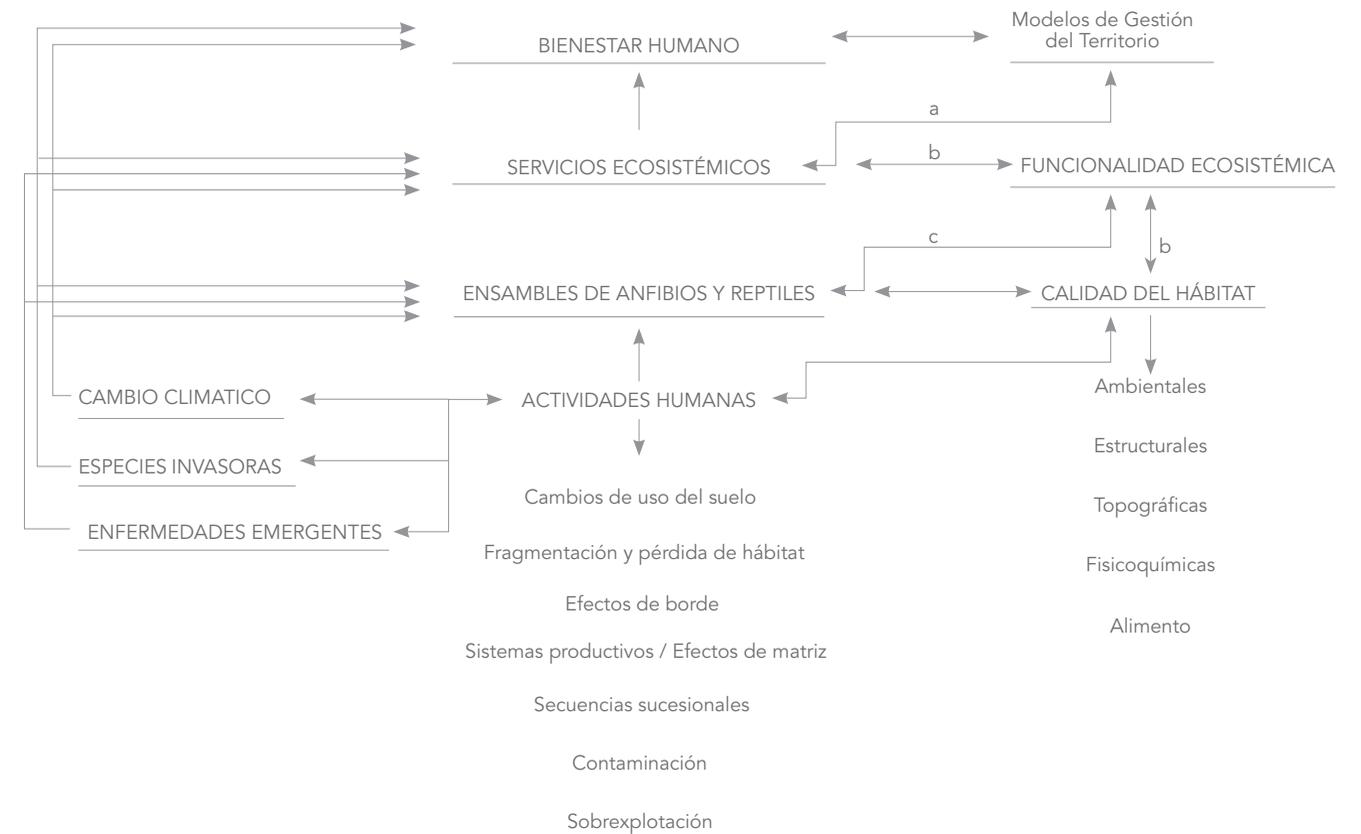
y los ecosistemas naturales que albergan pueden proteger las cuencas hidrográficas y regular el flujo del agua, evitar la erosión del suelo, influir en los regímenes de lluvias y clima local, conservar los recursos renovables de explotación y proteger a las poblaciones fuente y especies esenciales en la polinización de plantas y dispersión de semillas que mantengan la salud de los ecosistemas (World Bank, 2008).

Es prioritario profundizar en algunas líneas de investigación y tomar acciones tales como:

- Generación de un análisis de vacíos y omisiones de conservación en especies (amenazadas y endémicas) y ecosistemas de la región.
- Identificación de amenazas y vulnerabilidades sobre especies y ecosistemas para priorizar nuevas áreas de conservación.

Priorización e implementación de áreas de conservación que permita aumentar la conectividad altitudinal entre ecosistemas naturales como estrategia de adaptación al cambio climático para la herpetofauna. Entendimiento de las funciones ecosistémicas que presta la herpetofauna en los lugares que habita (e.g. control de plagas, bioturbación en sistemas acuáticos, transporte de materia y energía entre ambientes acuáticos y terrestres, control de los ensamblajes de especies descomponedoras y detritívoras en el suelo del bosque) y su relación con la capacidad de resiliencia ecosistémica al cambio climático.

Complemento del manejo de los paisajes antropogénicos con agricultura sostenible (e.g. labranza mínima con máxima cobertura y uso eficiente del agua) y el incremento de la conectividad con esquemas de pago por servicios ambientales (e.g. MDL forestal, PSA hídrico) y restauración de áreas de amortiguación de áreas naturales protegidas y herramientas de manejo para la conservación de la biodiversidad en paisajes rurales (Lozano-Zambrano 2009).



**Figura 1.** Diagrama conceptual simplificado de los factores exógenos que amenazan la supervivencia de la herpetofauna, la funcionalidad ecosistémica y la prestación de servicios en el territorio. a. unidades (espaciales) prestadoras de servicios ecosistémicos; b. resiliencia ecológica; c. diversidad funcional.

Sin embargo para poder generar una línea base de investigación, es necesario contar con información de la mejor precisión posible a nivel de detalle y escala para poder tener herramientas robustas en los planes de adaptación a cambio climático. A continuación se identifican algunos requerimientos de insumos básicos para generar una línea base adecuada:

Reducir la incertidumbre de los escenarios a partir de la generación de modelos climáticos locales a escalas finas (menores a 1:25000).

Categorización de la amenaza y modelos de distribución de anfibios y reptiles andinos en escenarios de cambio climático.

Modelado de caudales en cuencas con base en patrones de cambios de uso del suelo, crecimiento humano y construcción de infraestructura.

Identificación de patrones de respuesta de especies a la fragmentación de hábitat, invasión de especies, contaminación, y enfermedades emergentes.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ardila, M.C. y A.R. Acosta. 2000. Anfibios. p. 617-628. En: Rangel-Ch, O. (ed.). Colombia Diversidad Biotica III: La región paramuna de Colombia. UNAL, IAvH.
2. Armenteras, D., F. Gast y H. Villareal. 2003. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation* 113:245–256.
3. Baptiste M.P., N. Castaño, D. Cárdenas, F.P. Gutiérrez, D.L. Gil y C.A. Lasso. 2010. Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 200 p.
4. Becker, C., C. Fonseca, C. Baptista, R. Baptista y P. Prado. 2007. Habitat Split and the Global Decline of Amphibians. *Science*. 318: 1775-1777.
5. Bernal, M.H. y J.D. Lynch. 2008. Review and Analysis of Altitudinal Distribution of the Andean Anurans in Colombia. *Zootaxa* 1826: 1–25.
6. Becker C.G. y K.R. Zamudio. 2011. Tropical amphibian populations experience higher disease risk in natural habitats. *PNAS* 108(24): 9893–9898
7. Castaño, O., E. Hernández y G. Cárdenas. 2000. Reptiles. p. 612-616. En: Rangel-Ch, O. (ed.). Colombia Diversidad Biotica III: La región paramuna de Colombia. UNAL, IAvH.
8. Castaño-Mora O.V. (Ed.) 2002. Libros rojos de reptiles de Colombia. Libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales – Universidad nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Conservación Internacional – Colombia, Bogotá, D. C. Colombia.
9. Colwell, R.K., G. Brehm, C.L. Cardelús, A.C. Gilman y J.T. Longino. 2008. Global Warming, Elevational Range Shifts, and Lowland Biotic Attrition in the Wet Tropics. *Science* 322:258-261.
10. Cortés, A.M., M.P. Ramírez-Pinilla, H.A. Suárez y E. Tovar. 2008. Edge effects on richness, abundance and diversity of frogs in andean cloud forest fragments. *South American Journal of Herpetology* 3(3): 213-222.
11. Costa-Posada, C. 2007. La adaptación al cambio climático en Colombia. *Revista de ingeniería* 26: <http://revistaing.uniandes.edu.co/index.php?idr=28&ids=42&ida=370>
12. Crump, M.L. 2003. Conservation of amphibians in the New World tropics. P. 53–69. En: Semlitsch, R.D. (Ed.), *Amphibian Conservation*. Smithsonian Institution, USA.
13. Donnelly, M.A. y M.L. Crump. 1998. Potential effects of climate change on two neotropical amphibian assemblages. *Clim. Change* 39:541–561.
14. Flechas, S.V., E. Medina, A. Crawford, C. Silva, G. Corredor, S. Restrepo, M. Cárdenas y A. Amezcua. 2010. Interacciones rana - quitridio en especies colombianas: más allá de la prueba diagnóstica. En: Asociación Colombiana de Zoología. 2010. Creando un clima para el cambio: La biodiversidad, servicios para la humanidad. III Congreso Colombiano de Zoología, Libro de resúmenes. Asociación Colombiana de Zoología. Pp. 41.
15. Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55:73–106.
16. Ghalambor, C.K., R.B. Huey, P.R. Martin, J.J. Tewksbury y G. Wang. 2005. Are mountain passes higher in the tropics?. *Janzen's hypothesis revisited. Integrative and Comparative Biology* 46: 5–17.
17. Gardner, T.A., J. Barlow y C.A. Peres. 2007. Paradox, presumption and pitfalls in conservation biology: The importance of habitat change for amphibians and reptiles. *Biological Conservation* 138:166-179.
18. Gascon, C., T.E. Lovejoy, R.O. Bierregaard, J.R. Malcolm, P.C. Stouffer, P. Vasconcelos, W.F. Laurance, B. Zimmerman, M. Tocher y S. Borges. 1999. Matrix habitat and species persistence in tropical forest remnants. *Biological Conservation* 91: 223–229.
19. Hellmann, J.J., J.E. Byers, B.G. Bierwagen y J.S. Dukes. 2008. Five Potential Consequences of Climate Change for Invasive Species. *Conservation Biology* 22:534-543.
20. Hernández-Camacho, J., R. Ortiz-Quijano, T. Walschburger y A. Hurtado-Guerra 1992. Estado de la biodiversidad en Colombia. En: Halffter, G. (ed.) *La diversidad biológica de Iberoamerica I*. INECOL, México.
21. Isaacs, P. y J.N. Urbina-Cardona. Anthropogenic disturbance and edge effects on anuran ensembles inhabiting Cloud Forest fragments in Colombia. 2011. *Natureza e Conservação: Brazilian Journal of Nature Conservation* 9(1)39-46
22. Jacome, J. 2010. Respuestas de la vegetación al cambio climático. p. 53-64. En: Varela, A. (ed.) *Biodiversidad y Cambio Climático*. IDEAM, Proyecto INAP, Componente "B" Alta Montana - Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia.
23. Jarvis, A., E. Zapata, J. Ramirez y E. Guevara. 2010. Incremento en la presión sobre los ecosistemas altoandinos. p. 55-63. En: Franco-Vidal, L., A.M. Muñoz, G.I. Andrade y L.G. Naranjo. 2010. Experiencias de adaptación al cambio climático en ecosistemas de montaña en los Andes del Norte. *Memorias del taller regional*. Bogotá D.C. Febrero 19 y 20 de 2009. WWF, MAVDT, IDEAM y Fundación Humedales.
24. Laurance, W.F. et al. 2011. Global warming, elevational ranges and the vulnerability of tropical biota. *Biological Conservation* 144: 548–557.
25. Lynch, J.D. 1986. Origins of the high Andean herpetological fauna. p. 478-499. En: F. Vuilleumier and M. Monasterio (eds.). *High Altitude Tropical Biogeography*. Oxford University Press, Oxford.
26. Lozano-Zambrano, F.H. (ed). 2009. Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Bogotá, D. C., Colombia. 238 p.
27. Lynch, J.D. 1999. Ranas pequeñas, la geometría de evolución, y la especiación en los Andes colombianos. *Revista Acad. Colomb. Cienc.* 23(86): 143-159.
28. Lynch, J. D., P.M. Ruiz-Carranza y M.C. Ardila-Robayo. 1997. Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 21:237-248.
29. Lynch, J. y A. Suárez-Mayorga. 2002. Análisis Biogeográfico de los Anfibios Paramunos. *Caldasia* 24(2): 471-480.
30. Márquez, G. 2001. De la abundancia a la escasez: La transformación de ecosistemas en Colombia. En: Palacios, G (ed.), 2001. *La Naturaleza en Disputa*. Universidad Nacional de Colombia. UNIBIBLOS. Bogotá.
31. Marsh, D.M. y P.B. Pearman. 1997. The effects of habitat fragmentation on the abundance of two species of terrestrial leptodactylid frogs in an Andean montane forest. *Conservation Biology* 11: 1323–1328.
32. MAVDT, IDEAM, PNUD y GEF. 2010. Segunda

- Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. 447 p.
32. MAVDT, IDEAM y PNUD. 2001. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. 271 p.
33. MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Cuarto Informe Nacional ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica – República de Colombia. Bogotá, Colombia. 239 pp.
34. Mazzoni, R., A.A. Cunningham, P. Daszak, A. Apolo, E. Perdomo y G. Speranza. 2003. Emerging Pathogen of Wild Amphibians in Frogs (*Rana catesbeiana*) Farmed for International Trade. *Emerging Infectious Diseases* 9: 995-998.
35. Morales M. 2007. Representatividad Ecosistémica del Sistema de Parques Nacionales Naturales en los Andes Colombianos. En: Rodríguez N. y D. Armenteras (Eds). *Monitoreo de los ecosistemas andinos 1985/2005: síntesis y perspectivas*. Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. Colombia.
36. Naranjo, L.G., X. Barrera y C.F. Suarez. 2010. Adaptación al cambio climático en los Andes del Norte. p. 25-26. En: Franco-Vidal, L., A.M. Muñoz, G.I. Andrade y L.G.
37. Naranjo. 2010. Experiencias de adaptación al cambio climático en ecosistemas de montaña en los Andes del Norte. *Memorias del taller regional*. Bogotá D.C. Febrero 19 y 20 de 2009. WWF, MAVDT, IDEAM y Fundación Humedales.
38. Navas, C.A. 2003. Herpetological diversity along Andean elevational gradients: links with physiological ecology and evolutionary physiology. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 133: 469–485.
39. Navas, C.A. 2005. Patterns of distribution of anurans in high Andean tropical elevations: insights from integrating biogeography and evolutionary physiology. *Integrative and Comparative Biology* 46: 82–91.
40. Navas, C. A., y L. Otani. 2007. Physiology, environmental change, and anuran conservation. *Phyllomedusa* 6:83-103.
41. Nori J, J.N. Urbina-Cardona, R.D. Loyola, J.N. Lescano y G.C. Leynaud. 2011. Climate Change and American Bullfrog Invasion: What Could We Expect in South America? *PLoS ONE* 6(10): e25718.
42. Ochoa-Ochoa, L., J.N. Urbina-Cardona, O. Flores-Villela, L-B Vázquez y J. Bezaury-Creel. 2009. The role of land protection through governmental protected areas and social action in biodiversity conservation: the case of Mexican amphibians. *PLoS ONE*: 4(9): e6878.
43. Osorno, M., 1999. Evaluación del efecto de borde para poblaciones de *Eleutherodactylus viejas* (AMPHIBIA: ANURA: LEPTODACTYLIDAE), frente a corredores de servidumbre en diferente estado de regeneración, en dos bosques intervenidos por líneas de transmisión eléctrica de alta tensión. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (23): 347-356
44. Pabón J.D. 2003. El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Revista Cuadernos Geografía*, 12:111-119
45. Pounds, J.A., M.P.L. Fogden, J.M. Savage y G.C. Gorman. 1997. Tests of null models for amphibian declines on a tropical mountain. *Conserv. Biol.* 11:1307–1322.
46. Pounds, A.J., M.P.L. Fogden y J.H. Campbell. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398: 611–615.
47. Pounds, A.J. 2001. Climate and amphibian declines. *Nature* 410:639-640.
48. Pounds, J.A., M. P. L. Fogden y K. L. Masters. 2005. Responses of natural communities to climate change in a highland tropical forest. En: *Climate Change and Biodiversity*. Lovejoy, T.E. y L. Hanna (eds.). Yale Univ. Press, New Haven, U.S.A. pp. 70–74.
49. 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, Bogota. 27 p.
50. Rangel, O. 2000. Colombia. *Diversidad biótica III – La región de paramuna*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Unibiblios. p. 901.
51. Rangel-Ch, O. y H. Arellano. Bosques de Polylepis: un tipo de vegetación condenado a la extinción. p. 443-478. En: Rangel-Ch, O. 2010. *Colombia Diversidad Biótica X: Cambio global (natural) y climático (antrópico) en el paramo colombiano*. Instituto de Ciencias Naturales, UNAL, Bogotá – Colombia.
52. Reading, C.J., L.M. Luiselli, G.C. Akani, X. Bonnet, G. Amori, J.M. Ballouard, E. Filippi, G. Naulleau, D. Pearson y L. Rugiero. 2010. Are snake populations in widespread decline?. *Biol. Lett.* 6:777-780.
53. Rodríguez, N., D. Armenteras, M. Morales y M. Romero. 2006. *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Segunda edición. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, Alexander von Humboldt, Bogotá, D. C. Colombia. 154 p.
54. Rohr, J.R., T.R. Raffel, J.M. Romansic, H. McCallum y P.J. Hudson. 2008. Evaluating the links between climate, disease spread, and amphibian declines. *PNAS* 105: 17436–17441.
55. Romero, M.H., E. Cabrera y N. Ortiz. 2008. Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2006-2007. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 181 p.
56. Rueda Almonacid, J.V., J.D. Lynch y A. Amezcua. (eds). 2004. Libro rojo de anfibios de Colombia. Serie de Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Conservación Internacional Colombia, Instituto de Ciencias Naturales – Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, D. C. Colombia. 384 pp.
57. Rueda, J. V. 1999. Anfibios y reptiles amenazados de extinción en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (23): 475-497
58. Ruiz A. y J.V. Rueda-Almonacid. 2008. *Batrachochytrium dendrobatidis* and chytridiomycosis in anuran amphibians of Colombia. *EcoHealth* 5(1):27-33.
59. Santos, J.C., L.A. Coloma, K. Summers, J.P. Caldwell, R. Ree y D.C. Cannatella. 2009. Amazonian Amphibian Diversity Is Primarily Derived from Late Miocene Andean Lineages. *PLoS BIOLOGY* 7(3): e1000056. doi:10.1371/journal.pbio.1000056
60. Santos-Barrera, G. y J.N. Urbina-Cardona. 2011. The role of the matrix-edge dynamics of amphibian conservation in tropical montane fragmented landscapes. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(1):679-687.
61. Saunders, D., R. Hobbs y C. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5: 18–32.

62. Schlaepfer, M. y T. Gavin. 2001. Edge effects on lizards and frogs in tropical forest fragments. *Conservation Biology* 15(4): 1079-1090.
63. Seimon, T.A., A. Seimon, P. Daszak, S.R.P. Hallow, L.M. Schloegel, C.A. Aguilar, P. Sowell, A.D. Hyatt, B. Konecky y J.E. Simmons. 2007. Upward range extension of Andean anurans and chytridiomycosis to extreme elevations in response to tropical deglaciation. *Global Change Biology* 13: 288-299.
64. Serrano, C.C., A. Páez y L. Kolter. 2008. Situación de los páramos en Colombia frente a la actividad antrópica y el cambio climático. Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, Procuraduría General de la Nación. República de Colombia. 112 p.
65. Serreze, M.C. 2009. Understanding recent climate change. *Conservation Biology* 24:10-17.
66. Sinervo, B. et al. 2010. Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches. *Science* 328: 894-899.
67. Toral, E., P. Feinsinger y M.L. Crump. 2002. Frogs and cloud-forest edge in Ecuador. *Conservation Biology* 16(3): 735-744.
68. Urbina-Cardona, J.N. y J. Pérez-Torres. 2002. Dinámica y preferencias de microhábitat en dos especies del género *Eleutherodactylus* (Anura: Leptodactylidae) de Bosque Andino. p. 278-288. En: Jaramillo, C.A., C. Castaño-Urbe, F.A. Hincapie, J.V. Rodríguez, Y C.L. Duran (eds.). Libro del Congreso Mundial de Paramos. Tomo I.
69. Urbina-Cardona, J.N., M.Olivares-Pérez y V.H. Reynoso. 2006. Herpetofauna diversity and microenvironment correlates across the pasture-edge-interior gradient in tropical rainforest fragments in the region of Los Tuxtlas, Veracruz. *Biological Conservation* 132: 61-75.
70. Urbina-Cardona, J.N. 2008. Conservation of Neotropical herpetofauna: research trends and challenges. *Tropical Conservation Sciences Vol.1* (4):359-375.
71. Urbina-Cardona, J. N. y R.D. Loyola. 2008. Applying niche-based models to predict endangered-hylid potential distributions: are neotropical protected areas effective enough?. *Tropical Conservation Science Vol.1* (4):417-445.
72. Urbina-Cardona, J.N. y F. Castro. 2010. Distribución Actual y Futura de Anfibios y Reptiles con Potencial Invasor en Colombia: Una Aproximación Usando Modelos de Nicho Ecológico. Pp 65-72. En: Varela, A. (ed.) Biodiversidad y Cambio Climático. IDEAM, Proyecto INAP, Componente "B" Alta Montana - Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
73. Urbina-Cardona, J.N., P.A. Burrowes, M. Osorno, A.J. Crawford, J.A. Velasco, S.V. Flechas, F. Vargas-Salinas, V.F. Luna-Mora, C.A. Navas, M. Guayara-Barragán, F. Castro-Herrera, W. Bolívar-G y P.D. Gutiérrez-Cárdenas. 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. En: Asociación Colombiana de Zoología. 2011. Creando un clima para el cambio: La biodiversidad, servicios para la humanidad. III Congreso Colombiano de Zoología, Memorias. Asociación Colombiana de Zoología.
74. Velásquez, B.E., F. Castro-Herrera, W. Bolívar-G y M.I. Herrera-Montes. 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.
75. Van Der Hammen, T., J.H. Verner y H. Van Dommelen. 1973. Palynological record of the upheaval of the Northern Andes: A study of the Pliocene and lower Quaternary of the Colombian Eastern Cordillera and the early evolution of its High-Andean biota. *Rev. Palaeobot. Palynol* 16: 1-122.
76. Van Der Hammen, T. 1958. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes colombianos, Colombia. *Bol. Geol.* 6: 67-128.
77. van Wyngaarden, W. y M. Fandiño-Lozano. 2005. Mapping the actual and original distribution of the ecosystems and the chorological types for conservation planning in Colombia. *Diversity and Distributions* 11: 461 – 473.
78. Williams-Linera, G. 2007. El bosque de niebla del centro de Veracruz. ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. Xalapa, Veracruz, México. Instituto de Ecología. 204 p.
79. World Bank. 2008. Biodiversity, Climate Change, and Adaptation: Nature-Based Solutions from the World Bank Portfolio. The International Bank for Reconstruction and Development / THE WORLD BANK. Washington, DC USA.