

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Impactos potenciales del Cambio Climático en la biodiversidad
de ecosistemas de alta montaña o páramo de Ecuador**

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciada
en Ciencias Biológicas**

FLAVIA ALBÁN CORNEJO

Quito, 2015

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Impactos potenciales del Cambio Climático en la biodiversidad
de ecosistemas de alta montaña o páramo de Ecuador**

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciada
en Ciencias Biológicas**

FLAVIA ALBÁN CORNEJO

Quito, 2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Monografía de Licenciatura en Ciencias Biológicas, de la Sra. Flavia Albán Cornejo, ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Lcdo. Andrés Merino Viteri

Director de la Monografía

Quito, 26 de Febrero de 2015

TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
4. DESARROLLO TEÓRICO	6
4.1. Cambio climático	6
4.1.1. Definición y causas	6
4.1.2. Evidencias y efectos del Cambio Climático global	10
4.1.3. Cambio climático en América Latina y posibles escenarios para los ecosistemas alto-andinos de Ecuador	15
4.2. Caracterización de ecosistemas alto-andinos de Ecuador	21
4.3. Impactos del cambio climático en la biodiversidad de los ecosistemas alto-andinos en Ecuador	26
5. ESTUDIO DE CASOS: POTENCIALES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ANFIBIOS DE ECOSISTEMAS ALTO-ANDINOS DE ECUADOR	33
5.1. Especies seleccionadas para el estudio	35
5.1.1. Género <i>Gastrotheca</i>	36
5.1.2. Género <i>Pristimantis</i>	37
5.2. Potenciales Impactos del cambio climático	39
5.2.1. Aumento de la temperatura	39
5.2.2. Aumento de la precipitación	40
5.2.3. Cambios en los ciclos hídricos	40
5.2.4. Cambios en la cantidad y calidad de agua en humedales de altura	41
5.2.5. Disminución de la nubosidad y aumento de la insolación y por tanto de la exposición a radiación UV	42
5.2.6. Alteración del nicho ecológico	43
5.3. Posibles respuestas de los anfibios alto-andinos a los impactos del cambio climático	45
5.3.1. Especialización de nicho ecológico y distribución	45
5.3.2. Comparación de las estrategias reproductivas.....	47
5.3.3. Diversidad genética en relación con la capacidad de adaptación a condiciones ambientales cambiantes	51
5.3.4. Desplazamiento o cambio en el rango de distribución	53
5.3.5. Extinción	58
6. CONCLUSIONES	60
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
8. FIGURAS.....	77
9. TABLAS	82

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Escenarios de emisiones SRES, tomando en cuenta 4 factores: Gobierno y desarrollo económico, globalización vs. regionalización, desarrollo de tecnologías y consciencia ambiental.	77
FIGURA 2. <i>Gastrtheca pseustes</i>	78
FIGURA 3. <i>Gastrotheca espeletia</i>	78
FIGURA 4. <i>Pristimantis curtipes</i>	79
FIGURA 5. <i>Pristimantis ernesti</i>	79
FIGURA 6. Mapa de distribución de <i>Gastrotheca pseustes</i>	80
FIGURA 7. Mapa de distribución de <i>Gastrotheca espeletia</i>	80
FIGURA 8. Mapa de distribución de <i>Pristimantis curtipes</i>	81
FIGURA 9. Mapa de distribución de <i>Pristimantis ernesti</i>	81

1. RESUMEN

Los ecosistemas alto-andinos son de los más vulnerables del mundo ante el cambio climático. Varios estudios han observado los impactos en las poblaciones de anfibios de altura, como la extinción de *Atelopus ignescens*, al igual que otras especies alrededor del mundo. La diversidad y endemismo de anfibios alto-andinos es el resultado de su historia evolutiva que ha favorecido la divergencia de especies altamente especializadas a lo largo de la gradiente altitudinal, además se observa una marcada diferencia en biomas y composición de especies entre el norte y el sur. La comparación de dos grupos representativos de ranas alto-andinas, *Gastrotheca* y *Pristimantis*, en cuanto a las posibles respuestas al cambio climático muestra más riesgo para las de distribución restringida, especializadas al hábitat y con poco flujo genético entre sus poblaciones. Muchas de estas especies viven en remanentes de bosque amenazados por la actividad humana. Al comparar las estrategias de reproducción, se ve que las especies que necesitan agua para el desarrollo de los renacuajos por lo general tienen rangos más amplios de distribución, pero están más expuestas a contaminantes y patógenos; mientras que las especies de desarrollo directo, son muy sensibles a la humedad ambiental durante su desarrollo embrionario. Se puede predecir la expansión, de algunas especies de distribución amplia y más tolerantes a alteraciones de hábitat; esto las hace buenos competidores y podrían desplazar a otras. Disminuciones drásticas de poblaciones con potencial de extinción se pueden dar por la interacción entre patógenos, el cambio climático y la reducción de hábitat.

Palabras clave: Andes, Cambio Climático, *Gastrotheca*, *Pristimantis*, Ranas.

2. ABSTRACT

High Andean ecosystems are considered among the most vulnerable to Climate Change in the world. Several studies have shown that climate change is threatening amphibian populations in the Andes, the extinction of *Atelopus ignescens*, as well as other species around the world is just an evidence of the problem. The huge diversity and endemism of Andean amphibians is the result of their evolutionary history that let highly specialized species diverge along the altitudinal gradient. Furthermore there is a clear pattern of separation between the North and the South biomes in the Ecuador high Andes. The comparison of two representative groups of amphibians in these ecosystems, *Gastrotheca* and *Pristimantis*, regarding the possible responses to Climate Change show more risk for those with restricted distribution, habitat specialization and low gene flow among their populations. Most of these species live in forest remnants already threatened by human activity. Comparison of reproductive strategies show that species needing water for their development as tadpoles usually have larger distribution areas, but are more exposed to pollution and pathogens; meanwhile direct developing species are very sensitive to environmental humidity during early embryonic development, thus they are vulnerable to precipitation fluctuations. Expansion of some species distribution can be predicted, mainly for those with wider homeostatic tolerance as well as to habitat disruption, they are good competitors that could displace other species. Drastic population crashes leading to extinction risk could arise due to the interaction of pathogens, climate change and habitat fragmentation.

Keywords: Andes, Climate Change, Frogs, *Gastrotheca*, *Pristimantis*.

3. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se refiere a la serie de alteraciones en los patrones de distribución del clima en períodos largos de tiempo, que incluyen aumento en la temperatura, cambios en los ciclos de precipitación y en los fenómenos climáticos extremos, cuya causa principal es la actividad humana, a diferencia de la variabilidad climática observable a lo largo del tiempo debida a causas naturales.

Los informes del IPCC (2007; 2014) muestran con suficiente evidencia científica que el cambio climático se debe al incremento de concentración de gases de efecto invernadero, principalmente CO₂, CH₄ y NO₂ producidos por actividades humanas ya sea por uso de combustibles fósiles o por alteración de la cubierta vegetal. La concentración de estos gases ha incrementado en niveles extremadamente altos, especialmente a partir de 1970, superando por mucho todos los registros históricos de los últimos milenios. De acuerdo a las proyecciones hechas en base a diferentes modelos posibles de desarrollo, estos procesos continuarán de manera severa, generalizada e irreversible.

Los ecosistemas alto-andinos están considerados entre los más vulnerables del mundo ante los cambios climáticos. Una de las razones para esta consideración es su alta diversidad, además de ser importantes reservas de recursos hídricos. Los páramos ecuatorianos presentan una alta diversidad comparada con otros ecosistemas de montaña del mundo, por ejemplo albergan el 10% de la flora de Ecuador (Cuesta *et al.*, 2012; León-Yáñez, 2000).

Los reportes del IPCC, proyectan para esta región un incremento de temperatura de 3°C (+/- 1,5°C) hasta el año 2100. Las zonas altas de los Andes

serán las más afectadas, de acuerdo a modelos climáticos regionales, el aumento será aún mayor; de hasta 4 o 5°C en los Andes tropicales de Ecuador y Colombia. Los patrones de cambio en la precipitación presentan más incertidumbre, pero se cree que puede haber un incremento de hasta 300 mm/año en los Andes de Ecuador (Bradley *et al.*, 2006, citado por Rabatel *et al.*, 2013).

En Ecuador, igual que en el resto de Sudamérica, las zonas altas de montaña, páramos y flancos de la cordillera están cada vez más amenazados por el crecimiento poblacional que lleva a la expansión de la agricultura y ganadería en tierras marginales, deforestación y pérdida de cobertura vegetal.

Los estudios de la situación del cambio climático en Ecuador han sido abundantes en los últimos años, sobre todo en relación a los recursos hídricos ya que un alto porcentaje de la población depende de ellos, tanto para la producción alimentaria como para la creciente demanda de áreas urbanas e industriales. Se ha demostrado que los glaciares en los Andes ecuatorianos se reducen, especialmente en los últimos 30 años. Se han estudiado también los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad, especialmente en anfibios, los cuales han sufrido una altísima tasa de extinciones desde finales del siglo pasado, las mismas que han llamado la atención de expertos del mundo entero.

Los anfibios constituyen el grupo de vertebrados que más endemismo presenta en los ecosistemas alto-andinos. Son además los animales más amenazados, de acuerdo a la lista roja de la UICN. La mayoría de especies de anfibios en esta región tiene distribución restringida a áreas relativamente pequeñas y son altamente especializados a su nicho ecológico, lo cual los vuelve más vulnerables a los cambios ambientales. Varios estudios han observado que

los cambios climáticos están amenazando a las poblaciones de anfibios de altura y han determinado que las posibles respuestas al cambio climático son: Adaptación, desplazamiento del rango de distribución, y extinción (Anderson *et al.*, 2012; Bustamante *et al.*, 2005; Coloma *et al.*, 2010; Pounds *et al.*, 1994, 1999, 2006; Ron y Merino, 2000; Ron *et al.*, 2003; Young *et al.*, 2001).

En el presente trabajo se analizan los posibles impactos del cambio climático en la biodiversidad de los ecosistemas alto-andinos mediante la comparación de dos especies de cada uno de los grupos de anfibios considerados los más representativos: las ranas marsupiales del género *Gastrotheca* (*G. pseustes* y *G. espeletia*) y ranas de desarrollo directo del género *Pristimantis* (*P. curtipes* y *P. ernesti*). Los factores que se han considerado como determinantes de la respuesta al cambio climático son:

- Especialización al nicho ecológico
- Estrategias reproductivas: Desarrollo directo vs. metamorfosis completa con una fase acuática.
- Historia evolutiva y diversidad genética que permite la adaptación por selección natural.
- Distribución y posibilidades de desplazamiento.

4. DESARROLLO TEÓRICO

4.1. CAMBIO CLIMÁTICO

4. 1.1. DEFINICIÓN Y CAUSAS

El cambio climático es uno de los temas de mayor interés de las últimas tres décadas. En un principio se hablaba de calentamiento global como consecuencia del efecto invernadero. En la actualidad se prefiere hablar de cambio climático ya que en realidad el aumento de la temperatura está acompañado de una serie de cambios en los ciclos de precipitación, niveles de humedad, frecuencia y duración de eventos climáticos. Puede ser definido como el cambio estadísticamente significativo en los patrones de distribución del clima en períodos largos de tiempo, que pueden ir desde unas décadas a millones de años. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático indica como parte de la definición del fenómeno la causa directa o indirecta de la actividad humana, para diferenciarlo de la variabilidad climática observable a lo largo del tiempo debida a causas naturales (Naciones Unidas, 2015).

Los científicos están cada vez más convencidos de que el cambio climático está alterando irremediablemente la integridad de la biosfera de muchas maneras, una de ellas es la extinción de muchas plantas y animales (Pounds y Coloma, 2008).

El término Calentamiento Global se hizo popular a partir de 1988 tras las aseveraciones del climatólogo James Hansen, director del instituto Goddard de estudios espaciales de la NASA, ante el Congreso de los Estados Unidos, de que existe una relación directa entre el efecto invernadero y el incremento de la

temperatura observado en los registros. Varios científicos antes que Hansen ya habían reportado, desde la década de los 50s del siglo XX, incrementos en la temperatura y sus efectos en los glaciares del ártico; por ejemplo un diario australiano: The Cairns Post, del 16 de febrero de 1952 publicó que de acuerdo con el Dr. Carlson los glaciares de Noruega se han reducido al 50% en los últimos 50 años (primera mitad del siglo XX) y el deshielo avanza extremadamente rápido. Aún antes, en 1950, el profesor Gordon Manley, de Bedford College de Londres, ya advirtió sobre los posibles efectos del calentamiento, tales como el incremento en el nivel de los océanos, la pérdida de glaciares y los efectos del clima sobre la vida marina (World of Science, 1954).

En 1988 se creó el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés) a petición de los gobiernos miembros de las Naciones Unidas, con la misión de proveer información científica actual sobre los riesgos y consecuencias del cambio climático, así como de ofrecer opciones de adaptación y mitigación de los efectos. Este grupo representa la autoridad internacionalmente aceptada sobre cambio climático, su función fue reconocida en 2007 con el premio Nobel de la Paz, conjuntamente con Al Gore, quien ha sido uno de los principales activistas en la concientización de la problemática de Cambio Climático (Naciones Unidas, 2015).

A partir de los 90 se han publicado muchos estudios sobre las causas, efectos y evidencias del cambio climático. A raíz de la publicación del primer informe de evaluación del Grupo intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC), las Naciones Unidas decidieron preparar la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC) para regular y estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta convención junto con un informe complementario fue

presentada y aprobada en la Cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro en 1992, y entró en vigor en 1994. El segundo informe de evaluación del IPCC de 1995 proporcionó la información científica para la redacción del Protocolo de Kyoto sobre Cambio Climático con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el cual fue ratificado y entró en vigor en el 2004. Este tratado establecía metas obligatorias y mecanismos de ayuda a los países para cumplir con las mismas. Estos dos tratados, la CMCC y el Protocolo de Kyoto representan la reacción internacional ante las pruebas científicas compiladas y comprobadas por el grupo intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC), el cual ha publicado otros tres informes de evaluación, en los que se habla también de efectos, investigaciones científicas, vulnerabilidad, adaptación y mitigación (Naciones Unidas, 2015).

El informe del grupo intergubernamental de expertos en Cambio Climático claramente lo dice: “El calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado” (IPCC, 2013).

La causa principal del cambio climático es el incremento del efecto invernadero, producido por altos niveles de dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) principalmente. La temperatura del planeta depende del balance de la energía que entra proveniente del sol y la que sale por reflexión de la superficie terrestre. El efecto invernadero de los gases producidos por procesos naturales de combustión, erupciones volcánicas y descomposición

orgánica en pantanos, ha permitido el desarrollo de la vida en la tierra, al mantener una temperatura estable, durante millones de años. El efecto invernadero es un problema cuando la concentración de gases incrementa en tal proporción que una gran parte de la energía queda atrapada en la atmósfera, y se acumula más allá de los límites usuales. Los cambios en el balance energético que producen cambio climático pueden ser de origen natural como cambios en la energía solar, pequeños cambios en la órbita terrestre alrededor del sol, o cambios en las corrientes marinas. Pero los más importantes son debidos a la actividad humana ya sea por la combustión de combustibles fósiles o por deforestación. La disminución de cobertura vegetal cambia el nivel de reflectividad de la radiación solar, además de disminuir la capacidad de captación de Carbono atmosférico (EPA).

La concentración de gases de efecto invernadero (CO_2 , N_2O y CH_4) ha aumentado desde comienzos de la era industrial (1700), según el 5º informe del IPCC (2013), debido principalmente a las emisiones de gases provenientes de combustibles fósiles y también por el cambio de uso del suelo. Se observa además la acidificación de los océanos debido a un incremento del 30% en la absorción de CO_2 . A partir de 1970, el incremento es abrupto, de 70% en el período 1970-2004. Durante las últimas décadas, los incrementos en la concentración de CO_2 son aún más pronunciados, en el 2011 se observó un incremento del 54% en relación a 1990 en las emisiones de CO_2 provenientes de combustión de combustibles fósiles y producción de cemento (IPCC, 2013).

El efecto neto de las actividades humanas desde 1750, medido como forzante radiativo (cambio de equilibrio entre la energía entrante y la saliente) es de $1,6 \text{ W/m}^2$ según el cuarto informe de evaluación del IPCC (2007).

Este calentamiento se debe en gran medida al incremento de emisiones de CO₂ de combustibles fósiles, equivalentes a 30 billones de toneladas por año (EPA), esto es 135 veces más que las emisiones producidas por la actividad volcánica del pasado según el USGS, y estas concentraciones se siguen acumulando ya que exceden por mucho la capacidad del planeta para captar todo ese Carbono, principalmente mediante la cobertura vegetal terrestre y las algas en los océanos. Estas concentraciones atmosféricas de CO₂, CH₄ y N₂O superan considerablemente todos los registros, tanto a nivel atmosférico y de la superficie terrestre en los últimos 22.000 años, como lo evidencian los análisis de muestras de hielo correspondientes a los últimos 800.000 años (IPCC, 2013).

Es fácil deducir por tanto que el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero y la consecuente subida en la temperatura global se deben a la actividad humana. El grupo de estudio del IPCC considera sumamente probable que la principal causa de estos cambios sea la actividad humana, especialmente por las emisiones de CO₂ producto de la combustión de combustibles fósiles, además, dado el efecto acumulativo de la concentración de CO₂, se proyecta que estos efectos se incrementen en el futuro (IPCC, 2013).

4. 1. .2. EVIDENCIAS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Los efectos del cambio climático están bien documentados por estudios científicos, avalados por el IPCC. Los cambios observados hasta el momento son inequívocos y sin precedentes desde 1950: Aumento en la temperatura de la atmósfera, tanto sobre la superficie terrestre como sobre el océano; alteración del ciclo global de agua, disminución de la cantidad de hielo y nieve, el nivel medio

mundial de océanos y mares está subiendo, además los fenómenos climáticos extremos son cada vez más intensos (IPCC, 2013).

Los registros muestran que las tres últimas décadas han sido las más calientes, sucesivamente, en un período de más de mil años, con un incremento de $0,85^{\circ}\text{C}$ entre 1980 y 2012 (IPCC, 2014). A nivel global, la temperatura es más caliente, es decir que en proporción hay más días cálidos y menos días fríos durante el año, en las zonas templadas del planeta. La frecuencia e intensidad de temperaturas extremas es evidente, por ejemplo cada vez hay más olas de calor en Europa y las tasas de mortalidad por olas de calor son mayores que la mortalidad por frío. Los patrones de precipitación también han cambiado, incrementando en algunos lugares y reduciéndose en otros. También se evidencia mayor intensidad de eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías, ciclones, huracanes e incendios forestales.

Según los estudios del IPCC, es muy probable que el incremento de la temperatura desde 1951 a 2010, tiene por lo menos un 50% de origen antropogénico, por las emisiones de gases de efecto invernadero, subiendo la temperatura en $0,5^{\circ}\text{C}$ a $1,3^{\circ}\text{C}$; mientras que otras causas antropogénicas, como la deforestación y cambios en el uso de tierra, son responsables por un incremento de cerca de $0,1^{\circ}\text{C}$ y las causas naturales o variabilidad intrínseca del clima, también contribuyen con un incremento de cerca de $0,1^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2014).

El 90% del aumento de energía calórica se acumula en la superficie del agua, en océanos y mares, hasta una profundidad de 700 m, en comparación la superficie terrestre acumula solo el 1% de la energía. El calentamiento de la superficie de los océanos desde 1970 ha sido en promedio de $0,11^{\circ}\text{C}$ por

década. Este calentamiento altera el ciclo global del agua, incrementando la evaporación y produciendo más precipitación. Esto hace que los mares de alta salinidad se vuelvan aún más salinos por aumento de la evaporación, y que los de baja salinidad vean su concentración de sales reducida por incremento de la precipitación (IPCC, 2014). Los océanos absorben el 30% del CO₂ atmosférico, gracias a las algas y micro-organismos fotosintéticos, lo cual está incrementando la acidez del agua. Los océanos son 26% más ácidos desde el inicio de la era industrial. También es probable que la disminución de oxígeno disuelto en el agua se deba a causas antropogénicas. Las consecuencias de la acidez combinada con el calentamiento del agua son dramáticas para los ecosistemas marinos, entre los cuales los más afectados son los arrecifes de coral.

Los glaciares en el mundo siguen reduciéndose. La reducción promedio del hielo ártico es de 3,5 a 4,1% por década (IPCC, 2014), lo cual influye directamente en la subida del nivel de los océanos.

La reducción de glaciares y los cambios en la precipitación tienen influencia en los ciclos hídricos. El deterioro de las fuentes de agua por efecto del calentamiento global, tiene que ver con la pérdida de glaciares y como consecuencia de ello la reducción en los flujos de agua en ríos y acuíferos. La mitad de la población mundial, según las Naciones Unidas, se ve afectada por la degradación de las fuentes de agua en las montañas, además de los problemas que ya enfrentan debido a la expansión de la frontera agrícola en áreas marginales.

Muchas especies terrestres y de agua dulce han desplazado sus nichos, rangos geográficos, temporadas reproductivas y ciclos estacionales, patrones de

migración, abundancia e interacción entre especies, en respuesta a los cambios climáticos.

Los sistemas de producción agrícola también se ven afectados por el cambio climático, siendo mayores los efectos negativos que los positivos. Además hay un efecto acumulativo de otros impactos humanos y sociales. La deforestación, a su vez contribuye a incrementar los niveles de CO₂ en la atmósfera, por reducción de cobertura vegetal.

En la Figura 1 se presenta los escenarios de emisiones propuestos por el IPCC (2007) y que han sido usados en los reportes de evaluación de impactos de cambio climático en los Andes. Estos escenarios toman en cuenta 4 factores: Gobierno y desarrollo económico, globalización vs. regionalización, desarrollo de tecnologías y conciencia ambiental (IPCC, 2007). Los escenarios propuestos son:

A1: Mundo orientado al mercado, con rápido crecimiento económico. El crecimiento poblacional es intenso, alcanza niveles pico en 2050 y luego decrece. Hay tres sub-escenarios dependiendo del tipo de tecnologías: **A1FI** uso intensivo de combustibles fósiles, **A1T** Energías no fósiles, **A1B** Balanceado entre diferentes tipos de energía.

A2: Mundo heterogéneo, crecimiento económico bajo, diferenciado por regiones. Crecimiento poblacional constante. Gobiernos que favorecen la identidad local. Desarrollo lento y fragmentado de tecnologías.

B1: Mundo convergente, crecimiento económico basado en los servicios y la información, menor crecimiento que en A1. Gobiernos con soluciones

económicas, sociales y ambientales sustentables. Introducción de tecnologías limpias y eficientes.

B2: Mundo orientado a las soluciones locales, con crecimiento económico intermedio. Población en crecimiento continuo pero menos que A2. Gobiernos enfocados en soluciones locales y regionales hacia la protección ambiental y la equidad. Crecimiento tecnológico más rápido que A2 pero menor y menos diverso que A1 y B1.

La proyección a futuro es que los impactos del cambio climático van a continuar, de manera severa, generalizada e irreversible (IPCC, 2014). Se estima que la temperatura media mundial aumentará entre 1,4°C y 5,8° C para el año 2100 (Aliaga y Villegas, 2009). Las proyecciones regionales varían mucho dependiendo de las políticas socioeconómicas y ambientales en relación al cambio climático. La emisión de gases de efecto invernadero está directamente relacionada con el crecimiento poblacional y económico, el estilo de vida y uso de energía y tecnología, el uso del suelo y las políticas ambientales. En base a estos criterios, se han establecido diferentes modelos y escenarios posibles para el futuro. Los llamados RCP “Representative Concentration Pathways”, son: Un escenario de mitigación estricta de las emisiones RCP 2.6, bajo el cual se puede cumplir el objetivo de mantener el calentamiento global en el límite de 2°C. El escenario extremo opuesto, considera un incremento muy alto de las emisiones, RCP 8.5. Entre los dos, hay escenarios intermedios, RCP 4.5 y RCP 6.0. Las diferencias entre los escenarios son pocas hasta el año 2020, pero se hacen más marcadas a partir del 2030. Para llegar al objetivo de mantener el incremento de temperatura por debajo del límite de 2°C, las emisiones de gases de efecto invernadero necesitan reducirse al 0 neto entre el 2080 y 2100 (IPCC, 2014).

De acuerdo al quinto informe de evaluación del IPCC (2014), bajo los patrones de emisión de gases de efecto invernadero actuales, la concentración de estos gases sigue aumentando (45% desde 1990), se proyecta que si no se toman medidas estrictas de regulación de las emisiones, el incremento será de 59 Gt CO_{2e} por año hasta el 2020, y hay muchas probabilidades de que continúe aumentando a 87 Gt CO_{2e} por año hasta el 2050, lo cual resultaría en una temperatura promedio en el 2100 de 4°C más que la observada entre 1850 y 1900 (IPCC 2014). Para llegar al equilibrio, de emisiones netas 0 se necesitaría contrarrestar el incremento de las concentraciones de gases con una mayor capacidad de captación del CO₂, mediante programas intensivos de reforestación y aumento de la cobertura vegetal, lo cual es posible hacerlo a escala local, pero con resultados muy inciertos.

4. 1. 3. CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA Y POSIBLES ESCENARIOS PARA LOS ECOSISTEMAS ALTO-ANDINOS DE ECUADOR

Las proyecciones futuras para los Andes Tropicales, según el cuarto reporte del IPCC, indican un incremento de temperatura de 3°C (+/- 1,5°C) para el año 2100. Las zonas altas de los Andes serán más afectadas que las zonas bajas. Los patrones de cambio en la precipitación presentan mayor incertidumbre, pero se cree que puede haber un incremento de hasta 300 mm/año en los Andes de Ecuador. Hay mucha discrepancia entre los modelos globales de cambio climático y por tanto incertidumbre en cuanto a las consecuencias de estos cambios sobre los ecosistemas (Cuesta *et al.*, 2012).

Los ecosistemas alto-andinos están considerados entre los más vulnerables del mundo ante los cambios climáticos. Una de las razones para esta consideración es su alta diversidad. Los ecosistemas de alta montaña en todo el mundo son reservas importantes de recursos, de los cuales depende directamente el 10% de la población a nivel mundial y un porcentaje aún mayor, utiliza recursos derivados de estos ecosistemas, especialmente el agua. Las alteraciones producidas en estos ecosistemas, incluyendo degradación en las fuentes de agua afectan a la mitad de la población mundial (UNEP, 2015).

En Ecuador, igual que en el resto de Sudamérica, las zonas altas de montaña, páramos y flancos de la cordillera están cada vez más amenazados por el crecimiento poblacional que lleva a la expansión de la agricultura y ganadería en tierras marginales, deforestación y pérdida de cobertura vegetal. Además esta región está expuesta en permanencia a un alto nivel de estrés debido a las sus características fisionómicas: elevación, fuertes pendientes, alta exposición a las radiaciones, variaciones drásticas de temperatura entre el día y la noche, alternancia de congelamiento y descongelamiento del suelo. Los biomas alto-andinos han desarrollado adaptaciones especiales a las condiciones extremas y a los cambios climáticos diarios, las cuales han sido fuerzas selectivas que han permitido el desarrollo de una altísima diversidad biológica.

La cordillera de los Andes constituye una de las principales determinantes de los patrones climáticos en América del Sur, y en particular en Ecuador, junto con las corrientes marinas de Humboldt y El Niño del Pacífico y los vientos provenientes del Atlántico. La circulación de aire en los Andes está influenciada por la interacción entre la Zona de Convergencia Inter-Tropical y la orografía andina (Cuesta *et al.*, 2012).

La temperatura en los Andes depende del gradiente altitudinal y de la humedad del aire, en general la temperatura disminuye entre $0,6^{\circ}\text{C}$ y $0,7^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros de elevación. Hay una variación de alrededor de 10°C entre el día y la noche, aunque en algunas zonas esta variación llega a ser de hasta 20°C . En las zonas más húmedas la temperatura tiende a ser más estable durante el día. Sobre los 4000 m. hay formación de escarcha y heladas durante la noche, bajo los 4000 m. estos fenómenos son esporádicos. La precipitación, por su parte, está determinada principalmente por la orografía y los vientos locales. En las estribaciones orientales de la cordillera, la influencia de los vientos provenientes de la Amazonía y el Atlántico hacen que haya mucho más precipitación y humedad. Los flancos occidentales de la cordillera están influenciados por los vientos del Pacífico y las corrientes marinas, mientras que los flancos internos de la cordillera, hacia los valles interandinos, tienen menor humedad debido al efecto de sombra de lluvia y presentan estacionalidad, con dos períodos definidos de lluvias de febrero-mayo y octubre-noviembre; y dos de estiaje: el más marcado de junio a septiembre y otro de diciembre a enero (Vuille y Bradley, 2000, citado por Cuesta *et al.*, 2012).

De acuerdo a los estudios de los últimos 30 años sobre las fluctuaciones del clima en el Ecuador, se sabe que durante el período glacial del Pleistoceno, el clima era más frío y más seco, con temperaturas de entre 6°C y 7°C menos que las actuales. Los glaciares bajaban hasta los 3100 m. Los ecosistemas de altura ocuparon en esa época extensiones amplias en la región andina, el bosque montano llegaba hasta los 2000 m y por encima de este límite se extendía el páramo (Van der Hammen, 1982 citado por Neil, 2015). Con el retroceso de los

glaciares, y el calentamiento del clima, las cumbres de las montañas formaron islas que permitieron la diversificación de formas de vida.

Los cambios de clima registrados en los Andes Tropicales muestran una tendencia al aumento de la temperatura, por ejemplo en los últimos años se registra un incremento de 0,34 °C/década para el período 1974–98 (Vuille y Bradley, 2000; Vuille *et al.*, 2003, citado por Cuesta *et al.*, 2013). En Ecuador hay una tendencia al incremento de la precipitación y la humedad atmosférica. Durante los últimos 45 años, la precipitación ha aumentado en 2,5% por década. Hay diferencias en los cambios en precipitación entre la vertiente oriental y occidental de Los Andes (Herzog *et al.*, 2012). En la región también tienen importancia los cambios en la cobertura de nubes, especialmente para los bosques nublados de los flancos de cordillera, en los que se podría dar una disminución de nubosidad y mayor exposición solar (Foster, 2001; Ruiz *et al.*, 2008, 2009, citado por Herzog *et al.*, 2012). La reducción de los glaciares ha sido bastante estudiada en Ecuador, en promedio el límite inferior de los glaciares en el año 2000 es 53 m. más alto que en 1958 (Cuesta *et al.*, 2013).

Los estudios del estado de los glaciares en los Andes Tropicales muestran la reducción sin precedentes desde la última era glacial, especialmente en los últimos 30 años. Además si se considera el retroceso de glaciares en los últimos 50 años, se puede ver que en los Andes Tropicales ha sido mayor que a nivel global, especialmente en pequeños glaciares en montañas más bajas, donde no hay acumulación permanente de hielo, los cuales están desapareciendo. El IRD (Instituto de investigación y desarrollo francés) lleva a cabo un monitoreo mensual de los glaciares en Ecuador, Colombia, Perú y Bolivia, y han encontrado que la causa principal del retroceso de los glaciares es el aumento de temperatura de la

superficie del océano Pacífico; mientras que las precipitaciones no presentan un patrón claro de causalidad durante el siglo XX. La temperatura durante los últimos 70 años ha incrementado a una tasa alarmante de $0,1^{\circ}\text{C}$ por década. Junto con la incidencia del fenómeno del Niño en la región, este incremento de temperatura, según el grupo de expertos, es la causa del retroceso de los glaciares. Los glaciares del Cotopaxi, por ejemplo, han perdido un 30% de su masa total en el período entre 1969 y 1997, y el 37% si se considera el período de 1979 a 2007. El Chimborazo ha perdido el 57% de sus glaciares entre 1962 y 1997. El Antisana ha perdido el 33% de glaciares entre 1979 y 2007. Estos datos muestran que el retroceso de glaciares se ha intensificado en los últimos años. Estos estudios determinan además que los glaciares son muy sensibles a los cambios en la temperatura, siendo los más vulnerables los localizados a menor altitud (Rabatel *et al.*, 2013).

En base a los modelos climáticos regionales, y con concentraciones de CO_2 del escenario A2, más adaptado a la región andina, los investigadores prevén un incremento de entre 4°C y 5°C en los Andes Tropicales; el incremento más alto se espera en las montañas altas de Ecuador, Perú y Bolivia (Bradley *et al.*, 2006, citado por Rabatel *et al.*, 2013). Estos datos son mayores a los estimados por el IPCC en base a modelos globales, los cuales predicen un incremento de 3°C . Los modelos predicen también un ligero incremento en la precipitación, de alrededor del 10%, especialmente en Ecuador y Colombia, mientras que en los Andes centrales y sur hay tendencia a la sequía. Con el incremento de temperatura, hay más evapotranspiración, por lo que se prevé también un incremento en la humedad ambiental en los Andes ecuatorianos (Buytaert y Ramírez-Villegas, 2012).

Es importante considerar el impacto de la reducción de los glaciares para las poblaciones y los sistemas de producción, ya que éstos son fuente importante de agua para agricultura, consumo humano y producción de energía hidroeléctrica en los Andes.

Los estudios del grupo de expertos del IPCC y también a escala regional de América Latina y local en Ecuador predicen que el cambio climático afectará a los recursos hídricos. Por una parte la disponibilidad de agua depende en gran medida de la precipitación, pero hay todavía mucha incertidumbre sobre cómo se alteraran los patrones de precipitación en los Andes, en Ecuador hay más tendencia al aumento. Por otro lado, la regulación de los ciclos hídricos en la región depende bastante de la acumulación de agua en los glaciares y la vegetación de los ecosistemas alto-andinos, ya sea pajonal, arbustivo, humedales o bosque, contribuyen a proteger la capacidad de infiltración de los suelos, y a evitar la evaporación por excesiva radiación. El cambio climático puede contribuir indirectamente al deterioro de los ciclos hídricos ya que las condiciones de mayor temperatura y humedad permitirían la expansión de la frontera agrícola hacia altitudes mayores, lo cual a su vez implicaría la transformación de la cobertura vegetal (De Bièvre *et al*, 2012). Por tanto los impactos combinados del cambio climático y uso del suelo esperados serían la reducción de las fuentes de agua.

Los recursos hídricos son cada vez más escasos, además hay problemas políticos en relación al manejo de estos recursos que tienen que ver con el crecimiento urbano y los sistemas productivos. Los sistemas de producción tecnificada, con altas demandas de agua, desplazan a los sistemas productivos tradicionales a áreas que tienen cada vez menos acceso al agua. También aumenta la demanda de agua para consumo humano debido al crecimiento

poblacional, y la demanda de energía que depende en gran parte del sector hidroeléctrico.

4. 2. CARACTERIZACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ALTO-ANDINOS DE ECUADOR

Al hablar de ecosistemas de altura lo primero que viene a la mente es el páramo, que en realidad está formado por un mosaico de ecosistemas. El páramo se extiende por encima de la línea de bosque que varía entre los 3000 y 3300 m y llega hasta los 4600 o 4800 m, considerado como el límite de crecimiento de cobertura vegetal. La extensión total de páramos en el Ecuador representa el 5% del territorio del país (Cuesta *et al.*, 2013). Los ambientes en estos ecosistemas son muy variados debido a las diferencias en geomorfología, condiciones físicas y climáticas. Dado el aislamiento entre una montaña y otra, estos ecosistemas han funcionado como un archipiélago de islas que permitieron la evolución de una gran cantidad de especies, especialmente plantas, invertebrados y vertebrados pequeños, en respuesta a estrategias de adaptación a las condiciones ambientales particularmente estresantes tales como la alta radiación solar, fuertes vientos, temperaturas extremas variables durante el día.

El páramo o piso alto-andino se caracteriza por un clima frío y húmedo. La temperatura promedio está entre 9°C y 11°C, pero las variaciones durante el día son muy altas, con extremos absolutos de 0°C y 22°C (Albuja *et al.*, 2012). La precipitación varía de acuerdo a la altura y orientación, en general los páramos de la vertiente amazónica de la cordillera oriental son más húmedos y los ubicados en los flancos internos de la cordillera son más secos. También hay una

diferenciación latitudinal, los páramos del norte y centro del país son más húmedos y con clima constante durante el año, mientras que los del sur, presentan estacionalidad, y son más secos debido a la influencia de la corriente fría de Humboldt (León-Yáñez, 2000). También se observa una gran variedad de asociaciones vegetales, que tienen relación con el estrato altitudinal, la temperatura, humedad ambiental, precipitación, disponibilidad de agua, nubosidad, entre otros factores. De acuerdo al Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2012), los ecosistemas de altura, correspondientes al páramo son:

- Bosque siempreverde montano alto y montano alto superior de páramo
- Rosetal caulescente y herbazal montano alto y montano alto superior de páramo (frailejones)
- Herbazal bambusoide montano alto y montano alto superior de páramo
- Herbazal inundable montano alto y montano alto superior de páramo
- Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo
- Herbazal y arbustal montano alto y montano alto superior de páramo
- Herbazal húmedo montano alto superior de páramo
- Arbustal siempreverde montano alto superior y subnival de páramo
- Herbazal húmedo subnival de páramo

- Herbazal ultrahúmedo subnival de páramo
- Arbustal siempreverde montano alto de páramo del sur de Ecuador

Los páramos presentan una alta diversidad comparada con otros ecosistemas de montaña del mundo. En los ecosistemas alto-andinos se encuentra el 10% de la flora de Ecuador (León-Yáñez, 2000), se han reportado 1.524 especies, de las 16.0871 presentes en todo el Ecuador, agrupadas en 404 géneros (Sklenár *et al.*, 2005). El 15% de la flora endémica del Ecuador se encuentra en el páramo (628 especies) de estas, 273 especies son restringidas únicamente al páramo. La mayoría de las especies endémicas del páramo, 75%, están amenazadas (León-Yáñez, 2000). La agrobiodiversidad de los páramos también es importante, muchos de las plantas comestibles y medicinales cultivadas en la actualidad han tenido su origen en estos ecosistemas de altura (Josse *et al.*, 2000).

El bosque húmedo montano alto o bosque nublado de altura se encuentra en las cordilleras altas de los Andes desde 2500 m hasta los 3400–3600 m. Se usa el término ceja andina para indicar el límite superior del bosque que limita con el páramo. El bosque nublado presenta gran variación de acuerdo al gradiente de elevación, a medida que ésta aumenta, los árboles son menos altos, más torcidos y ramificados, y la diversidad alfa disminuye (Valencia *et al.*, 1998). Los bosques montanos en general crecen en laderas muy pronunciadas que son inestables, expuestas a derrumbes causados por terremotos y otros desastres naturales, y sobre todo al impacto de actividades humanas como construcción de obras de infraestructura y ampliación de zonas agrícolas y ganaderas. Estudios cuantitativos de la vegetación de los bosques alto-andinos encontraron diferencias

entre los bosques del norte y los del sur de la sierra ecuatoriana, siendo la diversidad mayor en el sur; pero indican que esta diferencia puede deberse a que los bosques del norte han estado más expuestos a impacto humano (Jørgensen y León-Yáñez, 1999). Existe una diferencia entre los bosques de la vertiente oriental, que son por lo general más húmedos y llegan a mayor altitud, y los de la vertiente occidental de la cordillera.

En cuanto a fauna, en los ecosistemas alto-andinos no se encuentra tanta diversidad como en ecosistemas a menor altitud, especialmente el bosque nublado, pero hay mucho interés en cuanto a las adaptaciones especiales a las condiciones ambientales y las relaciones de dependencia. De acuerdo a los estudios realizados, los ecosistemas alto-andinos tienen alto endemismo como resultado de los procesos evolutivos, el alto grado de especialización a condiciones extremas y la distribución restringida a áreas pequeñas. (Cuesta *et al.*, 2013)

En los ecosistemas alto-andinos se encuentran 260 especies animales, las aves son las más numerosas, después mamíferos y anfibios; los reptiles y peces están poco representados en estos ecosistemas.

En los Andes hay entre 6 y 9 especies de carnívoros, algunas no han sido registradas en los últimos años y se cree que su escasez se debe principalmente a los cambios en el uso de la tierra y la expansión de áreas pobladas. Estos animales son especialmente vulnerables. Un ejemplo importante de diversidad y endemismo en mamíferos es el género de ratones *Thomasomys* con 36 especies, de las cuales el 50% son endémicas (Tirira, 2007).

Las aves alto-andinas representan el 8,5% del total de la avifauna ecuatoriana, con 140 especies, de las cuales una especie está considerada en peligro de extinción por la UICN (el Cóndor andino), dos son vulnerables y cinco están casi amenazadas (Albuja *et al.*, 2012). En general hay menos diversidad de aves en estos ecosistemas, en comparación con otros ecosistemas del Ecuador, pero hay casos de endemismo como los géneros *Metallura* y *Eriocnemis* y de especialización como los colibríes de altura *Oreotrochilus chimborazo*. También se destacan las especies migratorias, especialmente *Charadriiformes*. El 42% de especies de aves son consideradas de sensibilidad ambiental baja, 43% de sensibilidad media y solo 9% (12 especies) están consideradas como sensibles o vulnerables a las alteraciones de hábitat. (Stotz *et al.* 1996, citado por Albuja *et al.*, 2012)

En reptiles, hay 9 especies, las cuales son endémicas y 4 de éstas están amenazadas. Las lagartijas del género *Stenocercus* son las que tienen una distribución más alta en los páramos.

Los anfibios constituyen el grupo de vertebrados que más endemismo presenta en los ecosistemas alto-andinos. De las 556 especies de anfibios del Ecuador, 211 especies son exclusivamente alto-andinas, es decir que se distribuyen entre los bosques montanos, paramos y valles interandinos; que constituyen las zonas de mayor endemismo. La diversidad de anfibios está proporcionalmente relacionada a los niveles de humedad y precipitación, por eso hay mayor diversidad de especies en los bosques montanos orientales y occidentales. Las zonas altas con bajas temperaturas, especialmente el páramo, presentan mayor endemismo de anfibios (73,9%) (Ron *et al.*, 2014). Los anfibios son además los más amenazados, con 30 especies, lo que representa casi el

70%, y es el grupo que presenta más extinciones en los últimos tiempos. Es también el grupo de vertebrados en el que se han descrito más nuevas especies en las últimas décadas. Algunas especies de anfibios tienen una amplia distribución en los páramos del país, pero hay muchas de distribución restringida a áreas relativamente pequeñas (Albuja *et al.*, 2012).

Hay cuatro especies de peces, de las cuales una es introducida y las otras tres son nativas. La sardina *Grundulus quitoensis* es endémica y es el pez que habita a mayor altitud en Ecuador (Albuja *et al.*, 2012).

4. 3. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA BIODIVERSIDAD DE LOS ECOSISTEMAS ALTO-ANDINOS EN ECUADOR

Los estudios de biodiversidad de ecosistemas alto-andinos en Ecuador han sido abundantes y variados en los últimos 20 años. La mayoría se han concentrado en hacer una descripción y clasificación de biomas y ecosistemas, luego en la evaluación de la diversidad enfocada hacia las propuestas de conservación, planificación y toma de decisiones a nivel de políticas ambientales del país. Durante la última década se han hecho muchos estudios sobre el cambio climático y sus impactos, especialmente en relación a los recursos hídricos.

Entre los principales productos de las investigaciones en este campo se encuentran las publicaciones del consorcio CONDESAN, ya que se enfocan en la evaluación y monitoreo de la biodiversidad frente a los impactos del cambio climático. Estas publicaciones, así como los trabajos en curso, reúnen la información más actualizada y mejor sustentada en el tema. El consorcio

CONDESAN, ha evaluado los patrones de biodiversidad comparando cuatro tipos fisionómicos de ecosistemas de altura. Identifican 11 comunidades florísticas con especies indicadoras para cada una de ellas. El análisis de comparación entre los ecosistemas muestra que hay separación entre los páramos del norte y los del sur del Ecuador. La mayor diversidad florística se encuentra entre los 3500 y 3700 m de altura, la diversidad de los ecosistemas de altura, a nivel local (diversidad alfa) y entre los diferentes sitios (diversidad beta) está determinada por los patrones de precipitación, la fisionomía del hábitat y la influencia humana (Cuesta *et al.*, 2012)

Es muy difícil cuantificar el impacto de los cambios climáticos en los ecosistemas, sin embargo, esta es una de las áreas de la investigación que se ha desarrollado en años recientes y que ha promovido la cooperación entre científicos de varias instituciones y nacionalidades. Entre estos estudios los aportes más importantes para la región son los producidos por el Consorcio para el desarrollo sostenible de la ecoregión Andina CONDESAN, especialmente la conformación de sitios GLORIA y el establecimiento de metodologías unificadas de monitoreo del impacto de cambio climático sobre la vegetación en varios países de la región Andina. Al mismo tiempo se desarrolla el proyecto de dinámicas de cambio de cobertura y uso de la tierra en la comunidad Andina. Los resultados preliminares de este estudio indican que a escala regional los gradientes altitudinales y ambientales se caracterizan por comunidades vegetales variadas, con densidad poblacional baja, distribución restringida y diversidad genética baja. La riqueza de especies disminuye al aumentar la altitud. El Páramo del Parque Nacional Podocarpus está entre los lugares con más diversidad y con más especies amenazadas; mientras que el páramo o superpáramo del Pichincha presenta un nivel alto de singularidad. Estos resultados concuerdan con

los datos reportados por Sklenář y Balslev (2007), según los cuales el 29% de especies de superpáramos ecuatorianos se encuentran en un solo sitio, y el 66% en menos de siete sitios. De acuerdo a los datos del proyecto GLORIA, el endemismo vegetal en el páramo de El Angel es de 50% y el del Pichincha 43% (Cuesta *et al.*, 2014).

Otras investigaciones han aportado con resultados que permiten predecir y valorar los impactos del cambio climático en la biodiversidad, tanto a nivel de comunidades, como de especies. Las especies escogidas para estos estudios se caracterizan por tener distribución y nichos restringidos, densidades poblacionales bajas con poca diversidad genética, y presentan adaptaciones especializadas; es por estas características que muchas de esas especies constan en la lista roja de la UICN con algún grado de amenaza de extinción.

Un grupo de investigadores de CONDESAN analizó la sensibilidad a nivel de biomas, usando grupos representativos de plantas y aves frente a los escenarios posibles de cambio climático A1B y A2, para los períodos 2020 y 2050. Los resultados de este estudio muestran que los cambios climáticos en cualquiera de los dos escenarios y períodos de tiempo producirán desplazamiento vertical de los biomas, siendo los ecosistemas de altura los más afectados. Para la mitad de las especies estudiadas, su nicho se reduciría en un 45%, mientras que para el 10% de especies, su nicho habrá desaparecido, causando su extinción (Cuesta *et al.*, 2012b).

Los estudios del IPCC prevén que el desplazamiento latitudinal de biomas sea de 120 a 150 Km a nivel global para un incremento de temperatura de 1°C. Si el incremento de temperatura es mayor, de 3,6°C, se puede llegar a 550 Km de

desplazamiento en el hemisferio Norte. Los desplazamientos altitudinales seguirían un patrón similar según estudios realizados en los páramos del Ecuador (Cuesta *et al.*, 2012b).

A nivel de biomas, la sensibilidad a los efectos del cambio climático está determinada por la ubicación geográfica, la humedad y la estacionalidad. Se prevé un desplazamiento vertical ascendente, lo cual reduciría las áreas de distribución del bioma, sin importar cual escenario se toma en cuenta, ya que no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el escenario A1B y A2 (Cuesta *et al.*, 2012b).

Los ecosistemas más amenazados por cambio climático son los de mayor altura, especialmente el súper-páramo, o áreas crio-turbadas, que tienen influencia directa de los ciclos de congelamiento y descongelamiento, y se verán afectadas por la reducción de los glaciares, y los páramos, seguidos por el bosque montano siempre verde de altura. Se estima que para el 2020 las áreas crio-turbadas perderían el 57% de su superficie actual y para el 2050 el 80%; mientras que los páramos se verían reducidos en 29% de su superficie para el 2020 y en 50% para el 2050 (Cuesta *et al.*, 2012b).

Según varios estudios, hechos en diferentes continentes, se prevé que el desplazamiento de biomas debido al cambio climático en altitud sería de 6,1 m por cada diez años (Parmesan y Yohe, 2002; Parmesan, 2006). Sin embargo, estudios más recientes y detallados para los Andes tropicales determinan que en las zonas alto-andinas, el desplazamiento puede ser mucho mayor, de 12,2 m por decenio hacia elevaciones superiores (Peralvo *et al.*, 2012).

Para los bosques montanos siempre verdes se pronostica que cambiarían sus límites inferiores y superiores, pero hay incertidumbre sobre los desplazamientos de estos biomas, ya que no dependen únicamente de las condiciones de temperatura y humedad, sino también de la relación inter-específica de la vegetación entre el bosque y el páramo, los tipos de suelo, la capacidad fisiológica de las plantas para adaptarse a condiciones de mayor estrés, y además de la influencia humana sobre estas áreas. Debido a los usos del suelo para pastoreo y agricultura, es posible que la línea del bosque se desplace hacia zonas inferiores, lo cual tendría como resultado una reducción aún mayor de estos ecosistemas (Cuesta *et al.*, 2012b).

A nivel de poblaciones y especies el factor más importante para predecir el desplazamiento es la capacidad de dispersión. En el estudio de CONDESAN modelaron los cambios de acuerdo a dos posibles escenarios, dispersión ilimitada y el opuesto dispersión nula. Los resultados muestran que bajo el escenario de dispersión ilimitada las áreas sobre los 3500 m recibirían muchas especies por desplazamiento de zonas inferiores, lo cual aumentaría la diversidad biológica hasta en 80%; mientras que bajo el escenario de dispersión nula habría pérdidas en la riqueza de especies, especialmente en ecosistemas de piedemonte oriental y noroccidental en Ecuador. También es posible al apareamiento de comunidades nuevas, lo cual puede producir cambios considerables en el funcionamiento de los ecosistemas (Cuesta *et al.*, 2012b).

Los modelamientos con comunidades de plantas y aves, bajo los dos escenarios extremos de dispersión, muestran una tendencia a que las especies con gran capacidad de dispersión o con mayor amplitud de nicho incrementen su área de distribución; al contrario las especies con poca dispersión, o áreas

restringidas de distribución tenderían a reducir su área de distribución, e incluso a desaparecer (Cuesta *et al.*, 2012b).

La respuesta de diferentes especies al cambio climático depende en gran medida de las características fisiológicas y ecológicas. En general las especies endémicas, de distribución restringida y/o con alto nivel de especialización son más sensibles, y aún más si se considera aquellas que viven a mayor altitud en los Andes, ya que sus nichos muestran tendencia a la reducción (Thuiller *et al.*, 2008).

El riesgo de extinción de especies relacionado a cambio climático está siendo estudiado por varios grupos de investigadores. Se han desarrollado fórmulas de cálculo para establecer el índice de vulnerabilidad de una especie frente a los posibles escenarios de cambio climático basándose tanto en las condiciones ambientales del hábitat como en las características intrínsecas de la población. Entre las variables que toman en cuenta están el tamaño actual de la población, el promedio de vida de una generación, la tasa de crecimiento de la especie, el número de subpoblaciones, el tamaño del área que ocupa actualmente, la fragmentación del área, la conectividad entre fragmentos, la capacidad de dispersión, además datos físicos del nicho como temperatura y precipitación (Pearson *et al.*, 2014; Young *et al.*, 2012). La vulnerabilidad de las especies al cambio climático depende de las interacciones entre características de la historia de vida y las características espaciales; por ejemplo al combinar la variable de área ocupada y variables demográficas como el tiempo de vida de una generación, o el tamaño de la población, se ve que el riesgo de extinción aumenta cuando el área es restringida y la especie tiene generaciones de corta vida, y también cuando la población es baja (Pearson *et al.*, 2014)

La sensibilidad de la especie incluye factores intrínsecos como características de su historia natural que los hacen más resilientes al cambio, por ejemplo los que tienen una dieta versátil o son generalistas de hábitat. Otras características importantes son la habilidad para dispersarse o moverse y la variabilidad genética. Es muy difícil predecir cómo afecta el cambio climático a las interacciones de competencia, predador-presa, parásito-huésped, aún mediante experimentación. La ocurrencia de la especie dentro de áreas protegidas también puede ser considerado un factor en relación con la vulnerabilidad (Young *et al.*, 2012a).

Las extinciones pueden ser producidas por el efecto combinado del cambio climático, el desarrollo de enfermedades favorecido por las nuevas condiciones climáticas, los cambios en el uso de la tierra que influyen en la reducción y pérdida de hábitats, las características fisiológicas intrínsecas de la especie y la diversidad genética al interior de las poblaciones y entre las distintas poblaciones de la especie. Las especies con más variedad genética podrían tener mayor capacidad de adaptación a nuevas condiciones sin necesidad de desplazarse. Las poblaciones con distribución amplia y continua, favorecerían el flujo genético y por tanto pueden tener mayor capacidad de adaptación (Opdam y Wascher, 2004).

5. ESTUDIO DE CASOS:

POTENCIALES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ANFIBIOS DE ECOSISTEMAS ALTO-ANDINOS DE CUADOR

Varios estudios han observado que los cambios climáticos están amenazando a las poblaciones de anfibios de altura y pronostican que estas amenazas aumentarán durante el siglo XXI (Anderson *et al.*, 2012; Bustamante *et al.*, 2005; Coloma *et al.*, 2010; Pounds *et al.*, 1994, 1999, 2006; Ron y Merino, 2000; Ron *et al.*, 2003; Young *et al.*, 2001). Entre los anfibios de altura, se ha visto que los más amenazados son aquellos que tienen rangos de distribución restringidos y adaptaciones especializadas a micro-hábitats.

Los efectos del cambio climático en los anfibios pueden ser directos, por ejemplo la sequía puede reducir considerablemente el área de las charcas de reproducción, o hacer que éstas se sequen antes de que haya concluido la metamorfosis de renacuajo a adulto. Puede haber también impactos secundarios o sincronía de factores ambientales con causas intrínsecas a la población, por ejemplo el aumento de temperatura y cambios en los patrones de precipitación pueden favorecer el desarrollo de enfermedades. Este parece ser el caso de la desaparición de los Jambatos (*Atelopus ignescens*) en Ecuador y especies relacionadas en América Latina (Coloma *et al.*, 2010; Pounds *et al.*, 1994, 2006; Ron y Merino, 2000; Ron *et al.*, 2003; Young *et al.*, 2001).

La red de análisis para los anfibios neo-tropicales amenazados- RANA ha permitido encontrar similitudes entre varios estudios que correlacionan las disminuciones poblacionales con períodos de sequía en poblaciones apartadas en

Ecuador, Costa Rica, Venezuela y Puerto Rico. Entre estos estudios resalta el de la extinción de sapos Arlequines de los cuales 77 especies han desaparecido en los últimos 20 años (Pounds *et al.*, 2006). El Arlequín Jambato (*Atelopus ignescens*) endémico de páramos y valles interandinos de la sierra norte de Ecuador, está considerado posiblemente extinto (Coloma y Quiguango-Ubillús, 2012; Coloma, 2014). Según Guayasamín *et al.* (2010), el año anterior a su desaparición, 1987, fue el más cálido y seco en el siglo. En el mismo año 1988 en Costa Rica se registró la extinción del Sapo Dorado (*Incilius periglenes*), coincidiendo también, con condiciones inusualmente secas asociadas con el Fenómeno del Niño y la enfermedad producida por el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* (Pounds *et al.*, 2006), pero el factor clave de las extinciones es el calentamiento global (Pounds *et al.*, 1994, 2006; Young *et al.*, 2004). Es por esta razón que se han convertido en símbolo indicador del impacto del cambio climático, dando la señal de alarma para intensificar los esfuerzos de conservación e implementar medidas de control de los niveles de emisiones de gases invernadero a nivel global.

De acuerdo con los modelos posibles de cambio climático propuestos, los efectos del aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de precipitación serán cada vez más severos en especial en los ecosistemas altoandinos. En base a los estudios de los impactos evidenciados hasta el presente, muchos investigadores coinciden en que se pueden predecir tres posibles respuestas de las poblaciones de anfibios:

1. Adaptación evolutiva de las poblaciones mediante selección natural
2. Desplazamiento o cambio en el rango de distribución
3. Extinción

Entre los anfibios remanentes más representativos de los ecosistemas alto-andinos de Ecuador están dos géneros: *Gastrotheca* y *Pristimantis*, los cuales pueden ser considerados buenos indicadores de los posibles impactos causados por el cambio climático. Dentro de cada uno de esos géneros, en esta monografía se han estudiado dos especies representativas de ecosistemas alto andinos que presentan algunas diferencias que podrían influir en la respuesta a los impactos del cambio climático. A continuación se analizan las posibles respuestas de estas ranas ante los impactos esperados de acuerdo a los escenarios de cambio climático propuestos.

5.1. ESPECIES SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO

En la tabla 1 se registran las especies de Anfibios Alto-andinos endémicas y/o amenazadas. Como se puede ver, la mayoría de las especies endémicas tienen algún grado de amenaza según la clasificación de la UICN, y también de acuerdo a la base de datos del museo QCAZ de la PUCE. De estas especies, he tomado como ejemplos representativos dos géneros: *Gastrotheca* y *Pristimantis*, por ser los más comunes en los ecosistemas alto-andinos y dentro de cada género dos especies de altura, que presentan algunas diferencias que pueden incidir en la respuesta a los impactos de cambio climático. Estas son: *Gastrotheca pseustes*, *Gastrotheca espeletia*, *Pristimantis curtipes* y *Pristimantis ernesti*.

5.1.1. GÉNERO *GASTROTHERCA*

Según la base de datos Amphibiaweb Ecuador del museo QCAZ, hay 17 especies de *Gastrotheca*, de las cuales 6 son endémicas. Las ranas del género *Gastrotheca* se caracterizan por tener una bolsa dorsal, marsupio, en la que llevan los huevos. En la mayoría de las especies de este género, cuando los renacuajos emergen de los huevos, éstos son depositados en aguas tranquilas o estancadas para que completen su desarrollo (Del Pino, 1975, 1998; Duellman y Hills, 1987), pero algunas especies tienen desarrollo directo, todo el desarrollo tiene lugar dentro de la bolsa dorsal y de ésta salen las pequeñas ranitas completamente formadas, este es el caso de *G. plumbea* y *G. orophylax* (Auber, 1990; Duellman y Hills, 1987). La especie más conocida y estudiada es *Gastrotheca riobambae*, que se distribuye ampliamente en la sierra Norte y Centro, desde Carchi a Chimborazo, hasta la laguna de Colta, entre 1578 y 3500 m de altitud.

5.1.1.1. *Gastrotheca pseustes*

Esta especie, que se muestra en la Figura 2, es endémica y en peligro de extinción, es muy parecida a *G. riobambae*, y fue confundida con ésta en el pasado. Es de amplia distribución, más de 20,000 km², en los flancos de la cordillera occidental y oriental en toda la sierra del Ecuador, con registros desde Papallacta y Quito hasta Loja y El Oro. (Ron y Frenkel, 2010) Su rango altitudinal es de 2300 a 4300 m en Páramo, Bosque Montano Oriental y Occidental y Matorral Interandino. (Carvajal-Endara, 2010) Se encuentra en hábitats alterados. Se encuentra en el sotobosque, come insectos y es de actividad principalmente nocturna (Valencia *et al.*, 2008).

Esta especie podría ser afectada por los cambios climáticos, especialmente porque se han reportado infecciones del hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* en poblaciones de Cashca Totoras y El Cajas (Ron y Merino-Viteri, 2000; Ron, 2005). Se ha registrado en simpatria con *G. riobambae* en varias localidades y parece que es desplazada por ésta, ya que en los páramos del sur donde no está presente *G. riobambae*, su rango de distribución es más amplio, de 2200-4000m; mientras que en los del norte se encuentra sobre los 3000m (Carvajal-Endara, 2010, Duellman y Hills, 1987).

5.1.1.2. *Gastrotheca espeletia*

Esta rana representada en la Figura 3, es una especie de distribución restringida, que se encuentra solamente en el norte del Ecuador, entre los 2530 y 3400 m en Tulcán y San Gabriel, provincia del Carchi y el sur de Colombia, por eso no es endémica, pero si es considerada vulnerable o en peligro ya que hay muy pocos registros, 8 en el museo QCAZ. Su hábitat son los páramos de frailejones, *Espeletia pycnophylla angelensis* (Ron *et al.*, 2014a).

5.1.2. GÉNERO PRISTIMANTIS

El género *Pristimantis* es el más rico en especies, con 473 especies (Rojas-Runjaic y Guayasamin, 2015). En Ecuador, según la base de datos Amphibiaweb Ecuador del museo QCAZ, este género tiene 175 especies, 94 de las cuales son endémicas. Es el género con mayor diversidad de especies en Ecuador y además presenta mucha variación intra-específica, lo cual se evidencia por los pocos caracteres morfológicos que se pueden utilizar para caracterizar las especies

(Guayasamin y Funk, 2009; Lynch, 1999). La gran diversidad de este grupo muestra especialización en estratos verticales del bosque, especialmente en ecosistemas de mediana y baja altitud (Guayasamín y Funk, 2009).

En el piso alto-andino hay 31 especies de *Pristimantis*, 21 son endémicas, si se considera solamente los ecosistemas de páramo, son 11 especies endémicas de un total de 16 especies de este género. Esto quiere decir que el porcentaje de endemismo para este género es mayor en los ecosistemas de altura (68,5%) comparado con el endemismo del género en Ecuador (53,7%) (Ron *et al.*, 2014a).

Estas ranas tienen reproducción directa, sin metamorfosis. Ponen huevos directamente en la hojarasca húmeda, y éstos eclosionan en aproximadamente un mes. Son sensibles a la humedad ambiental y las estaciones de pluviosidad, por ejemplo en lugares con una estación seca de cuatro meses o más no se encuentran ranas de este género. Presentan dimorfismo sexual muy marcado, las hembras son más grandes que los machos (130-140% de su tamaño). Hay mucha variación entre especies. Casi todas son nocturnas (Lynch, 1999).

Estudios recientes sugieren que la vulnerabilidad de estos anfibios puede ser mayor de lo que se pensaba, y que estas especies pueden estar en riesgo por cambios climáticos conjugados con destrucción y fragmentación de hábitat (Cole *et al.*, 2014).

5.1.2.1. *Pristimantis curtipes*

Representada en la Figura 4, esta especie es común, de amplia distribución, hay 495 registros en la base de datos Amphibiaweb Ecuador. Se

encuentra en Páramo, crestas cordillera Oriental y Occidental hasta el desierto de Palmira, y Ozogoché en el sur, en elevaciones de 2750 a 4400 m. No es endémica, es muy adaptable y está considerada de preocupación menor. Sus hábitats son pastizales y páramo húmedo, de preferencia sobre 3200 m. Se señala un posible incremento de distribución en los últimos años, de modo que su hábitat es más continuo, esto podría reducir las diferencias adquiridas por el aislamiento en los picos de montaña encima de los 3600 m (Lynch 1981, citado por Frenkel *et al.*, 2012b).

5.1.2.5. *Pristimantis ernesti*

Representada en la Figura 5, esta especie es endémica, restringida solo al volcán Sumaco, a 3900 m y no es probable que ocurra en otra parte. Los datos son insuficientes para saber si está amenazada (Frenkel *et al.*, 2013a).

5.2. POTENCIALES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo a los modelos regionalizados para los Andes Tropicales (Anderson *et al.*, 2012), los impactos potenciales del cambio climático en la región alto-andina pueden resumirse en:

5.2.1. AUMENTO DE LA TEMPERATURA

Bajo los escenarios A2 y B2 se proyecta con un alto nivel de confianza, un aumento de temperatura de 2,7°C a 4,3°C en los páramos de Ecuador; mientras que con un escenario más moderado A1B el incremento de temperatura esperado es de 1,8°C a 4,0°C, hasta el 2100. Se pronostica además que los aumentos más

severos se darían en las temperaturas mínimas. Se predice con un nivel de confianza medio, que los incrementos de temperatura serían heterogéneos, en la vertiente oriental éstos serían mayores, de 4°C a 5°C, mientras que en los valles interandinos serían de 3°C a 4°C (Marengo *et al.*, 2012).

El aumento de la temperatura afecta directamente a las especies de anfibios por ser ectodermos. Fluctuaciones poblacionales en períodos cortos de tiempo indican sensibilidad a los patrones de estacionalidad en temperatura y precipitación, pero también hay variaciones interanuales (Cole *et al.*, 2014).

5.2.2. AUMENTO DE LA PRECIPITACIÓN

Se prevé con alto nivel de confianza el aumento de la precipitación aumentará entre 18,5% a 63%, en escenarios A2 y B2, con más incremento en la vertiente amazónica y menos en la occidental. Bajo un escenario más moderado A1B variación de precipitación de -20 a + 20% hasta el 2100 (Anderson *et al.*, 2012; Marengo *et al.*, 2012).

En los anfibios se ha observado sensibilidad a los patrones de estacionalidad en la precipitación, hay mayor abundancia en las poblaciones después de la época lluviosa, considerada en general como condiciones más favorables, aún en las ranas de desarrollo directo que no dependen del agua para su reproducción (Cole *et al.*, 2014)

5.2.3. CAMBIOS EN LOS CICLOS HÍDRICOS

El descongelamiento de glaciares hasta su desaparición tendría efectos muy severos en los ciclos hídricos, primero se observa un incremento de caudal en los ríos y lagos de altura, pero se espera una reducción drástica en el futuro.

Además con menos precipitación sólida (nieve y granizo) y más lluvia, los suelos estarían expuestos a escorrentía y deslizamientos, se espera la reducción de la capacidad de los páramos para almacenar y filtrar agua (Anderson *et al.*, 2012; Marengo *et al.*, 2012).

En los bosques montanos alto-andinos, debido a las fuertes pendientes, con el incremento de precipitación se espera que aumente la erosión debido al deslizamiento de laderas. Eventos lluviosos intensos y frecuentes, alternados por periodos secos largos, en interacción con alteraciones en la cobertura vegetal pueden producir sequías e inundaciones, además de incrementar el estrés en la vegetación (Anderson *et al.*, 2012).

5.2.4. CAMBIOS EN LA CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA EN HUMEDALES DE ALTURA

Los cambios en la cantidad de agua en los humedales de altura tienen directa relación con la precipitación y con el descongelamiento de los glaciares. Se espera que primero haya un incremento en el caudal de los ríos y lagos, pero a medida que los glaciares desaparezcan estos humedales se reducirán. Además el incremento de la temperatura producirá mayor evaporación, lo cual puede incidir en la salinidad de las aguas. El aumento de la temperatura del agua también puede reducir la cantidad de oxígeno disuelto, aumentar la eutrofización y reducir la capacidad del agua para almacenar carbono (Anderson *et al.*, 2012).

5.2.5. DISMINUCIÓN DE LA NUBOSIDAD Y AUMENTO DE LA INSOLACIÓN Y POR TANTO DE LA EXPOSICIÓN A RADIACIÓN UV

La reducción en la nubosidad puede tener varias consecuencias directas e indirectas en los anfibios. La radiación UV puede producir mutaciones, muerte celular, malformaciones, disminuir el crecimiento, afectar al sistema inmune y al éxito reproductivo (Tevini, 1993, citado por Blaustein y Belden, 2003). Otro impacto posible del incremento de radiación es el desarrollo de enfermedades cutáneas, en asociación con patógenos o contaminantes. Indirectamente, la interacción del aumento de radiación con la humedad ambiental y la menor nubosidad, puede afectar a las plantas como las epífitas y hay muchas especies de anfibios que dependen de estas plantas para vivir (Anderson *et al.*, 2012).

Los anfibios tienen una piel muy sensible, desnuda, permeable; sus huevos también son sensibles porque no tienen cubierta. La piel de las ranas como *Gastrotheca* es especializada con muchos capilares sanguíneos que permiten el intercambio de gases y nutrientes durante el desarrollo embrionario (Del Pino *et al.*, 1975); la respiración es principalmente cutánea. Además poseen glándulas secretoras de mucus y sustancias tóxicas en algunos casos. Los anfibios necesitan mantener humedad en la piel para el buen funcionamiento respiratorio. Los anfibios tienen mecanismos naturales de protección a la radiación UV, principalmente mediante la producción de pigmentos en la piel y en los huevos; pero también producen enzimas reparadoras de DNA. Por eso se ha visto que especies de alta montaña, donde están más expuestos a la radiación pueden tener buenos mecanismos de reparación del ADN, (Blaustein y Belden, 2003).

5.2.6. ALTERACIÓN DEL NICHOS ECOLÓGICO

Los anfibios tienen en general nichos específicos a un gradiente altitudinal (Ramirez *et al.*, 2009). Además de dentro de cada estrato altitudinal hay mucha heterogeneidad debido a la irregularidad del terreno, presencia de quebradas, diferencias de declive, exposición a la luz y a la lluvia, y comunidades vegetales. Se espera una reducción severa del hábitat en los páramos, de hasta el 60% (Anderson *et al.*, 2012). Debido al desplazamiento vertical ascendente de especies y comunidades vegetales de zonas de menor altura, así como de áreas agrícolas y asentamientos humanos, el hábitat de muchas especies se verá reducido. El nicho de los anfibios de altura puede estar definido por varios componentes: Abióticos, dados por la temperatura, humedad, precipitación y luminosidad a las que se han adaptado fisiológicamente.

Factores bióticos que definen el nicho incluyen las comunidades vegetales con las cuales tienen asociación o dependencia, por ejemplo bosques de *Polylepis*, que podrían reducirse drásticamente (Anderson *et al.*, 2012), o comunidades de Frailejones, o Bromelias, que constituyen el micro-hábitat de algunos anfibios. Los lugares aptos para la puesta de huevos, o para el desarrollo de renacuajos en las ranas con metamorfosis son parte fundamental del nicho.

El nicho ecológico se define también por las relaciones inter-específicas por ejemplo para alimentación. Las ranas se alimentan principalmente de invertebrados, cuyas poblaciones pueden verse afectadas con cambios climáticos, de calidad de suelo y de agua. Las especies más versátiles en cuanto a alimentación podrían ser más tolerantes, mientras que las que tienen relaciones específicas son más sensibles a los cambios. También hay que considerar que

los anfibios ocupan un lugar intermedio en las cadenas tróficas, se alimentan de una gran variedad de invertebrados y a su vez son alimento para depredadores, especialmente aves. Los desplazamientos de algunas especies de aves por ejemplo podrían ejercer presión adicional sobre las poblaciones de anfibios. También se pueden prever desplazamientos de especies parásitas y patógenos causantes de enfermedades de zonas bajas que pueden afectar a los anfibios. En las relaciones inter-específicas se debe considerar que existen asociaciones de especies de anfibios en los ecosistemas, que han establecido sus nichos en base a pequeñas diferencias temporales o espaciales, las cuales se pueden ver alteradas por el desplazamiento hacia arriba de anfibios de zonas bajas. Las especies con tolerancia más amplia pueden desplazar competitivamente, llevando a la disminución drástica de poblaciones y a la extinción de especies endémicas locales.

La especialización en micro-hábitat puede resultar en respuestas diferentes de las especies, por ejemplo las ranas que viven en los niveles más bajos de vegetación, menos de 0,5 m. serían más afectadas por la reducción de humedad en el suelo (Cole *et al.*, 2014).

La fragmentación del hábitat es un factor determinante en la sobrevivencia de algunas especies. La tasa de crecimiento poblacional de varias especies de *Pristimantis* es más baja en áreas alteradas que en bosque maduro (Cole *et al.*, 2014), pero hay otras que prosperan en áreas alteradas. También se ha visto que algunas de estas ranas responden en mayor grado a la estructura del hábitat que a la presencia o ausencia de especies vegetales particulares (Ramirez *et al.*, 2009).

5.3. POSIBLES RESPUESTAS DE LOS ANFIBIOS ALTO-ANDINOS A LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los estudios sugieren que los anfibios de altitud tienen menor capacidad de adaptarse a diferentes condiciones ya que por su historia evolutiva tienen por lo general rangos de distribución restringidos, además han desarrollado estrategias de adaptación bastante especializadas a su ambiente. En base a los datos de distribución de algunas especies, se puede predecir que las de amplia distribución tengan mayor capacidad de adaptación homeostática, o tolerancia a un rango más amplio de condiciones físicas como temperatura y humedad, por tanto esas especies serían menos vulnerables al cambio climático. Las especies de distribución restringida en cambio son menos tolerantes, más especializadas a su nicho ecológico, y por tanto serían más susceptibles al cambio climático.

Las adaptaciones homeostáticas pueden explicar la distribución de las especies y los patrones de respuesta ante el cambio climático y alteraciones de hábitat. Las estrategias reproductivas constituyen adaptaciones importantes que pueden haber influido en la distribución, especificidad de nicho y diversidad de las especies.

5.3.1. ESPECIALIZACIÓN DE NICHOS ECOLÓGICOS Y DISTRIBUCIÓN

La especialización del nicho climático tiene implicaciones importantes en ecología, evolución y conservación. Puede ayudar a entender los patrones biogeográficos, de biodiversidad, las respuestas al cambio climático y a la invasión de especies. Se conoce poco sobre los factores que determinan el nivel

de especialización al nicho climático. La mayor especialización de nicho ecológico promueve la especiación y por tanto mayor diversidad biológica. Por ejemplo, al comparar parejas de especies hermanas de salamandras tropicales y de zonas templadas (Kozak y Wiens, 2007), encontraron que en las montañas tropicales de Mesoamérica la diversidad y la divergencia climática y altitudinal son mayores que en zonas templadas. Esto refleja aparentemente una predominancia a la divergencia en los trópicos versus una tendencia conservativa en zonas templadas. Gradientes climáticos y altitudinales favorecen la adaptación de especies con tolerancia limitada en diferentes estratos, generando divergencia, lo cual puede contribuir a incrementar la riqueza biológica (Kozak y Wiens, 2007).

Otro factor que ha sido considerado importante para explicar la alta diversidad, es el tiempo de colonización. Mediante el estudio filogenético de varios grupos animales superpuesto a datos climáticos, se encontró una fuerte relación entre el número de especies en cada estrato altitudinal y el tiempo estimado en el que ese estrato fue colonizado, hay más especies y más diversidad filogenética en las zonas de elevación media (Wiens *et al.*, 2007). Según esto, la menor diversidad de especies en los páramos se podría explicar por el levantamiento relativamente tardío de la cordillera, además de las limitaciones climáticas; mientras que en altitudes medias de la cordillera, especialmente en los bosques nublados, se observa la mayor diversidad.

En los Andes de Ecuador hay una marcada diferencia en biomas y composición de especies entre la zona alto andina del norte y la del sur, a partir del desierto de Palmira en la Provincia de Chimborazo, debido a la diferente historia volcánica, las condiciones de humedad y temperatura, y la consecuente diferenciación de hábitats y micro-hábitats (Almendáriz y Orcés, 2004). Además

se observa mucha heterogeneidad espacial, debida a la irregularidad del relieve, abruptas pendientes, quebradas, riachuelos, diferentes formaciones vegetales que contribuyen a la variedad de micro-hábitats.

Las especies de *Pristimantis* tienen en general áreas de distribución más pequeñas que otros anfibios que viven en simpatría con éstas, por ejemplo *Gastrotheca*, *Atelopus* y *Telmatobius* (Lynch, 1981). Están distribuidas en bandas altitudinales, parece que la altitud y la temperatura son los factores limitantes de nicho; estas ranas parecen muy sensibles a cambios en la temperatura ambiental, y en el desarrollo embrionario temprano son muy sensibles a los límites de temperaturas mínimas y máximas, especialmente en los pisos más altos (Lynch, 1999).

Los mapas de distribución de las especies estudiadas muestran la distribución amplia de *Gastrotheca pseustes* (Figura 6), mientras que *Gastrotheca espeletia* tiene distribución restringida (Figura 7). *Pristimantis curtipes* (Figura 8) tiene distribución amplia y *Pristimantis ernesti*, restringida a una sola localidad (Figura 9).

5.3.2. COMPARACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS REPRODUCTIVAS

Estrategias reproductivas diferentes tienen relación con la especificidad de hábitat y podrían ser un limitante que determine la respuesta al cambio climático. Al comparar las especies estudiadas en cuanto a sus adaptaciones reproductivas, vemos que las dos especies de *Gastrotheca* necesitan agua para el desarrollo de los renacuajos, por lo tanto su distribución va a estar limitada por la disponibilidad de fuentes de agua, la temperatura del agua puede ser también un factor

importante en relación con adaptaciones homeostáticas al nicho. Al ser *Gastrotheca pseustes* una especie que puede utilizar estratos altitudinales variados, que van de 2200 a 4300 m, podemos suponer que tiene tolerancia amplia a temperatura ambiental y del agua, también parece que sus requerimientos son similares a los de *G. riobambae*, la cual la desplaza a alturas mayores a 3000 m cuando las dos especies están en la misma zona latitudinal (Duellman y Hills, 1987). Se ha reportado que los renacuajos de *G. riobambae* se desarrollan en agua calmada, casi estancada, con temperaturas que varían entre 13°C y 17, 4°C (Manzano, 2010); mientras que para la crianza en cautiverio de estas ranas la temperatura del agua se mantiene alrededor de 18°C. Se ha visto que el aumento de temperatura y la disminución de humedad podrían inhibir la ovogénesis (Cadena y García, 2012). Por lo tanto se puede suponer que *G. pseustes* tenga preferencia por temperaturas de agua inferiores a 18°C, y que si la temperatura del agua incrementa por efecto del cambio climático, tienda a desplazarse hacia zonas más altas, como ya lo ha hecho en las zonas donde vive en simpatria con *G. riobambae*. Por otro lado, *Gastrotheca espeletia*, tiene distribución restringida al páramo de Frailejones, también tiene metamorfosis completa con renacuajos acuáticos, en aguas tranquilas o estancadas y se puede esperar que sea vulnerable al incremento de la temperatura del agua, este sería un factor que promueva su desplazamiento hacia zonas de mayor altura.

Los riesgos de exposición a contaminantes relacionados con la agricultura, como pesticidas y fertilizantes son mayores durante el desarrollo metamórfico, especialmente en el agua. También se ha comprobado que hay infección de hongo quítrido (*Batrachochytrium dendrobatidis*) en la fase de renacuajo en el agua (Ron y Merino-Viteri, 2000; Ron, 2005), entonces las ranas que dependen

del agua para su reproducción están mucho más propensas a contraer el patógeno y a que este desarrolle una epidemia en relación con temperaturas más elevadas, como ha sucedido en el pasado con otras especies.

Las ranas del género *Pristimantis*, por su parte, no necesitan agua para el desarrollo, ya que es directo, sin metamorfosis. De los huevos nacen pequeñas ranitas totalmente formadas, pero si necesitan suficiente humedad para el desarrollo de los huevos. Ponen huevos directamente en la hojarasca, en vegetación baja o en el suelo. El ciclo de desarrollo de estas ranas es corto, entre 12 y 15 días (Gatherer y Del Pino, 1992). Esta estrategia reproductiva podría haber evolucionado para evitar predadores acuáticos (Crump, 1974 citado por Vargas y Castro, 1999), el hecho de tener desarrollo directo, que no necesita de fuentes de agua para los renacuajos, permite que se queden en el mismo lugar para reproducirse. En contraste con las ranas *Gastrotheca* tienen que buscar un lugar donde depositar los renacuajos. Se sugiere que la radiación adaptativa de estas ranas se dio en bosques montanos de zonas alto-andinas, donde la condensación produce suficiente humedad que queda atrapada entre la hojarasca y vegetación (Kattan, 1986, citado por Vargas y Castro, 1999). El desarrollo embrionario directo también ha implicado la reducción en el número de huevos y hay evidencia de cuidado parental en algunos casos, lo cual está relacionado con la dependencia de hábitats boscosos (Vargas y Castro, 1999). Parece que estas ranas son sensibles a la humedad ambiental y las estaciones de pluviosidad, una prueba de esto es que en lugares con una estación seca de cuatro meses o más no se encuentran ranas de este género (Lynch, 1999).

La mayoría de especies de este género tienen distribución restringida (Almendáriz y Orcés, 2004), pero hay las de amplia distribución, como *P. curtipes*,

que parecen tener una tolerancia más amplia a condiciones ambientales. Estas ranas se encuentran bajo rocas, en grietas del suelo, entre la vegetación baja y se adaptan bien a zonas alteradas por el uso del suelo, por ejemplo en pastos, cultivos y bosques cultivados. Al observar los mapas de distribución de las dos especies (Figura 8 y 9), se puede ver que *P. curtipes* se distribuye entre 2750 a 4400 m, prefiere elevaciones más altas en hábitats de pastizales y páramo (Lynch 1981, citado por Frenkel, 2012). Por otro lado, las especies de *Pristimantis* que tienen distribución restringida, que son la mayoría, probablemente tienen requerimientos especiales en cuanto a condiciones de humedad y temperatura, o dependencia inter-específica con plantas para su desarrollo; lamentablemente no hay estudios sobre la historia natural de estas especies, la mayoría se conocen solamente por unos pocos registros. Entre las especies de distribución restringida se escogió *Pristimantis ernesti*, que ha sido reportada solamente de una localidad, en la cima del volcán Sumaco. En este caso, si la especie es muy restringida puede significar que su tolerancia al clima sea también lo sea y no pueda adaptarse a nuevas condiciones. De acuerdo a las proyecciones para las vertientes orientales de la cordillera, estas zonas son las que más aumento de temperatura y precipitación sufrirán, estas condiciones ambientales tienen directa incidencia en el desarrollo de los huevos, que parecen muy sensibles especialmente a la humedad durante el desarrollo embrionario (Lynch, 1999), lo cual reduciría el éxito reproductivo de esta especie. El incremento de las poblaciones de algunas especies de *Pristimantis* después de períodos de abundante lluvia, demuestra que la ausencia de renacuajo acuático no las hace invulnerables a los cambios ambientales (Cole *et al.*, 2014).

5.3.3. DIVERSIDAD GENÉTICA EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN EVOLUTIVA A CONDICIONES AMBIENTALES CAMBIANTES

Se cree que la capacidad evolutiva de las poblaciones a cambios en el clima fue un factor importante en la selección y radiación adaptativa de especies en los Andes. El alto nivel de endemismo y diversidad de especies en *Pristimantis*, sugiere que la radiación adaptativa de poblaciones en respuesta a condiciones particulares se ha producido desde hace mucho tiempo. Podría esperarse por tanto que algunas poblaciones continúen adaptándose a los cambios.

Muchos de los puntos calientes de biodiversidad, “hotspots” están en las regiones tropicales de montaña. Estudios filogenéticos en anfibios demuestran que la alta biodiversidad en ecosistemas tropicales de montaña se explica por la combinación de tres factores: Altas tasas de especiación, bajas tasas de extinción en comparación con las zonas templadas y limitada dispersión. Estos patrones están en directa relación con variables ambientales, principalmente temperatura, precipitación, y energía en los ecosistemas. Estos estudios establecen también que las tasas de extinción en los trópicos son asombrosamente bajas, en contraste con las pérdidas de biodiversidad actuales debidas a la influencia humana en estos ecosistemas (Pyron y Wiens, 2013).

Se ha explicado la alta diversidad por una tolerancia térmica limitada de las especies, relacionada a la estratificación climática de las montañas. La estratificación altitudinal en los Andes favorecería la selección de especies con tolerancia fisiológica restringida a ciertos nichos climáticos, produciendo

especiación alopátrica o parapátrica, pero los resultados de estos procesos dependen también de la capacidad de dispersión de los organismos. Se puede predecir que la gradiente altitudinal y climática favorecería a la divergencia de especies con limitada dispersión y con poca tolerancia térmica. Las interacciones inter-específicas, como la competencia, pueden reforzar el aislamiento climático (Cadena *et al.*, 2011; Kozak y Wiens, 2007).

Lynch (1999) en su estudio de la filogenia de ranas *Pristimantis* (*Eleuterodactylos*) en Colombia encontró que el mecanismo principal de especiación es la alopatría. Las ranas *Pristimantis* están distribuidas en bandas altitudinales, parece que la altitud y la temperatura son los factores limitantes; estas ranas parecen muy sensibles a cambios en la temperatura ambiental. Sostiene la hipótesis de que en el desarrollo embrionario temprano estas ranas son muy sensibles a los límites de temperaturas mínimas y máximas, especialmente en los pisos más altos (Lynch, 1999).

La especiación del género *Pristimantis*, según Lynch, se inició antes de la formación de los Andes, y después continuó con el levantamiento de la cordillera. Durante las glaciaciones, la alternancia de ciclos húmedos y secos influyó en la distribución de las comunidades vegetales y animales, y en la diferenciación de hábitats altitudinales. El aumento de humedad permitiría la expansión del área de distribución, los períodos secos o menos húmedos propiciarían su reducción. (Lynch, 1999)

Según Guayasamín y Funk (2009) en el género *Pristimantis* hay una impresionante diversidad intra-específica, que con frecuencia se sobrepone a la variación inter-específica. El hecho de que la especie tenga amplia distribución

latitudinal y altitudinal, como por ejemplo *Pristimantis curtipes*, muestra que probablemente hay suficiente flujo genético entre las poblaciones; además porque las poblaciones del norte y del sur presentan variaciones morfológicas como en la pigmentación y el tamaño, las del sur son más pigmentadas y las del centro en la cordillera occidental entre el río Patate y el río Chambo, son más grandes (Lynch, 1981 citado por Frenkel, 2012b). El caso de *Pristimantis ernesti*, al contrario, es de una especie aislada geográficamente, que no tiene flujo genético con poblaciones cercanas, y probablemente altamente especializada a su nicho, por tanto su capacidad adaptativa es muy reducida.

Los estudios filogenéticos de *Gastrotheca* muestran que la mayor diversificación del género se dio en los Andes, que perdieron la fase larvaria en una etapa evolutiva temprana y que el desarrollo larvario acuático es un carácter que re-apareció más tarde, lo cual es considerado como el único caso de evolución regresiva en anfibios (Wiens *et al.*, 2007). En el caso de *Gastrotheca pseustes*, las poblaciones se distribuyen ampliamente, a lo largo de la cordillera de norte a sur, y también altitudinalmente, lo cual sugiere que puede haber flujo genético entre poblaciones, con la condición de que haya continuidad de hábitat o al menos corredores de comunicación. Por otro lado *Gastrotheca espeletia*, podría tener menos variabilidad genética al estar restringida su distribución a los páramos del norte.

5.3.4. DESPLAZAMIENTO O CAMBIO EN EL RANGO DE DISTRIBUCIÓN

Los modelos de cambio climático proyectan una tendencia marcada al desplazamiento vertical de biomas en las montañas, especialmente en puntos

calientes como las zonas montañosas tropicales. En los Andes tropicales, el modelo de desplazamiento es heterogéneo; las áreas húmedas podrían expandir sus límites superiores e inferiores, mientras que los biomas secos tienden a expandirse hacia los límites inferiores. También predicen que una buena parte de estos biomas alto-andinos, entre 74.8% and 83.1%, se mantendrá estable y entre el 3.3% y 7.6% presentará un incremento en el gradiente vertical. Los páramos y super-páramos o áreas de glaciares, son los biomas que más se verán reducidos bajo cualquier escenario que se use para la modelación. El páramo sería desplazado en un 31,4% por bosque siempreverde montano. El bosque montano es el bioma que más pérdida sufriría, a pesar de extenderse hacia el límite superior, principalmente por cambios en el uso de la tierra, en la actualidad ya es un bioma altamente amenazado y fragmentado por expansión de actividades productivas. Los páramos de Azuay y Loja y los bosques montanos de la vertiente oriental, están considerados entre las áreas de mayor susceptibilidad de desplazamiento de biomas (Tovar *et al.*, 2013).

Varios estudios (Anderson *et al.*, 2012; Cuesta *et al.*, 2012b; Larsen *et al.*, 2012) predicen el desplazamiento de especies y comunidades hacia rangos altitudinales mayores, pero esto depende de la capacidad de dispersión de las especies. Los anfibios en general tienen menor capacidad de dispersión que otros organismos como las aves o los mamíferos. Tal vez unas pocas especies podrían agrandar sus áreas de dispersión y ocupar nichos disponibles, desplazando a otras.

Hay varios estudios que evidencian cambios en las áreas de distribución, o desplazamiento, de especies en respuesta a los cambios climáticos regionales. Estudios recientes demuestran que seis especies de anfibios han ampliado su

rango altitudinal superior como respuesta al calentamiento global, pero no su rango altitudinal inferior. De estas, solo dos especies están presentes en ecosistemas alto-andinos: *Pristimantis thymelensis* (*Eleutherodactylus thymelensis*), en el páramo de Guamaní a 4020 m y *Pristimantis vertebralis* (*Eleutherodactylus vertebralis*) en Cashca Totoras (2800–3100 m), las otras cuatro especies corresponden a bosque montano bajo (Bustamante *et al.*, 2005).

Rojas-Runjaic y Guayasamin (2015) reportan la expansión del área de distribución de *Pristimantis myersi*, en latitud, 135 Km. en dirección Sur-Sureste y en altitud entre 2800 y 3650 m en localidades del norte de Ecuador, laguna de Puruhanta, Imbabura, y Playón de San Francisco, Sucumbíos. Esta especie se conocía de Colombia, en altitudes de 2900 a 3275 m (Castro *et al.*, 2004, citado por Rojas-Runjaic y Guayasamin, 2015). Los autores sugieren que las ranas del género *Pristimantis* presentan pocas características morfológicas que permitan la identificación de especie, además la amplia variación intra-específica a veces se confunde con la variación inter-específica, lo cual dificulta la identificación de los especímenes de museo; podría ser que no se tenían registradas las distribuciones tan altas para esta especie simplemente porque se había confundido con otras especies del género.

Frolich *et al.* (2003) reportan nuevos rangos de distribución para algunas especies de *Pristimantis* en la Provincia de El Carchi: *Pristimantis chloronotus* que fue reportada en 1980 para un rango altitudinal de 2285 a 3350 m y según la base de datos Amphibiaweb de QCAZ entre 1900 y 3400 m y en el 2000 se registró a 3700 m. *P. gladiator*, que se conocía de alturas de 2350 a 2910 m, fue encontrada entre 3000 y 3100 m. *P. glandulosus*, se encuentra en la Provincia de Napo entre 2105 y 2890 m, en El Playón de San Francisco, El Carchi, se encontró

a 3400m. También sugieren que *P. unistrigatus* puede tener un rango más amplio entre 1500 y 3490 m, en lugar de 2500 a 3200 m (Frolich *et al.*, 2003).

En base a la comparación de las especies estudiadas en esta monografía, se puede pronosticar el desplazamiento de algunas especies de anfibios altoandinos en respuesta al cambio climático. Sin embargo, hay que considerar que el desplazamiento a otras zonas está limitado por la fragmentación de los hábitats, especialmente en los páramos, donde la expansión de la frontera agrícola también está cambiando debido a las condiciones más favorables para la producción.

Parece que *Pristimantis curtipes* por su tolerancia a ambientes alterados y preferencia por los pastizales, está ampliando su rango de distribución, el cual se ha vuelto más continuo. Esta expansión permite mayor flujo genético y por lo tanto se reducen las diferencias que pudieron haber surgido durante el aislamiento de poblaciones en las diferentes montañas (Lynch, 1981, citado por Frenkel, 2012). Esto hace de esta especie un fuerte competidor que puede desplazar a otras con preferencias de nicho más restringidas y que no toleran la fragmentación o alteración de su hábitat. Por ejemplo podría desplazar a *P. buckleyi* con la cual vive en simpatria. De acuerdo al mapa de distribución potencial de esta especie (Figura 8), que muestra áreas de idoneidad se ve que podría desplazarse tanto altitudinalmente como latitudinalmente y que al ser una especie que se ha adaptado a zonas de vegetación alterada, su desplazamiento no estaría tan limitado por la fragmentación del hábitat debido a cambios en el uso de la tierra y la expansión agrícola. Al contrario, para *Pristimantis ernesti*, el desplazamiento hacia arriba es imposible, ya que su hábitat es la cima del volcán Sumaco (Figura 9), entonces no tiene a donde desplazarse.

El caso de *Gastrotheca espeletia*, aunque no sea tan restringida como *P. ernesti*, es también preocupante, ya que su rango de distribución es restringido. Solo existen 8 registros en la base de datos Amphibiaweb del museo QCAZ, de la provincia de Carchi, entre Tulcán, San Gabriel y Maldonado, cerca del volcán Chiles; en el mapa de distribución potencial (Figura 7) se puede ver que el hábitat idóneo se limita al volcán Chiles, entonces podría desplazarse hacia arriba siempre y cuando la vegetación también lo haga, en especial las rosetas con las que parece tener una fuerte relación de dependencia y que encuentre pozas o riachuelos para su ciclo reproductivo. El desplazamiento también puede estar limitado por la capacidad de adaptación homeostática, especialmente la tolerancia a la radiación ultra violeta.

Para *Gastrotheca pseustes*, el área de distribución es amplia (Figura 6), se ha adaptado a zonas alteradas, con cultivos y potreros, eso quiere decir que es bastante tolerante y por lo tanto no está considerada en riesgo de extinción. Sin embargo, por depender de fuentes de agua para su reproducción, su desplazamiento depende de la disponibilidad de lugares aptos para el desarrollo de los renacuajos en aguas tranquilas, casi estancadas y de buena calidad. También parece que las plantaciones de pino o eucaliptos podrían representar barreras a su hábitat, y zonas de cultivos en las que se usa pesticidas que contaminan el agua (Ron y Merino-Viteri, 2000; Ron, 2005, citado por Ron y Frenkel, 2010).

Las ranas de altura podrían desplazarse en respuesta a cambios en las condiciones ambientales, independientemente de la respuesta de la vegetación. Se ha visto que muchas especies responden en mayor grado a la estructura del hábitat que a la presencia o ausencia de especies vegetales particulares. La

especialización en micro-hábitat puede explicar las respuestas diferentes de las especies, por ejemplo se cree que las ranas que viven en los niveles más bajos de vegetación, menos de 0,5 m serían más afectadas por la reducción de humedad en el suelo (Cole *et al.*, 2014). Especies con requerimientos especiales de suelos, cuevas, grietas o rocas, pueden tener mayor riesgo de no encontrar estos requerimientos al desplazarse hacia zonas más altas (Young *et al.*, 2012a).

5.3.5. EXTINCIÓN

Las especies con distribución restringida, especialmente en las zonas altas de montaña, muestran contracciones de sus rangos de distribución más severas que las de amplia distribución, y son más propensas a extinguirse; entre los grupos más sensibles se encuentran los anfibios. Por lo general los procesos de adaptación evolutiva a los cambios no suceden lo suficientemente rápido y en una magnitud tal como para prevenir la extinción (Parmesan, 2006). El desplazamiento puede verse limitado principalmente por la fragmentación del hábitat, pero también por la capacidad de adaptación homeostática a alturas mayores, entonces la respuesta de muchas especies al cambio climático puede ser la extinción.

En base a los casos de extinción de anfibios durante los 80 Y 90s, se sabe que disminuciones drásticas de poblaciones con potencial de extinción se pueden dar por la interacción entre el surgimiento de epidemias de patógenos, favorecido por el cambio climático y la reducción de hábitat.

Las bajas densidades poblacionales y poca ocupación del hábitat hacen que la población sea menos resistente a cualquier alteración, sea por cambios en el uso de la tierra, invasión de otras especies, o cambios climáticos. Los procesos

de extinción y recolonización causan cambios en la distribución de recursos en el hábitat y en las relaciones inter-específicas por ejemplo entre depredadores y presas, mutualismos, parasitismo, herbivoría, etc. También hay mayor riesgo de extinción durante la dispersión, para especies que están desplazándose a nuevas áreas, debido a la alta mortalidad durante las migraciones y a que las relaciones de competencia y depredación se ven acentuadas.

De acuerdo a Opdam y Wascher (2003), las poblaciones que se distribuyen heterogéneamente, como sucede en gradientes altitudinales de montañas, tienen un tiempo de recuperación más largo, frente a cualquier tipo de alteración, en comparación con poblaciones homogéneas o que están en un área continua, no fragmentada. Los ambientes no fragmentados permiten la existencia de poblaciones más grandes y variadas (Opdam y Wascher, 2003). Por lo tanto, las especies que viven en remanentes de bosques, o tienen áreas restringidas de distribución serían las más afectadas porque éstos son hábitats fragmentados, que además están reduciéndose cada vez más debido a la presión de uso humano y al cambio climático. Este sería el caso de *Gastrotheca espeletia* y *Pristimantis ernesti*.

El riesgo de extinción de los anfibios alto-andinos debido a los efectos del cambio climático es bastante alto al combinar factores intrínsecos como tolerancia climática restringida, poca capacidad de adaptación genética, poca capacidad de desplazamiento y factores relacionados con el hábitat como deforestación, fragmentación por la expansión de áreas agrícolas y mineras, y deterioro en la calidad del agua.

6. CONCLUSIONES

1. Los ecosistemas alto-andinos están considerados entre los más vulnerables del mundo ante los cambios climáticos. En base a los modelos climáticos regionales, se proyecta un incremento de temperatura entre 4°C y 5°C y hasta 300 mm/año de precipitación. En los páramos del sur, por ser más estacionales, se pronostica una reducción de humedad, o temporadas de sequía más importantes.
2. Los anfibios son organismos muy sensibles al cambio climático. Son considerados buenos indicadores porque son bastante especializados a su nicho ecológico, ocupan un lugar intermedio en las cadenas tróficas y sus poblaciones son relativamente abundantes. Su diversidad y endemismo en los ecosistemas alto-andinos es muy importante.
3. La gran diversidad de los anfibios alto-andinos es el resultado de su historia evolutiva que ha favorecido la divergencia de especies altamente especializadas a lo largo de gradientes altitudinales, con tolerancia limitada y poca capacidad de movimiento. Como resultado de estos procesos evolutivos, la mayoría de especies tienen rangos de distribución restringidos, lo cual se evidencia especialmente en el género *Pristimantis*, pero también en algunas especies de *Gastrotheca* como *G. espeletia*.

4. Los procesos de adaptación evolutiva de las poblaciones pueden ser muy lentos en comparación con los cambios climáticos actuales, además la capacidad de adaptación está limitada por la falta de flujo genético entre poblaciones debido a la fragmentación de hábitat. Entonces, la respuesta al cambio climático para los anfibios va a depender en gran parte de su capacidad de desplazamiento, la cual es relativamente baja. Se ha visto que especialmente los que han logrado independizarse del agua para su ciclo reproductivo, como es el caso de las ranas del género *Pristimantis*, tienen áreas de distribución bastante restringidas.
5. Las especies de amplia distribución, como *Pristimantis curtipes*, muestran mayor capacidad de adaptación homeostática, tolerancia a un rango más amplio de condiciones ambientales como temperatura y humedad, y a las alteraciones de hábitat, muchas de éstas se encuentran en zonas de cultivos, pastos y áreas urbanas; por lo tanto esas especies serían menos vulnerables al cambio climático y podrían incluso incrementar su rango de distribución.
6. *Pristimantis ernesti* sería la más amenazada de las especies estudiadas, ya que por tener una distribución restringida a una sola localidad, la cima del volcán Sumaco, no tiene a donde desplazarse. El hecho de tener una distribución tan restringida hace suponer que sea poco tolerante y bastante especializada a su hábitat. Esta especie estaría en riesgo de desaparecer a no ser que su población se adapte a las nuevas condiciones.

7. *Gastrotheca pseustes* podría desplazarse hacia zonas más altas en busca de condiciones óptimas de hábitat, pero necesita agua de buena calidad para su ciclo reproductivo. Esta especie podría estar afectada indirectamente por el cambio climático al estar expuesta a un aumento en la incidencia de enfermedades como la quitridiomycosis en relación al aumento de temperatura. El patógeno ya ha sido detectado en algunas poblaciones de esta rana (Ron y Merino-Viteri, 2000; Ron, 2005); además, debido al incremento de la actividad agrícola y minera, estaría también más expuesta a contaminación química en la fase acuática de su ciclo. Por lo tanto la mayor amenaza para esta especie está en relación con la calidad del agua para su reproducción, y con alteraciones extremas del hábitat.

8. *Gastrotheca espeletia* por ser una especie de distribución restringida, menos tolerante y especializada a una formación vegetal, páramo de Frailejones, sería más afectada por el cambio climático. Podría desplazarse hacia arriba en los flancos del volcán Chiles, pero necesita que las plantas con las que vive en asociación se desplacen también. De acuerdo a los impactos potenciales para estos ecosistemas, la calidad del suelo puede cambiar, perdiendo las propiedades de retención de humedad; además la excesiva precipitación puede causar erosión por escorrentía, entonces las probabilidades para estas áreas altas de montaña de ser repobladas por los frailejones son bajas. Por otro lado, necesita encontrar agua de buena calidad para su reproducción y puede también verse afectada por el aumento de la temperatura y radiación

ultravioleta ya que el desarrollo marsupial es muy sensible a estos factores ambientales.

9. Las relaciones inter-específicas que pueden limitar el desplazamiento de las especies son:

- Dependencia con comunidades vegetales como rosetas, almohadillas, epífitas o pajonales que proveen el hábitat principal.
- Fluctuaciones en las poblaciones de invertebrados que constituyen la fuente principal de alimento para los anfibios y en los depredadores, principalmente aves.
- Posible invasión de nuevos depredadores que han extendido su área de distribución
- Competencia de otros anfibios de zonas más bajas que amplían su área de distribución.
- Expansión de áreas de influencia humana, cultivos, pastos, obras de infraestructura, actividad minera

10. Disminuciones drásticas de poblaciones con potencial de extinción se pueden dar por la interacción entre el surgimiento de epidemias de patógenos, favorecido por el cambio climático y la reducción de hábitat, especialmente para las especies con distribución restringida y que no tienen posibilidad de desplazamiento.

11. La función de las Áreas Protegidas del Sistema Nacional y la red de reservas privadas es muy importante para asegurar la existencia de

corredores que permitan el desplazamiento de especies en respuesta al cambio climático y la conservación de los ecosistemas alto-andinos, que son muy importantes en la regulación de los ciclos hídricos y como reservas de alta biodiversidad.

12. Si bien el estudio de anfibios en Ecuador ha tenido mucha importancia en las dos últimas décadas, se recomienda incrementar la investigación y monitoreo de poblaciones de anfibios ya que éstos constituyen muy buenos indicadores de cambio climático.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuja, L., Armendáriz, A., Barriga, R., Montalvo, L., Cáceres, F. y Román, J.L. **Fauna de Vertebrados del Ecuador**. Quito: Instituto de Ciencias Biológicas, Escuela Politécnica Nacional, 2012. 490 p.
- Aliaga, J. y Villegas, H. **Cambio Climático, Desarrollo y Energías Renovables: Estudio exploratorio de América Latina**. [PDF] Friedrich Ebert Stiftung, Proyecto Regional de Energía y Clima, 2009. [en línea] Disponible en: http://www.fes-ecuador.org/media/pdf/Cambio%20Climatico_%20Desarrollo_y_Energias_Renovables.pdf. [Fecha de consulta: enero 16, 2015].
- Almendáriz, A. y Orcés, G. **Distribución de algunas especies de la herpetofauna de los pisos Altoandino, Temperado y Subtropical**. [PDF] Quito: Revista Politécnica 25: 97-149, 2004.
- Anderson, E., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., Gst, F., Jaimes, E. y Ruiz, D. **Consecuencias del Cambio Climático en los Ecosistemas y Servicios Ecosistémicos de los Andes Tropicales**. En: Herzog, S., Martínez, R., Jorgensen, P. y Tiessen, H. (Eds) Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales. Paris: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), San José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE), 2012. 426pp.
- Arteaga, A., Bustamante, L. y Guayasamin, J.M. **The Amphibians and Reptiles of Mindo, life in the cloudforest**. Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica, 2013. 258p.
- Arzac, A., Chacón-Moreno, E., Llambi, L. y Dulhoste, R. **Distribución de formas de vida de plantas en el límite superior del ecotono Bosque-páramo en los Andes Tropicales**. Sociedad Venezolana de Ecología: Ecotrópicos 24(1): 26-46, 2011.
- Auber-Thomay, M., Coloma, L. y Onore, G. **Elevage d'une rainette marsupiale arboricole des forêts nuageuses équatoriennes, Gastrotheca plumbea (Boulenger)**. Revue française d'aquariologie herpetologie. 17 (2) :57-62, 1990. [PDF en línea] Disponible en: <http://www.amphibianark.org/pdf/Husbandry/Auber-Thomay>. [Fecha de consulta: Febrero 17, 2015].
- Báez, S., Cuesta, F., Muriel, P., Carrilla, J., Jaramillo, R., Irazábal, J., Cuello, S. y Grau, A. **Monitoreo de biodiversidad, productividad y experimentación en ecosistemas herbáceos andinos. Protocolo 4 –Versión 1**. Quito: CONDESAN/ Escuela de Ciencias Biológicas-PUCE/ IER-UNT/ COSUDE, 2014a. 84p.

- Baez, S., Malizia, A., Carilla, J., Blundo, C., Aguilar, M., Aguirre, N., Aguirre, Z., Alvarez, E., Cuesta, F., Duque, A., Farfán, W., García, K., Grau, R., Homeier, J., Linares, R., Malizia, L., Melo, O., Osinaga, O., Phillips, O., Reyne, C., Silman, M. y Feeley, K. **Effects of temperatura and precipitation on the forest dynamics in the Andean cordillera.** [523.98 KB] CONDESAN, 2014b. Disponible en: <http://www.condesan.org/portal/publicaciones/effects-temperature-and-precipitation-forest-dynamics-andean-cordillera>. [Fecha de consulta: enero 18, 2015].
- Baquero, F., Sierra, R., Ordoñez, M., Tipán, L., Espinosa, M.B. y Soria, P. **La Vegetación de los Andes del Ecuador. Memoria explicativa de los mapas de vegetación: potencial y remanente a escala 1:250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras.** Quito: EcoCiencia/CESLA/Corporación EcoPar/ MAG SIGAGRO/ CDC-Jatun Sacha/ División Geográfica-IGM. 2004. 28p.
- Blaustein, A. y Belden, L. **Amphibian defenses against ultraviolet-B radiation.** *Evolution & Development* 5:1(89-97), 2003.
- Bonetti, M.F. y Wiens, J. Evolution of climatic niche specialization: a phylogenetic analysis in amphibians. **Proceedings of the Royal Society.** [PDF]: 10.1098/rspb.2013.3229, 2014
- Bustamante, M. R., Ron, S. R., Coloma, L. A. 2005. **Cambios en la diversidad en siete comunidades de anuros en los Andes de Ecuador.** *Biotropica* 37:180-189 [En línea] Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7429.2005.00025>. [Fecha de consulta: enero 28, 2015].
- Cadena, C., Kozak, K., Gómez, J., Parra, J., McCain, C., Bowie, R., Carnaval, A., Moritz, C., Rahbek, C., Roberts, T., Sanders, N., Schneider, C., VanDerWal, J., Zamudio, K. y Graham, C. **Latitude, elevational climatic zonation and speciation in New World vertebrates.** *Proceedings of the Royal Society B.* 2012 (279 1726) 194; DOI: 10.1098/rspb.2011.0720, 2011 [Fecha de consulta: Febrero 5, 2015].
- Cadena, M. y García, M. **Fertilización asistida en rana marsupial andina "Gastrotheca riobambae" en el centro de investigación y conservación de anfibios,** Proyecto Balsa de los Sapos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Médico Veterinario Zootecnista. Quito: Universidad Central del Ecuador, 2012.
- CalPhotos. **Gastrotheca espeletia.** Regents of the University of California, Berkeley, 2012. Available online at: <http://calphotos.berkeley.edu/> [Fecha de consulta: Febrero 24, 2015].
- Carvajal-Endara, S. **Efectos de factores ambientales y competencia interespecifica en la distribución de Gastrotheca pseustes y Gastrotheca riobambae (Anura: Hemiphractidae).** Quito: Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2010.

- Castro, F., Herrera, I., Coloma, L.A., Ron, S., Lynch, J., Almeida, D., Nogales, F., Almendáriz, A. y Yáñez-Muñoz, M. **Pristimantis curtipes**. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. 2004.<www.iucnredlist.org>. Downloaded on 24 February 2015.
- Cole, E., Bustamante, M., Almeida D y Funk, W. **Spatial and temporal variation in population dynamics of Andean frogs: Effects of forest disturbance and evidence for declines**. *Global Ecology and Conservation* 1 (2014) 60–70 [En línea] Disponible en: <http://ac.els-cdn.com> [Fecha de consulta enero 25, 2015].
- Coloma, L.A. **Anfibios del Ecuador: Lista de Especies, Ubicación Altitudinal y Referencias Bibliográficas**. Quito: Reportes Técnicos Ecociencia, 1991.
- Coloma, L. A., Ron, S., Jungfer, K.H. **Gastrotheca riobambae**. The IUCN Red List of Threatened Species. 2004 [Version 2014.3.] Disponible en: www.iucnredlist.org. [Fecha de consulta: Downloaded on 12 February 2015].
- Coloma, L. A., Duellman, W. E., Almendáriz, A., Ron, S. R., Terán-Valdez, S. R. y Guayasamin, J. M. **Five new (extinct?) species of Atelopus (Anura: Bufonidae) from Andean Colombia, Ecuador, and Peru**. *Zootaxa* 2574:1-54, 2010.
- Coloma, L. A. y Quiguango-Ubillús, A. **Atelopus ignescens**. En: Centro Jambatu. 2011–2012. *Anfibios de Ecuador*. [en línea] Quito: Fundación Otonga., 2014. Disponible en: <http://www.anfibioswebecuador.ec/fichaespecie>. [Consulta: sáb, 24 / ene / 2015].
- Cuesta, F., García, C. y Halloy, S. **Memorias del curso: Monitoreo del impacto del cambio climático en la biodiversidad de los ecosistemas de alta montaña en los Andes**. Quito: CONDESAN, 2007. [En línea] Disponible en: <http://www.condesan.org/gloria/sites/default/files/Informecurso.pdf>. [Fecha de consulta: enero 18, 2015].
- Cuesta F., Peralvo M. y N. Valarezo. **Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático**. Serie Investigación y Sistematización # 5. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION. Quito. 2009.
- Cuesta, F., Bustamante, M., Becerra, M.T., Postigo, J. y Peralvo, M. (Eds.) **Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales**. Lima: CONDESANSGCAN, 2012a 335p.
- Cuesta, F., Báez, S., Ramírez, J., Tovar, C., Devenish, C., Buytaert, W. y Jarvis, A. **Síntesis de los impactos y estado del conocimiento de los efectos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes Tropicales**. Pp 109-145. En: Cuesta, F., Bustamante, M., Becerra, M.T., Postigo, J. y Peralvo, M. (Eds.) *Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales*. Lima: CONDESANSGCAN, 2012b.

- Cuesta F., Muriel, P., Beck, S., Meneses, R., Halloy, S., Salgado, S., Ortiz, E. y Becerra, M.T. (Eds.) **Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales - Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación.** Red Gloria-Andes, Lima-Quito. 2012c. 180p.
- Cuesta F, Baez S, Muriel P, Salgado S..**La vegetación de los páramos del Ecuador.** En: Cuesta F, Sevink J, Llambí LD, De Bièvre B, Posner J, Editores. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos, CONDESAN. 2013.
- Cuesta, F., Sevink, J., Llambí, L.D., De Bièvre, B. y Posner, J. (Eds) **Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos,** CONDESAN, 2013.
- Cuesta, F., Muriel, P., Beck, S., Meneses, S., Halloy, S., Salgado, E., Ortiz, E. y Becerra, M:T. **Biodiversidad y cambio climático en los Andes Tropicales.** Quito: CONDESAN, 2014. [Pdf En línea] Disponible en: <http://www.condesan.org/gloria/sites/default/files/GLORIA>, [Fecha de consulta: enero 18, 2015].
- De Noni, G., Viennot, J., Asseline, J. y Trujillo, G. **Terres d'altitude, terres de risque. La lutte contre l'érosion dans les Andes équatoriennes.** Paris: Éditions de l'IRD, Collection Latitudes 23, 2001. 220p.
- Del Pino, E., Galarza, M., Albuja, C. y Humphries, A. **The maternal pouch and development in the marsupial frog *Gastrotheca riobambae* (Fowler).** Biology Bulletin 149: 480, 1975.
- Del Pino, E. y Medina, A. **Neural development in the marsupial frog *Gastrotheca riobambae*.** International Journal of Developmental Biology 42: 723-731, 1998.
- Duellman, W. y Hills, D. **Marsupial frogs (Anura: Hylidae: *Gastrotheca*) of the ecuadorian Andes: resolution of taxonomic problems and phylogenetic relationships.** Herpetologica, 43(2), 1987, 141-173.
- EPA United States Environmental Protection Agency. **Causes of Climate Change.** [En línea] Disponible en: <http://www.epa.gov/climatechange/science/causes.html#changesreflectivity>. [Fecha de consulta: enero 22, 2015].
- Escanta, S. **Manejo en semicautiverio de la rana marsupial andina (*Gastrotheca riobambae*), para educación ambiental en el Jardín Botánico de Quito, Provincia de Pichincha.** Tesis previa a la obtención del Título de: Ingeniera en Recursos Naturales Renovables. Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2007.

- FONAG. **Generación de indicadores de impacto de los procesos de restauración, en el proceso hidrológico dentro de la unidad hidrográfica Jatunhuayco**. Quito: CONDENSAN, 2014. [En línea] Disponible en: <http://www.condesan.org/portal/publicaciones/generacion-de-indicadores-de-impacto-de-los-procesos-de-restauracion-en-el-proceso-hidrologico>. [Fecha de consulta: enero 18, 2015].
- Frenkel, C., Vallejo, A., Félix-Novoa, C. y Ron, S. R. **Gastrotheca riobambae**. En: Ron, S. R., Guayasamin, J. M., Yanez-Muñoz, M. H., Merino-Viteri, A., Ortiz, D. A. y Nicolalde, D. A. 2014a. AmphibiaWebEcuador. [Version 2014.0] Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2010a. Disponible en: <http://zoologia.puce.edu.ec/vertebrados/anfibios/FichaEspecie.aspx?Id=1136> [Fecha de acceso: enero 27, 2015].
- Frenkel, C., Guayasamin, J. M., Yáñez-Muñoz, M. H., Varela-Jaramillo, A. y Ron, S. R. **Pristimantis curtipes**. En: Ron, S. R., Guayasamin, J. M., Yanez-Muñoz, M. H., Merino-Viteri, A., Ortiz, D. A. y Nicolalde, D. A. 2014. AmphibiaWebEcuador. [Version 2014.0] Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2012b. Disponible en: <http://zoologia.puce.edu.ec/vertebrados/anfibios/FichaEspecie.aspx?Id=1395>. [Fecha de acceso: enero 27, 2015].
- Pristimantis ernesti**. En: Ron, S. R., Guayasamin, J. M., Yanez-Muñoz, M. H., Merino-Viteri, A., Ortiz, D. A. y Nicolalde, D. A. 2014. AmphibiaWebEcuador. [Version 2014.0] Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2013a. Disponible en: <http://zoologia.puce.edu.ec/vertebrados/anfibios/FichaEspecie.aspx?Id=1405> [Fecha de acceso: enero 28, 2015].
- Frolich, L., Schultz, N., Almeida, D. y Nogales, F. **Las ranas de los Andes Norte del Ecuador: Cordillera Oriental**. [PDF] Proyecto AndinoHerps 2000, 2003.
- Frost, D. R. **Amphibian species of the world: an online reference**. Version 5.4 (8 April, 2010). Electronic Database accessible at <http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/>. American Museum of Natural History, New York, USA. 2010.
- Gatherer, D. y Del Pino, E. **Somitogenesis in the marsupial frog Gastrotheca riobambae**. *Inl..J. Dev. Biol.*36: 283-291, 1992.
- Guayasamin, J.M. and W.C. Funk. 2009. **The amphibian community at Yanayacu Biological Station, Ecuador, with a comparison of vertical microhabitat use among Pristimantis species and the description of a new species of the Pristimantis myersi group**. *Zootaxa* 2220: 41–66 Disponible en: <http://www.mapress.com/zootaxa/2009/f/z02220p066f.pdf> [Fecha de consulta: Febrero 5, 2015].

- Hansen, J. **The Scientist who gave a name to Global Warming**. En Bloomberg Business week, Politics & Policy. December 2014. [En línea] Disponible en: <http://www.businessweek.com/articles/2014-12-04/global-warming-james-hansen-on-introducing-it-to-the-public>. [Fecha de consulta: 22 de enero 2015].
- Herzog, S., Martinez, R., Jorgensen, P. y Tiessen, H. (Eds) **Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales**. Paris: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), San José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE), 2012. 426pp.
- IPCC. **Climate Change 2007: Impacts, adaptation, and vulnerability**. Report of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge Univ. Press, 2007 [En línea] Disponible en: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm> [Fecha de consulta: enero 23, 2015].
- IPCC. **Climate Change 2014**. Synthesis Report, Summary for Policymakers. [en línea] Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_SPMcorr2.pdf [Fecha de consulta: enero 28, 2015].
- IPCC **Fifth Assessment Report: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. 2014. Ch. 27: Central and South America. [Pdf en línea] Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter10_FINAL. [Fecha de consulta: Enero 30, 31, Febrero 5, 6,7,8, 2015].
- IUCN, Conservation International y Nature Serve. 2004. **Global Amphibian Assessment**. www.globalamphibians.org .[Fecha de consulta: 8 noviembre 2005].
- Jorgensen, P.M. y León-Yáñez, S. (eds). Resultados. En: **Catálogo de Plantas Vasculares del Ecuador**. [En línea] San Louis: Missouri Botanical Garden, 1995- 2015.[Consulta: enero 19, 2015].
- **Catalogue of the vascular plants of Ecuador**. Monography. Systematic Botany. Missouri Botanical Garden 75: i–viii, 1–1182., 1999.
- JOSSE, C., Mena, P. y Medina, G. (Eds.). **La Biodiversidad de los Páramos**. Serie Páramo 7. GTP/Abya Yala. Quito. 2000.
- Keith, D., Akcakaya, H., Thuiller, W., Midgley, G., Pearson, R., Phillips, S., Regan, H., Araujo, M. y Rebelo, T. **Predicting extinction risks under climate change: coupling stochastic population models with dynamic bioclimatic habitat models**. [PDF] Biology letters (4): 560-563, 2008 Disponible en: <http://rsbl.royalsocietypublishing.org>. [Fecha de consulta: Febrero 18, 2015].
- Kozak, K. y Wiens, J. **Climatic zonation drives latitudinal variation in speciation mechanisms**. [en línea] Proceedings of the Royal Society. DOI: 10.1098/rspb.2007.1106, 2007 [Fecha de consulta: Febrero 5, 2005].

- Larsen, T., Brehm, G., Navarrete, H., Franco, P., Gómez, H., Mena, J.L., Moales, V., Argollo, J., Blacutt, L. y Canhos, V. **Desplazamientos de los Rangos de Distribución y Extinciones Impulsados por el Cambio Climático en los Andes Tropicales: Síntesis y Orientaciones**. En: Herzog, S., Martínez, R., Jorgensen, P. y Tiessen, H. (Eds) Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales. París: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), San José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE), 2012. 426pp.
- León-Yáñez, S. **La flora de los páramos ecuatorianos**. En: La Biodiversidad de los Páramos. Serie Páramo 7. GTP. Quito: Abya Yala. 2000.
- Lynch, J.D. **Leptodactylid Frogs of the Genus Eleutherodaetylus from the Andes of Southern Ecuador**. University of Kansas, Museum of Natural History. Miscellaneous Publication No. 66 pp. 1-62; 1979.
- **Ranas pequeñas, la geometría de evolución, y la especiación en los Andes Colombianos**. Revista Academia Colombiana de Ciencias: 23 (86): 143- 159,1999. ISSN 0370-3908.
- Lynch, J.D., Coloma, L.A. y Ron, S. **Pristimantis ernesti**. [En línea] The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. Disponible en: <www.iucnredlist.org>. 2004 [Fecha de consulta: Downloaded on 15 February 2015].
- Manzano, A. L. **Prevalencia de quitridiomycosis en la población larvaria de Gastrotheca riobambae del Parque Metropolitano de Quito**. Tesis de Ingeniería en Biotecnología. Escuela Politécnica del Ejército. Quito, 2010.
- Marengo, J., Pabón, J., Díaz, A., Rosas, G., Ávalos, G., Montealegre, E., Villacís, M., Solman, S. y Rojas, M. **Cambio Climático: Evidencias y Futuros Escenarios en la Región Andina**. En: En: Herzog, S., Martínez, R., Jorgensen, P. y Tiessen, H. (Eds) Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales. París: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), San José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE), 2012. 426pp.
- MECN, JOCOTOCO y ECOMINGA. **Herpetofauna en áreas prioritarias para la conservación: El sistema de Reservas Jocotoco y Ecominga**. Monografía 6: 1- 392; Quito: Serie de publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN), Fundación para la conservación Jocotoco, Fundación Ecominga. 2013.
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. **Cuarto informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica**. [En línea] Quito: Ministerio del Ambiente, 2010. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/world/ec/ec-nr-04-es.pdf>. [Fecha de consulta: enero 17,2015].
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. **Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental**. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito, 2012.

- Muriel, P., Cuesta, F., Irazábal, J. y Jaramillo, R. **Monitoreo del impacto de los cambios ambientales en los páramos de Ecuador:** Establecimiento de sitios GLORIA- Reserva ecológica Antisana (ECANT) y complejo volcánico Pichincha (ECPIC). Quito: CONDENSAN, 2014. [En línea] Disponible en: <http://www.condesan.org/portal/publicaciones/monitoreo-del-impacto-de-los-cambios-ambientales-en-los-paramos-de-ecuador-establecimiento-de-los>. [Fecha de consulta: enero 18, 2015].
- Naciones Unidas. **Portal de la labor del Sistema de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.** [Portal en línea] Disponible en: <http://www.un.org/es/climatechange/kyoto.shtml> [Fecha de consulta: enero 22, 2015].
- Neill, D. **Climas, Paleoclimas y Tipos de Vegetación.** En: Catálogo de Plantas Vasculares del Ecuador. [En línea] San Louis: Missouri Botanical Garden, 1995-2015. [Fecha de consulta: 19 de enero 2015].
- Nemani, R., Keeling, Ch., Hashimoto, H., Jolly, W., Piper, S., Tucker, C., Myneni, R. y Running, S. **Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999.** Science 6 June 2003: Vol.300 no. 5625pp. 1560-1563. DOI: 10.1126/science.1082650. [En línea] Disponible en: <http://www.sciencemag.org/content/300/5625/1560>. [Fecha de consulta: enero 21, 2015].
- Opdam, P. y Wascher, D. **Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation.** [PDF] Biological Conservation 117 (2004): 285–297, 2003.
- Osinaga, O., Baez, S., Cuesta, F., Malizia, A., Carrilla, J., Aguirre, N., y Malizia, L. **Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos.** Protocolo extendido. Protocolo 2 – Versión 1. Quito: CONDENSAN/ IER-UNT/ COSUDE, 2014. 214P.
- Parmesan, C. y Yohe, G. **A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems.** Nature 421: 37-42, 2002. Disponible en: <http://www.nature.com/nature/journal/v421/n6918/full/nature01286.html> [Fecha de consulta: Febrero 18, 2015].
- Parmesan, C. **Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change.** Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics: 37:637–69, 2006.[En línea] Disponible en: http://www.law.arizona.edu/depts/ele/AdaptationConference/PDFs/ParmesanA REES_Impacts. [Fecha de consulta: Febrero 8, 2015].
- Pearson, R., Stanton, J., Shoemaker, K., Aiello-Lammens, M., Ersts, P., Horning, N., Fordham, D., Raxworthy, C., Ryu, H., McNees, J. y Akcakaya, R. **Life history and spatial traits predict extinction risk due to climate change.** Nature climate change letters [Pdf en línea] DOI: 10.1038/NCLIMAE2113, 2014.

- Phillips, O.L., Baker, T., Arroyo, L., Higuchi, N., Killeen, T., Laurance, W., Lewis, S., Lloyd, J., Malhi, Y., Monteagudo, A., Neill, D., Núñez, P., Silva, J., Terborgh, J., Vásquez, R., Alexiades, M., Almeida, S., Brown, S., Chavez, J., Comiskey, J., Czimczik, C., Di Fiore, A., Erwin, T., Kuebler, C., Laurance, S., Nascimento, H., Olivier, J., Palacios, W., Patiño, S., Pitman, N., Quesada, C., Saldias, M., Torres, A. y Vinceti, B. **Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976–2001**. One contribution of 17 to a Theme Issue 'Tropical forests and global atmospheric change' London: Phil. Trans. The Royal Society. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B (2004) 359, 381–407 381 2004. DOI 10.1098/rstb.2003.1438.
- Pounds, J. A. y Crump, M. L. **Amphibian Declines and Climate Disturbance: The Case of the Golden Toad and the Harlequin Frog**. Conservation Biology, 8: 72–85. doi: 10.1046/j.1523-1739.1994.08010072.x Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1523-1739.1994.08010072.x/abstract>, 1994.
- Pounds, J.A., Fogden, M. y Campbell, J. **Biological response to climate change on a tropical mountain**. Nature: vol 398, Macmillan Magazines Ltd., 1999.
- Pounds, J., Bustamante, M., Coloma, L., Consuegra, J., Fogden, M., Foster, P., La Marca, E., Masters, K., Merino, A-, Puschendorf, R., Ron, S., Sánchez, G., Still, C. y Young, B. **Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming**. Nature 439:161-167. 2006. Disponible en: <http://rana.biologia.ucr.ac.cr> [Fecha de consulta: enero 26, 2015].
- Pounds, J.A. y Coloma, L. **Beware the lone killer**. Nature Reports Climate Change. Published online: 24 April 2008 | doi:10.1038/climate.2008.37 [Fecha de consulta: enero 25, 2015].
- Pyron, A. y Wiens, J. **Large-scale phylogenetic analyses reveal the causes of high tropical amphibian diversity**. DOI: 10.1098/rspb.2013.1622 Published 11 September 2013 [Fecha de consulta: Febrero, 5, 2015].
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Caceres, B., Ceballos, J.L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J.E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, T., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., Ginot, P., Maisincho, L., Mendoza, J., Menegoz, M., Ramirez, E., Ribstein, P., Suarez, W., Villacis, M. y Wagnon, P. **Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change**, The Cryosphere, 7, 81–102, 2013. [En línea] Disponible en: www.the-cryosphere.net/7/81/2013/, doi:10.5194/tc-7-81-2013. [consulta: enero 31, 2015].
- Ramírez, S., Meza-Ramos, P., Yáñez-Munoz, M. y Reyes, J. **Asociaciones interespecíficas de anuros en cuatro gradientes altitudinales de la Reserva Biológica Tapichalaca, Zamora-Chinchipe, Ecuador**. Boletín Técnico 8, Serie Zoológica 4-5: 35-49, Sangolquí: Laboratorios IASA, 2009.
- Ramsay PM, Oxley ER. **The growth form composition of plant communities in the Ecuadorian paramos**. Plant Ecology 131:173-192. 1997.

- Ramsay, P. **Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador.** Mountain Research and Development, 28(3): 340-341. International Mountain Society, 2008.
- Rojas-Runjaic, F. y Guayasamín, J.M. **First record of the rain frog *Pristimantis myersi* (Goin & Cochran, 1963) (Anura, Craugastoridae) for Ecuador.** Check List 11(1): 1542, January 2015 doi: <http://dx.doi.org/10.15560/11.1.1542>. [Consulta: Febrero 5, 2015].
- Ron, S. R. y Merino-Viteri, A. **Amphibian declines in Ecuador: overview and first report of chytridiomycosis from South America.** Froglog 42:2-3, 2000.
- Ron, S. R., Coloma, L. A., Bustamante, M. R. y Duellman, W. E. **Population decline of the jambato toad *Atelopus ignescens* (Anura: Bufonidae) in the Andes of Ecuador.** Journal of Herpetology 37:116-126, 2003.
- Ron, S. R., Guayasamin, J. M., Coloma, L. A. y Menéndez-Guerrero, P. 2008. **Lista roja de los anfibios de Ecuador.** [en línea]. versión 1.0 (2 de mayo 2008). Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. [Consulta: enero 27, 2015].
- Ron, S., Bustamante, M., Coloma, L. y Mena, B. **Sapos.** Quito: Museo de Zoología QCAZ, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2009. 255 P.
- Ron, S. R., Guayasamin, J. M., Yáñez-Muñoz, M. H., Merino-Viteri, A., Ortiz, D. A., Nicolalde, D. A. **AmphibiaWebEcuador. Versión 2014.0.** Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <<http://zoologia.puce.edu.ec/Vertebrados/anfibios/AnfibiosEcuador>>, acceso 3 de enero, 2014a.
- Ron, S. R. y Frenkel, C. **Gastrotheca pseustes.** En: Ron, S. R., Guayasamin, J. M., Yáñez-Muñoz, M. H., Merino-Viteri, A., Ortiz, D. A. y Nicolalde, D. A. 2014. AmphibiaWebEcuador. Version 2014.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2010. Disponible en: <http://zoologia.puce.edu.ec/vertebrados/anfibios/FichaEspecie.aspx?Id=1134> [Fecha de acceso: enero 27, 2015].
- Sklenár, P. **Searching for altitudinal zonation: species distribution and vegetation composition in the superparamo of Volcan Iliniza, Ecuador.** Plant Ecology (2006) 184: 337-350. DOI 10. 1007/s 11258-005-9077-0, 2006.
- Suárez, C. Naranjo, L., Espinosa, J. y Sabogal, J. **Cambios en el uso del Suelo y sus Sinergias con Cambio Climático.** En: Herzog, S., Martínez, R., Jorgensen, P. y Tiessen, H. (Eds) Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales. Paris: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), San José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE), 2012. 426pp.
- Tirira, D. **Guía de campo Mamíferos del Ecuador.** Publicación especial 6. Quito: Ediciones Murciélago Blanco, 2007. 576pp.

- Tovar C, Arnillas CA, Cuesta F, Buytaert W (2013) **Diverging Responses of Tropical Andean Biomes under Future Climate Conditions**. PLOS ONE 8(5):e63634. i:10.1371/journal.pone.0063634, 2013.
- Thuiller, W., Albert, C., Araujo, M., Berry, P., Cabeza, M., Guisan, A., Hicker, T., Midgley, G., Paterson, J, Schurr, F., Sykes, M.y Zimmerman, N. **Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges**. [PDF] Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 9: 137-152, 2008 Disponible en: www.sciencedirect.com [Consulta: Febrero 18, 2015].
- UNEP. **The Emissions GAP report 2014**. [En línea]. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP), 2014. Disponible en: <http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport2014/portals/>. [Fecha de consulta: enero 18, 2015].
- UNEP. **Managing fragile ecosystems : Sustainable mountain development**. [En línea]. United Nations Environment Programme (UNEP), Agenda 21: Mountain (Ch. 13), Advance CopyPage 1, 2015. Disponible en: <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.Print.asp?DocumentID=52&ArticleID=6>. [Fecha de consulta: enero 18, 2015].
- Valencia, J.H., Toral, E., Morales, M., Betancourt, R. y Barahona, A. **Guía de campo de Anfibios del Ecuador**. Quito: Fundación Herpetológica Gustavo Orcés, Simbioe. 2008. 208p.
- Vargas, F. y Castro, F. **Cuidado parental en anuros del género Eleutherodactylus (Amphibia: Leptodactylidae) presentes en Colombia**. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales 23:407–410. [Pdf] Disponible en: http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23, 1999.
- Vicente-Serrano, S., Gouveia, C., Camarero, J., Beguería, S., Trigo, R., López, J., Azorín, C., Pashoa, E., Lorenzo, J., Revuelto, J., Morán, E. y Sánchez A. **Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America/Pnas: vol. 110 no. 1 > Sergio M. Vicente-Serrano 52– 57, doi: 10.1073/pnas.1207068110, 2012.
- Wang, W., Clais, P., Nemani, R., Canadell, J., Piao, S., Sitch, S., White, M., Hashimoto, H., Milesi, C. y Myneni, R. **Variations in atmospheric CO2 growth rates coupled with tropical temperature**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America: Vol 110 no 32 Weile Wang, 13061- 13066, doi: 10.1073/pnas 1219683110., 2012. [En línea] Disponible en: <http://www.pnas.org/content/110/32/13061.abstract> [Fecha de consulta: enero 21, 2015].
- Wiens, J., Parra-Olea, G., García-Paris, M. y Wake, D. **Phylogenetic history underlies elevational biodiversity patterns in tropical salamanders**. Proceedings of the Royal Society. DOI: 10.1098/rspb.2006.0301 Published 7 April 2007 [Consulta: Febrero 5, 2015].

- Wiens, J., Kuczynski, C., Duellman, W. y Reeder, T. **Loss and re-evolution of complex life cycles in marsupial frogs: does ancestral trait reconstruction mislead?** *Evolution* 61(8):1886-1899. [En línea] 2007 Disponible en: doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1558-5646.2007.00159.x> [Consulta: Febrero 15, 2015].
- World of Science: **Changing Climatic Conditions & Polar ice thaw increasing, glaciers said to be melting.** Cairns Post (Qld.: 1909 - 1954). En Trove, Digitalized newspapers & more [En línea] Disponible en: <http://trove.nla.gov.au/ndp/del/article/42734540> searchTerm=glaciers%20melting&searchLimits=#pstart3099914 [Fecha de consulta: 22 de enero 2015].
- Yanez Muñoz, M., Meza, P., Cisneros, D. y Reyes, J. **Descripción de tres nuevas especies de ranas del género *Pristimantis* (Anura: Terrarana: Strabomantidae) de los bosques nublados del Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador.** *Avances en Ciencias e Ingeniería* [En línea] Vol. 2, No. 3: B16-B27 Disponible en: <http://www.usfq.edu.ec/avances/articulos/B16-2-3-2010>, 2010. [Fecha de consulta: enero 25, 2015].
- Young, B. E., Coloma, L. A., Ron, S. R., Muñoz, A., Merino-Viteri, A., Romo, D., La Marca, E., Bolaños, F., Chavez, G., Reaser, J. K., Cedeño, J. R., Meyer, J. R., Lips, K. R. y Ibáñez, R. 2001. **Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America.** *Conservation Biology* 15:1213-1223.
- Young, B., Hall, K., Byers, E., Gravuer, K., Hammerson, G., Redder, A. y Szabo, K. **Rapid Assessment of Plant and Animal Vulnerability to Climate Change.** En: Brodie, J., Post, E. y Doak, D. (eds.) *Wildlife Conservation in a Changing Climate.* Chicago: University of Chicago Press, 2012. pp 129-152.
- Young, B., Young, K. y Josse, C. **Vulnerabilidad de los Ecosistemas de los Andes Tropicales al Cambio Climático.** En: Herzog, S., Martinez, R., Jorgensen, P. y Tiessen, H. (Eds) *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales.* Paris: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), San José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE), 2012. 426pp.
- Young, L., y Chen, H. **Observations from old forests underestimate climate change effects on tree mortality.** *Nature Communications* 4, Article number: 1655 doi:10.1038/ncomms2681: 2041-1723, 2013 [En línea]. Disponible en: <http://www.nature.com/ncomms/journal/v4/n4/full/ncomms2681>. [Fecha de consulta: enero 21, 2015].
- Zapata, G. y Branch, L. **Evaluación de los factores determinantes de presencia – ausencia de los carnívoros en los Andes ecuatorianos.** En: Cuesta, F., Sevink, J., Llambí, L.D., De Bièvre, B. y Posner, J. (Editores) *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos,* CONDESAN, 2013.

8. FIGURAS

Figura 1. Escenarios de emisiones SRES, tomando en cuenta 4 factores: Gobierno y desarrollo económico, globalización vs. regionalización, desarrollo de tecnologías y conciencia ambiental.

		Economic emphasis	
Global integration	A1 storyline	A2 storyline	Regional emphasis
	<p><u>World</u>: market-oriented <u>Economy</u>: fastest per capita growth <u>Population</u>: 2050 peak, then decline <u>Governance</u>: strong regional interactions; income convergence <u>Technology</u>: three scenario groups:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A1FI: fossil intensive • A1T: non-fossil energy sources • A1B: balanced across all sources 	<p><u>World</u>: differentiated <u>Economy</u>: regionally oriented; lowest per capita growth <u>Population</u>: continuously increasing <u>Governance</u>: self-reliance with preservation of local identities <u>Technology</u>: slowest and most fragmented development</p>	
		Environmental emphasis	
	B1 storyline	B2 storyline	
	<p><u>World</u>: convergent <u>Economy</u>: service and information based; lower growth than A1 <u>Population</u>: same as A1 <u>Governance</u>: global solutions to economic, social and environmental sustainability <u>Technology</u>: clean and resource-efficient</p>	<p><u>World</u>: local solutions <u>Economy</u>: intermediate growth <u>Population</u>: continuously increasing at lower rate than A2 <u>Governance</u>: local and regional solutions to environmental protection and social equity <u>Technology</u>: more rapid than A2; less rapid, more diverse than A1/B1</p>	

Fuente: IPCC, Assesment Report 4, Grupo 2, Chap.2 Fig. 2-5

[Disponible en línea en: <http://www.ipcc.ch/report/graphics>]

Figura 2. *Gastrotheca pseustes*



Fuente: *Gastrotheca pseustes*, Santiago Ron, FaunaWebEcuador, bajo licencia CC (BY-NC 3.0). Azuay: Laguna de Buza (QCAZ 40471).

Figura 3. *Gastrotheca espeletia*



Fuente: CalPhotos, 2012.

Figura 4. *Pristimantis curtipes*



Fuente: Pristimantis curtipes, Santiago Ron, FaunaWebEcuador, bajo licencia CC (BY-NC 3.0). Napo: Papallacta (QCAZ 39653).

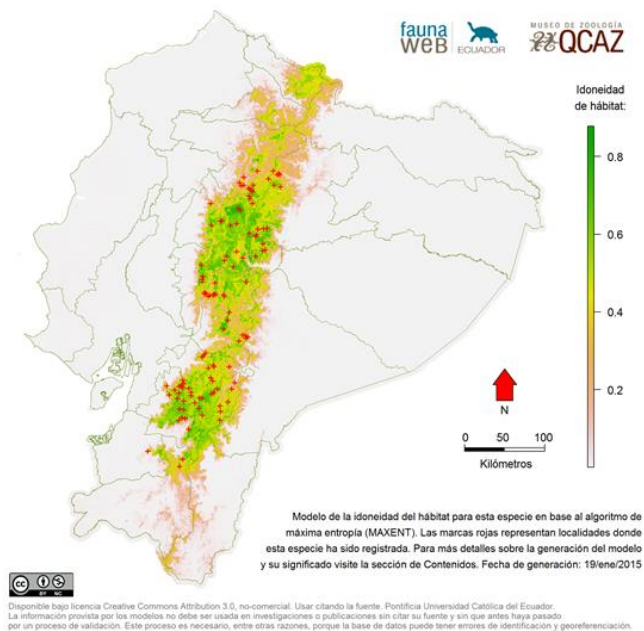
Figura 5. *Pristimantis ernesti*



Fuente: Flores, 1987. En: Ron *et al.*, 2014 a.

Figura 6. Mapa de distribución de *Gastrotheca pseustes*

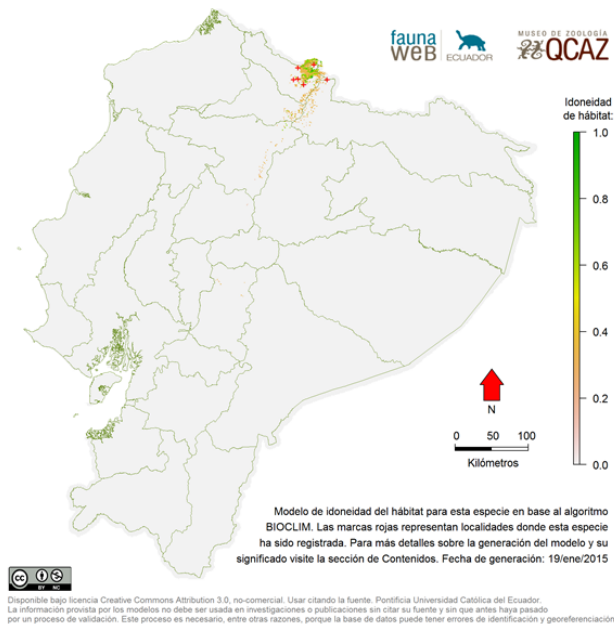
Mapa de distribución potencial de *Gastrotheca pseustes*



Fuente: Ron *et al.*, 2014 a.

Figura 7. Mapa de distribución de *Gastrotheca espeletia*

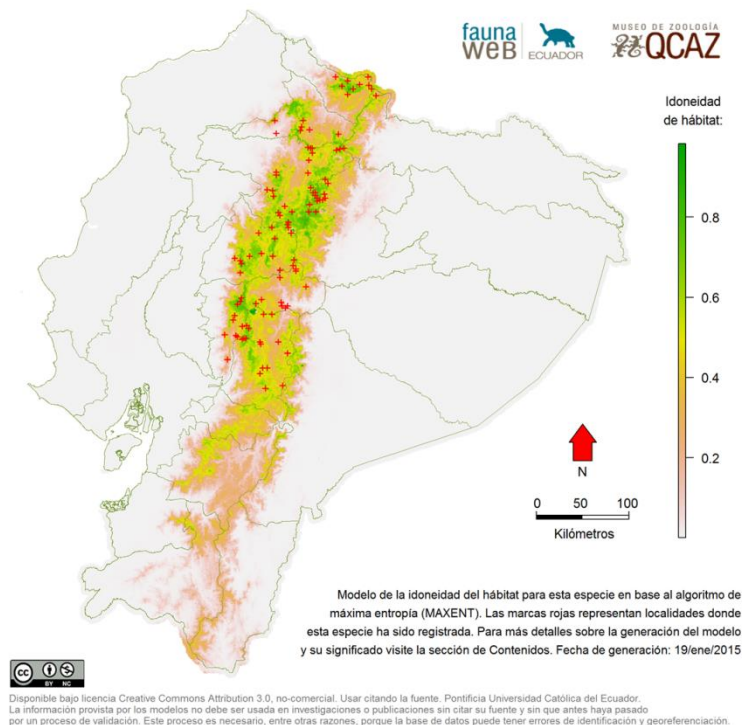
Mapa de distribución potencial de *Gastrotheca espeletia*



Fuente: Ron *et al.*, 2014 a.

Figura 8. Mapa de distribución de *Pristimantis curtipes*

Mapa de distribución potencial de *Pristimantis curtipes*



Fuente: Ron *et al.*, 2014 a.

Figura 9. Mapa de distribución de *Pristimantis ernesti*

Mapa de distribución potencial de *Pristimantis ernesti*



Fuente: Ron *et al.*, 2014 a.

9. TABLAS

Tabla 1. Anfibios Alto-andinos La mayoría de especies de anfibios alto-andinos están seriamente amenazadas

Especies	Endemica	UICN/QCAZ	P	B M W	MI	BM E	Distribución
Bufonidae							
<i>Atelopus ignescens</i>		EX / CR	X	X	X	X	
<i>Atelopus bomolochos</i>	SI	CR	X	X	X	X	
<i>Atelopus exiguus</i>	SI	CR	X		X	X	
<i>Atelopus nanay</i>	SI	CR	X				
<i>Atelopus pastuso</i>	NO	CR	X	X	X		
<i>Atelopus petersi</i>	SI	CR	X			X	
<i>Atelopus podocarpus</i>	NO	CR	X			X	
<i>Osornophryne antisana</i>	SI	EN	X			X	Napo, Cotoaxi, Tungurahua, Llanganates 3400 - 4000 m
<i>Osornophryne angel</i>	SI	DD	X				El Angel 3252 - 3797 m
<i>Osornophryne puruhanta</i>	SI	EN				X	Solo de la laguna de Puruhanta 3000–3500 m
<i>Osornophryne talipes</i>	SI	CR	X				Imbabura 3400 m
Centrolenidae							
<i>Centrolene buckleyi</i> <i>Rana de cristal altoandina</i>	NO	CR / VU	X	X	X	X	2050-3070 msnm
Craugastoridae							
<i>Hypodactylus brunneus</i>	SI	EN/ DD				X	3150 a 3600 m
<i>Hypodactylus peraccai</i>	SI	DD	X			X	3000 a 3350 m
<i>Lynchiu flavomaculatus</i>	SI	VU/ DD	X			X	PN Podocarpus 2215-3100m
<i>Pristimantis andinognomus</i>	NO	No eval			X	X	PN Podocarpus, Abra de Zamora. 2400 - 2800 m
<i>Pristimantis balionotus</i>	SI	EN				X	Solo de Abra de Zamora, junto al PNP. 2800m
<i>Pristimantis bambu</i>	SI	No eval DD				X	Solo se conoce de la Reserva Mazar 2876-2989 m
<i>Pristimantis baryecus</i>	SI	EN				X	Prov: Azuay y Morona Santiago 2195 - 2988 m
<i>Pristimantis buckleyi</i>	NO	LC	X	X		X	Desde Colombia a Cotopaxi, Napo y Sucumbios. 2400 - 3700 m

<i>Pristimantis carlosceroni</i>	SI	DD		X			DMQuito 3270 - 3402 m
<i>Pristimantis chloronotus</i>	NO	LC					1900-3400, pero se reporta hasta 3700 (Frolík,)
<i>Pristimantis cryophyllus</i>	SI	EN	X		X	X	Azuay y Morona Santiago 2835 - 3384 m
<i>Pristimantis cryptomelas</i>	NO	LC	X			X	Loja y Zamora Chinchipe 2470 -3110 m
<i>P. curtipes</i>	NO	LC	X	X		X	Norte y centro hasta el desierto de Palmira. Común y amplia distribución 2750 - 4400 m
<i>Pristimantis devillei</i>	SI	NT	X			X	Napo 2350-3155m
<i>Pristimantis ernesti</i>	SI	DD				X	Restringida solo al Sumaco 3900 m
<i>Pristimantis festae</i>	SI	EN Amphibia Web LC	X		X	X	Napo, Imbabura y tungurahua 2360 - 3650 m
<i>Pristimantis gentryi</i>	SI	EN	X	X			Prov.Cotopaxi 2850 - 3380 m
<i>Pristimantis gualacenio</i>	SI	DD	X			X	Tinajillas-Rio Gualaceño2, BPCollay, Azuay 2700 - 3500 m
<i>Pristimantis huicundo</i>	SI	DD				X	3229 - 3700 m
<i>Pristimantis leoni</i>	NO	LC	X	X		X	
<i>Pristimantis marcoreyesi</i>	SI	No Eval				X	
<i>Pristimantis mazar</i>	SI	DD	X			X	
<i>Pristimantis modipeplus</i>	SI	EN	X		X	X	
<i>Pristimantis ocreatus</i>	SI	VU	X				Carchi y Mojanda
<i>Pristimantis orcesi</i>	SI	VU	X	X			Paschoa, Pichincha, PN Sangay, Cascha Totoras
<i>Pristimantis orestes</i>	SI	EN	X		X	X	Azuay, Morona Santiago, Loja
<i>Pristimantis philipi</i>	SI	DD	X				
<i>Pristimantis pycnodermis</i> <i>Cutín de antifaz</i>	SI	EN	X			X	60 registros Azuay, Chimborazo
<i>Pristimantis riveti</i>	SI	NT	X	X	X	X	Sierra centro y sur.
<i>Pristimantis truebae</i>	SI	EN		X	X		Cotopaxi, Bolívar, Cañar y Azuay. 2870 - 3190 m
<i>Pristimantis tymelensis</i>	NO	NT	X			X	Desde Carchi hasta Papallacta 3310 - 4150 m
<i>Pristimantis unistrigatus</i>	NO	LC	X	X	X	X	Relativamente abundante y común. 2200 y 3400 m
Dendrobatidae							
<i>Hyloxalus antracinus</i>	SI	CR	X			X	2710–3500 m

<i>Hyloxalus jacobuspetersi</i>	SI	CR	X	X	X		Sierra norte y centro. 1500 - 3800 m
<i>Hyloxalus vertebralis</i>	SI	CR/ EN		X	X	X	1770 - 3500 m
Hemiphractyidae							
<i>Gastrotheca espeletia</i> <i>Rana</i>	NO	EN o VU	X	X		X	Carchi-Sucumbíos 2530-3400 m
<i>Gastrotheca litonedis</i>	SI	EN	X	X	X	X	Azuay, Cañar 2500-3820
<i>Gastrotheca lojana o monticola</i>	NO	VU		X	X	X	Prov. Loja y Azuay 1000-3350
<i>Gastrotheca psychrophila</i>	SI	EN			X	X	Restringida AL Abra de Zamora, 2750-2850 m
<i>Gastrotheca orophylax</i>	NO	VU				X	Napo, Carchi y Sucumbios: Restringida 2620-2910 m
<i>Gastrotheca pseustes</i>	SI	EN /LC	X	X	X	X	Amplia distribución Pichincha a Loja 2300-4300 m. Área aproximada 20000 km ² En el norte desde los 3000m, pero en el sur entre 2200 y 3800.
<i>Gastrotheca riobambae</i>	SI	EN /VU		X	X		Sierra N: 1578-3500m área: 7310 km ²
Telmatobiidae							
<i>Telmatoius niger</i>	SI	CR	X	X		X	
<i>Telmatobius vellardi</i>	SI	DD	X		X	X	

Leyenda:**EN** En peligro de extinción**P** Páramo**CR** En peligro crítico**BMW** Bosque Montano Occidental**VU** Vulnerable**MI** Matorral interandino**NT** Casi amenazada**BME** Bosque Montano Oriental**LC** Preocupación menor**DD** Datos insuficientes**NO Ev** No evaluada

Fuentes: Albuja *et al.*, 2012; Armendáriz y Orcés, 2004; Lynch *et al.*, 1979 ; Ron *et al.*, 2014a