

## Impactos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes tropicales

Riesgo climático, vulnerabilidad y herramientas de toma de decisiones para la planificación de la conservación

### Los Andes tropicales bajo amenaza

Los modelos matemáticos que representan el clima global sugieren que los mayores incrementos en la temperatura ambiental se están presentando en las zonas altas de la región tropical, así como en las zonas bajas del círculo polar Ártico y su entorno cercano. Los incrementos en zonas de alta montaña tropicales, en particular, han llegado a alcanzar casi 1,5 a 1,8 veces el valor simulado para las zonas bajas en la misma región. Si nuestras sociedades siguen el modelo de desarrollo actual, se espera que en promedio la temperatura del aire en las montañas de la región tropical alcance, en el horizonte de mediano plazo (2046-2065), un incremento de +1,7 a +3,2°C con respecto al período base (1961-1991).

Una parte importante de la extensión total de los Andes tropicales estará, por lo tanto, expuesta a un incremento mayor a +2,0°C, considerado a escala global el umbral a partir del cual el cambio climático resulta peligroso. Esto se traduciría en una importante amenaza para numerosos ecosistemas estratégicos de los Andes tropicales, los cuales son reconocidos como una de las regiones más biodiversas del planeta. En los Andes existen más de 45.000 especies de plantas y 3.400 vertebrados reportados, lo que representa alrededor del 15% de la biodiversidad del planeta.

Sin embargo, el impacto del cambio en condiciones climáticas no solamente incluiría afectaciones en la biodiversidad, sino también alteraciones en el amplio espectro de servicios ecosistémicos que los ecosistemas de montaña tropicales proveen a las sociedades andinas. Específicamente, el aumento en la temperatura del aire podría alterar los patrones de lluvias y las condiciones de humedad, afectando así la oferta y disponibilidad de agua requerida por una importante parte de la población de los países andinos, quienes dependen directamente de los ecosistemas de montaña tropicales para satisfacer sus demandas de consumo, riego y generación de energía.

### Herramienta de evaluación de vulnerabilidad

Ante la amenaza del cambio climático es necesario tener a la mano una manera de priorización de acciones de adaptación, de forma que éstas resulten aún más efectivas. El objetivo fundamental de este proyecto es desarrollar e implementar una metodología estándar para evaluar la vulnerabilidad de las especies y ecosistemas de los Andes tropicales, a la escala requerida para el proceso de toma de decisiones en acciones de conservación. La metodología propuesta es una herramienta que tiene el inmenso potencial de permitir:

- profundizar en el entendimiento de cómo cambios en condiciones climáticas pueden llegar a afectar ecosistemas tropicales estratégicos;
- identificar las especies más vulnerables al cambio climático;
- definir prioridades de conservación; y, en general,
- servir como soporte para el diseño de estrategias de adaptación.

La herramienta es alimentada con información de distintas fuentes, que se analizan conjuntamente para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático de especies representativas en cada ecosistema. Específicamente, la metodología requiere del análisis de cambios potenciales en dos variables climáticas claves (temperatura y humedad), de la distribución geográfica de cada especie, su nivel de susceptibilidad ante cambios en condiciones climáticas históricas, e información acerca de aspectos claves de su ecología e historia natural, así como de los cambios abruptos en la cobertura y el uso del suelo en cada región en estudio. La metodología se apoya además en el análisis de percepciones de cambio climático de las comunidades locales y sus estrategias de adaptación.

### *Condiciones climáticas*

El análisis de cambio en condiciones climáticas tiene en cuenta diversas fuentes de información, entre ellas los resultados de simulación de modelos climáticos, la información histórica proveniente de estaciones meteorológicas de cada sitio, y la reconstrucción climática de períodos históricos distantes usando anillos de crecimiento de especies de árboles clave. La combinación de las dos primeras fuentes mencionadas tiene ventajas. Los modelos proveen información de todo el planeta para varias décadas de forma continua, pero no es información real. Las estaciones meteorológicas proveen, por su parte, información verdadera, pero localizada en un punto y para horizontes temporales cortos que no exceden los 30 a 40 años. Cuando se usan ambas fuentes de información conjuntamente, resulta posible calibrar los modelos de simulación y corregir sus resultados, de tal forma que se obtenga información de sus proyecciones climáticas mucho más confiable. Esto es particularmente importante en el contexto de los Andes tropicales, en donde la información histórica de estaciones meteorológicas es limitada o, en algunos casos, inexistente, y en donde la compleja topografía hace necesario un análisis aún más cauteloso de los resultados de simulación de modelos climáticos. La tercera fuente de información, la obtenida a través de reconstrucciones climáticas, hace posible que los horizontes de análisis se extiendan considerablemente en el pasado, de tal manera que se tenga una ventana de análisis aún más representativa de un fenómeno de largo plazo como es el cambio climático.

### *Ecosistemas y especies*

La clasificación de ecosistemas usada en el presente proyecto se basa en la propuesta de la Secretaría General de la Comunidad Andina, es decir, el *Atlas de los ecosistemas de los Andes del norte y centro*, por ser una clasificación regional que abarca a todos los Andes tropicales. Los ecosistemas son entornos sumamente complejos que incluyen miles de especies de bacterias, plantas, hongos y animales. Éstas interactúan entre sí y con el medio físico en el que se encuentran de muchas formas diferentes. En los Andes tropicales nuestro conocimiento sobre los ecosistemas existentes sigue siendo incipiente en muchos casos. Estas limitaciones impiden la aplicación de herramientas complejas, desarrolladas recientemente, que evalúan de forma directa la vulnerabilidad de los hábitats o ecosistemas.

La evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático de ciertas especies clave es una manera indirecta de obtener pautas confiables sobre la vulnerabilidad de los ecosistemas de los que forman parte. Para algunos grupos taxonómicos, nuestro conocimiento actual sobre la distribución, historia natural y ecología de sus especies en los Andes tropicales es lo suficientemente detallado para facilitar tal evaluación. Para la selección de los grupos taxonómicos clave deben considerarse los siguientes

criterios: (1) deben ser relativamente bien conocidos taxonómica y ecológicamente; (2) deben tener importancia ecológica; (3) deben comportarse como bioindicadores con una relación costo-rendimiento óptima; (4) deben comprometer un número significativo pero manejable de especies; y (5) deben haber sido estudiados o inventariados previamente en el área bajo consideración.

Consideramos que existen 3 grupos taxonómicos prioritarios o idóneos para la evaluación de la vulnerabilidad de los ecosistemas andinos al cambio climático, ya que cumplen con todos estos requisitos y además abarcan un amplio espectro de formas de vida y rasgos biológicos: (1) grupos selectos de **plantas** como, por ejemplo, helechos, bromeliáceas, fabáceas (leguminosas) y palmeras; (2) los **escarabajos coprófagos**; y (3) las **aves**. Las plantas son los productores primarios que conforman el fundamento de los ecosistemas, mientras que las aves y los escarabajos coprófagos han sido identificados de manera objetiva como los grupos taxonómicos con la mejor relación costo-rendimiento entre todos los bioindicadores.

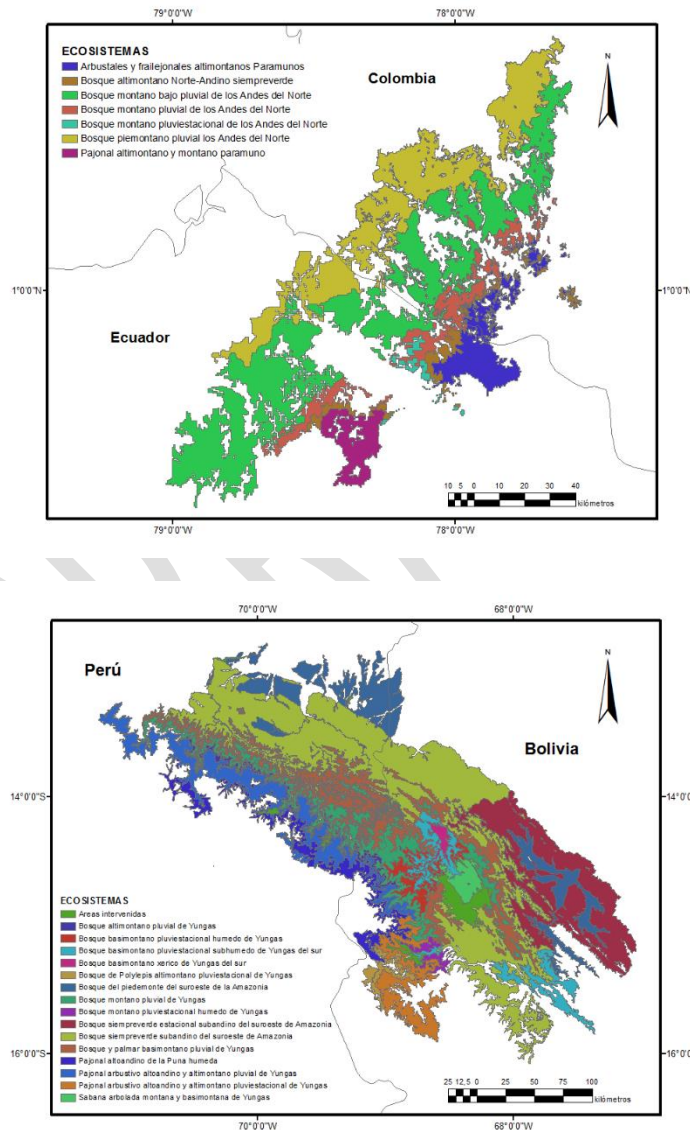
La información de biodiversidad de la herramienta desarrollada exige que se generen mapas que muestren las áreas en donde se pueden encontrar cada una de las especies seleccionadas. Los mapas pueden elaborarse utilizando información de colecciones científicas (museos, herbarios) y de estudios previos donde se reporte la presencia de cada especie, o nueva información levantada en campo en visitas técnicas. El grado de vulnerabilidad de cada especie se evalúa mediante el análisis de diversos factores correspondientes a los 3 componentes clave de la vulnerabilidad: exposición (cambios en temperatura y humedad), sensibilidad y capacidad adaptativa. Entre los factores de sensibilidad se consideran, por ejemplo, la capacidad de dispersión de la especie y la respuesta fenológica a cambios en condiciones climáticas prevalentes. La evaluación de todas las especies seleccionadas, vía la implementación de la versión andina del *Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático* propuesto por NatureServe, permite la identificación del grado de vulnerabilidad de cada especie. Los resultados se presentan de acuerdo con 5 categorías de vulnerabilidad, desde 'No vulnerable y con posibles incrementos en la distribución espacial' hasta 'Extremadamente vulnerable'.

#### *Uso del suelo y deforestación*

Los cambios en el uso del suelo y las actividades de deforestación se cuantifican por medio del procesamiento de imágenes satelitales o mediante el análisis de información (disponible en la web) que los satélites proveen en torno a cambios en cobertura vegetal. Específicamente, interesa la evaluación de un parámetro llamado el NDVI (Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación, por sus siglas en inglés), que mide la actividad de fotosíntesis de la vegetación. El estudio de este parámetro puede usarse no sólo para determinar cómo responde la vegetación ante la variabilidad climática natural normal, sino también para analizar el estrés vegetal bajo condiciones climáticas extremas o ante cambios abruptos que hayan sido generados por deforestación. La información procesada, que se extiende a horizontes temporales de más de tres décadas (1981 al presente), permite determinar cuándo y de qué orden de magnitud se ha presentado una importante intervención por actividad humana en una determinada zona del territorio en estudio.

### Estudio de caso para la implementación de la metodología

Se escogieron dos regiones estratégicas en los Andes tropicales como estudios de caso, con el objetivo de generar el aprendizaje necesario para ser replicado en otras áreas de interés. Los sitios seleccionados son: la vertiente Pacífica de la Cordillera de los Andes, en la región fronteriza entre Colombia y Ecuador; y la vertiente Amazónica de la Cordillera en la región limítrofe entre Perú y Bolivia. Ambas regiones cubren un amplio gradiente altitudinal, extendiéndose aproximadamente desde los 200 hasta los 4.500 metros sobre el nivel del mar. Ver figura a continuación.



Se consideraron alrededor de 2.500 especies divididas en los 3 grandes grupos taxonómicos bioindicadores mencionados anteriormente. Las proyecciones climáticas consideradas han sido las tendencias para el escenario de emisiones A1B, definido por el Panel Intergubernamental sobre Cambio

Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) como las emisiones en la atmósfera de un mundo con un rápido crecimiento económico, donde existe un balance en el uso de fuentes de energía renovables y fósiles.

Los resultados de simulación para el horizonte prospectivo (2046-2065), corregidos para incluir la compleja orografía de los Andes, sugieren que en una gran parte de la extensión total de los Andes tropicales la temperatura del aire podría experimentar aumentos entre +2,2 y +2,4°C, lo que podría afectar severamente la integridad y funcionalidad de sus ecosistemas. Una importante proporción del área geográfica en la región limítrofe entre **Colombia y Ecuador** (vertiente Pacífica de los Andes) podría experimentar un aumento en la temperatura cercano a los +2,0°C, y en algunos sitios incluso de +2,2°C. El caso de **Bolivia y Perú** (vertiente Amazónica) muestra ser un poco más crítico, ya que la temperatura podría llegar a aumentar en hasta +2,7°C en una gran extensión de la zona de estudio. Ver figura en la siguiente página.

En cuanto a cambios en humedad, la extensión total de los Andes tropicales podría llegar a experimentar una variación en la humedad en el rango -18% (reducción de humedad) a +20% (incremento de humedad) en el horizonte de mediano plazo. Las regiones limítrofes entre Colombia-Ecuador y Bolivia-Perú podrían experimentar variaciones en sus condiciones históricas entre el -13% y el +9%, siendo la reducción de humedad el escenario que podría resultar más prevalente.

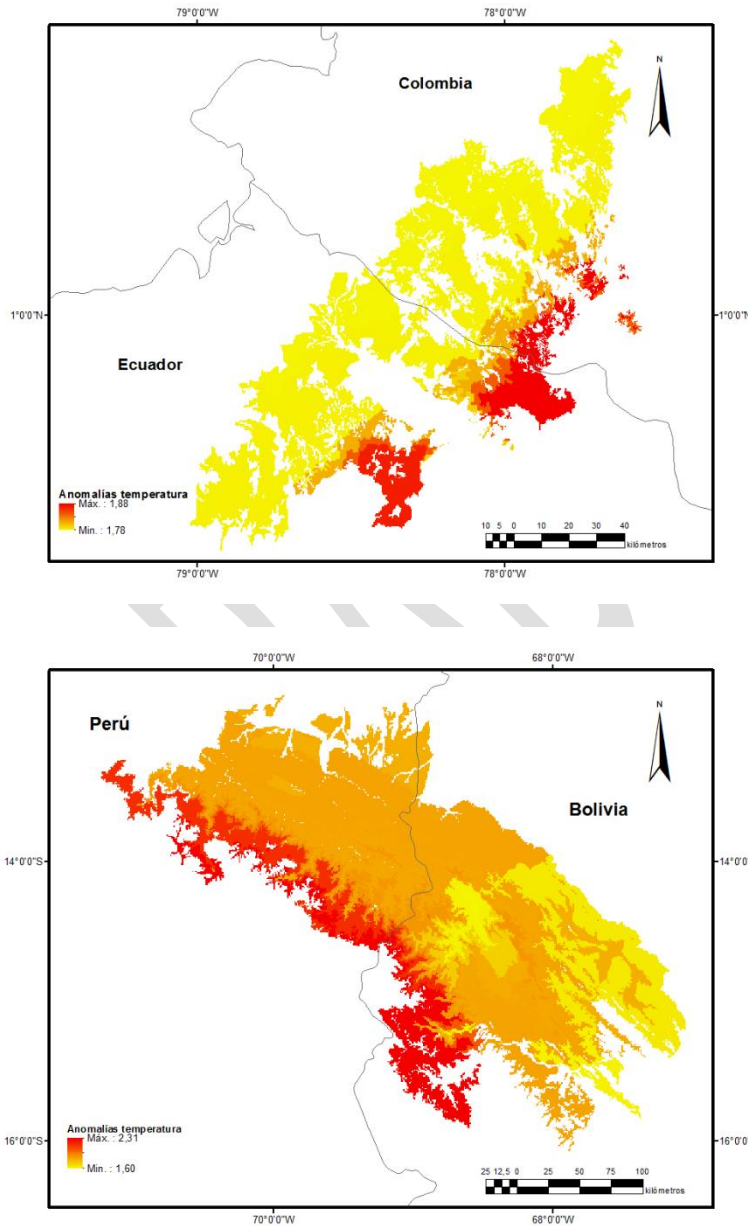
Los resultados del análisis de vulnerabilidad de biodiversidad indican que las especies más vulnerables al cambio climático se encuentran en zonas específicas, y no así distribuidas uniformemente a lo largo de las áreas en estudio. En la región limítrofe entre **Bolivia y Perú** se concentran en pisos altitudinales opuestos, específicamente en los ecosistemas de la zona de piedemonte de la Cordillera (mayormente debajo de los 1.000 metros sobre el nivel del mar) y en los ecosistemas por encima de los 3.000 metros sobre el nivel del mar, desde la ceja de monte hasta el pajonal altoandino. En la región transfronteriza entre **Colombia y Ecuador** las especies más vulnerables al cambio climático se concentran en dos ecosistemas piemontanos, específicamente en el *bosque piemontano pluvial de los Andes del Norte* y en el *bosque montano bajo pluvial de los Andes del Norte*, mayormente debajo de los 1.500 metros sobre el nivel del mar.

Las actividades de deforestación se suman sinérgicamente a los impactos que el cambio en condiciones climáticas históricas podría generar sobre los diferentes ecosistemas de las áreas en estudio. Los resultados del análisis sugieren que, en la región limítrofe entre **Bolivia y Perú**, al menos el 30% del área en estudio sufrió un cambio significativo en su cobertura vegetal en las últimas tres décadas. La gran mayoría de las intervenciones por actividad humana se llevaron a cabo a mediados de la década de los 90s. Los puntos más críticos se presentaron en la zona de piedemonte de la Cordillera, específicamente en el *bosque del piedemonte del suroeste de la Amazonía*, y en la zona altoandina de la puna, específicamente en el *pajonal arbustivo altoandino y altimontano pluvial de Yungas*, y en el *pajonal altoandino de la puna húmeda*. El porcentaje de la extensión total afectada es cercano al 58%. Los dos últimos ecosistemas mencionados, en particular, probablemente experimentarán un incremento en la temperatura del aire por encima del umbral de +2,0°C.

A estas amenazas se suman las posibles desecaciones que se podrían presentar en la zona de piedemonte de la Cordillera, específicamente en el *bosque del piedemonte del suroeste de la Amazonía*



y en el *bosque siempreverde estacional subandino del suroeste de la Amazonia*. La magnitud de la reducción en la humedad proyectada para estos ecosistemas podría alcanzar el 6,0% y 8,4%, respectivamente.



*Cambios proyectados en la temperatura media anual, por ecosistema, para el horizonte prospectivo (2046-2065) y bajo el escenario de concentraciones de gases de efecto invernadero A1B*

En la década reciente, los cambios más abruptos por deforestación se presentaron en la cuenca del río Camata y en la cuenca alta del río Tuichi, específicamente en el *bosque montano pluviestacional húmedo de Yungas*, en el *bosque basimontano xérico de Yungas* y en el *bosque basimontano pluviestacional húmedo de Yungas*, todos con porcentajes de afectación superiores al 70%. El primero de estos ecosistemas también podría estar expuesto a un incremento en la temperatura ambiental promedio de +2,0°C, mientras que el segundo podría experimentar una reducción en la humedad del 2,8%.

En la región transfronteriza entre **Colombia y Ecuador**, el escenario de deforestación resulta aún más crítico. Allí, los ecosistemas más afectados en la década más reciente fueron el *bosque piemontano pluvial de los Andes del Norte* y el *arbustal montano xérico interandino de los Andes del Norte*, ambos con porcentajes de afectación de sus áreas totales superiores al 75%. Aunque las anomalías de temperatura proyectadas no exceden el umbral crítico de +2,0°C, los incrementos en la temperatura promedio del aire en estos ecosistemas estratégicos podrían alcanzar +1,8°C. A estas amenazas se suman las posibles desecaciones que se podrían presentar en estos dos ecosistemas, en donde la magnitud de la reducción en la humedad proyectada podría alcanzar el 4,9% y 4,3%, respectivamente.

### Percepciones locales del cambio climático

Todas estas alteraciones potenciales se constituyen en un gran reto para muchas comunidades rurales de los países andinos. De acuerdo con los resultados de la investigación sobre percepciones de cambio climático, que se adelantó en 5 comunidades del departamento de Nariño (Colombia), 13 comunidades de la provincia del Carchi (Ecuador), y 11 comunidades del departamento de La Paz (Bolivia), alrededor del 96% de la población señaló que el clima en sus localidades ya ha cambiado de manera significativa en años recientes. El estudio está soportado en 425 encuestas (120 en Colombia, 173 en Ecuador y 132 en Bolivia), que fueron agrupadas en los pisos bioclimáticos tropical, basimontano, montano, altimontano y altoandino, correspondientes a la clasificación de la Comunidad Andina de Naciones. Los cambios más manifestados por estas comunidades (el 84,6% en Bolivia, para todas las zonas altitudinales; el 65,9% en Ecuador, con preponderancia en la zona alta; y el 63,3% en Colombia, con preponderancia en las zonas altitudinales medias) incluyen:

- cambios en la estacionalidad (las épocas seca y lluviosa ya no son marcadas);
- incremento en la ocurrencia de lluvias intensas; y
- aumento en la intensidad de los rayos solares, indicado por el 94,1% del total de la población entrevistada.

Los efectos de estos cambios se evidencian en la producción agropecuaria, donde predominan pérdidas en cultivos por exceso o escasez de lluvia, heladas e incremento de plagas, y pérdidas de animales por enfermedades, sobre todo en Colombia y Bolivia (más del 90% del total de entrevistados); en el caso particular de Bolivia, el incremento de plagas y la pérdida de animales están asociados al ataque de animales silvestres. Como respuesta al cambio en la distribución de las lluvias, la mayor parte de los agricultores realizaron ajustes en el ciclo agrícola como estrategia de adaptación. Sin embargo, más del 80% de la población entrevistada no se siente preparada para enfrentar los fenómenos y efectos del cambio climático. Esta incertidumbre de los actores locales y los contextos socioeconómicos particulares de cada país, hacen que se requieran intervenciones de las instancias gubernamentales y la elaboración

de políticas públicas adecuadas con miras a implementar medidas de adaptación específicas en cada territorio.

### **Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI)**

Ave. Italia 6201, Ed. Los Tilos, oficinas 102/103

Teléfono-fax: (598) 26039552, 26039558, 26048292

Montevideo, Uruguay

Correo electrónico: [iai-uy@dir.iai.int](mailto:iai-uy@dir.iai.int)

Página web: [www.iai.int](http://www.iai.int)

#### Instituciones socias principales:

