FARN
FUNDACIÓN AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

CAMBIO CLIMÁTICO Y BIODIVERSIDAD EN LOS ANDES TROPICALES

FUNDACIÓN AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

CAMBIO CLIMÁTICO Y BIODIVERSIDAD EN LOS ANDES TROPICALES

Fundación Ambiente y Recursos Naturales - FARN
FARN es una organización no gubernamental, sin fines de lucro y apartidaria, fundada en 1985. Su objetivo principal es promover el desarrollo sostenible a través de la política, el derecho y la organización institucional de la sociedad. Su trabajo se dirige, principalmente, a quienes toman decisiones, tanto en el ámbito público como privado, y a la construcción de una ciudadanía democrática y participativa. Para eso, promueve el acceso a la información pública y a la justicia. Lo hace a través de la incidencia política, institucional y social en la agenda pública ambiental. La participación de la ciudadanía es uno de los ejes principales del trabajo de FARN, porque son quienes deben cumplir y hacer cumplir las leyes, consensuar políticas y destinar recursos para prevenir los problemas ambientales. Las actividades de la Fundación se financian gracias al aporte de donantes individuales, empresas, fundaciones extranjeras y nacionales, como así también de organismos públicos nacionales e internacionales.

Autora y editora
Catalina María Gonda (FARN)

Revisora
Ana Di Pangracio (FARN)

Este reporte fue elaborado con la ayuda de AirClim - Secretaría de Contaminación Atmosférica y Clima de Suecia

Cita
Gonda, C. (2020). Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales. Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN)

Diseño
Lucila Gallegos - info@lucilagallegos.com

Adaptación
Cucha Estudio de Diseño - hola@cuchaestudio.com

Edición
Estudio REC – www.estudio-rec.com

MENSAJES DESTACADOS

- **El cambio climático es uno de los principales impulsores de la creciente pérdida de biodiversidad. Se espera que sus impactos se intensifiquen a lo largo del siglo.**
- **Los Andes Tropicales son el centro de diversidad biológica más importante del mundo. Constituyen una de las regiones tropicales más afectadas por las actividades humanas y son una de las más sensibles a los impactos del cambio climático. Al encontrarse bajo una doble presión por los efectos combinados del cambio climático y los cambios en el uso de la tierra, representa una zona prioritaria para la conservación a nivel global.**
- **El aumento de temperatura y la alteración en los patrones de lluvias está llevando a que muchos biomas alto-andinos se retraigan hacia mayores altitudes y sufran cambios en su composición, siendo los más afectados las zonas glaciales, los páramos y los bosques de alta montaña.**
- **El cambio climático está aumentando el riesgo de extinción local de muchas especies que habitan las zonas más elevadas de estas montañas, a la vez que modifica sus rangos de distribución y riqueza.**
- **Si no se logra limitar el calentamiento global a 1,5 °C, los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad de los Andes y, por ende, sobre los servicios fundamentales que provee a la sociedad, se tornarán cada vez más severos.**
- **Proteger y restaurar los ecosistemas naturales andinos resulta urgente no solo para preservar la riqueza de esta región, sino también para contribuir a mitigar el cambio climático a través de la captura de carbono y aumentar la resiliencia frente a sus impactos.**

CONTENIDOS

Introducción **8**

1. La riqueza natural de los Andes Tropicales **12**

2. Impactos del cambio climático sobre la biodiversidad de los Andes Tropicales **18**
Alteraciones en los principales biomas andinos 21
Cambios en los rangos de distribución y riqueza de especies 25

3. Desafíos y oportunidades **28**
Aumentar la ambición climática 29
Áreas protegidas y estrategias de conservación 30
Vacíos de conocimiento 31

Referencias **32**

INTRODUCCIÓN

El área de conservación privada San Pablo-Catarata Gocta, en Perú, alberga una muestra representativa de las Yungas peruanas y pajonal.

Dos grandes crisis plantean graves amenazas para la vida en la Tierra: la climática y la de la biodiversidad. Las principales evaluaciones intergubernamentales a nivel mundial, incluidas las del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y de la Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES, por sus siglas en inglés), han demostrado que estas dos crisis están fuertemente interrelacionadas y que para abordarlas resulta fundamental la adopción de un enfoque integral.

La biodiversidad es el amplio abanico de formas de vida y patrones naturales sobre la Tierra. No solo posee un valor intrínseco, sino que es necesaria y fundamental para garantizar la existencia y supervivencia de las personas: proporciona todos los alimentos, el agua potable, la mayoría de los medicamentos, la polinización, materiales para la construcción y un sinfín más de bienes y servicios. Además, es una fuente de asombrosa belleza que enriquece las vidas de las personas y brinda valores recreativos y culturales.

Sin embargo, en la actualidad la capacidad de la naturaleza para contribuir al bienestar de las personas se ve afectada, poniendo en peligro los medios de subsistencia, la seguridad alimentaria, las economías y la calidad de vida de los habitantes.

> Hoy en día, millones de personas dependen de estos ecosistemas como fuente de agua dulce, alimentos y muchos otros bienes y servicios, además de su mencionada relevancia cultural.

A pesar de que actividades humanas como la degradación, fragmentación y destrucción de hábitats y la sobreexplotación y la presencia de especies invasoras son los principales impulsores de la reciente pérdida de biodiversidad, se estima que el cambio climático será un importante impulsor de la extinción de muchas especies a lo largo del siglo XXI (Beaumont *et al*., 2011; IPBES, 2019).

Los Andes Tropicales albergan los ecosistemas más diversos de la Tierra. Al mismo tiempo, son una de las regiones más perturbadas por las actividades humanas y una de las más sensibles a las alteraciones en el clima. Por ello, entender los potenciales impactos del cambio climático sobre estos ecosistemas resulta crítico, ya que la actual pérdida de biodiversidad se verá exacerbada y potenciada por este fenómeno en las próximas décadas (IPCC, 2007; Knutti y Sedláček, 2013).

Asimismo, el bienestar de las poblaciones humanas ha estado vinculado al correcto funcionamiento de los ecosistemas andinos tropicales a lo largo de una historia que se extiende por 13.000-19.000 años (Fuselli, 2003). Hoy en día, millones de personas dependen de estos ecosistemas como fuente de agua dulce, alimentos y muchos otros bienes y servicios, además de su mencionada relevancia cultural.

Este reporte busca recopilar y presentar de manera comprensible la información científica disponible respecto a los principales impactos del cambio climático sobre la biodiversidad de los Andes Tropicales, resaltando a su vez el rol crítico que juegan los ecosistemas naturales andinos en la mitigación y adaptación al cambio climático.

EXTINCIÓN EN MASA

En la actualidad nos enfrentamos a la llamada "sexta extinción en masa": la diversidad biológica está disminuyendo globalmente a un ritmo sin precedentes en la historia de la humanidad y la tasa de extinción de especies se está acelerando como consecuencia de las actividades humanas (IPBES, 2019). A pesar de que la extinción es un fenómeno natural –se produce a una tasa de "fondo" de entre una y cinco especies por año– la ciencia estima que hoy en día las especies están desapareciendo **hasta mil veces más rápido que la tasa de fondo**, y que alrededor de **un millón se encuentran en peligro de extinción** (Chivian *et al.*, 2008; IPBES, 2019).

No podemos permitirnos seguir destruyendo a los ecosistemas que sostienen la vida en la Tierra para satisfacer nuestras necesidades a corto plazo: los seres humanos y el mundo natural estamos tan íntimamente conectados que destruir la naturaleza equivale a destruirnos a nosotros mismos.

El área de conservación privada San Pablo-Catarata Gocta, en Perú, alberga una muestra representativa de las Yungas peruanas y el pajonal.

1.
LA RIQUEZA NATURAL DE LOS ANDES TROPICALES

Helidoxa jacula, una especie de colibrí que habita los bosques húmedos de los Andes de Colombia y Ecuador.

Los Andes Tropicales son uno de los centros de biodiversidad más importantes del mundo. Se extienden a lo largo de 1,5 millones de km^2, desde el extremo norte de Chile y Argentina, pasando por Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela (ver Mapa 1). La heterogeneidad del paisaje, suelo, elevación, precipitaciones y los gradientes de temperatura han llevado a la formación de numerosos hábitats, favoreciendo la aparición de una diversidad de especies excepcional (Mittermeier y Goettsch Mittermeier, 1997; K. R. Young *et al*., 2002).

Aunque las clasificaciones más detalladas distinguen más de 113 ecosistemas (Josse *et al*. 2009), como se observa en el Mapa 2 las principales ecorregiones de los Andes Tropicales pueden simplificarse en: bosque montano siempre verde, bosque montano seco, otros tipos de bosque, bosques y pastizales de las yungas, puna, páramo, matorrales, desierto y zonas áridas, glaciares y áreas crioturbadas y cuerpos de agua.

Por otro lado, los ecosistemas de los Andes Tropicales albergan más de:

- **45.000 especies de plantas vasculares (20.000 endémicas)**

- **570 especies de mamíferos (75 endémicas)**

- **724 especies de aves (579 endémicas)**

- **610 especies de reptiles (275 endémicas)**

- **981 especies de anfibios (673 endémicas)**

- **380 especies de peces de agua dulce (131 endémicas)**

Esto representa aproximadamente el 15 por ciento de las especies vegetales y el 12 por ciento de las especies de vertebrados conocidas hasta ahora, en tan solo el 1 por ciento de la superficie continental de la Tierra (Mittermeier, 2004; Myers *et al*., 2000).

> Aproximadamente el 15 por ciento de las especies vegetales y el 12 por ciento las especies de vertebrados conocidas hasta ahora se encuentran en los Andes Tropicales.

LAS CRISIS CLIMÁTICAS Y DE BIODIVERSIDAD ESTÁN ÍNTIMAMENTE RELACIONADAS

En el último siglo, las actividades humanas han liberado grandes cantidades de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. Esto actúa como una capa alrededor de la Tierra que atrapa la energía proveniente del Sol, causando el calentamiento del planeta.

La mayoría de los GEI provienen de la quema de combustibles fósiles para producir energía. También la degradación y la destrucción de los ecosistemas naturales (como la deforestación, los cambios en el uso de la tierra y los incendios) liberan grandes volúmenes de GEI a la atmósfera y reducen la resiliencia y capacidad de respuesta de estos sistemas frente a futuros estresores.

Por lo tanto, la biodiversidad no solo se ve afectada por el cambio climático, sino que al degradarse falla en contribuir de manera significativa a los esfuerzos de mitigación y adaptación al mismo cambio climático.

Mapa 1. El hotspot de biodiversidad de los Andes Tropicales. *Fuentes: (Mapa de base) Esri, Airbus DS, USGS, NGA, NASA, CGIAR, N Robinson, NCEAS, NLS, OS, NMA, Geodatastyrelsen, Rijkswaterstaat, GSA, Geoland, FEMA, Intermap and the GIS user community, (Biodiversity Hotpots 2016, Feature Layer) Critical Ecosystem Partnership Fund, Conservation International.*

Los Andes Tropicales son considerados el *hotspot* de diversidad biológica más importante del mundo y al mismo tiempo uno de los sitios más amenazados por las actividades humanas y el cambio climático, lo cual posiciona a esta región como una gran prioridad para la conservación (Brooks *et al*., 2002; Mittermeier *et al*., 2011; Myers *et al*., 2000).

Mapa 2. Principales ecorregiones de los Andes Tropicales. *Fuente: adaptado de "The Tropical Andes eco-regions" por GRID-Arendal and Cartografare il Presente/Riccardo Pravettoni (Link: http://www.grida.no/resources/8097).*

El oso de anteojos (Tremarctos ornatus) habita principalmente los bosques húmedos andinos.

2.
IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA BIODIVERSIDAD DE LOS ANDES TROPICALES

La conservación y protección del páramo es crítica ya que provee múltiples servicios ecosistémicos y es un importante sumidero de carbono.

Los cambios progresivos en la temperatura del aire y en los patrones de lluvia están llevando a grandes alteraciones en los ecosistemas tropicales andinos, como la pérdida de sus servicios ecosistémicos y su biodiversidad. Sin embargo, estos impactos se diferencian a nivel de especies, ecosistemas y regímenes hidrológicos debido a los distintos grados de exposición y sensibilidad de los sistemas andinos.

Es importante destacar que la velocidad de calentamiento se ve amplificada con la elevación, por lo tanto, las zonas más altas de los Andes experimentan un aumento de temperatura mucho más drástico que las zonas bajas (Mountain Research Initiative EDW Working Group, 2015).

Por otro lado, existen grandes niveles de incertidumbre en cuanto a las proyecciones climáticas para esta región, que presenta uno de los regímenes más diversos y complejos del mundo (Garreaud, 2009; Vuille *et al*., 2008).

	Observaciones	Proyecciones
	Entre 1950 y 2010, la temperatura promedio de los Andes Tropicales aumentó 0,13 °C por década.	Se prevé un aumento de temperatura de hasta +1-5 °C para 2100, dependiendo del escenario de emisiones.
	Las tendencias respecto a cambios en los patrones de lluvias no son claras, aunque se ha reportado un aumento en las zonas internas y una disminución en las zonas externas y sub-tropicales de la región.	Habrá cambios espacialmente heterogéneos en los patrones de lluvias y en la línea de cobertura de nubes.

Cuadro 1. El clima de los Andes Tropicales. *Fuentes: Vuille et al., 2015, 2018.*

Yungas cerca de la provincia de Salta, Argentina.

ALTERACIONES EN LOS PRINCIPALES BIOMAS ANDINOS

Bosques montanos

Los bosques tropicales y subtropicales de los Andes se están retirando hacia zonas de mayor elevación como respuesta al calentamiento ambiental, a la vez que están sufriendo cambios direccionales en su composición. Este fenómeno, llamado "termofilización", ocurre debido a que las especies de árboles de tierras altas (adaptadas a vivir a bajas temperaturas) están muriendo y no logran colonizar nuevos hábitats en zonas más elevadas. Por lo tanto, la abundancia relativa de especies de tierras bajas (tolerantes a las altas temperaturas) se ve aumentada (Duque et al., 2015; Fadrique et al., 2018; Feeley et al., 2011).

Las especies de bosques andinos difícilmente puedan establecerse en zonas más altas ocupadas por páramos y punas altoandinas. Esto obedece a diversos factores, como los elevados niveles de radiación y la gran variabilidad de la temperatura diurna (Rehm y Feeley, 2015), lo que podría significar su desaparición e incluso su extinción en espacios restringidos.

> Muchos biomas de los Andes Tropicales se están retrayendo hacia zonas de mayor altitud y sufriendo cambios en su composición. Los más vulnerables son los páramos, los bosques montanos húmedos y los glaciares.

Páramo

Los páramos son ecosistemas alto-andinos únicos y sumamente frágiles que albergan una gran biodiversidad y son los mayores proveedores de agua de los Andes del norte (Hofstede et al., 2014). En las últimas décadas han experimentado importantes perturbaciones ambientales, incluyendo el derretimiento de los glaciares, la desaparición de cuerpos de agua, la menor ocurrencia de bancos de neblina y la pérdida de biodiversidad (Ruiz et al., 2008). Se encuentran entre los biomas más vulnerables al cambio climático y, según algunas proyecciones, perderían un 31 por ciento de su superficie actual para 2050 (Tovar et al., 2013).

Humedales altoandinos en Bolivia.

Glaciares y zonas congeladas

Los Andes Tropicales albergan al 99 por ciento de los glaciares tropicales de todo el mundo. Sin embargo, estos están retrocediendo a tasas alarmantes como consecuencia del cambio climático. En los últimos 50 años han perdido entre el 20 y 50 por ciento de su superficie y algunos han desaparecido por completo, tendencia que se estima continuará a lo largo del siglo (Dussaillant et al., 2019; Morán-Tejeda et al., 2018; Rabatel et al., 2013).

> Existe una doble presión sobre los ecosistemas andinos por los efectos combinados del cambio climático y los regímenes históricos y actuales de uso de la tierra.

A medida que los glaciares retroceden ocurren importantes transformaciones del paisaje, como la formación de nuevos lagos, desecación de lagunas existentes y alteraciones en la hidrología de las cuencas y ríos alimentados por los glaciares y humedales alto andinos. Estos cambios tienen fuertes impactos sobre la biodiversidad, como la alteración en la composición de muchas comunidades, el desplazamiento de especies y la potencial pérdida de ecosistemas de humedales y vegetación alpina (Cuesta *et al*., 2019).

Yungas

Estas selvas piedemontanas del sur de Bolivia y norte de Argentina son altamente sensibles a desecarse y contraerse frente a los cambios de humedad y al aumento en los niveles basales de las nubes, como consecuencia del calentamiento atmosférico (Helmer *et al*., 2019). Estudios de modelado indican que las yungas argentinas podrían retraerse hasta en un 50 por ciento y migrar hacia mayores altitudes en respuesta a distintos escenarios climáticos (Pacheco *et al*., 2010).

Puna, matorrales y bosques secos

Los biomas secos (puna seca, bosques estacionalmente secos y matorrales) son los únicos cuyos límites inferiores se prevé que se expandan hacia abajo en respuesta al cambio climático y al aumento en el estrés hídrico (Tovar *et al*., 2013). Si bien los hábitats de la puna húmeda son bastante resilientes al cambio climático, al mismo tiempo son vulnerables a la invasión de especies de plantas de alturas inferiores (Herzog *et al*., 2011).

Ecosistemas acuáticos

Existen pocos estudios respecto a los impactos del cambio climático sobre los sistemas acuáticos en esta región, pero se estima que los humedales, lagos y ríos que dependen del agua proveniente de zonas altamente vulnerables como los páramos y glaciares podrían verse seriamente afectados, causando una pérdida local de la biodiversidad asociada a ellos.

Se proyecta que para el resto del siglo, el 75-81 por ciento del área de la región se mantendrá estable, mientras que los biomas húmedos continuarán su retirada cuesta arriba y los biomas secos se expandirán cuesta abajo (Tovar *et al*., 2013). Una parte significativa del área que se espera sufra alteraciones ya está siendo fuertemente afectada por los cambios en el uso de la tierra.

CAMBIOS EN LOS RANGOS DE DISTRIBUCIÓN Y RIQUEZA DE LAS ESPECIES

Como se desarrolló en apartados anteriores, la biodiversidad de las montañas de los Andes Tropicales es particularmente vulnerable al cambio climático, dado que estos ecosistemas tienen una extensión restringida y suelen estar fragmentados. Además, muchas de las especies están adaptadas a condiciones muy específicas (a menudo extremas) y encuentran barreras físicas para migrar hacia otros hábitats. Por otro lado, como las distintas especies de animales y plantas presentan características fisiológicas y ecológicas muy diferentes, es esperable que no respondan de igual forma al cambio climático (Cuesta *et al*., 2012).

> El cambio climático tiene impactos diferenciados sobre las distintas especies de los Andes Tropicales, provocando que muchas se desplacen hacia mayores altitudes, aumentando los riesgos de propagación de especies invasoras y enfermedades, y llevando a mayores tasas de extinción local.

En respuesta al aumento de temperatura y los cambios en la humedad ambiental, muchas especies se están desplazando montaña arriba en busca de las condiciones a las que están adaptadas. Estos cambios ambientales a su vez pueden dar lugar a la propagación de nuevas especies invasoras y enfermedades en territorios hasta ahora no ocupados.

El riesgo de extinción local es mayor para aquellas especies que viven cerca en las zonas más altas y las cimas, ya que al aumentar la temperatura sus hábitats irán desapareciendo progresivamente y no tendrán un lugar adonde migrar. Como se observa en la Figura 1, el cambio climático desplaza progresivamente el rango de distribución de las especies de alta montaña hacia zonas más elevadas, reduciendo su hábitat y llevando incluso a su extinción local.

Figura 1. Consecuencias del cambio climático en la distribución de especies. *Fuente: Adaptado de Freeman et.al., 2018.*

Por otro lado, si bien en comparación con otras regiones existe gran incertidumbre y hay pocos estudios sobre cómo la diversidad biológica de los Andes Tropicales está respondiendo al cambio climático, algunos trabajos ponen en evidencia estos efectos (Báez *et al*., 2016).

Plantas

El límite de crecimiento de muchas especies andinas está siendo empujado hacia mayores altitudes. Esto modifica la composición de las comunidades y lleva a la fragmentación de hábitats. En los últimos doscientos años, las especies de plantas de los páramos del Chimborazo migraron hacia mayores elevaciones, en un promedio de 500 metros, colonizando zonas que antes estuvieron cubiertas por glaciares (Morueta-Holme *et al*., 2015).

Aves

En Perú, los límites de distribución de algunas especies de aves se desplazaron montaña arriba en un promedio de 68 metros, concomitante con el aumento de la temperatura. Las especies de mayores altitudes sufrieron una gran pérdida de hábitat, disminuyó la cantidad de individuos y algunas incluso desaparecieron por completo de esas montañas en el transcurso de tres décadas (Freeman *et al*., 2018).

Anfibios

Si bien se ha observado una reciente colonización de distintas especies en terrenos más elevados de los Andes Tropicales peruanos como respuesta al aumento en la temperatura, los factores climáticos no parecen haber sido los impulsores de la drástica disminución de la población durante los últimos años (Catenazzi *et al*., 2014). No obstante, la desglaciación y desecación de los humedales altoandinos podría afectar seriamente a las poblaciones de anfibios en el futuro (Seimon *et al*., 2017).

Insectos

Los rangos de elevación de los escarabajos de suelo del páramo ecuatoriano han cambiado de manera significativa durante las últimas décadas. Algunos se desplazaron hasta 400 metros hacia arriba en 28 años, alertando sobre la posibilidad de futuras extinciones locales (Moret et al., 2016).

Estudios de modelado indican que para 2050, más de la mitad de las especies de aves y plantas vasculares de esta región podrían perder al menos el 45 por ciento de su nicho climático, mientras que la mayor parte de las especies endémicas llegaría a perder el 50 por ciento (Ramirez-Villegas *et al*., 2014).

El chiví de corona anaranjada (Myiothlypis coronata) es un ave endémica de los Andes Tropicales y su rango de distribución está siendo afectado por el cambio climático.

3.
DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

La Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas, en Ecuador, abarca diversos ecosistemas que van desde los bosques siempreverdes piedemontanos hasta los páramos.

AUMENTAR LA AMBICIÓN CLIMÁTICA

Desafíos

Actualmente, los compromisos formulados por los gobiernos para abordar el cambio climático no son suficientes, ya que conducen a un aumento de 3,2 °C en la temperatura media global. Este es un número muy superior al objetivo de 1,5 °C establecido por el Acuerdo de París, y que por sí solo desataría consecuencias muy severas para la biodiversidad en todo el planeta (UNEP, 2019). Si no se logra cumplir con los objetivos este acuerdo, la biodiversidad y los ecosistemas naturales se verán gravemente afectados.

Al mismo tiempo, si no se logra detener la pérdida de biodiversidad, los esfuerzos para limitar el calentamiento global se pueden ver seriamente comprometidos. Mantener la salud de los ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos es crucial para mitigar el cambio climático, ya que estos actúan como grandes sumideros, absorbiendo casi la mitad de las emisiones a nivel mundial (Friedlingstein *et al.*, 2019). Sin embargo, la degradación o pérdida de estos ecosistemas puede transformarlos en fuentes de emisiones de GEI, exacerbando aún más los impactos del cambio climático (IPCC, 2019). Esto es particularmente relevante para los páramos, humedales y bosques andinos, que representan las mayores reservas de carbono de esta región.

Oportunidades

- Profundizar y acelerar la ambición climática a nivel global para limitar el incremento de la temperatura a 1,5 °C, a través de trayectorias de reducción de emisiones compatibles con la preservación de la biodiversidad y la soberanía alimentaria.
- Preservar y restaurar los ecosistemas naturales andinos, evitando que pasen de ser sumideros a fuentes de GEI. Esto no solo constituye un gran potencial de mitigación, sino que además acarrea múltiples cobeneficios como la preservación de servicios ecosistémicos y el aumento de la resiliencia de la biodiversidad, comunidades y medios de vida.

> En la actualidad, muchas áreas protegidas de los Andes Tropicales están ubicadas en zonas que no son prioritarias y en donde las especies que se encuentran más amenazadas no están debidamente representadas.

ÁREAS PROTEGIDAS Y ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN

Desafíos

Los diversos ecosistemas de los Andes Tropicales no responden al cambio climático de la misma manera que otras regiones, por lo que las medidas de conservación y adaptación necesitan ser diseñadas de forma específica (Tovar *et al.*, 2013).

En la actualidad, muchas áreas protegidas de los Andes Tropicales están ubicadas en zonas que no son prioritarias y en donde las especies que se encuentran más amenazadas no están debidamente representadas (Bax y Francesconi, 2019; Tognelli, 2016). Además, estas áreas están desconectadas, lo que pone en riesgo la viabilidad de estos ecosistemas y sus especies a largo plazo.

Dado que esta región se encuentra bajo intensas presiones vinculadas a cambios de uso de la tierra y que las especies de estos ecosistemas son muy sensibles al cambio climático, la inclusión de nuevas áreas protegidas es una tarea necesaria, aunque difícil. Diversos factores –como cuestiones de tenencia de la tierra, demanda de recursos naturales, actividades extractivas y falta de recursos para establecer y gestionar áreas protegidas– dificultan el establecimiento de nuevas zonas de conservación en los Andes.

Oportunidades

- Formular políticas públicas y una planificación regional que apunten a mejorar la conectividad del paisaje, ya que esto representa una estrategia de conservación mucho más efectiva frente a un escenario de cambio climático que la creación de áreas protegidas aisladas y rodeadas de paisajes altamente perturbados (Cuesta *et al.*, 2012; Ramirez-Villegas *et al.*, 2014). En este sentido, y a fin de fortalecer la gestión de la conservación de la conectividad en todo el paisaje, resulta importante reconocer y promover otras medidas efectivas de conservación basadas en áreas (OECM, por sus siglas en inglés), articulando las reservas nacionales con otros subsistemas, como territorios conservados por pueblos indígenas y comunidades locales (TICCA), bosques y vegetación protectores y reservas de la sociedad civil.
- Identificar áreas prioritarias de conservación donde la protección de la biodiversidad es más urgente, teniendo en cuenta su grado de irremplazabilidad y vulnerabilidad frente a los impactos combinados del cambio climático y el uso de la tierra.
- Desarrollar políticas y estrategias de conservación que contemplen los derechos de autodeterminación y consulta libre, previa e informada de comunidades locales y pueblos indígenas sobre sus territorios, que suman en la actualidad más de 82 millones de hectáreas (más del 52 por ciento de la superficie del *hotspot*) (Young *et al.*, 2015).

VACÍOS DE CONOCIMIENTO

Desafíos

A pesar de representar la comunidad biológica más diversa de la Tierra, históricamente esta región ha sido muy poco estudiada. El conocimiento existente en materia de biodiversidad (inventario de especies, rangos de distribución, interacciones ecológicas) y clima (datos históricos y modelado) en los Andes Tropicales es muy limitado.

> Los Andes Tropicales han sido poco estudiados pese a que constituyen la comunidad biológica más diversa de la Tierra.

Varios estudios analizan en profundidad los principales vacíos de conocimiento y las áreas prioritarias de investigación para esta región (Antonelli *et al*., 2018; Báez *et al*., 2011, 2016; Cuesta *et al*., 2012; Pitman *et al*., 2011). Por ejemplo, resulta imperioso resolver los sesgos taxonómicos y espaciales a nivel de especies y aumentar la resolución espacial en los estudios climáticos. Asimismo, es necesario poder realizar trabajos a gran escala y a largo plazo y desarrollar modelos que integren escenarios de cambios en el uso de la tierra con cambio climático.

Oportunidades

- Financiar y promover la investigación básica y aplicada en los países de la región para atender las principales brechas de conocimiento existentes sobre los impactos del cambio climático en los ecosistemas.
- Apoyar a especialistas e instituciones para llevar a cabo estudios interdisciplinarios y facilitar el acceso a las colecciones biológicas y bases de datos.
- Promover la institucionalización de redes de monitoreo ecológico a largo plazo y a nivel regional.

REFERENCIAS

1. Antonelli, A., Ariza, M., Albert, J., Andermann, T., Azevedo, J., Bacon, C., Faurby, S., Guedes, T., Hoorn, C., Lohmann, L. G., Matos-Maraví, P., Ritter, C. D., Sanmartín, I., Silvestro, D., Tejedor, M., ter Steege, H., Tuomisto, H., Werneck, F. P., Zizka, A., & Edwards, S. V. (2018). Conceptual and empirical advances in Neotropical biodiversity research. PeerJ, 6, e5644. https://doi.org/10.7717/peerj.5644
2. Báez, S., Cuesta, F., Cáceres, Y., Arnillas, C. A., & Vázquez, R. (2011). Síntesis del conocimiento de los efectos del Cambio Climático en la biodiversidad de los Andes Tropicales (Serie Panorama Andino sobre Cambio Climático). CONDESAN, SGCAN.
3. Báez, S., Jaramillo, L., Cuesta, F., & Donoso, D. A. (2016). Effects of climate change on Andean biodiversity: A synthesis of studies published until 2015. Neotropical Biodiversity, 2(1), 181-194. https://doi.org/10.1080/23766808.2016.1248710
4. Bax, V., & Francesconi, W. (2019). Conservation gaps and priorities in the Tropical Andes biodiversity hotspot: Implications for the expansion of protected areas. Journal of Environmental Management, 232, 387-396. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.086
5. Beaumont, L. J., Pitman, A., Perkins, S., Zimmermann, N. E., Yoccoz, N. G., & Thuiller, W. (2011). Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(6), 2306-2311. https://doi.org/10.1073/pnas.1007217108
6. Brooks, T. M., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., Rylands, A. B., Konstant, W. R., Flick, P., Pilgrim, J., Oldfield, S., Magin, G., & Hilton-Taylor, C. (2002). Habitat Loss and Extinction in the Hotspots of Biodiversity. Conservation Biology, 16(4), 909-923. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.00530.x
7. Catenazzi, A., Lehr, E., & Vredenburg, V. T. (2014). Thermal physiology, disease, and amphibian declines on the eastern slopes of the Andes: Frog Declines in the Tropical Andes. Conservation Biology, 28(2), 509-517. https://doi.org/10.1111/cobi.12194
8. Chivian, E., Bernstein, A., Secretariat of the Convention on Biological Diversity, United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, & IUCN--The World Conservation Union (Eds.). (2008). Sustaining life: How human health depends on biodiversity. Oxford University Press.
9. Cuesta, F., Bustamante, M., Becerra, M. T., Postigo, J., & Peralvo, J. (2012). Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales. CONDESAN, SGCAN.
10. Cuesta, F., Llambí, L. D., Huggel, C., Drenkhan, F., Gosling, W. D., Muriel, P., Jaramillo, R., & Tovar, C. (2019). New land in the Neotropics: A review of biotic community, ecosystem, and landscape transformations in the face of climate and glacier change. Regional Environmental Change, 19(6), 1623-1642. https://doi.org/10.1007/s10113-019-01499-3
11. Duque, A., Stevenson, P. R., & Feeley, K. J. (2015). Thermophilization of adult and juvenile tree communities in the northern tropical Andes. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(34), 10744-10749. https://doi.org/10.1073/pnas.1506570112
12. Dussaillant, I., Berthier, E., Brun, F., Masiokas, M., Hugonnet, R., Favier, V., Rabatel, A., Pitte, P., & Ruiz, L. (2019). Two decades of glacier mass loss along the Andes. Nature Geoscience. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0432-5
13. Fadrique, B., Báez, S., Duque, Á., Malizia, A., Blundo, C., Carilla, J., Osinaga-Acosta, O., Malizia, L., Silman, M., Farfán-Ríos, W., Malhi, Y., Young, K. R., Cuesta C., F., Homeier, J., Peralvo, M., Pinto, E., Jadan, O., Aguirre, N., Aguirre, Z., & Feeley, K. J. (2018). Widespread but heterogeneous responses of Andean forests to climate change. Nature, 564(7735), 207-212. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0715-9
14. Feeley, K. J., Silman, M. R., Bush, M. B., Farfan, W., Cabrera, K. G., Malhi, Y., Meir, P., Revilla, N. S., Quisiyupanqui, M. N. R., & Saatchi, S. (2011). Upslope migration of Andean trees: Andean trees migrate upslope. Journal of Biogeography, 38(4), 783-791. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02444.x
15. Freeman, B. G., Scholer, M. N., Ruiz-Gutierrez, V., & Fitzpatrick, J. W. (2018). Climate change causes upslope shifts and mountaintop extirpations in a tropical bird community. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(47), 11982-11987. https://doi.org/10.1073/pnas.1804224115
16. Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S.,

Le Quéré, C., Bakker, D. C. E., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Anthoni, P., Barbero, L., Bastos, A., Bastrikov, V., Becker, M., Bopp, L., Buitenhuis, E., Chandra, N., Chevallier, F., Chini, L. P., Currie, K. I., Feely, R. A., Gehlen, M., Gilfillan, D., Gkritzalis, T., Goll, D. S., Gruber, N., Gutekunst, S., Harris, I., Haverd, V., Houghton, R. A., Hurtt, G., Ilyina, T., Jain, A. K., Joetzjer, E., Kaplan, J. O., Kato, E., Klein Goldewijk, K., Korsbakken, J. I., Landschützer, P., Lauvset, S. K., Lefèvre, N., Lenton, A., Lienert, S., Lombardozzi, D., Marland, G., McGuire, P. C., Melton, J. R., Metzl, N., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S.-I., Neill, C., Omar, A. M., Ono, T., Peregon, A., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson, E., Rödenbeck, C., Séférian, R., Schwinger, J., Smith, N., Tans, P. P., Tian, H., Tilbrook, B., Tubiello, F. N., van der Werf, G. R., Wiltshire, A. J., and Zaehle, S.: Global Carbon Budget 2019, Earth Syst. Sci. Data, 11, 1783-1838. https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019

17. Fuselli, S. (2003). Mitochondrial DNA Diversity in South America and the Genetic History of Andean Highlanders. Molecular Biology and Evolution, 20(10), 1682-1691. https://doi.org/10.1093/molbev/msg188
18. Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather. Advances in Geosciences, 22, 3-11. https://doi.org/10.5194/adgeo-22-3-2009
19. Helmer, E. H., Gerson, E. A., Baggett, L. S., Bird, B. J., Ruzycki, T. S., & Voggesser, S. M. (2019). Neotropical cloud forests and páramo to contract and dry from declines in cloud immersion and frost. PLOS ONE, 14(4), e0213155. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213155
20. Herzog, S. K., R. Martínez, P.M. Jørgensen, & H. Tiessen. (2011). Climate change and biodiversity in the tropical Andes. Unpublished. https://doi.org/10.13140/2.1.3718.4969
21. Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A., & Cerra, M. (2014). Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre elimpacto del cambio climático en el ecosistema páram. UICN.
22. IPBES, 2019: Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pp.
23. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
24. IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.
25. Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Cabrera, E., Chacón-Moreno, E., Ferreira, W., Peralvo, M., Saito, J., & Tovar, A. (2009). Ecosistemas de los Andes del norte y centro. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa regional ECOBONA-INtercooperation, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL.
26. Knutti, R., & Sedláček, J. (2013). Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. Nature Climate Change, 3(4), 369-373. https://doi.org/10.1038/nclimate1716
27. Mittermeier, R. A. (Ed.). (2004). Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions (1. engl. ed). CEMEX.
28. Mittermeier, R. A., & Goettsch Mittermeier, C. (1997). Megadiversity: Earth's biologically wealthiest nations (1st English ed). CEMEX.
29. Mittermeier, R. A., Turner, W. R., Larsen, F. W., Brooks, T. M., & Gascon, C. (2011). Global Biodiversity Conservation: The Critical Role of Hotspots. En F. E. Zachos & J. C. Habel (Eds.), Biodiversity Hotspots (pp. 3-22). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5_1
30. Morán-Tejeda, E., Ceballos, J. L., Peña, K., Lorenzo-Lacruz, J., & López-Moreno, J. I. (2018). Recent evolution and associated hydrological dynamics of a vanishing tropical Andean glacier: Glaciar de Conejeras, Colombia. Hydrology and Earth System Sciences, 22(10), 5445-5461. https://doi.org/10.5194/hess-22-5445-2018
31. Moret, P., Aráuz, M. de los Á., Gobbi, M., & Barragán, Á. (2016). Climate warming effects in the tropical Andes: First evidence for upslope shifts of Carabidae (Coleoptera) in Ecuador. Insect Conservation and Diversity, 9(4), 342-350. https://doi.org/10.1111/icad.12173

32. Morueta-Holme, N., Engemann, K., Sandoval-Acuña, P., Jonas, J. D., Segnitz, R. M., & Svenning, J.-C. (2015). Strong upslope shifts in Chimborazo's vegetation over two centuries since Humboldt. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(41), 12741-12745. https://doi.org/10.1073/pnas.1509938112
33. Mountain Research Initiative EDW Working Group. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. Nature Climate Change, 5(5), 424-430. https://doi.org/10.1038/nclimate2563
34. Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, 403(6772), 853-858. https://doi.org/10.1038/35002501
35. Pacheco, S., Malizia, L. R., & Cayuela, L. (2010). Effects of Climate Change on Subtropical Forests of South America. Tropical Conservation Science, 3(4), 423-437. https://doi.org/10.1177/194008291000300407
36. Pitman, N. C. A., Widmer, J., Jenkins, C. N., Stocks, G., Seales, L., Paniagua, F., & Bruna, E. M. (2011). Volume and Geographical Distribution of Ecological Research in the Andes and the Amazon, 1995-2008. Tropical Conservation Science, 4(1), 64-81. https://doi.org/10.1177/194008291100400107
37. Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J.-E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., … Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. The Cryosphere, 7(1), 81-102. https://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013
38. Ramirez-Villegas, J., Cuesta, F., Devenish, C., Peralvo, M., Jarvis, A., & Arnillas, C. A. (2014). Using species distributions models for designing conservation strategies of Tropical Andean biodiversity under climate change. Journal for Nature Conservation, 22(5), 391-404. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.03.007
39. Rehm, E. M., & Feeley, K. J. (2015). The inability of tropical cloud forest species to invade grasslands above treeline during climate change: Potential explanations and consequences. Ecography, 38(12), 1167-1175. https://doi.org/10.1111/ecog.01050
40. Ruiz, D., Moreno, H. A., Gutiérrez, M. E., & Zapata, P. A. (2008). Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. Science of The Total Environment, 398(1-3), 122-132. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.02.038
41. Seimon, T. A., Seimon, A., Yager, K., Reider, K., Delgado, A., Sowell, P., Tupayachi, A., Konecky, B., McAloose, D., & Halloy, S. (2017). Long-term monitoring of tropical alpine habitat change, Andean anurans, and chytrid fungus in the Cordillera Vilcanota, Peru: Results from a decade of study. Ecology and Evolution, 7(5), 1527-1540. https://doi.org/10.1002/ece3.2779
42. Tognelli, M. (2016). Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de agua dulce en los Andes tropicales. UICN.
43. Tovar, C., Arnillas, C. A., Cuesta, F., & Buytaert, W. (2013). Diverging Responses of Tropical Andean Biomes under Future Climate Conditions. PLoS ONE, 8(5), e63634. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063634
44. United Nations Environment Programme (2019). Emissions Gap Report 2019. UNEP, Nairobi.
45. Vuille, M., Carey, M., Huggel, C., Buytaert, W., Rabatel, A., Jacobsen, D., Soruco, A., Villacis, M., Yarleque, C., Elison Timm, O., Condom, T., Salzmann, N., & Sicart, J.-E. (2018). Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes - Impacts, uncertainties and challenges ahead. Earth-Science Reviews, 176, 195-213. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.019
46. Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B., & Bradley, R. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. Earth-Science Reviews, 89, 79-96. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002
47. Vuille, M., Franquist, E., Garreaud, R., Lavado Casimiro, W. S., & Cáceres, B. (2015). Impact of the global warming hiatus on Andean temperature: Global warming hiatus in the Andes. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 120(9), 3745-3757. https://doi.org/10.1002/2015JD023126
48. Young, B., Josse, C., Stern, M., Vasconez, S., Olander, J., Sanchez de Lozada, A., Zador, M., Smyth, R., Comer, P. J., Moull, K., Echavarría, M., & Hak, J. (2015). Hotspot de biodiversidad de los Andes Tropicales. NatureServe y EcoDecisión, CEPF.
49. Young, K. R., Ulloa, C. U., Luteyn, J. L., & Knapp, S. (2002). Plant Evolution and Endemism in Andean South America: An Introduction. The Botanical Review, 68(1), 4-21. https://doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068[0004:PEAEIA]2.0.CO;2

Los mapas de este libro fueron elaborados con el software ArcGIS® de Esri. ArcGIS® y ArcMap™ son propiedad intelectual de Esri y se utilizan aquí bajo licencia. Copyright © Esri. Todos los derechos reservados. Para obtener más información sobre el software de Esri®, por favor visite www.esri.com.

FUNDACIÓN AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

CAMBIO CLIMÁTICO Y BIODIVERSIDAD EN LOS ANDES TROPICALES

ABRIL 2020