A photograph of a tropical mountain forest. The foreground is filled with dark, silhouetted leaves and branches. The middle ground shows a steep, densely forested hillside with a variety of green shades. In the background, a valley is visible, partially obscured by a light mist or haze. The overall scene is vibrant and lush.

Los bosques montanos de los Andes Tropicales

PROGRAMA REGIONAL ECOBONA-INTERCOOPERATION

“Los bosques montanos de los Andes Tropicales.
Una evaluación regional de su estado de conservación y de
su vulnerabilidad a efectos del cambio climático”.

www.bosquesandinos.info

Autores: Francisco Cuesta, Manuel Peralvo,
Natalia Valarezo

Iniciativa Regional de Estudios Ambientales
Andinos, CONDESAN

francisco.cuesta@condesan.org
manuel.peralvo@condesan.org
natalia.valarezo@condesan.org

Diseño de mapas: Natalia Valarezo

Comité editorial: María Teresa Becerra,
Secretaría General de la
Comunidad Andina

Galo Medina
Director Regional
Programa Regional ECOBONA

Rodrigo Sierra
Research Fellow
Long Institute of Latin American Studies
University of Texas at Austin

Conrado Tobón
Profesor Asociado
Universidad Nacional de Colombia
Sede Medellín

Renato Valencia
Laboratorio de Ecología de Plantas
y Herbario QCA
Escuela de Ciencias Biológicas
Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Corrección de estilo: La Caracola

Diseño gráfico: Verónica Ávila ⇄ Activa Diseño Editorial

Tiraje: 2000 ejemplares

Impresión: Imprenta Mariscal, Quito - Ecuador

ISBN: 978-9942-9966-0-2

Reproducción autorizada si se cita la fuente. Este libro deberá ser
citado de la siguiente manera: Cuesta F., Peralvo M. y N. Valarezo.
2009. “Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Una evalua-
ción 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.

La Paz/Lima/Quito, diciembre 2009

Los mapas generados en este estudio no constituyen
cartografía oficial de los países andinos, por lo tanto los
resultados y estadísticas presentadas no representan datos
oficiales.



Los bosques montanos de los Andes Tropicales

Índice

4 **Presentación**

7 **Resumen**

11 **Introducción**

14 **La importancia de los bosques
montanos en los Andes Tropicales**

18 **Métodos**

Área de estudio / 18

Caracterización y distribución de los bosques
montanos / 20

Construcción de un índice de presión / 22

Vulnerabilidad al cambio
climático / 24

Priorización / 29

30 **Resultados**

Caracterización de los bosques montanos
de los Andes Tropicales / 30

Diversidad, remanencia y representatividad
en áreas protegidas / 41

Factores de presión / 47

Sensibilidad potencial de los bosques
montanos a procesos de cambio climático / 48

Identificación de áreas prioritarias
para conservación de los bosques
montanos / 52

59 **Discusión**

Retroalimentación entre los impactos del
cambio climático y el uso de la tierra / 64

Prioridades de investigación y fuentes de
incertidumbre / 65

69 **Referencias**

73 **Agradecimientos**

Presentación

El Paisaje Andino de Montaña está integrado por bosques, páramos, punas, humedales, turberas, salares, glaciares y aquellas zonas adyacentes que mantienen producción agropecuaria. Este paisaje incorpora además a todas las relaciones sociales y culturales que lo han modificado y configurado hasta convertirlo en lo que hoy podemos observar.



Una parte importante de este paisaje andino de montaña constituyen los Bosques Andinos (definidos como Bosques Montanos de los Andes Tropicales en esta publicación), los cuales son fundamentales en la provisión de servicios ecosistémicos principalmente vinculados al agua, a la regulación climática regional y a la captura y almacenamiento de carbono. En los países andinos han sido catalogados como ecosistemas frágiles y estratégicos por estar situados en zonas de recarga de cuencas hidrográficas que proveen agua de la que se benefician más de 40 millones de personas en Bolivia, Ecuador y Perú. Esto los hace críticos en la adaptación al cambio climático y en el soporte de los sistemas productivos de los Andes.

El objetivo fundamental de esta publicación es proporcionar información científica sobre los bosques andinos de manera que, al conocerlos mejor, podamos conservarlos y utilizar sus recursos naturales adecuadamente. Este estudio aborda también las implicaciones del cambio climático sobre estos ecosistemas, pero debemos reconocer que constituye una primera aproximación a un análisis regional de estas características.

Si bien a nivel de cada país se ha generado importante información relacionada con estos ecosistemas, hasta el momento no ha sido posible contar con datos comparables a escala andina que permitan analizar integralmente su diversidad, su



Resumen



estado de conservación y su vulnerabilidad a los cambios globales. Esta es una de las mayores motivaciones para avanzar con esta publicación.

El ECOBONA procura, a través de este estudio, proporcionar información científica que permita a nuestros gobiernos tomar decisiones informadas que aporten al mantenimiento en el largo plazo de las funciones ecosistémicas que los bosques andinos proveen.

Galo Medina
Programa Regional ECOBONA



Los bosques montanos tropicales son ecosistemas frágiles que contienen una diversidad biológica caracterizada por su alto grado de singularidad y rareza. Estos ecosistemas únicos se encuentran seriamente amenazados en toda su distribución.



Los bosques montanos tropicales son ecosistemas frágiles que contienen una diversidad biológica caracterizada por su alto grado de singularidad y rareza. Estos ecosistemas únicos se encuentran seriamente amenazados en toda su distribución. El alto nivel de vulnerabilidad frente a los cambios globales (cambio climático y las dinámicas de cambios de cobertura y uso de la tierra) requiere de acciones urgentes para promover su conservación, no sólo debido a su enorme riqueza biológica, sino porque juegan un papel fundamental en el mantenimiento y abastecimiento de agua de la cual dependen más de 40 millones de personas en los Andes Tropicales. Estos bosques también son fundamentales en el

sostenimiento del clima a escala regional y continental, ya que facilitan muchos de los procesos de circulación global y captan una gran cantidad de agua de los bancos de nube que se precipitan por efectos de la orografía andina. De igual manera, cumplen un papel importante en el balance de CO₂ de la atmósfera, pues pueden llegar a acumular entre 20 y 40 toneladas de carbono por hectárea, lo que los convierte en un importante sumidero.

El presente estudio construyó una propuesta que permite mapear la distribución remanente de los bosques de montaña en los Andes Tropicales, tanto a nivel ecosistémico como de tres grandes grupos



(biomas) climáticos: bosques pluviales, estacionales y xerofíticos. A partir de esta cobertura, se construyeron estadísticas regionales que posibilitan evaluar su remanencia, representatividad en los sistemas nacionales de áreas protegidas, y construir un conjunto de indicadores para apreciar su vulnerabilidad a posibles cambios de cobertura de la tierra.

Sobre la base del mapa de ecosistemas andinos, se realizó un análisis de la vulnerabilidad de los bosques de montaña a los efectos del cambio climático, utilizando modelos de nicho para los años 2020 y 2050, a partir de dos modelos CGM (HADCM3 y CCCMA) corridos para dos escenarios de emisión (SRES) A2 y B2.

Los resultados muestran una tendencia clara de pérdida de áreas de los tres tipos de bosques. El escenario A2 reporta una mayor pérdida de áreas que los escenarios B2, siendo los más fuertes los correspondientes al modelo HADCM3. Los rangos del porcentaje de pérdida entre el escenario más tenue y el más drástico oscilan entre 6% (CCCMA B2) y 7% (HADCM3 A2) para los bosques pluviales; entre 13% y 21% para los pluviales; y entre 4% y 5% para los xerofíticos.

Los principales sectores que podrían tener importantes pérdidas potenciales de bosques montanos, debidas a cambio climático, se concentran en las áreas protegidas de la vertiente amazónica de la Cordillera Oriental. Las áreas con pérdidas más significativas son el PN Yanachaga-Chemillen, PN Manu, PN Madidi junto con el ANMIN Apolobamba y el PN Carrasco y PN Amboró.

A partir de estos indicadores, se identifican áreas prioritarias de conservación que permiten delinear, a futuro, procesos de manejo, adaptación y establecimiento de programas de monitoreo a largo plazo.

Las áreas prioritarias para los **bosques pluviales** se encuentran concentradas en la porción sur de la Cordillera Occidental y Oriental de Colombia (departamentos de Cauca, Chocó, Putumayo y Nariño), en la Cordillera del Cóndor y el sur de la Cordillera Oriental de Ecuador (Provincias de Morona, Loja y Zamora). En Perú, las áreas de importancia se encuentran dispersas a lo largo de las Yungas, con un área importante en la frontera con Bolivia. Los **bosques estacionales** presentan dos áreas muy relevantes: los bosques de la Cordillera de Chilla en la provincia de Loja y El Oro, en el Ecuador; y el margen oriental del río Marañón en el Departamento de Amazonas en el norte peruano y en el suroriente de Bolivia en los bosques bolivianos-tucumanos de los departamentos de Tarija y Chuquisaca. Las áreas prioritarias para los **bosques xerofíticos** se encuentran en el norte de Perú en el margen occidental del río Marañón, en los departamentos de Cajamarca, Piura y La Libertad; en los bosques del sur de la provincia de Loja y El Oro en Ecuador; y, especialmente, en los bosques xerofíticos bolivianos-tucumanos de Santa Cruz y Chuquisaca.

Palabras Clave:
bosques montanos, Andes Tropicales,
cambio climático, estado de conservación,
índice de presión.

Introducción

Los Andes del Norte y Centrales o Andes Tropicales cubren una extensión de 1.543.000 km² desde el oeste de Venezuela hasta la frontera entre Bolivia, Chile y Argentina (Josse *et al.* 2009). Los ecosistemas de los Andes Tropicales son considerados como los de mayor riqueza y diversidad biológica en la Tierra. En su conjunto, albergan más de 45.000 plantas vasculares (20.000 endémicas) y 3.400 especies de vertebrados (1.567 endémicos), en apenas el 1% de la masa continental de la Tierra (Myers *et al.* 2000).



Esta región representa la mayor extensión de áreas temperadas en los trópicos, que se ubica desde 11° N hasta 23° S y se extiende a lo largo de 4.000 km. Rara vez la cordillera desciende de los 2.000 m, y, cuando lo hace, normalmente define límites entre subregiones fitogeográficas (García-Moreno *et al.* 1999; Fjeldsã y Krabbe 1990). En referencia a este particular, y considerando la complejidad tectónica de la cordillera, los Andes Tropicales han sido divididos en dos secciones: Norte y Centro (Clapperton 1993).

Los Andes Norte son relativamente jóvenes; en ellos, el mayor levantamiento se inició en el Mioceno, hace aproximadamente 25 millones de años. Los del Centro son más

antiguos, con un levantamiento considerable en el período Terciario Temprano (Paleoceno/Mioceno), hace aproximadamente 50 millones de años (Van der Hammen 1974). Los Andes del Norte abarcan un área aproximada de 490.000 km² y recorren una distancia aproximada de 2.000 km desde 11° N hasta 6° S, iniciando su recorrido en el Macizo de la Sierra de Santa Marta y desembocando en el Abra de Porculla, en la región conocida como la Depresión de Huancabamba, en el norte de Perú (Van der Hammen 1974; Simpson 1975).

Los Andes Centrales, por su parte, se extienden desde la Depresión de Huancabamba hacia el sur, cubriendo una superficie



aproximada de 1.000.000 km², hasta su punto más austral, entre el volcán Lullillaco (24°30' S) y el nevado de Tres Cruces (27° S) en dirección SE-NO, en la frontera entre Chile y Argentina (Emck *et al.* 2007).

La fisiografía de los Andes se caracteriza por empinadas pendientes, quebradas profundas, fondos de extensos valles y picos escarpados. Estas geoformas se combinan con diferencias de clima creadas por agudos gradientes de altitud y generan una gran diversidad ecosistémica. De acuerdo al trabajo reciente de Josse *et al.* (2009), en los Andes Tropicales existen 133 ecosistemas distintos. Esta inmensa diversidad de la cordillera andina puede ser caracterizada de manera sencilla en seis grandes paisajes: los páramos, las punas, los bosques montanos, los valles secos interandinos y los desiertos de altura o salares. Dentro de éstos, los **bosques montanos** constituyen el paisaje matriz dominante que se extiende desde el piedemonte (500 ± 100 msnm)

hasta el límite arbóreo, que varía de acuerdo a la latitud pero que generalmente se encuentra sobre los 3.200 m de elevación (Webster 1995; Lauer 1989).

Habitualmente, en el flanco amazónico de la Cordillera Real o en la vertiente Pacífica de Colombia o Ecuador, los bosques montanos forman un gradiente continuo de más de 2.500 m de elevación. Hacia los flancos interiores de la cordillera andina, los bosques son delimitados por los enclaves secos de los valles interandinos, que generalmente presentan en los Andes del Norte una disposición norte-sur, mientras que en los de Andes Centrales es también común la existencia de valles interandinos con una disposición transversal (este-oeste).

Áreas urbanas y rurales albergan en los Andes a más de 40 millones de personas que dependen, en gran medida, del mantenimiento de las funciones ambientales de los ecosistemas andinos, que cumplen

un papel fundamental en la provisión de distintos bienes y servicios ecosistémicos, especialmente en relación a procesos de regulación hídrica.

Dada la importancia de estos ecosistemas, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), en alianza con INTERCOOPERATION (IC) y otros actores nacionales y regionales, construyeron el Programa Regional ECOBONA, para la Gestión Social de Ecosistemas Forestales Andinos. Este Programa apunta a la institucionalización progresiva de normas, procesos y mecanismos de manejo sustentable de los ecosistemas forestales andinos en los gobiernos y otros actores a escala regional, nacional y local, a través del fortalecimiento de capacidades.

Para reconocer la importancia de los ecosistemas forestales en el desarrollo de la región andina, es vital promover su conocimiento. Una parte esencial de éste es la generación y el análisis de estadísticas

básicas regionales que permitan evaluar su estado de conservación y su vulnerabilidad potencial frente a procesos de cambio ambiental a múltiples escalas.

En este contexto, el presente estudio se plantea los siguientes objetivos:

1. Apoyar a la dirección del Programa Regional ECOBONA para construir un conjunto de indicadores de presión que permita realizar una evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en la región andina.
2. Recopilar y sistematizar la información relativa a los bosques montanos de los Andes Tropicales que permita la construcción de una base de datos espacial, que sirva para la construcción de un sistema de monitoreo regional del Programa ECOBONA.
3. Analizar los posibles efectos del cambio climático en la distribución regional de los bosques montanos de los Andes Tropicales.



Para reconocer la importancia de los ecosistemas forestales en el desarrollo de la región andina, es vital promover su conocimiento. Una parte esencial de éste es la generación y el análisis de estadísticas básicas regionales que permitan evaluar su estado de conservación y su vulnerabilidad potencial.



La importancia de los bosques montanos en los Andes Tropicales

Los bosques montanos de los Andes tienen una importancia global por ser reservorios de biodiversidad y por sus excepcionales funciones de regulación hídrica y mantenimiento de una alta calidad del agua (Bubb *et al.* 2004). Específicamente, los bosques montanos pluviales (subandinos, andinos y altoandinos) presentan una dinámica hídrica poco convencional (Bruijnzeel 2001), donde la niebla y la lluvia, que es transportada por el viento, se convierten en un aporte adicional de agua al sistema (Tobón y Arroyave 2007).



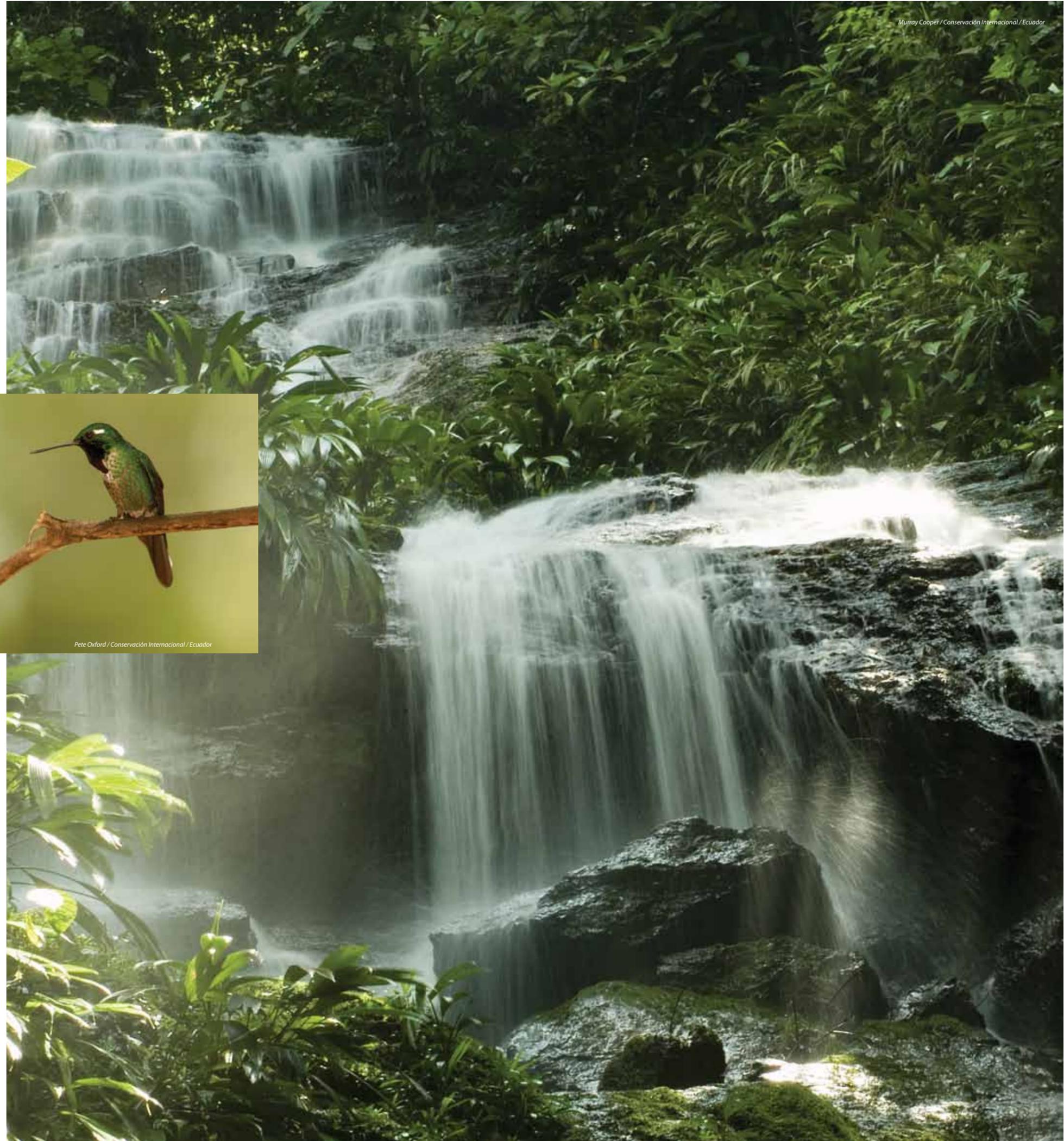
Pete Oxford / Conservación Internacional / Ecuador

Este aporte se convierte en un componente importante del balance hídrico de dichos ecosistemas por la capacidad que tienen para interceptar el agua de la niebla y por la disminución de la transpiración (Fewerda *et al.* 2000, citado en Tobón 2008).

El aprovechamiento de la lluvia horizontal cobra gran importancia en la época de estiaje, especialmente en los bosques montanos pluvios-tacionales y xerofíticos. Muchos de estos bosques estacionales se caracterizan por ser áreas con baja precipitación pero con frecuente formación de neblina. Bajo condiciones húmedas, la cantidad de agua directamente interceptada por la vegetación de los bosques montanos

puede estar en el orden de 15% a 20% de la precipitación total, y puede llegar al orden de 50% a 60% en condiciones más expuestas (Bruijnzeel y Hamilton 2000). Estos valores tienden a incrementarse en bosques montanos de mayores altitudes. En áreas con menor precipitación total, o que experimentan períodos de estiaje extendidos, tales porcentajes pueden ser incluso mayores y equivalentes a entre 700 y 1.000 mm año⁻¹ (Bruijnzeel 2001).

Un elemento fundamental de la hidrología y ecología de los bosques montanos es la gran riqueza y abundancia de epifitas, lianas y bejucos que constituyen, en gran medida, el estrato inferior o sotobosque de estos ecosistemas. Cerca





Luiz Claudio Marigo/naturepl.com

de un cuarto de todas las plantas vasculares tiene una forma de vida epífita (Foster 2001). Esta comunidad juega un papel fundamental en la captura de lluvia horizontal y provee una gran diversidad de microhábitats para varias especies de anfibios y reptiles. El agua almacenada en la comunidad epífita ha sido estimada entre 3.000 litros por hectárea (Richardson *et al.* 2000) y 50.000 litros/ha (Sugden 1981). Hasta la mitad del total de ingreso de nitratos y otros iones y nutrientes en el bosque puede provenir del agua filtrada por las epifitas (Benzing 1998).

Los patrones de diversidad vegetal en los bosques montanos evidencian valores muy altos en la diversidad beta y gama, siendo lo opuesto a lo observado en los bosques amazónicos (Gentry 1995; Churchill *et al.* 1995). Los bosques montanos presentan patrones excepcionales en el recambio de especies y comunidades debido, en parte, a la enorme heterogeneidad de hábitats producto de los fuertes gradientes ambientales (Kessler *et al.* 2001; Kessler 2002; Jorgensen & León-Yanez 1999).



Jan Baiker

La diversidad de estos bosques disminuye al incrementarse la elevación por encima de los 1.500 m. Debajo de este límite, los bosques montanos son tan diversos como los de tierras bajas y presentan patrones de composición florística similares a éstos (Gentry 1995). Las especies arbóreas de la familia *Leguminosae* y *Bignoniaceae*, en el caso de las lianas, representan las familias más diversas en ambos casos. Por encima de los 1.500 m, los bosques montanos pierden diversidad pero su composición florística es marcadamente distinta, con una predominancia de especies y géneros de origen laurásico. La familia *Lauraceae* es preponderantemente la más rica en especies leñosas (mayores a 2,5 cm de DAP) en todos los bosques montanos de los Andes localizados entre 1.500 y 2.900 m de elevación, seguida por las familias *Rubiaceae* y *Melastomataceae*. En elevaciones superiores, las familias *Asteraceae* y *Ericaceae* pasan a ser los elementos de la flora leñosa más rica en especies (Gentry 1995).

Los bosques montanos albergan gran variedad de especies de fauna, muchas ellas de distribución restringida. Un ejemplo son los valores que se reportan para las aves. El 10% de las 2.609 especies de aves de distribución restringida (aquellas que tienen un rango inferior a 50.000 km²) reportadas a escala global se encuentran principalmente en los bosques montanos. Los datos sobre los patrones de endemismo de los bosques montanos a escala de país muestran consistentemente valores excepcionales. Young y León (1997) y Young (1992) estimaron

que en las Yungas peruanas se encuentra el 14% de la flora del Perú, en lo que representa el 5% del área del país. Balslev (1988) estimó que la mitad de la flora de Ecuador se encuentra en el 10% de la superficie nacional, área representada por las regiones entre los 900 y 3.000 m de elevación.

Los bosques montanos son también el hábitat natural de muchas de las variedades silvestres de los cultivos andinos. Debouck y Libreros Ferla (1995) identificaron 12 géneros silvestres asociados a cultivos andinos, tales como la papaya (*Carica papaya*), el tomate (*Lycopersicon esculentum*), el tomate de árbol (*Solanum betaceum*), varias especies parientes del maracuyá y del taxo, del aguacate (*Persea americana*), granos del género *Phaseolus*, la mora (*Rubus* spp.), el pepinillo (*Solanum muricatum*) y la papa (*Solanum* spp.).



Jan Baiker

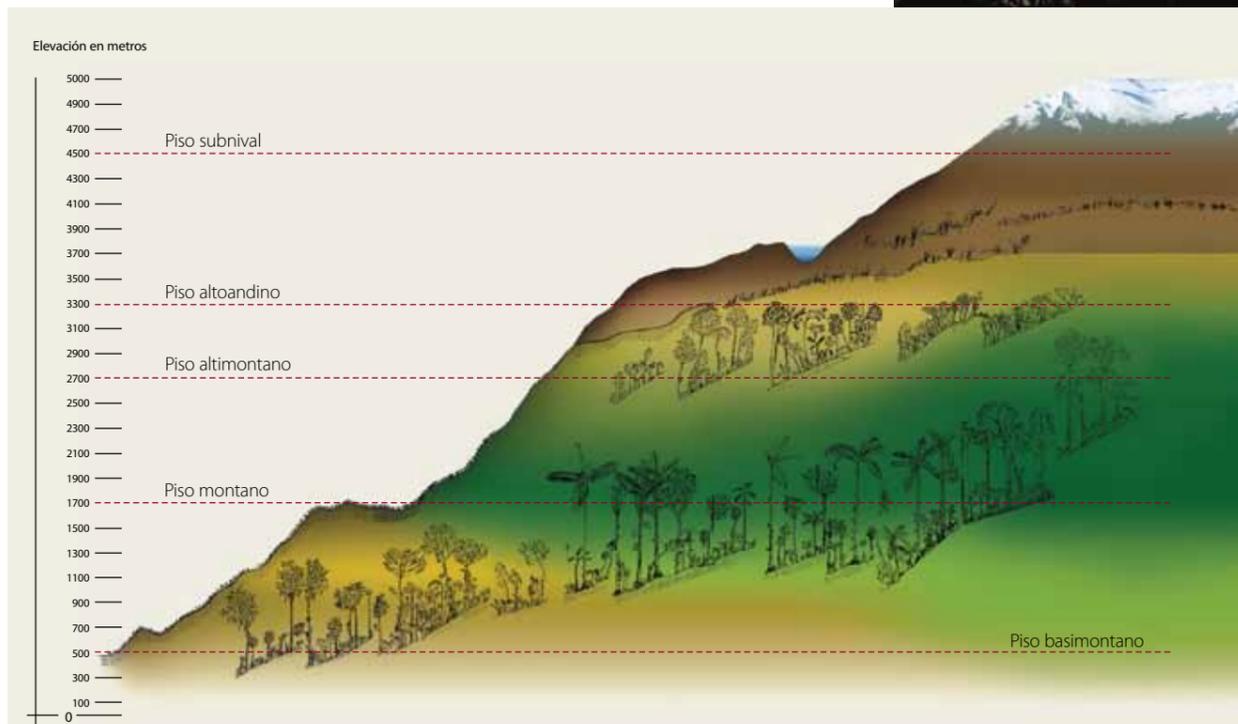
La riqueza de epifitas, lianas y bejucos en los bosques montanos juega un papel fundamental en la captura de lluvia horizontal y provee una gran diversidad de microhábitats para varias especies de anfibios y reptiles.

Métodos

Área de estudio

El límite de elevación inferior del área de estudio está determinado por los primeros ecosistemas extra-andinos colindantes, es decir, aproximadamente los 600 m de elevación, con algunas variaciones según la vertiente y la ubicación latitudinal (Fig. 1). Esta área abarca una extensión aproximada de 1,52 millones de km². Los bosques montañosos se distribuyen entre el límite superior del piso basimontano al límite inferior del piso altoandino (Fig. 1). Los bosques montañosos en los Andes del Norte y centro corresponden a tres grandes fitorregiones: Andes del Norte, Yungas y el boliviano-tucumano.

Figura 1. Perfil ecológico que muestra los diferentes macrogrupos y pisos bioclimáticos de vegetación andina, desde: a) La Cordillera Central colombiana hasta el piedemonte en el río Magdalena, Colombia, y; b) Desde la Cordillera Real hasta la llanura amazónica del piedemonte, Departamento de La Paz, Bolivia (Variación altitudinal: 400 m a 4.900 m; fuente: Josse *et al.* 2009). Los bosques andinos ocurren entre el piso basimontano y el piso altoandino.



Los datos de base utilizados en este estudio, para caracterizar la distribución de los bosques montanos, corresponden al Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro (Josse *et al.* 2009). Este mapa tiene una escala nominal de 1:250.000 y discrimina 133 ecosistemas andinos desde Venezuela hasta Bolivia. Con base en el mapa de Josse *et al.* (2009), se delimitó el área de estudio y se produjo un mapa específico de ecosistemas de bosques montanos. Esto requirió reclasificar los 133 ecosistemas representados en el mapa en 9 tipos generales de vegetación (Fig. 2).

Validación del mapa de ecosistemas andinos

Para evaluar la correspondencia del modelo climático potencial con el mapa de ecosistemas de bosques montanos, se realizó una comparación de las áreas de **omisión** (áreas definidas como bosques montanos en el mapa de ecosistemas, pero no recuperadas en el modelo de nicho), respecto de las áreas de **comisión** (áreas no definidas como bosques montanos en el mapa de ecosistemas pero recuperadas en el modelo de nicho como tales).

Caracterización y distribución de los bosques montanos

En el presente estudio se utiliza el sistema de clasificación de ecosistemas terrestres utilizado por Josse *et al.* (2003). Se implementó esta propuesta de definición y clasificación de ecosistemas terrestres por ser la que cubre de manera exhaustiva la región andina y sus regiones colindantes con los Andes Tropicales. De igual manera, esta propuesta ha sido aplicada, ajustada y validada en campo en Bolivia (Navarro y Ferreira *et al.* 2006), Ecuador (Peralvo *et al.* 2006), en Perú (Josse *et al.* 2007). Finalmente, el mapa de ecosistemas de los Andes del Norte y Centro, mapa oficial de la CAN (Josse *et al.* 2009), ha sido producido con este marco metodológico, para lo cual se desarrolló un ejercicio de homologación entre los cinco países con el fin de generar una cobertura regional estandarizada y comparable.

La propuesta de Josse *et al.* (2004) aplica la base conceptual de Rivas-Martínez *et al.* (1999) que establece una relación unívoca entre la vegetación de un sitio dado y los factores bioclimáticos y litológicos del lugar, dentro de un contexto biogeográfico definido. En este sistema, los bosques montanos se clasifican en tres grandes tipos: bosques pluviales (llamados también bosques de neblina o siempreverdes), bosques estacionales y bosques xerofíticos (Rivas-Martínez *et al.* 1999). Esta clasificación se realiza mediante dos índices bioclimáticos: índice ombrotérmico (Io) e índice ombrotérmico de bimestre más seco (Iod2). El índice ombrotérmico corresponde a:

$$Io = (Pp / Tp) * 10 \quad \text{Eq. 1}$$

Donde Pp es la precipitación positiva anual de los meses con temperatura media mensual superior a 0°C y Tp es el sumatorio, en décimas de grados centígrados, de las

Los bosques montanos se clasifican en tres grandes tipos: bosques pluviales (llamados también bosques de neblina o siempreverdes), bosques estacionales y bosques xerofíticos (Rivas-Martínez *et al.* 1999)



Figura 2. Mapa de distribución de tipos de vegetación en los Andes del Norte y Centrales.

temperaturas medias de los meses con temperatura media mensual mayor a 0°C. El lod2 corresponde al lo del bimestre con menor precipitación en el año. Este índice es un indicador del grado de estacionalidad del régimen pluvial en un área. La clasificación del régimen bioclimático de acuerdo a estos índices se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación bioclimática de los bosques montanos

Bioclima	lo	lod2
Pluvial	≥ 3,6	> 2,5
Pluviestacional	≥ 3,6	≤ 2,5
Xérico	1,0 – 3,6	-

y Logan 1998; Margules y Pressey 2000).

Estas unidades se utilizaron para homogeneizar la representación espacial de los distintos factores de estado de conservación de los bosques montanos y presión utilizados en el análisis. El tamaño de estas unidades de análisis, si bien arbitrario, contiene una alta variabilidad ambiental, lo que permite cubrir el gradiente ambiental de manera adecuada. La razón principal para esto es definir áreas que representan paisajes que contienen una buena conectividad vertical junto con áreas remanentes no muy pequeñas, y así incrementar la diversidad beta de cada unidad.

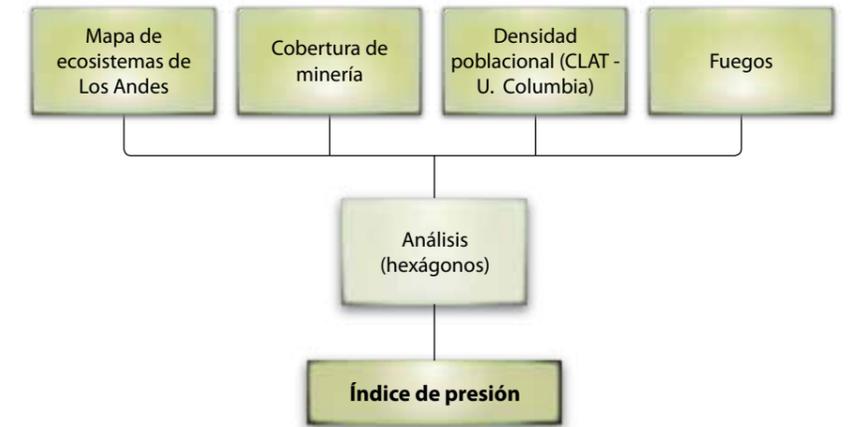


Construcción de un índice de presión

Conceptualmente, el índice de presión busca identificar áreas donde los remanentes de bosques montanos presenten un mayor grado de vulnerabilidad debido a un conjunto de factores externos relacionados con usos humanos del territorio (agricultura, minería). El índice de presión puede ser entendido como un indicador de cambio (cambios en el uso de la tierra) o degradación (fuegos) de la cobertura vegetal en un período definido de tiempo (Pressey y Taffs 2001). En el presente estudio, la selección de factores de presión se realizó en función del requisito necesario de que éstos puedan ser representados espacialmente de manera consistente para toda el área de estudio.

Para la construcción del índice de presión se dividió al área de estudio en 16.410 unidades (hexágonos) de 100 km² cada una. Esta aproximación tiene sus bases en el diseño de la planificación para la conservación, en la cual se utilizan este tipo de unidades para generar escenarios de conservación (Pressey

Figura 3. Cálculo del índice de presión a ecosistemas de bosques montanos.



Se calculó para cada hexágono la extensión de la distribución remanente de cada tipo de vegetación (Fig. 2), junto con cada uno de los factores que componen el índice de presión, de manera que cada unidad de análisis contenga el valor individual de cada factor, así como el índice de presión agregado. El índice de presión utilizado en el presente estudio integra los siguientes criterios: 1) áreas de concesión y explotación minera, 2) incidencia de fuegos y 3) tasa de crecimiento poblacional para el período 1990-2000 (Fig. 3).

Un factor importante, correspondiente a cambios en el uso y cobertura del suelo, no pudo ser incluido debido a la dificultad de ensamblar una base de datos consistente y disponible para el área de estudio. Si bien varios estudios han documentado a dicho factor como el principal en afección y degradación de los ecosistemas andinos, el presente estudio considera que las variables indirectas empleadas representan los factores históricos de cambios en la cobertura y uso de la tierra.

El índice de presión por minería está compuesto por las áreas que actualmente se encuentran bajo explotación y concesión. Para la construcción de la cobertura regional, se recopilaron y editaron fuentes oficiales de cada país andino (Tabla 2). El índice de presión por minería calculado fue el porcentaje del área de cada hexágono que se encuentra bajo categoría de concesión o explotación minera.

El índice de presión por fuegos se obtuvo al estimar la cantidad de eventos por hexágono para el período 2002-2005, dividido para la máxima cantidad observada (101 eventos, en este caso, para una superficie de 100 km²). La cobertura de fuegos se obtuvo a partir de las coberturas FIRMS (Fire Information for Resource Management System) del Programa Espacial MODIS (Rapid Response System, disponible en: <http://maps.geog.umd.edu/firms/>).

Para calcular el índice de presión por población se utilizó la Base de Datos de Población de América Latina y el Caribe² (ALC), construida a partir de los datos censales actualizados para los diferentes períodos

Tabla 2. Fuentes de datos espaciales de minería por país.

País	Fuente
Colombia	Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS, 2003)
Ecuador	Ministerio de Minas y Petróleos del Ecuador (2007)
Perú	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET-Perú, 2008)
Bolivia	Instituto Geográfico Nacional de Bolivia (2005) ¹

¹ Dato no confirmado.

² Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), United Nations Environment Program (UNEP), Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University and The World Bank (2005) Latin American and Caribbean Population Data Base. Version 3.

(1960, 1970, 1980, 1990, 2000) en función de las tasas de crecimiento demográfico propias de cada país, y representados en número de personas por área. Para cada hexágono se calculó la tasa promedio anual de crecimiento poblacional para el período 1990-2000. Para evitar la influencia de valores extremos, se convirtió la tasa a valores de logaritmo en base 10. Finalmente, estos valores fueron reescalados a un índice de 0 a 1.

Para cada unidad de análisis, el índice total de presión se calculó como la suma simple de los factores de presión por minería (concesión y exploración), fuegos y crecimiento poblacional. Cada uno de estos factores se encuentra medido en una escala de 0 a 1, por lo que la escala del índice combinado se encuentra potencialmente en el rango 0,4.

Vulnerabilidad al cambio climático

Para evaluar los posibles impactos del cambio climático en los bosques montanos, se construyó un modelo del nicho climático potencial a partir del mapa reclasificado de ecosistemas andinos (Sección 3.1, Fig. 2). El modelo de nicho calibrado con las condiciones actuales se proyecta en el futuro bajo escenarios de cambio climático. Esto permite evaluar áreas potenciales de afectación (pérdida de áreas) sobre la distribución de los bosques montanos. Este análisis posibilita contrastar las zonas de mayor pérdida de distribución por cada tipo de bosque montano, respecto de su distribución remanente actual.

Para analizar las áreas más estables y áreas potenciales de ganancia en la distribución de los bosques montanos, las tres clases (pluviales, pluviestacionales y xéricos) fueron agrupadas en una sola clase *genérica* que representa a los bosques montanos en su totalidad (Tabla 3). El análisis no parte de modelar

individualmente cada tipo de bosque debido a que el detalle de la información es limitado. Por ejemplo, la distribución de los bosques montanos xerofíticos en los Andes del Norte restringe mucho la construcción de un modelo climático potencial para este tipo particular de bosque, dado que la remanencia en esta zona es muy baja.

Si bien se espera que los impactos del cambio climático sean diferentes en cada uno de los tres tipos de bosques, este primer análisis arroja una tendencia clara sobre dónde se esperarían mayores dinámicas de cambios (ganancia *versus* pérdida), además de dónde se mantendrían condiciones estables para los dos modelos y escenarios empleados.

Para la construcción de los modelos de nicho, se generó un muestreo al azar de aproximadamente 4% de las áreas de vegetación remanente (47.000 observaciones) como puntos de entrenamiento para el modelamiento del nicho climático. Las siguientes variables climáticas fueron utilizadas en los modelos: 1) precipitación total anual, 2) temperatura mínima mensual promedio, 3) temperatura máxima mensual

Tabla 3. Categorías en las que fue reclasificado el mapa de ecosistemas de los Andes del Norte y Centro (Josse *et al.* 2009) con el propósito de obtener la distribución actual de los bosques montanos en el área de estudio.

Tipo de vegetación	Área (km ²)	Porcentaje
Arbustal	58.513	3,9
Bosques montanos	372.468	24,6
Otros bosques	224.589	14,8
Desiertos	30.967	2,0
Páramos	34.453	2,3
Punas	368.962	24,3
Pajonal yungueño	39.848	2,6
Áreas intervenidas	335.232	22,1
Cuerpos de agua	25.084	1,7
Glaciar / nieve	26.225	1,7
Total	1.516.341	100,0



El índice total de presión se calculó como la suma simple de los factores de presión por minería (concesión y exploración), fuegos y crecimiento poblacional.

promedio, 4) índice ombrotérmico, 5) índice ombrotérmico del bimestre más seco y 6) índice de termicidad. La base de datos climática utilizada fue WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org/>), la cual contiene datos para condiciones históricas observadas (período 1950-1990) y proyecciones a futuro a 1 km² de resolución. En el presente estudio se manejaron las proyecciones de clima para los años 2020 y 2050, para los modelos CCCMA y HADCM3, y los escenarios a2a y b2a (ver sección 3.3.1).

Los puntos de entrenamientos fueron utilizados para correr un análisis de clasificación multivariada —Clasificación Tree Analysis (CART)—. Se implementó un índice de pureza —Gini index— para evaluar la heterogeneidad intraespecífica de las clases con el propósito de dividir las observaciones en segmentos lo más homogéneos posible en relación a las variables climáticas empleadas. El árbol generado fue podado (*pruned*) para evitar una sobrepredicción del modelo con una diferencia máxima entre grupos de 2 errores estándar.

El resultado obtenido permitió representar la distribución climática actual de los bosques montanos en el área de estudio. Las reglas

de clasificación resultantes fueron empleadas para proyectar la distribución de las clases de vegetación con base en las variables futuras derivadas de los escenarios climáticos previamente referidos.

Los Reportes Especiales de Escenarios de Emisión (SRES) y los Modelos de Circulación Global (GCM)

Los efectos de las actividades humanas en el clima dependen de las emisiones futuras de los gases invernadero; y el estado futuro del mundo depende, a su vez, de los impactos de los cambios resultantes en el clima (Arnell *et al.* 2004).

El Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) desarrolló, entre 1990 y 2003, una serie de escenarios de emisiones, los cuales han sido ampliamente aplicados para la construcción de los modelos climáticos prospectivos —Modelos Globales de Circulación (GCM)— y así evaluar los impactos del cambio climático.

La base conceptual de la que parten los cuatro escenarios SRES representa el futuro del mundo en dos dimensiones: un mundo enfocado en un desarrollo ambiental o económico, y un mundo con patrones de crecimiento global o regional (Figura 4). Para el presente estudio, empleamos dos de los escenarios (A2 y B2), para tener un contraste entre el escenario más extremo y el menos grave.

El escenario A2 presenta un mundo heterogéneo dominado por el mercado, con el mayor crecimiento poblacional de los cuatro escenarios pero con el menor desarrollo económico. El tema subyacente es confianza individual y preservación de identidades locales. El crecimiento económico está regionalmente orientado, por lo que el crecimiento en el ingreso y el desarrollo tecnológico son regionalmente heterogéneos. En el escenario B2 existe un crecimiento poblacional menor que en el A2, con un desarrollo ambiental, económico y social sostenible a escalas regionales/locales (Tabla 4).



Los modelos Globales de Circulación (GCM) utilizan simulaciones climáticas variables³ para proyectar/predecir cambios futuros en las temperaturas dentro de diferentes escenarios. Éstos pueden ser idealizados (variaciones porcentuales de CO₂) o más realistas como los escenarios SRES. Cuáles escenarios deben ser considerados más realistas es incierto, ya que las proyecciones de futuras concentraciones de CO₂ y sulfatos es también incierta.

Actualmente, el IPCC reconoce 20 GCM (IPCC, 2007). Entre los más importantes y empleados se encuentran el Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma) y el Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM3). En el presente estudio se decidió emplear

³ Una simulación climática variable es la manera de generar un modelo climático global en el que un período de tiempo (normalmente 1850-2100) es simulado con concentraciones variables de gases invernadero, de manera que el modelo climático represente una aproximación realista de los posibles cambios en el mundo real.

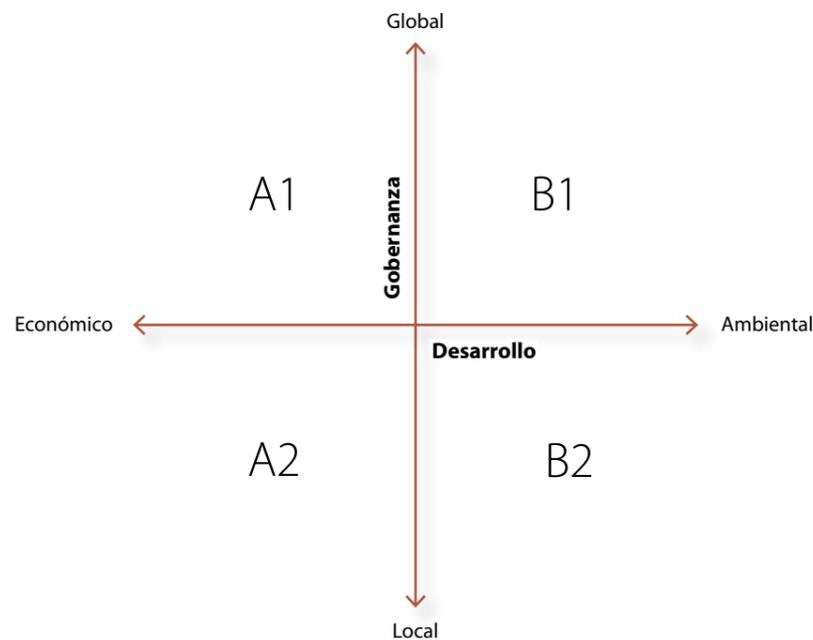


Figura 4. Representación de las dimensiones de desarrollo y gobernanza sobre las cuales parten los escenarios de emisiones del IPCC (SRES, IPCC 2000).

Fuente: (Arnell *et al.* 2004)

Tabla 4. Indicadores cuantitativos de los SRES desarrollados por el IPCC (2000) para el año 2100.

	Escenarios de emisión			
	A1	A2	B1	B2
Crecimiento poblacional	Bajo ~7 billones	Alto ~15 billones	Bajo ~7 billones	Medio ~10 billones
Crecimiento PIB	Muy alto 525-550	Medio 243	Alto 328	Medio 235
PIB per cápita	Ind: US\$107.300 Dev: US\$66.500	Ind: US\$46.200 Dev: US\$11.000	Ind: US\$72.800 Dev: US\$40.200	Ind: US\$54.400 Dev: US\$18.000
Consumo energético	Muy alto/Alto	Alto	Bajo	Medio
Cambios de uso de la tierra	Bajo-medio Agricultura +3% Bosque +2%	Medio-alto	Alto Agricultura -28% Bosque +30%	Medio Agricultura +22% Bosque +5%
Disponibilidad de recursos	Alto/medio	Bajo	Bajo	Medio
Paz y dirección del cambio tecnológico	Rápido	Bajo	Bajo	Medio
Energía favorecida	Fósil	Diversidad regional	Eficiencia y desmaterialización	Proyección de tendencias actuales

Fuente: (Arnell *et al.* 2004)



estos dos por ser los más utilizados por los reportes del IPCC (2001, 2007) y por estar disponibles a 1 km² de resolución.

Priorización

El análisis del estado actual de conservación como función de remanencia, el índice de presión y la evaluación de la vulnerabilidad potencial al cambio climático fueron utilizados para identificar áreas de importancia para los ecosistemas de bosques montanos (Fig. 5). Esta priorización se realizó utilizando principalmente tres criterios:

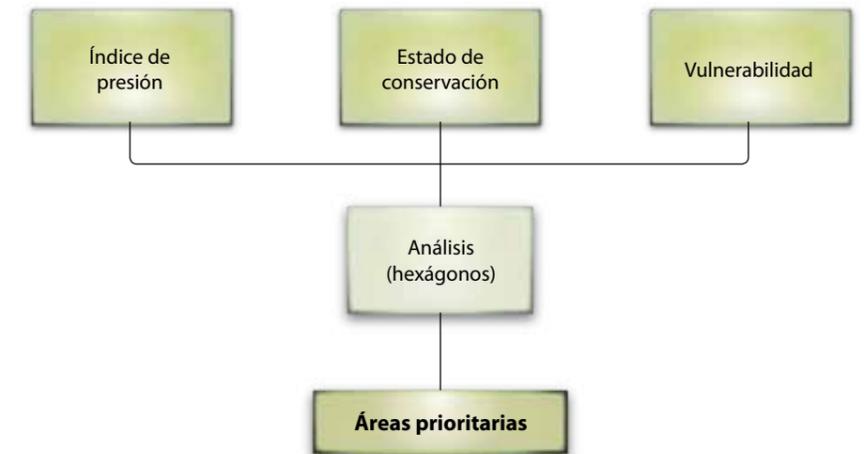
- **Estado vs. presión:** se identificaron como áreas prioritarias aquellas unidades de análisis donde la remanencia es mayor al 50% y el índice de presión combinado es mayor a 0,9. Este umbral representa el quintil superior del índice de presión.

- **Pérdida en áreas protegidas:** se identificaron como prioritarias aquellas áreas dentro de los sistemas nacionales de áreas protegidas que experimentarían una pérdida mayor al 50% de su cobertura, de acuerdo con las proyecciones futuras de cambio climático.

- **Ganancia en zonas de alta presión:** este criterio de priorización corresponde a áreas donde el índice combinado de presión es alto (>0,9) y donde pudiera existir una ganancia de área de bosques montanos mayor a 50 km² (50%).

Para los dos últimos criterios, se hizo uso de las proyecciones de distribución futura de bosques montanos para el año 2050, de acuerdo con el modelo HADCM3, escenario A2. Este escenario conduce a los cambios potenciales más importantes en la distribución de los ecosistemas en estudio.

Figura 5. Identificación de áreas prioritarias para bosques montanos.



Resultados

El mapa de Josse *et al.* (2009) incluye 60 tipos de ecosistemas de bosques montanos. Estos bosques pueden ser agrupados en tres grandes categorías, de acuerdo con su régimen climático: pluviales, pluviestacionales y xerofíticos.



Caracterización de los bosques montanos de los Andes Tropicales

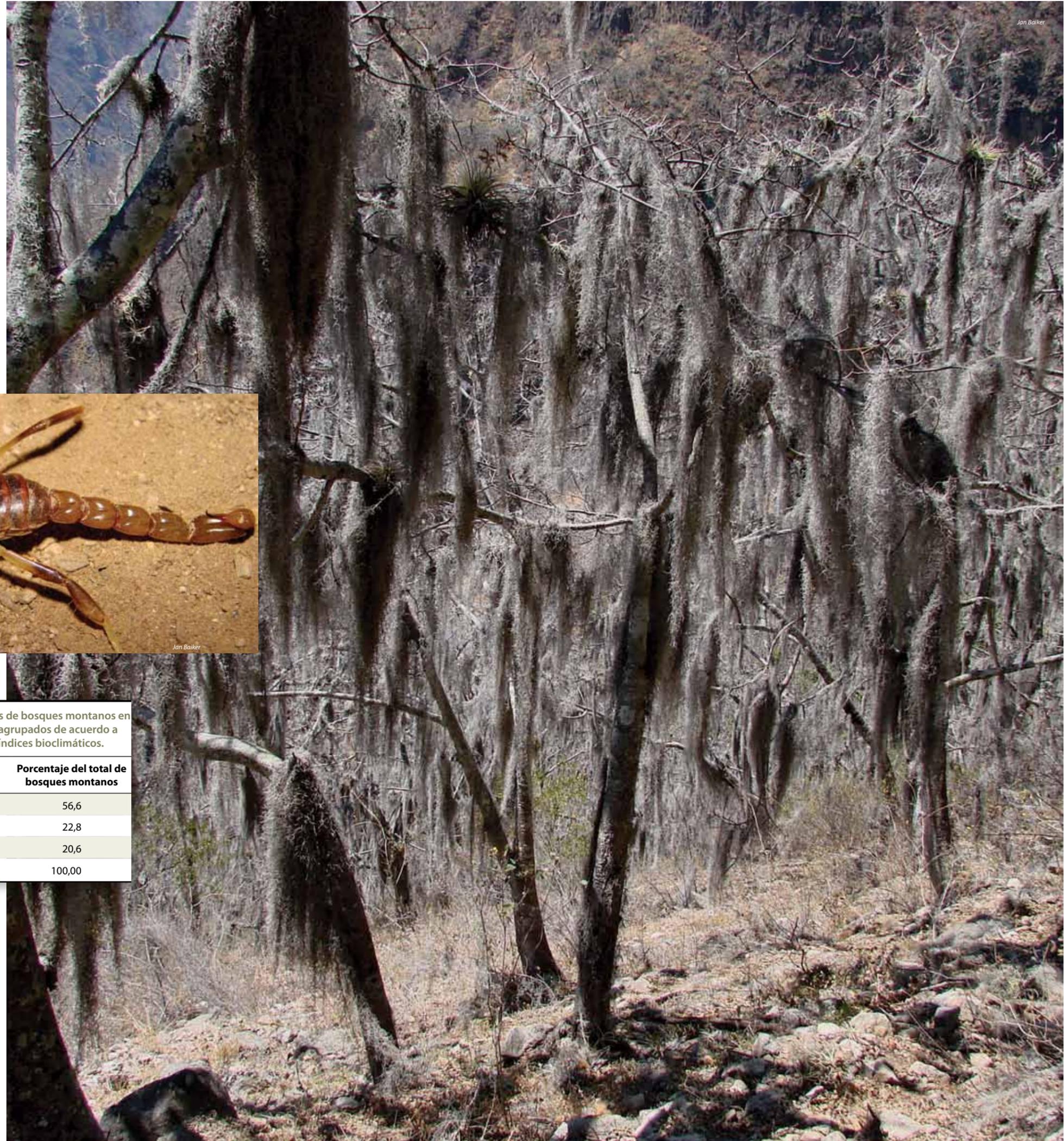
De acuerdo con el mapa base, los bosques montanos en los Andes Tropicales cubren una superficie de 362.152 km², que corresponden al 24,56% del área mapeada (Tabla 3). El mapa de Josse *et al.* (2009) incluye 60 tipos de ecosistemas de bosques montanos. Dichos bosques pueden ser agrupados en tres grandes categorías, de acuerdo con su régimen climático: 1) pluviales, 2) pluviestacionales y 3) xerofíticos (Fig. 2, Tabla 5).

Las tres categorías de bosques montanos presentan patrones

Tabla 5. Superficie que cubren los ecosistemas de bosques montanos en los Andes del Norte y Centro. Los datos están agrupados de acuerdo a su régimen climático estimado a partir de los índices bioclimáticos.

Bosques montanos	Superficie (km ²)	Porcentaje del total de bosques montanos
Pluviales	210.859	56,6
Pluviestacionales	84.964	22,8
Xéricos	76.645	20,6
Total	372.468	100,00

característicos de distribución en función de los diferentes gradientes ambientales analizados: elevación, temperatura mínima y precipitación total (Fig. 6). Estos patrones constituyen una forma de validar empíricamente la coherencia del



mapa de tipos de vegetación en función de gradientes ambientales que controlan la estructura y composición de los ecosistemas andinos a escala regional, lo cual valida la reclasificación realizada del mapa de ecosistemas para definir estos tres grandes tipos de bosques montanos.

De estos datos se observa que los tres tipos de bosques se encuentran distribuidos a lo largo del gradiente ambiental y que realmente lo que

los diferencia es la presencia de variaciones regionales en los ritmos de precipitación y temperatura, lo que muchas veces está determinado por condiciones orográficas locales. Tales condiciones determinan diferentes frentes de exposición a neblina y altura del banco de nubes, lluvia y radiación (evotranspiración). Esto explica, en parte, el gran mosaico de ecosistemas que existen en los Andes en distancias cortas y los gradientes ambientales marcados.

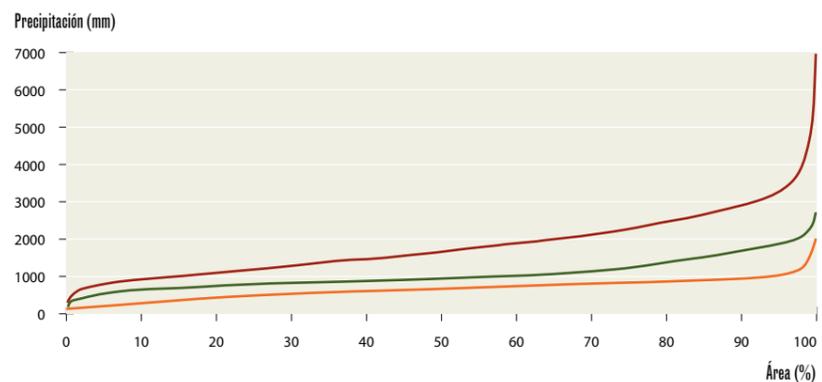
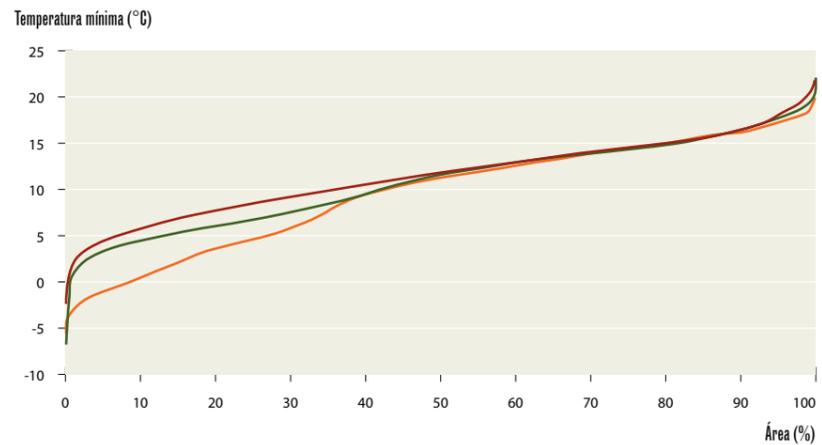
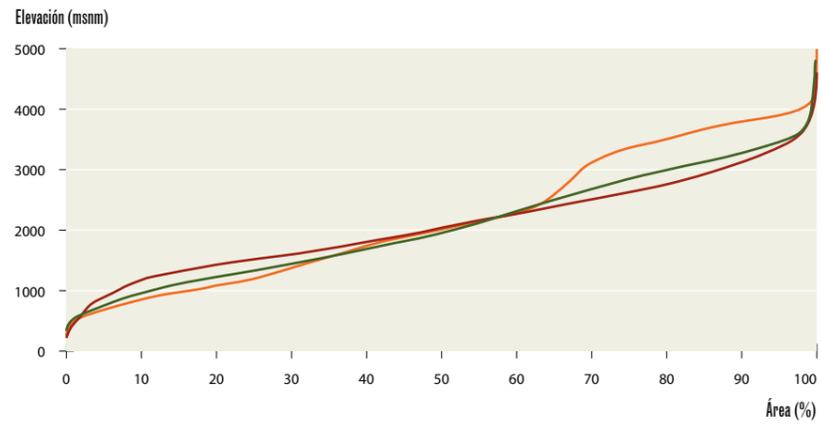


Figura 6. Curvas acumulativas del porcentaje del área de distintos tipos de bosques montanos (eje X) en función de las siguientes variables bioclimáticas: a) elevación (msnm), b) temperatura mínima (°C) y c) precipitación total (mm).

Bosque pluvial —
 Bosque pluviestacional —
 Bosque xérico —



A continuación, se describen con más detalle las características biofísicas de los tres tipos de bosques montanos analizados.

Bosques pluviales

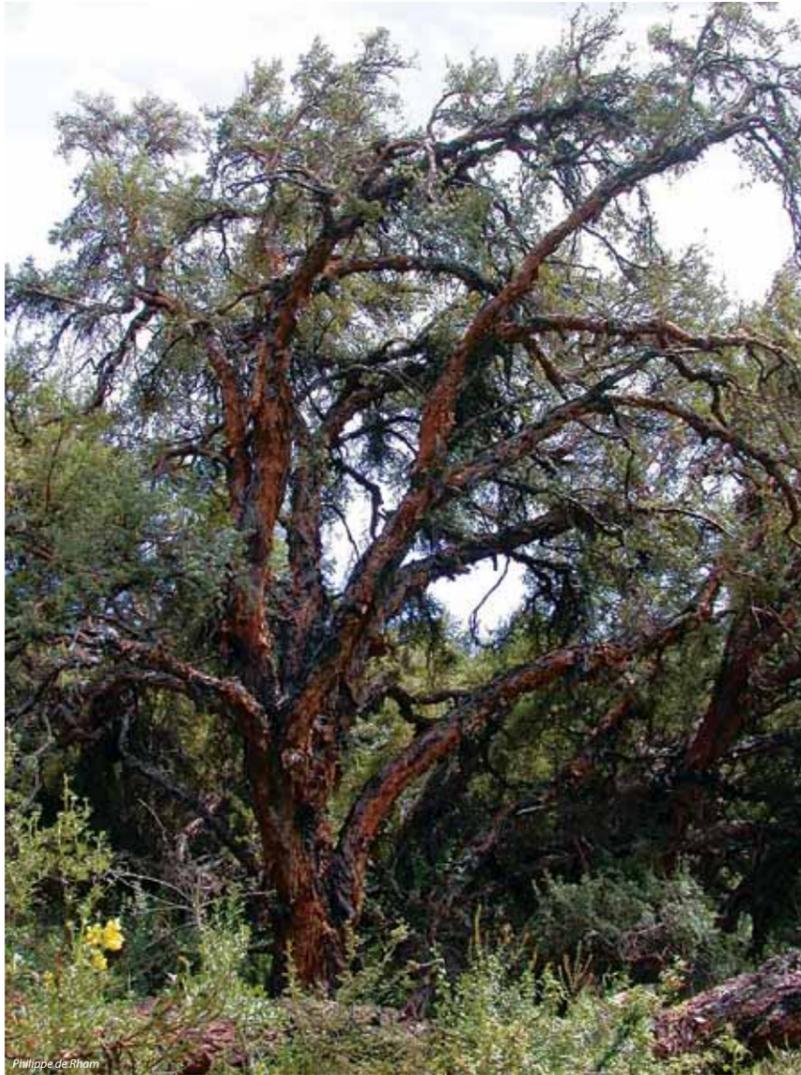
Los bosques pluviales, también llamados siempreverdes o bosques de niebla, en los Andes pueden pertenecer a tres grandes secciones fitogeográficas: los bosques Norandinos, los bosques Yungueños y los bosques del boliviano-tucumano.

Los rangos altitudinales en los que se puede hallar un bosque pluvial son muy variados, pero tiende a desarrollarse entre los 1.000 y los 3.500 m de altitud. No obstante, hay casos en los que el rango es diferente. Por ejemplo, los bosques subandinos húmedos del centro y

sureste bolivianos se distribuyen entre los 600 y 1.900 m de altitud.

La fisonomía y composición de estos bosques varía mucho de acuerdo con los pisos climáticos. En general, los bosques pluviales pueden ser agrupados en tres grandes unidades: a) los bosques que ocupan el piso altoandino y la parte superior del piso altimontano, b) los bosques del piso montano y c) los bosques subandinos.

Los bosques del piso altoandino y altimontano incluyen a los bosques de *Polylepis*, bosques densos o semiabiertos, que tienen de 6 a 12 m de alto y, en el caso de los árboles más antiguos, pueden alcanzar circunferencias de casi 2 m. El dosel está entre 10 y 20 m, presentando varios niveles o estratos de sotobosque, gran biomasa de epifitas y



lianas leñosas. En las Yungas, estos bosques se distribuyen a lo largo de la provincia biogeográfica, entre 2.900 y 3.100 m, a 4.000 y 4.200 m de elevación. Géneros característicos de estos bosques son *Polylepis*, *Escallonia*, *Hesperomeles*, *Weinmannia*, *Diplostegium*, *Libanothamnus*, *Espeletia*, *Gynoxis*, *Clethra*, *Ilex* y *Miconia*. En la fitorregión boliviano-tucumano, los bosques de *Polylepis* constituyen la vegetación potencial zonal del piso altimontano, en áreas con bioclima pluviestacional húmedo supratropical. Ocupa una faja o cintura altitudinal situada en promedio entre 2.800 y 3.000 m, a 3.900 y 4.000 m de altitud. Estos bosques están totalmente dominados por especies de *Polylepis*, que son diferentes según las zonas geográficas: *Polylepis neglecta* y *Polylepis crista-gallii*, en Bolivia; *Polylepis australis*, en el noroeste de Argentina.

Los bosques del piso montano presentan la típica fisonomía del bosque de niebla y cubren la mayor extensión de los bosques pluviales en el área de estudio. En los Andes del Norte se trata de bosques densos, siempreverdes y altos del piso supratropical con bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo. Crecen entre aproximadamente los 2.000 y 3.000 m de elevación en las laderas de los diferentes ramales de la cordillera de los Andes del Norte y, según la orientación de la pendiente, pueden estar rodeados diariamente de una capa de niebla que incide en su funcionamiento y estructura (i.e. su descripción general como Bosques de Niebla). Son bosques muy diversos que pueden tener una presencia abundante de palmas, principalmente del género *Ceroxylon*. Otras especies importantes son *Hedyosmum bonplandianum*, *Ocotea calophylla*, *Brunnellia*



integrifolia, *Ladenbergia macrocarpa*, *Oreopanax* spp., *Ilex* spp., *Persea* spp., *Cinchona* spp., *Retrophyllum rospigliosii*, *Billia columbiana*, *Clethra fagifolia*, numerosas especies de *Clusia* y de *Weinmannia*, así como de géneros de la familia *Lauracea*.

En la provincia de los Yungas, estos bosques toman de manera genérica el nombre de la región que los cobija, Yungas. Aquí, los bosques de niebla se

encuentran aproximadamente entre los 2.000 y 3.000 m de elevación, en zonas de fuerte pendiente y con un bioclima que oscila entre el pluvial húmedo, el hiperhúmedo, hasta el pluviestacional húmedo. El dosel es multiestratificado y alcanza los 30 m. Géneros de árboles característicos son *Podocarpus*, *Prumnopitys*, *Weinmannia*, *Cedrela*, *Clusia*, *Cinchona*, *Hedyosmum* y algunos de palmas, como *Ceroxylon* y *Geonoma*.



Los bosques de niebla en el boliviano-tucumano se distribuyen desde el centro de Bolivia al centro-oeste de Argentina, ocupando en Bolivia una faja altitudinal situada en promedio entre los 1.800 m y los 2.800 m de elevación. La composición se caracteriza por *Mirtaceas* (*Myrcianthes*, *Siphoneugena*), por pino de monte (*Podocarpus parlatorei*) o por alisos (*Alnus acuminata*).

Los bosques pluviales subandinos agrupan las selvas altas, siempreverdes, muy diversas y pluriestratificadas que crecen en laderas y crestas de serranías subandinas de las vertientes externas de los ramales occidental y oriental de los Andes del Norte. Ocupan el piso termotropical con bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo, y muchas veces cubierto por una capa de niebla. El dosel llega a entre 20 y 35 m, y está compuesto de una altísima diversidad de especies, a veces con abundantes palmas. Al igual que en el piso correspondiente a los Yungas, aquí también puede ser abundante la palma *Dyctiocaryum lamarckianum* y *Dyctiocaryum schultzei*, además de géneros como *Calatola*, *Gustavia*, *Tovomita*, *Hyeronima*, *Nectandra*, *Chrysochlamys*, *Clarisia*, *Caryodendron*, *Ruaea* y *Otoba*.

Un grupo de ecosistemas bastante singular en los Andes del Norte es el de los bosques montanos de las Cordilleras Subandinas Orientales, que difieren en su composición y constituyen un grupo particular de bosques montanos en esta fitoregión. Estos bosques ocupan las laderas escarpadas hasta muy disectadas de montañas bajas y medias, y de colinas altas de los ramales orientales de la Cordillera Oriental, sobre una variedad de geologías que incluyen rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas y hasta rocas calcáreas con modelado kárstico. Estos distintos sustratos y modelados originan algunos sistemas que se distinguen por su estructura y composición a nivel de especies. Están sobre los 1.400 m

de altitud y los 2.500 m aproximadamente, con un bioclima pluvial húmedo a hiperhúmedo.

En las Yungas, estos bosques están distribuidos en las partes más elevadas del piso montano bajo, por encima de los 1.200 y 1.400 m, hasta 1.700 y 2.000 m de elevación. Ocupan preferentemente laderas altas y filos o crestas orográficas de las cumbres de las serranías subandinas bien expuestas a las lluvias y nieblas (fisonomía de palmar), o bien laderas con menor pendiente y suelos más profundos (fisonomía de bosque). En la composición florística, son frecuentes dos variantes de estos bosques: aquéllos altamente diversos y aquéllos dominados por la palma *Dictyocaryum lamarckianum*.

En el boliviano-tucumano se distribuyen en el piso subandino de los Andes Orientales, desde el centro de Bolivia al oeste de Argentina. En Bolivia, ocupan una franja altitudinal promedio entre 600 y 1.900 m de elevación, en áreas con bioclima pluviestacional húmedo termotropical. Son bosques siempreverdes a siempreverdes estacionales, diversos, generalmente dominados por varias especies de *Lauraceas* y/o *Mirtaceas*, así como por nogal (*Juglans* spp.) o por tipa (*Tipuana tipu*).



Philippe de Rham



Bosques pluviestacionales

Los bosques pluviestacionales y deciduos se encuentran restringidos a los pisos montanos y subandinos en condiciones orográficas y climáticas singulares. En los Andes del Norte estos bosques crecen en laderas y crestas montañosas en las vertientes de clima pluviestacional, sobre suelos bien drenados con sustratos diversos. Son bosques de distribución restringida, pues a lo largo de la extensión de los Andes del Norte, el piso mesotropical es mayormente pluvial húmedo y son relativamente escasas las áreas con una estacionalidad marcada. Otro motivo es que muchas de estas áreas, al encontrarse en valles, han sido fuertemente modificadas por los asentamientos humanos desde hace más de dos mil años.

Los bosques estacionales montanos forman un bosque con un dosel de entre 10 y 15 m, compuesto por las siguientes especies: *Clusia multiflora*, *Roupala pseudocordata*,

Escallonia floribunda, *Psidium caudatum*, *Psidium guianensis*, *Rapanea ferruginea*, *Myrsine ferruginea*, *Weinmannia glabra* y *Berberis discolor*.

En las Yungas, estos bosques semideciduos constituyen la vegetación potencial de las laderas medias o altas de algunos de los valles secos interandinos de Yungas, en áreas con bioclima pluviestacional y ombroclima subhúmedo del piso mesotropical. Ocupan un rango altitudinal entre 2.000 y 2.100 m, a 2.800 y 3.100 m de elevación. Estructuralmente, son bosques semicaducifolios, con dosel de entre 15 y 20 m de altura media, actualmente representados sólo por manchas remanentes dispersas y de poca extensión. Entre las especies características están *Parapiptadenia excelsa*, *Erythrina falcata*, *Jacaranda mimosifolia*, *Carica quercifolia*, *Caesalpinia spinosa*, *Dasyphyllum brasiliensis*, *Juglans soratensis*, *Cedrela lilloi*, *Cedrela sp.*, *Aralia soratensis*, *Mimosa soratensis*, *Tecoma stans*.

En el boliviano-tucumano están varios tipos de bosques zonales, distribuidos en el piso montano de los Andes Orientales, desde el centro de Bolivia al oeste de Argentina. En Bolivia, ocupan una franja altitudinal promedio entre 1.900 y 2.900 a 3.100 m, en áreas con bioclima pluviestacional subhúmedo mesotropical. En dicha región, estos bosques están generalmente dominados por *Tipuana tipu* o por *Erythrina falcata*. En la actualidad, han sido mayormente reducidos, por el uso humano, a remanentes degradados o refugiados en situaciones topográficas poco accesibles.

Bosques xerofíticos

Los bosques xerofíticos, al igual que los estacionales, están restringidos al piso montano y subandino. Incluso los sistemas del piso montano sólo se encuentran en las Yungas y en el boliviano-tucumano.

Los bosques montanos xerofíticos de Yungas están caracterizados por vegetación de los valles secos y semiáridos interandinos del piso montano, donde se presenta un marcado efecto climático de sombra de lluvia orográfica que origina un bioclima xérico. Distribuidos desde el norte de Perú al centro de Bolivia, constituyen formaciones de bosques bajos y arbustales caducifolios con dosel semiabierto a abierto, dominados por especies xeromórficas entre las que se incluyen diversas *Cactáceas* arbustivas.

Las variantes más alteradas de este sistema tienen una fisonomía predominante de arbustales y matorrales espinosos o de hojas resinosas de entre 1 y 2 m, que se disponen en mosaico con manchas de herbazales gramínoideas amacollados. Hay algunas diferencias en la composición florística a lo largo de la distribución latitudinal de este sistema, pero habitualmente dominan especies de géneros como *Schinus*, *Tecoma*, *Carica*, *Delostoma*, *Mutisia* y *Zanthoxylum*, además de muchas especies de leguminosas.

En el caso de los bosques montanos xerofíticos del boliviano-tucumano, se incluyen varios tipos de bosques, generalmente dominados por *Schinopsis haenkeana*, *Carica angustifolia*, *Aspidosperma horko-quebracho* y diversas *Cactáceas*. Se distribuyen principalmente en los valles secos interandinos altos del centro-sur de Bolivia, con extensiones hacia áreas homólogas del noroeste de Argentina.



Los bosques xerofíticos, al igual que los estacionales, están restringidos al piso montano y subandino. Incluso los sistemas del piso montano sólo se encuentran en las Yungas y en el boliviano-tucumano.





Los bosques subandinos xerofíticos en los Andes del Norte representan la vegetación boscosa del piso termotropical superior con bioclima seco, aproximadamente entre los 600 y 1.200 m. Estos ambientes son de escasa extensión en los Andes del Norte, además de ser sitios que, por sus características de clima, han sido desde hace mucho tiempo habitados, de modo que la cobertura natural remanente en la actualidad es muy escasa. Algunos géneros representativos son *Bursera*, *Plumeria*, *Jacaranda* y *Eriotheca*.

En las Yungas, esta vegetación corresponde a las zonas inferiores de los valles del piso montano bajo; a menudo, en laderas montañosas con suelos pedregosos bien drenados. Ocupan áreas del piso termotropical con bioclima xérico y ombroclimas seco y semiárido, y se encuentran aproximadamente entre 800 y 2.000 m de elevación. Como en el macrogrupo anterior, la composición florística está bien diferenciada entre las Yungas de Perú y

las de Bolivia, o del norte y del sur; estas diferencias se deben al origen distinto de ambas floras. En el norte, con géneros de afinidad a la flora de la región Tumbes-Guayaquil, como *Prosopis*, *Eriotheca*, *Erythrina*, *Ceiba*; y en el sur, con afinidad a la flora chiquitana presente en la provincia de Santa Cruz, como *Schinopsis*, *Anadenanthera*, *Phyllostylon*, *Astronium* y *Amburana*.

En el boliviano-tucumano, los bosques xerofíticos corresponden al grupo de bosques bajos, espinosos, caducifolios a semidecíduos. Éstos constituyen la vegetación potencial zonal climática del piso subandino termotropical, con un bioclima xérico de seco a semiárido.

Los bosques subandinos xerofíticos en los Andes del Norte representan la vegetación boscosa del piso termotropical superior con bioclima seco, aproximadamente entre los 600 y 1.200 m.

Incluye varios tipos de bosques, con flora muy diversa y rica en especies endémicas. Están generalmente dominados por árboles de la familia *Anacardiaceas*, como *Schinopsis haenkeana*, *Loxopterygium grisebachii*, *Cardenasiodendron brachypterum*, y por diversas *Cactáceas* arborescentes y arbustivas. Se distribuye principalmente en los valles secos interandinos y en las serranías subandinas del centro-sur de Bolivia, con extensiones hacia áreas homólogas del noroeste y centro-oeste de Argentina.

Diversidad, remanencia y representatividad en áreas protegidas

Perú es el país donde existen más ecosistemas de bosques montanos (n = 38), seguido por Bolivia (n = 36), Ecuador (n = 18), Colombia (n = 9) y Venezuela (n = 9). Sin embargo, Bolivia es el país andino que más ecosistemas singulares (únicos) tiene en su territorio.

Todos los sistemas de bosques montanos con procedencia fitogeográfica del boliviano-tucumano y muchos de la puna xerofítica son exclusivos de este país. No obstante, muchos de estos ecosistemas dejarían de serlo al incluir la distribución sur de algunos de ellos, presentes en Chile y/o Argentina (Josse *et al.* 2009).

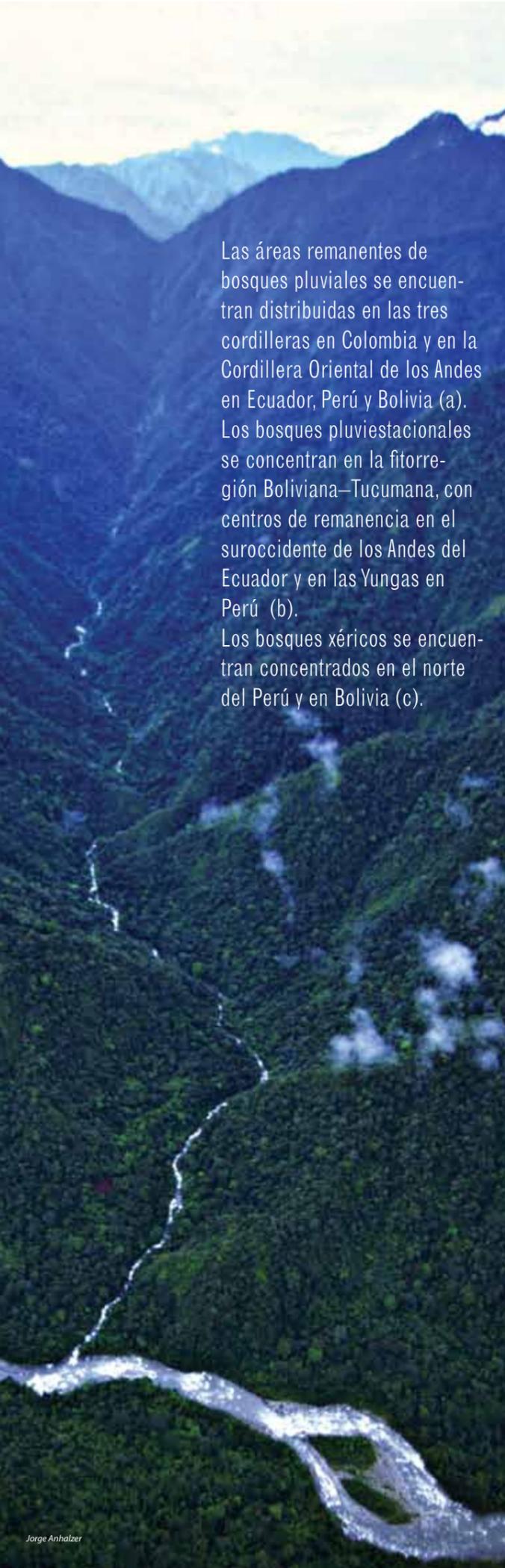
Las áreas remanentes de bosques pluviales se encuentran distribuidas en las tres cordilleras en Colombia y en la Cordillera Oriental de los Andes en Ecuador, Perú y Bolivia (Fig. 7b). En contraste, los bosques pluviestacionales se concentran en la fitoregión Boliviana-Tucumana, con centros de remanencia en el suroccidente de los Andes del Ecuador y en las Yungas en Perú (Fig. 7a). Los bosques xéricos se encuentran concentrados en el norte del Perú y en Bolivia (Fig. 7c). A nivel de país, Bolivia contiene el mayor porcentaje de bosques pluviestacionales y xéricos. Colombia y Perú tienen importantes áreas de bosques montanos pluviales (35% y 33%, respectivamente). Perú también tiene importantes extensiones de bosques pluviestacionales y xéricos (Tabla 6).

A partir del mapa de los Andes y de la cobertura de áreas protegidas, estimamos la superficie representada de cada ecosistema en los sistemas nacionales de conservación in situ a escala regional (Tabla 7). Este análisis muestra que 34 ecosistemas (57%) de los 60 en el área de estudio tienen una representación menor al 10% dentro de los sistemas nacionales de protección, y que de éstos, 17 no están representados en ningún área protegida de los países andinos. De estos sistemas subrepresentados, la mayoría corresponde a sistemas xerofíticos que se ubican generalmente en los valles interandinos a manera de relictos rodeados de una matriz antrópica.



Tabla 6. Remanencia de bosques montanos en los países andinos. Los valores representan los porcentajes de cada tipo de bosque por país, en relación al área total en los Andes Tropicales.

País	Pluvial	Pluviestacional	Xérico
Bolivia	15,1	50,6	75,8
Colombia	35,5	0,3	0,0
Ecuador	11,7	5,8	2,0
Perú	33,2	38,2	22,3
Venezuela	4,4	5,1	0,0



Las áreas remanentes de bosques pluviales se encuentran distribuidas en las tres cordilleras en Colombia y en la Cordillera Oriental de los Andes en Ecuador, Perú y Bolivia (a). Los bosques pluviestacionales se concentran en la fitorregión Boliviana–Tucumana, con centros de remanencia en el suroccidente de los Andes del Ecuador y en las Yungas en Perú (b). Los bosques xéricos se encuentran concentrados en el norte del Perú y en Bolivia (c).

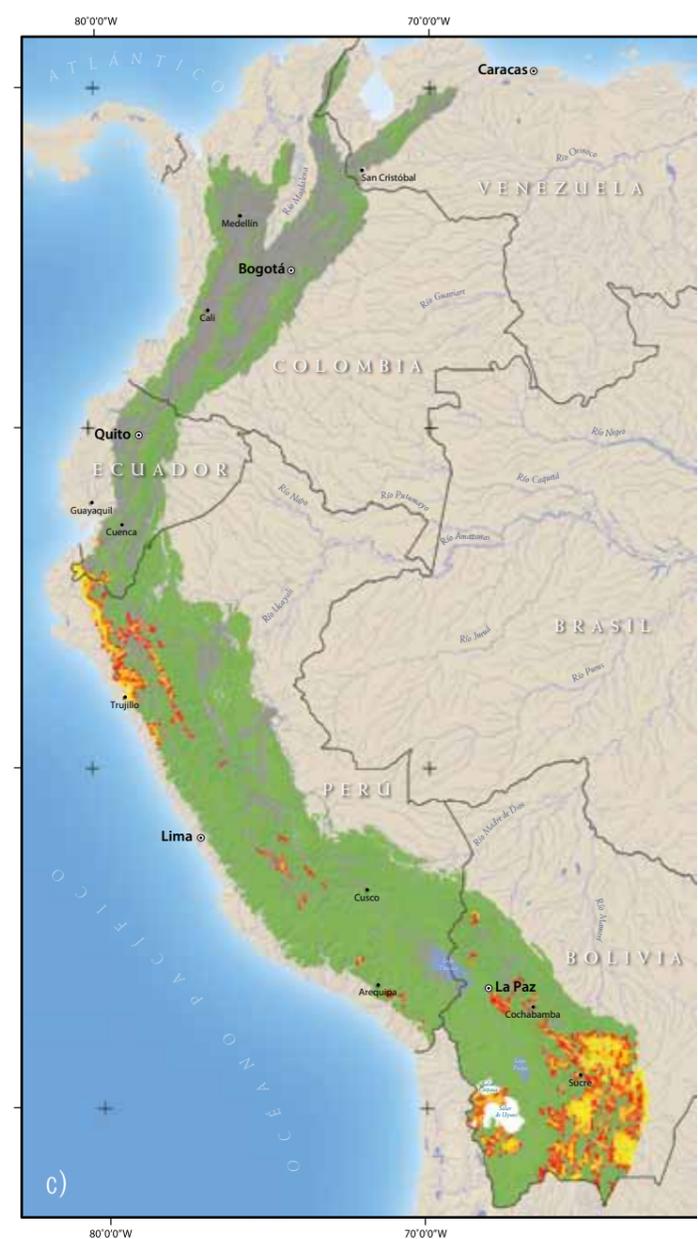
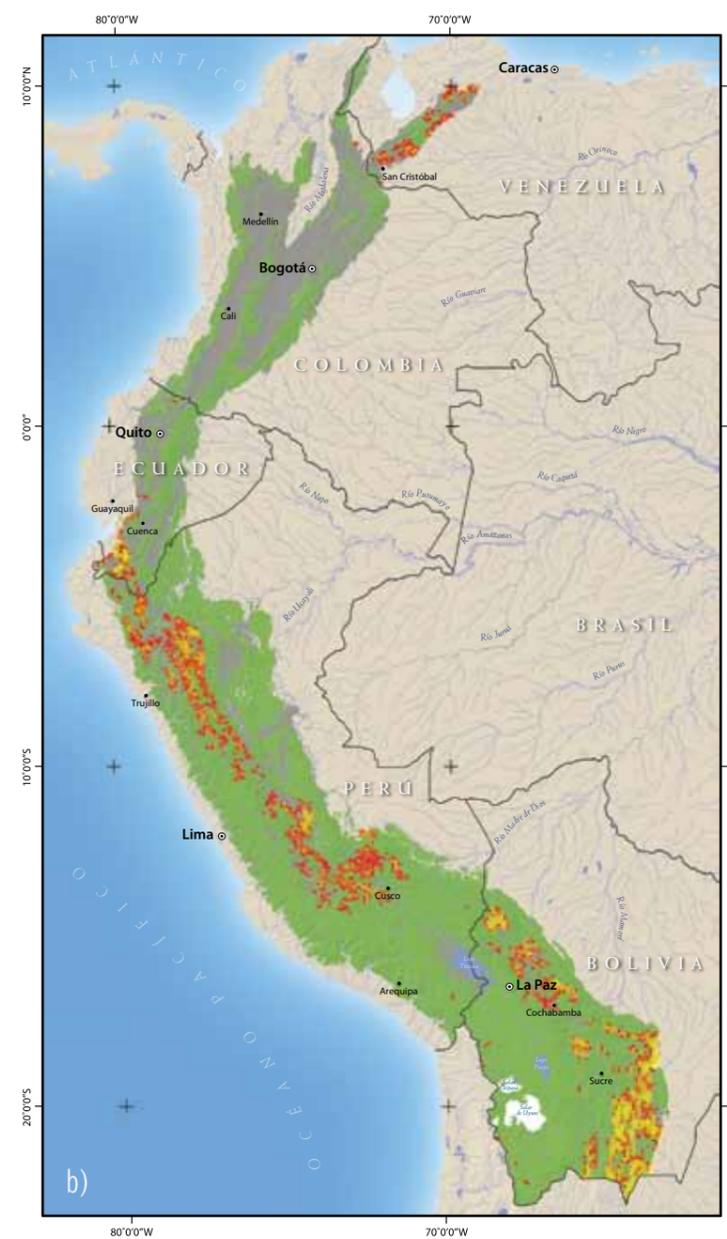
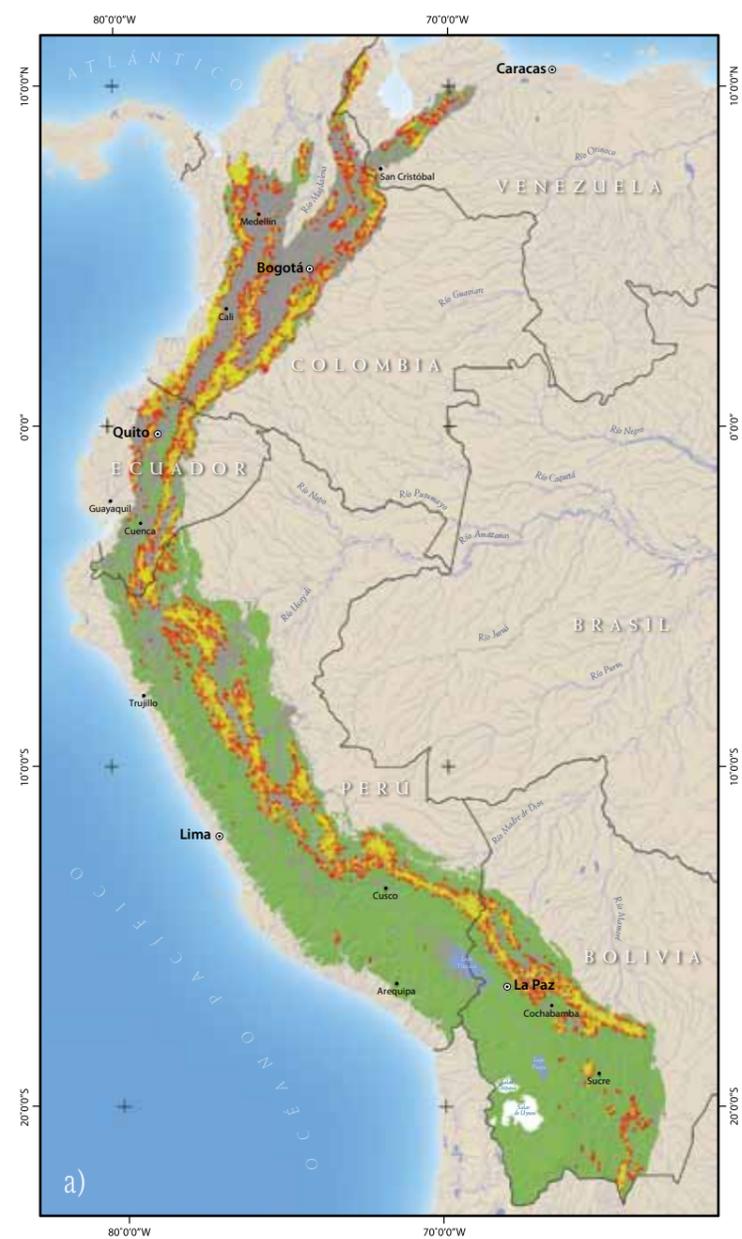


Figura 7. Patrones de remanencia en unidades hexagonales de 100 km² de bosques montañosos: a) pluviales, b) pluviestacionales y c) xéricos.

LEYENDA	
REMANENCIA	COBERTURA VEGETAL
10 - 20%	Vegetación natural
21 - 40%	Áreas intervenidas
41 - 50%	
51 - 80%	
81 - 100%	

Tabla 7. Superficie actual y al interior de los sistemas nacionales de áreas de conservación de cada ecosistema de bosque andino cartografiado en el mapa de los Andes del Norte y Centro. PN = parques nacionales.

Ecosistemas de bosques montanos	Clima	Superficie (km ²)	Superficie protegida (km ²)	Superficie sin protección (km ²)	Porcentaje dentro de PN	Porcentaje fuera de PN
Bosque montano pluvial subhúmedo de Yungas	Pe	13.480	190	13.290	1,4	98,6
Bosque subhúmedo boliviano-tucumano del subandino superior	Pe	10.593	881	9.712	8,3	91,7
Bosque basimontano pluvial húmedo de Yungas	Pe	10.423	1.878	8.545	18	82
Bosque altimontano pluvial de Yungas	Pe	7.724	669	7.055	8,7	91,3
Bosque basimontano pluvial subhúmedo de Yungas del Sur	Pe	7.227	1.328	5.9	18,4	81,6
Bosque subhúmedo boliviano-tucumano del subandino inferior	Pe	5.375	848	4.527	15,8	84,2
Bosque montano bajo pluvial subhúmedo de los Andes del Norte	Pe	3.716	19	3.697	0,5	99,5
Bosque montano pluvial de los Andes del Norte	Pe	2.779	512	2.267	18,4	81,6
Bosque montano bajo pluvial húmedo de los Andes del Norte	Pe	2.158	954	1.204	44,2	55,8
Bosque altimontano pluvial boliviano-tucumano	Pe	1.881	0	1.881	0	100
Bosque subandino boliviano-tucumano de transición con las Yungas	Pe	1.63	565	1.065	34,7	65,3
Bosque piemontano pluvial subhúmedo de los Andes del Norte	Pe	1.012	7	1.005	0,7	99,3
Bosque basimontano pluvial subhúmedo de las Yungas del Norte	Pe	885	7	878	0,8	99,2
Bosque de Polylepis altimontano pluvial de las Yungas	Pe	728	146	582	20,1	79,9
Bosque bajo altoandino de la puna xerofítica occidental	Pe	570	119	452	20,8	79,2
Bosque montano subhúmedo boliviano-tucumano	Pe	437	0	437	0	100
Bosque ribereño subandino interandino boliviano-tucumano	Pe	404	138	266	34,2	65,8
Bosque bajo de cresta pluvial de las Yungas	Pe	170	0	170	0	100
Bosque subhúmedo ribereño montano boliviano-tucumano	Pe	117	0	117	0	100
Pajonal altimontano boliviano-tucumano	Pe	9.613	728	8.89	7,6	92,4
Pajonal pluvial montano boliviano-tucumano	Pe	3.222	6	3.217	0,2	99,8
Bosque y palmar basimontano pluvial de las Yungas	Pv	44.327	17.593	26.734	39,7	60,3
Bosque montano pluvial de los Andes del Norte	Pv	43.155	10.236	32.918	23,7	76,3
Bosque montano bajo pluvial de los Andes del Norte	Pv	39.871	9.425	30.445	23,6	76,4
Bosque montano pluvial de las Yungas	Pv	21.183	7.183	14	33,9	66,1
Bosque montano pluvial húmedo de las Yungas	Pv	14.025	1.728	12.297	12,3	87,7
Bosque altimontano Norte-Andino siempreverde	Pv	12.792	4.312	8.48	33,7	66,3
Bosque piemontano pluvial de los Andes del Norte	Pv	8.892	3.282	5.61	36,9	63,1
Bosque altimontano pluvial de las Yungas	Pv	8.235	1.743	6.492	21,2	78,8
Bosque montano pluvial de las Cordilleras Subandinas Orientales	Pv	5.029	1.067	3.962	21,2	78,8
Bosques bajos y arbustales altimontanos de la puna húmeda	Pv	4.368	355	4.013	8,1	91,9

Tabla 7. Superficie actual y al interior de los sistemas nacionales de áreas de conservación de cada ecosistema de bosque andino cartografiado en el mapa de los Andes del Norte y Centro. PN = parques nacionales.

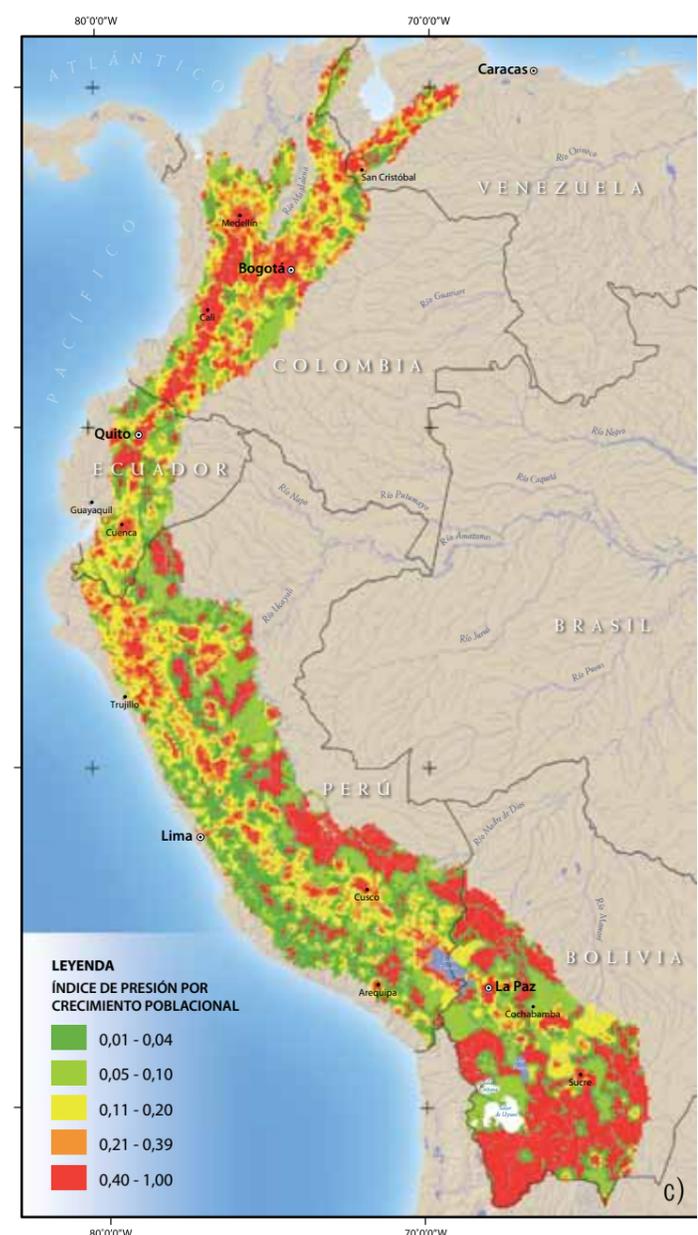
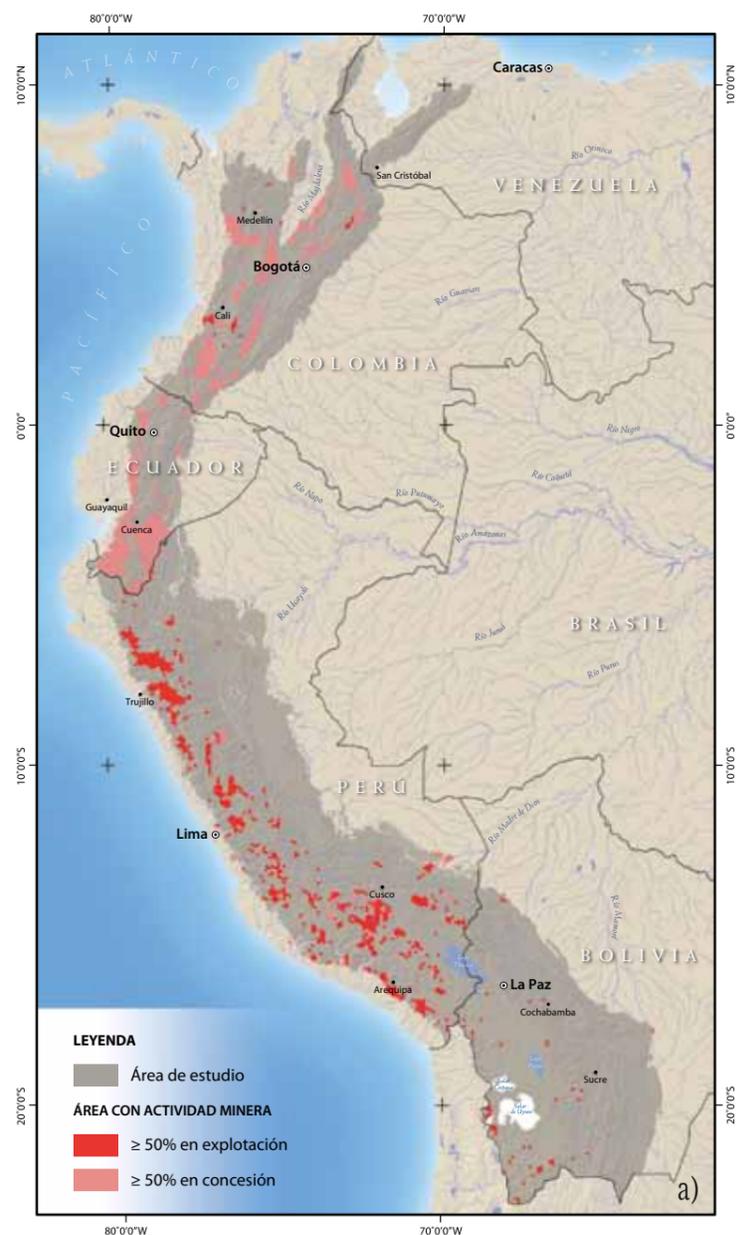
Ecosistemas de bosques montanos	Clima	Superficie (km ²)	Superficie protegida (km ²)	Superficie sin protección (km ²)	Porcentaje dentro de PN	Porcentaje fuera de PN
Bosque subandino húmedo boliviano-tucumano	Pv	4.071	1.101	2.97	27	73
Bosque montano bajo pluvial de la Cordillera del Cóndor	Pv	2.838	443	2.396	15,6	84,4
Bosque bajo altoandino de la puna xerofítica oriental	Pv	951	0	951	0	100
Bosque pluvial sobre mesetas de arenisca de la Cordillera del Cóndor	Pv	655	103	552	15,7	84,3
Bosque de Polylepis altoandino pluvial de las Yungas	Pv	185	0	185	0	100
Bosque bajo altoandino de la puna húmeda	Pv	173	3	171	1,5	98,5
Bosques bajos y arbustales altoandinos paramunos	Pv	127	6	121	4,7	95,3
Bosque de Polylepis altimontano pluvial de las Yungas	Pv	84	1	84	0,9	99,1
Bosque altimontano de las Cordilleras Subandinas Orientales	Pv	83	31	52	37	63
Bosque húmedo montano boliviano-tucumano de aliso	Pv	12	0	12	0	100
Bosque de Polylepis altimontano pluvial de los Andes del Norte	Pv	11	10	1	87,9	12,1
Bosque interandino subandino xerofítico boliviano-tucumano	Xe	28.827	2.032	26.795	7	93
Bosque bajo altimontano de la puna xerofítica central	Xe	8.678	105	8.573	1,2	98,8
Bosque bajo xerofítico interandino de la prepuna superior oriental	Xe	7.234	22	7.213	0,3	99,7
Cardonal altoandino de la puna xerofítica occidental	Xe	6.125	0	6.125	0	100
Bosque y arbustal basimontano xérico de las Yungas del Norte	Xe	5.457	8	5.449	0,1	99,9
Bosques y arbustales montanos xéricos interandinos de la puna húmeda	Xe	4.383	210	4.172	4,8	95,2
Bosque montano boliviano-tucumano de pino de monte	Xe	3.641	536	3.105	14,7	85,3
Bosque montano bajo xérico de los Andes del Norte	Xe	3.553	16	3.537	0,5	99,5
Bosque y arbustal montano xérico interandino de las Yungas	Xe	3.048	1	3.047	0	100
Bosque tumbesino decíduo de tierras bajas	Xe	2.707	28	2.679	1,0	99,0
Bosque tumbesino decíduo premontano	Xe	1.752	34	1.718	2	98
Bosque basimontano xérico de las Yungas del Sur	Xe	1.393	152	1.241	10,9	89,1
Bosque freatófilo subandino interandino boliviano-tucumano	Xe	1.093	91	1.002	8,3	91,7
Bosque montano xérico interandino boliviano-tucumano	Xe	1.089	136	952	12,5	87,5
Bosque tumbesino decíduo espinoso	Xe	239	0	239	0	100
Bosques bajos edafoxerófilos montanos y basimontanos bolivianos-tucumanos	Xe	156	11	145	7,3	92,7
Bosque freatófilo del piso montano xerofítico	Xe	130	0	130	0	100
Bosque piemontano xérico de los Andes del Norte	Xe	94	0	94	0	100
Vegetación ribereña basimontana de las Yungas	Xe	88	0	87	0,3	99,7
Vegetación ribereña del piso montano xerofítico	Xe	87	3	84	4	96

Tabla 8. Representación de bosques montanos en los sistemas de áreas protegidas de cinco países andinos. Pe = bosques pluviestacionales; Pv = bosques pluviales; Xe = bosques xerofíticos.

Bosques	Bolivia		Colombia		Ecuador		Perú		Venezuela	
	Área (km ²)	% protegido								
Pe	42.955	16,5	255	2,0	4.930	0,2	32.464	4,6	4.356	65,1
Pv	31.862	37,8	74.934	17,9	24.797	37,8	69.998	18,6	9.264	84,1
Xe	58.018	5,6	0	0	1.480	0	17.103	1,3	0	0

Agrupados por régimen climático, los bosques xéricos se encuentran subprotegidos en los sistemas de parques nacionales de los cinco países. Los bosques pluviales se encuentran mejor representados, con rangos que van del 18%, en Colombia y Perú; el 38%, en Bolivia y Ecuador; y hasta el 84%, en Venezuela (Tabla 8). Los bosques pluviestacionales se encuentran subrepresentados en el sistema de áreas protegidas de Colombia (<2%). Sin embargo, en ese país la distribución de este tipo de bosques es marginal. Los bosques montanos pluviestacionales tienen áreas de distribución más extensas en Ecuador y Perú, donde se encuentran subrepresentados en los sistemas de áreas protegidas (0,16% y 4,55%, respectivamente. Tabla 8).

Figura 8. Distribución espacial de factores de presión de los Andes del Norte y Centrales: a) unidades de análisis con más del 50% del área bajo concesión o explotación minera; b) índice de presión por fuego, y c) índice de presión por crecimiento poblacional.



Factores de presión

La Figura 8 presenta la distribución espacial de los tres factores de presión considerados en el análisis: minería, crecimiento poblacional y fuegos.

En el caso de la presión por minería, se concluye que las áreas bajo explotación minera se encuentran concentradas en Perú y Bolivia, mientras que las áreas bajo

concesión se ubican en Colombia y Ecuador. Separados por régimen climático, la mayoría de los bosques pluviestacionales presentes en Ecuador (75%) se ubica en áreas de concesión minera. De igual manera, 12% de los bosques pluviestacionales en Perú corresponde a áreas de explotación minera. En Ecuador, 32% y 47% de los bosques pluviales y xéricos están en áreas de concesión; mientras que en el Perú los porcentajes bajo explotación para

Tabla 9. Porcentaje del área de bosques montanos en cada país bajo concesión o explotación minera. C = áreas mineras en concesión; E = áreas mineras bajo explotación.

	Colombia		Ecuador		Peru		Bolivia	
	C	E	C	E	C	E	C	E
BM pluvial	14,41	2,36	32,04	0,23	3,87	3,68	N/A	0,73
BM pluviestacional	32,94	2,78	74,80	0,41	6,32	12,19	N/A	0,61
BM xérico	N/A	N/A	47,09	1,87	6,11	14,84	N/A	1,62

estos dos tipos de bosques son 4% y 14% respectivamente (Tabla 9).

La presión por fuego se encuentra distribuida de forma homogénea en los cinco países y entre los tipos de bosques, con puntos de concentración en el norte de Colombia, en las Yungas y en el piedemonte de la Cordillera Real de Bolivia (con un énfasis particular en el boliviano-tucumano). Hay una mayor concentración de fuegos en los bosques pluviestacionales y xerofíticos que en los pluviales; el 9% y el 6%, respectivamente, de los hexágonos que presentan una remanencia mayor o igual a 50 km² reportan presencia de fuegos (Tabla 10).

Tabla 10. Porcentaje del área remanente de cada tipo de bosque en relación a la ocurrencia de fuegos para el período 2002-2006 de acuerdo con el sensor MODIS (*rapid Fire*).

Bosque	Hexágonos (N.º)	Suma fuegos	Área total (%)	Total fuegos (%)
Pluvial	1.656	743	10,1	3,4
Pluviestacional	556	2.016	3,4	9,3
Xerofítico	675	1.242	4,1	5,8

Sensibilidad potencial de los bosques montanos a procesos de cambio climático

Los modelos de nicho para evaluar las áreas potenciales de afectación muestran una tendencia clara de pérdida de áreas de los tres tipos de bosques, en ambos modelos, en los dos escenarios utilizados. El escenario A2 reporta una mayor pérdida potencial de áreas que el escenario B2, siendo los más dramáticos los correspondientes al modelo HADCM3 (Tabla 11). Los rangos del porcentaje de pérdida, entre el escenario más tenue y el más drástico, oscilan entre 6% (CCCMA B2) y el 7% (HADCM3 A2) para los bosques pluviestacionales; entre 13% y

La presión por crecimiento poblacional se encuentra concentrada en los valles interandinos de Colombia y Ecuador, y en el altiplano y las vertientes orientales de los Andes en Perú y Bolivia.

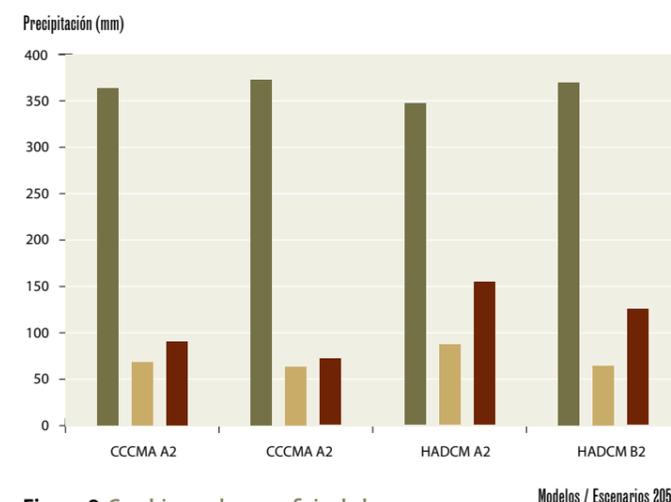


Figura 9. Cambios en la superficie de bosques montanos, para dos escenarios (SRES), de acuerdo a los modelos HADCM3 y CCCMA.

21% para los pluviales; y entre 4% y 5% para los xerofíticos (Tabla 11).

Los análisis de dinámicas de cambios en áreas estables, perdidas y ganadas, muestran consistentemente que, para los cuatro escenarios de los dos años evaluados (2020 y 2050), un gran porcentaje de los bosques montanos se mantiene estable. Las áreas de ganancia del nicho climático son siempre mayores que las áreas perdidas; no obstante, este análisis no considera el estado de la cobertura y uso de la tierra para esos años. Este factor pudiera invertir considerablemente esta relación (Fig. 9 y 10).

Tabla 11. Pérdida potencial de áreas de los tres tipos de bosques montanos, de acuerdo con dos modelos GCM (HADCM3 y CCCMA), para dos escenarios SRES (A2 y B2), para el año 2050.

Bosques	Superficie (km ²)		Superficie perdida (km ²) al año 2050		
	Actual	CCCMA A2	CCCMA B2	HADCM3 A2	HADCM3 B2
Pluvial	210.859	-31.952	-27.570	-43.967	-32.831
Pluviestacional	84.964	-5.464	-4.657	-7.944	-6.031
Xérico	76.645	-3.370	-2.762	-3.706	-2.586



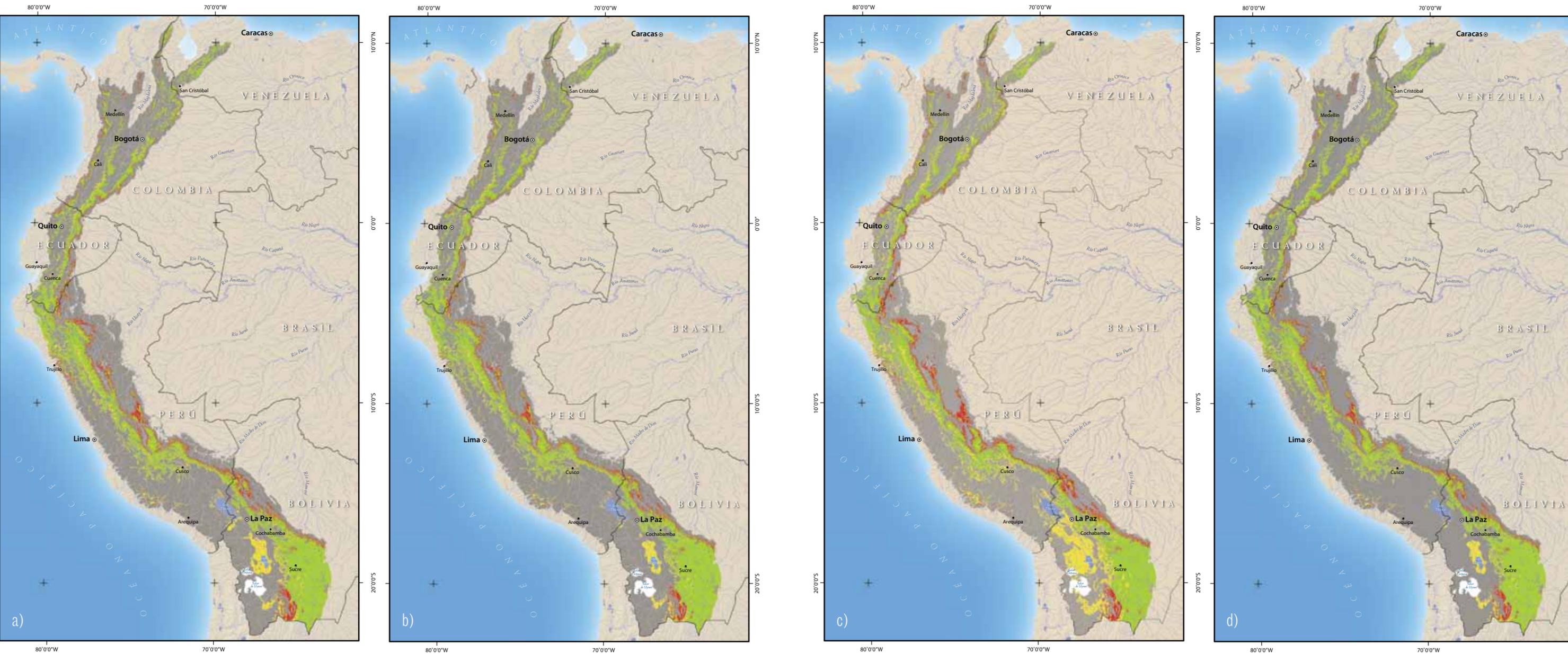
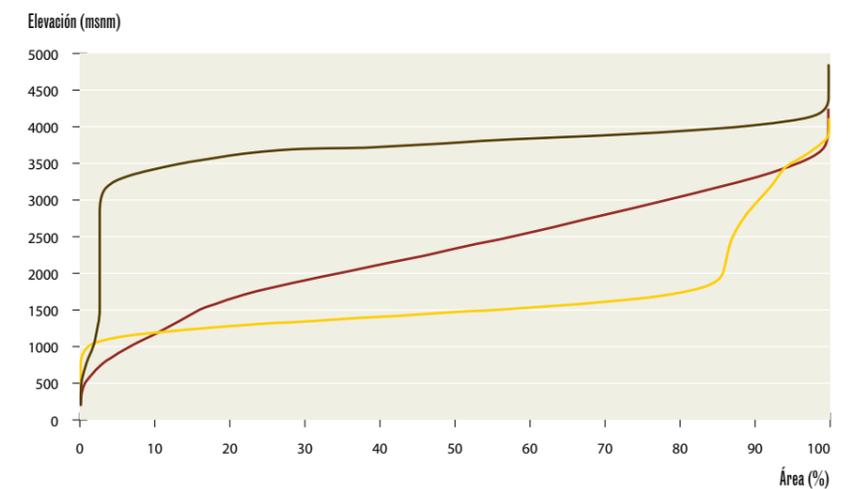


Figura 10. Patrones de áreas estables, pérdida y ganancia de bosques montanos, para distintos escenarios de cambio climático en el año 2050: a) CCMA A2; b) CCMA B2; c) HADCM3 A2, y d) HADCM3 B2.

LEYENDA

- Área de estudio
- PATRONES DE CAMBIO POTENCIAL**
- Estable
- Pérdida
- Ganancia

Figura 11. Curva acumulativa de áreas estables, de ganancia y pérdida, en la distribución de bosques montanos de acuerdo con el escenario HADCM3 A2.



Las áreas de pérdida potencial de bosques montanos se encuentran distribuidas predominantemente en los límites inferiores de elevación de su distribución. En contraste, las zonas de ganancia se distribuyen como franjas alineadas en el extremo superior de la distribución de los bosques montanos. Estos patrones confirman el desplazamiento hacia arriba en los ecosistemas de bosque reportados en otros estudios del impacto del cambio climático (Foster 2001; Tobón 2009; Still *et al.* 1999; Pounds *et al.* 1999).

En la Figura 11 se puede observar que más del 80% de las áreas de ganancia ocurriría bajo los 4.000 m de elevación, mientras que el mismo porcentaje de las áreas de pérdida ocurriría bajo los 2.000 m de elevación.

Los impactos en la distribución de los límites superior e inferior de los bosques montanos están determinados, en gran medida, por cambios en temperatura y humedad ambiental. Un incremento en la temperatura sugiere un desplazamiento

vertical hacia arriba del gradiente ecotonal entre los ecosistemas boscosos y el páramo o la puna. Con un *lapse rate* constante del alrededor de $0,6-0,7^{\circ}\text{C} * 100 \text{ m}^{-1}$, las predicciones sugieren que las condiciones de temperatura actuales (óptimo climático) se desplazarían entre 140 y 800 m hacia arriba para finales de este siglo (Buytaert *et al. in prep.*).

Los estudios recientes sobre modelos de cambios climáticos regionales para los Andes (Urrutia y Vuille 2009) sugieren un incremento en la humedad del aire, lo cual tiene una relación directa con una disminución en el *lapse rate*, creando un mayor calentamiento en los ecosistemas altoandinos. Estas alteraciones tienen un efecto en la formación y condensación de las nubes (lluvia horizontal), lo que incide directamente en los tipos de bosques (*xerofíticos versus estacionales*) y su composición. Dichos efectos sugieren distintas magnitudes de impactos entre los tipos de bosques. Los bosques *xerofíticos* y *estacionales* son potencialmente más susceptibles a experimentar un mayor estrés hídrico y procesos de disecación, por una mayor evotranspiración. Adicionalmente, la disposición geográfica de estos bosques (enclaves secos en valles interandinos) les da un factor de mayor vulnerabilidad debido a la probable desaparición de su óptimo climático.

Identificación de áreas prioritarias para conservación y manejo de bosques montanos

Con base en los resultados generados (ver sección 4.4), se produjeron tres mapas de síntesis que identifican geográficamente las áreas prioritarias por estado de conservación, por grado de amenaza y por vulnerabilidad potencial a los efectos del cambio climático. Así, se realizaron tres comparaciones: a) remanencia

versus presión; b) áreas de potencial pérdida de bosques andinos en escenarios de cambio climático *versus* áreas protegidas, y c) áreas con potencial de ganar zonas de bosques montanos por efectos del cambio climático pero que tienen un alto grado de presión antrópica.

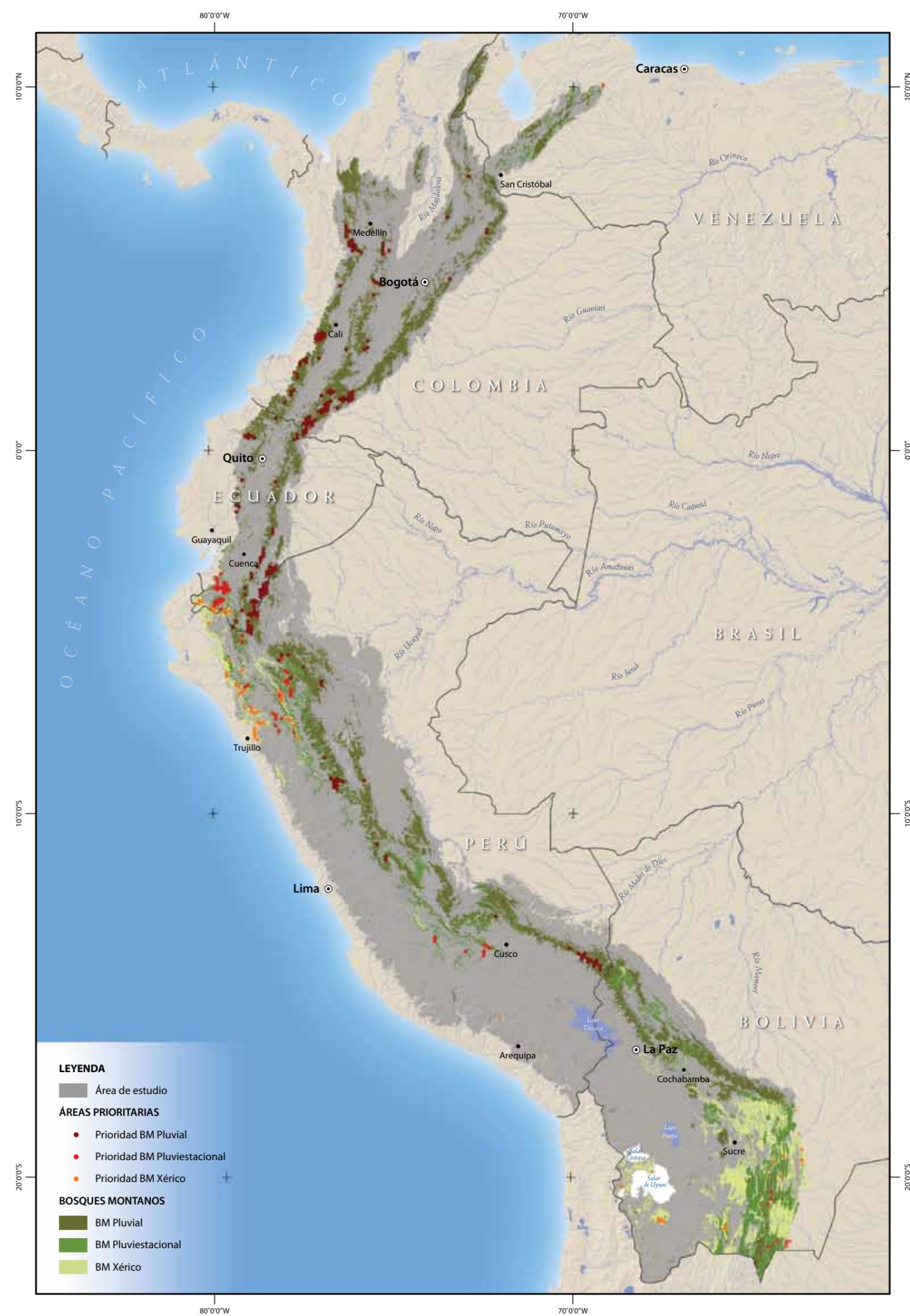
Remanencia *versus* presión

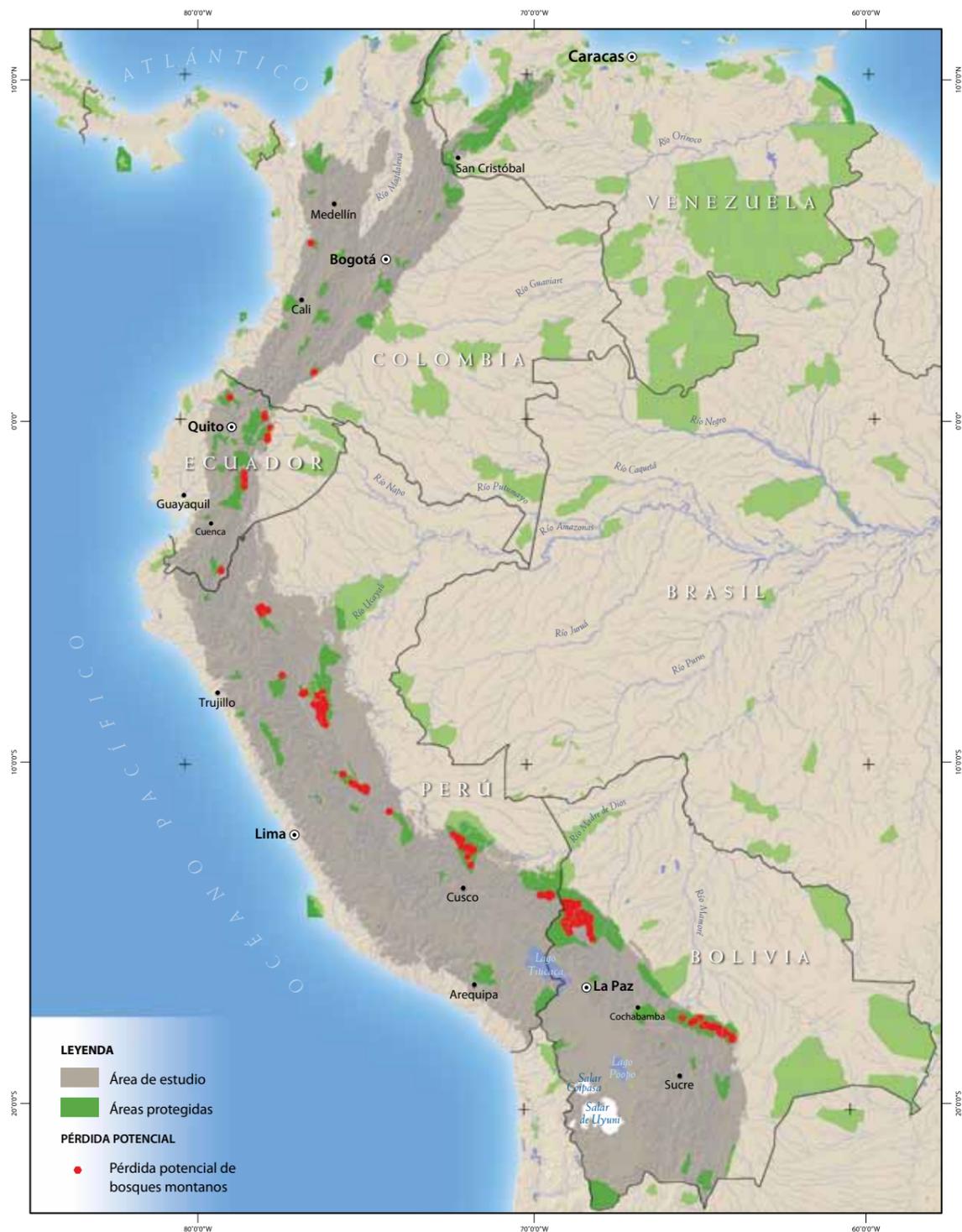
Un enfoque simple y eficiente para definir áreas prioritarias de conservación es identificar aquellas que mantienen una buena cobertura vegetal remanente pero que se encuentran potencialmente muy amenazadas por cambios dables en la cobertura de la tierra (minería) o por efectos de degradación debido a una mayor intensificación de actividades extractivas (tala selectiva). En este ejercicio, identificamos aquellas áreas (hexágonos de 100 km^2) de cada tipo de bosque que presentan una remanencia de vegetación mayor al 50% (50 km^2) y que tienen un índice de presión mayor a 0,9.

Bajo estas condiciones de remanencia y presión, las áreas prioritarias para los **bosques pluviales** (siempreverdes) se encuentran concentradas en la porción sur de la Cordillera Occidental y Oriental de Colombia (departamentos de Cauca, Chocó, Putumayo y Nariño), en la Cordillera del Cóndor y el sur de la Cordillera Oriental de Ecuador (provincias de Morona, Loja y Zamora). En Perú, las áreas de importancia se encuentran dispersas a lo largo de las Yungas, con una zona importante en la frontera con Bolivia; Bolivia y Venezuela no presentan áreas importantes para estos bosques bajo los mencionados criterios de priorización.

En cuanto a los **bosques estacionales**, presentan dos áreas muy relevantes: los bosques de la Cordillera de Chilla, en las provincias de Loja y El Oro en el Ecuador, y en el margen oriental del río Marañón, en el Departamento de Amazonas en el

Figura 12. Gráfico de áreas donde la remanencia de bosques montanos es mayor al 50% y el índice combinado de presión es superior a 0,9.





norte peruano; y en el suroriente de Bolivia, en los bosques bolivianos-tucumanos de los departamentos de Tarija y Chuquisaca.

Las áreas identificadas como prioritarias para los **bosques xerofíticos** se encuentran en el norte de Perú,

en el margen occidental del río Marañón, en los departamentos de Cajamarca, Piura y La Libertad; y en los bosques del sur de la provincia de Loja y el Oro, en Ecuador; y especialmente en los bosques xerofíticos bolivianos-tucumanos de Santa Cruz y Chuquisaca (Figura 12).

Figura 13. Unidades de análisis donde más del 65% del área corresponde a los sistemas nacionales de áreas protegidas y la pérdida potencial de bosques montaños es superior a 50 km², para el año 2050 según el escenario HADCM3 A2.

Pérdida potencial de bosques *versus* áreas protegidas: vulnerabilidad

Las principales áreas que pudieran tener importantes pérdidas de bosques montaños, debidas a cambio climático, se concentran en las áreas protegidas —parques nacionales principalmente— de la vertiente amazónica de la Cordillera Oriental (Tabla 12, Fig. 13). Las áreas con pérdidas más significativas son el PN Yanachaga-Chemillen, el PN Manu, el PN Madidi junto con el ANMIN Apolobamba, el PN Carrasco y el PN Amboró.

Ganancia potencial de bosques *versus* presión: áreas de interés regionales para intervención

Uno de los principales problemas asociados a la cuantificación de los impactos del cambio climático es la factibilidad de que áreas climáticamente favorables en escenarios futuros permitan el desplazamiento de la vegetación en el gradiente ambiental. Esta posibilidad se ve siempre con gran incertidumbre en regiones como los Andes, donde la remanencia de vegetación en países como Ecuador y Colombia es inferior al 50%, y se esperan tasas de cambio de uso de la tierra entre el 1% y el 2% anual.

Como una muestra de estos posibles problemas e interrelaciones entre cambio climático y pérdida de cobertura vegetal, se identificó aquellas áreas donde se estima una ganancia de más de 50 km² para el año 2050, según el escenario HADCM3 A2 y el índice de presión combinado es mayor a 0,9 (Figura 14).



Tabla 12. Zonas donde más del 65% corresponde a los sistemas nacionales de áreas protegidas y la pérdida potencial de bosques montaños es superior a 50 km² para el año 2050, según el escenario HADCM3 A2. La cantidad de asteriscos equivale a una mayor o menor concentración de áreas con pérdidas boscosas; tres asteriscos son las zonas con mayor pérdida y viceversa.

Área protegida	Ubicación	País
Tatamá*	Cordillera Occidental	Colombia
Alto Fragua-Indi Wasi*	Cordillera Oriental	Colombia
Cotacachi-Cayapas*	Cordillera Occidental	Ecuador
Cayambe-Coca*	Cordillera Oriental	Ecuador
Sumaco-Napo-Galeras**	Cordillera Oriental	Ecuador
Sangay***	Cordillera Oriental	Ecuador
Podocarpus*	Cordillera Oriental	Ecuador
Alto Mayo**	Cordillera Oriental	Perú
PN Cordillera Azul***	Cordillera Oriental	Perú
PN Yanachaga-Chemillen***	Cordillera Oriental	Perú
PN Manu***	Cordillera Oriental	Perú
PN Bahuaja-Sonene**	Cordillera Oriental	Perú
PN Madidi y ANMIN Apolobamba***	Cordillera Oriental	Bolivia
PN Carrasco y PN Amboró***	Cordillera Oriental	Bolivia

de clasificación resultantes fueron empleadas para proyectar la distribución de las clases de vegetación con base en las variables futuras derivadas de los escenarios climáticos previamente referidos.

Los Reportes Especiales de Escenarios de Emisión (SRES) y los Modelos de Circulación Global (GCM)

Los efectos de las actividades humanas en el clima dependen de las emisiones futuras de los gases invernadero; y el estado futuro del mundo depende, a su vez, de los impactos de los cambios resultantes en el clima (Arnell *et al.* 2004).

El Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) desarrolló, entre 1990 y 2003, una serie de escenarios de emisiones, los cuales han sido ampliamente aplicados para la construcción de los modelos climáticos prospectivos —Modelos Globales de Circulación (GCM)— y así evaluar los impactos del cambio climático.

La base conceptual de la que parten los cuatro escenarios SRES representa el futuro del mundo en dos dimensiones: un mundo enfocado en un desarrollo ambiental o económico, y un mundo con patrones de crecimiento global o regional (Figura 4). Para el presente estudio, empleamos dos de los escenarios (A2 y B2), para tener un contraste entre el escenario más extremo y el menos grave.

El escenario A2 presenta un mundo heterogéneo dominado por el mercado, con el mayor crecimiento poblacional de los cuatro escenarios pero con el menor desarrollo económico. El tema subyacente es confianza individual y preservación de identidades locales. El crecimiento económico está regionalmente orientado, por lo que el crecimiento en el ingreso y el desarrollo tecnológico son regionalmente heterogéneos. En el escenario B2 existe un crecimiento poblacional menor que en el A2, con un desarrollo ambiental, económico y social sostenible a escalas regionales/locales (Tabla 4).



Los modelos Globales de Circulación (GCM) utilizan simulaciones climáticas variables³ para proyectar/predecir cambios futuros en las temperaturas dentro de diferentes escenarios. Éstos pueden ser idealizados (variaciones porcentuales de CO₂) o más realistas como los escenarios SRES. Cuáles escenarios deben ser considerados más realistas es incierto, ya que las proyecciones de futuras concentraciones de CO₂ y sulfatos es también incierta.

Actualmente, el IPCC reconoce 20 GCM (IPCC, 2007). Entre los más importantes y empleados se encuentran el Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma) y el Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM3). En el presente estudio se decidió emplear

³ Una simulación climática variable es la manera de generar un modelo climático global en el que un período de tiempo (normalmente 1850-2100) es simulado con concentraciones variables de gases invernadero, de manera que el modelo climático represente una aproximación realista de los posibles cambios en el mundo real.

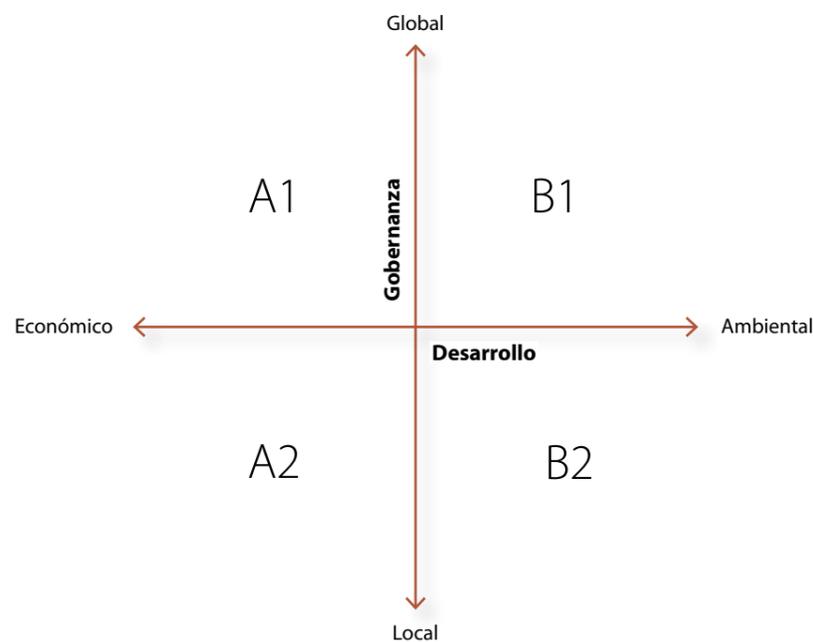


Figura 4. Representación de las dimensiones de desarrollo y gobernanza sobre las cuales parten los escenarios de emisiones del IPCC (SRES, IPCC 2000).

Fuente: (Arnell *et al.* 2004)

Tabla 4. Indicadores cuantitativos de los SRES desarrollados por el IPCC (2000) para el año 2100.

	Escenarios de emisión			
	A1	A2	B1	B2
Crecimiento poblacional	Bajo ~7 billones	Alto ~15 billones	Bajo ~7 billones	Medio ~10 billones
Crecimiento PIB	Muy alto 525-550	Medio 243	Alto 328	Medio 235
PIB per cápita	Ind: US\$107.300 Dev: US\$66.500	Ind: US\$46.200 Dev: US\$11.000	Ind: US\$72.800 Dev: US\$40.200	Ind: US\$54.400 Dev: US\$18.000
Consumo energético	Muy alto/Alto	Alto	Bajo	Medio
Cambios de uso de la tierra	Bajo-medio Agricultura +3% Bosque +2%	Medio-alto	Alto Agricultura -28% Bosque +30%	Medio Agricultura +22% Bosque +5%
Disponibilidad de recursos	Alto/medio	Bajo	Bajo	Medio
Paz y dirección del cambio tecnológico	Rápido	Bajo	Bajo	Medio
Energía favorecida	Fósil	Diversidad regional	Eficiencia y desmaterialización	Proyección de tendencias actuales

Fuente: (Arnell *et al.* 2004)

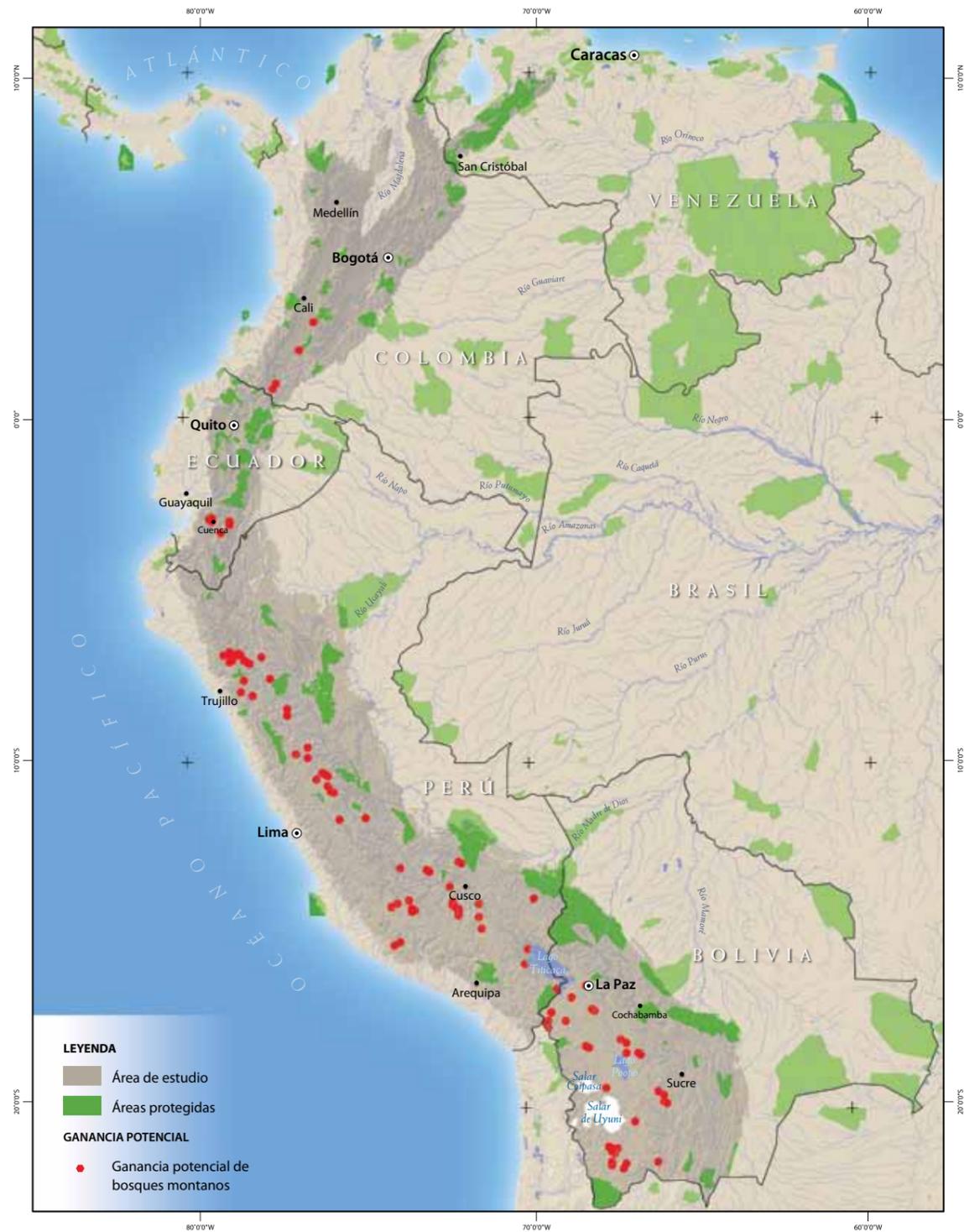


Figura 14. Unidades de análisis donde se estima una ganancia de más de 50 km² para el año 2050 según el escenario HADCM3 A2 y el índice de presión combinado es mayor que 0,9.

Las principales áreas que pudieran tener importantes pérdidas de bosques montanos, debidas a cambio climático, se concentran en las áreas protegidas — parques nacionales principalmente— de la vertiente amazónica de la Cordillera Oriental.



La mayoría de estas áreas se concentran en los pisos altoandinos y altimontanos, lo que sugiere un desplazamiento de los bosques montanos hacia arriba, como por ejemplo en el altiplano Boliviano-Peruano, pero que se espera sufran cambios significativos en cuanto a su dinámica agrícola y desarrollo periurbano.

Estas áreas pudieran tener un valor estratégico alto en el momento de desarrollar acciones de adaptación y mitigación en respuesta a los impactos del cambio climático. Idealmente, el mantenimiento de la conectividad mantendrá la permeabilidad en el paisaje y permitirá los eventuales desplazamientos de especies y biomas.



Muchas de estas áreas se encuentran concentradas en Perú (de manera dispersa cubriendo casi todos los Andes) y en Bolivia, mientras que en Colombia y Venezuela casi no existen. Éste es un sesgo geográfico que se debe a que en Venezuela no hay áreas mineras, lo que disminuye en gran medida el índice de presión (Figura 14). No obstante, esto no quiere decir que no existan áreas de ganancia de bosques montanos significativas en Colombia, pero que no tienen un nivel tan alto de presión potencial.

Discusión

En el presente estudio se evaluó el estado de conservación de los bosques montanos en los Andes Tropicales. Esto permitió identificar áreas prioritarias para el manejo y la conservación, debido a su grado de vulnerabilidad, que está dada por dos factores: una posible transformación o degradación por cambios en el uso de la tierra, o por efectos del cambio climático en la distribución de estos bosques.



Murray Cooper/Conservación Internacional - Ecuador

La caracterización del estado de conservación requirió la generación de información espacialmente explícita sobre la distribución actual de los ecosistemas andinos, su representatividad en los sistemas nacionales de conservación y un conjunto de factores de presión. En el contexto del presente estudio, la implementación de esta metodología ha permitido generar una visión consistente sobre las áreas potencialmente más vulnerables y prioritarias de los bosques en los Andes Tropicales.

Sin embargo, el uso efectivo de los resultados de este ejercicio requiere de un entendimiento detallado, tanto de las consideraciones metodológicas utilizadas en la

implementación del proceso como de las fuentes de incertidumbre inherentes a las fuentes de información empleadas.

Un aspecto importante que debe considerarse para el uso de los resultados es la temporalidad de los datos empleados. La información sobre la remanencia de los ecosistemas corresponde, en su gran mayoría, al período 1999-2001. Dicha información requiere ser actualizada con el fin de tener una mejor aproximación al estado actual de la cobertura vegetal, especialmente en áreas que han registrado procesos rápidos de cambio en la cobertura del suelo en los últimos años.

Adicionalmente, muchas de las áreas consideradas como remanentes naturales realmente presentan diferentes niveles de degradación debido a actividades humanas como la tala selectiva, el pastoreo extensivo y otros usos extractivos de los ecosistemas naturales. Sin embargo, tales usos del suelo son difíciles de caracterizar espacialmente de forma sistemática a escalas regionales (Josse *et al.* 2009). Esto conduce potencialmente a errores de omisión respecto a la presión antrópica, especialmente en paisajes altoandinos presentes en Bolivia y Perú.

Los indicadores de presión utilizados son la mejor información regional que se pudo recopilar y generar durante el tiempo de la realización de este estudio. Los factores mencionados representan diversos procesos de afectación a la estructura y composición de los ecosistemas de bosques montanos en los Andes Tropicales.

La minería representa un impacto directo en la completa remoción de los ecosistemas en el área directa de extracción. Si bien en términos de extensión a nivel individual las áreas de concesión y extracción no son muy grandes, el área agregada de todas las concesiones es sustancial y su impacto ambiental pudiera ser mucho mayor.

Por ejemplo, la mina Yanacocha, en Perú, tiene un territorio concesionado por el Estado peruano de 138.000 ha, de las cuales apenas el 25% se encuentra actualmente en producción. No obstante, el área explotada es fundamental para el abastecimiento de agua potable y riego de la ciudad de Cajamarca, que tiene aproximadamente 150.000 habitantes (Proyecto Páramo Andino). Existe un conjunto de externalidades ambientales relacionadas con los impactos sociales y culturales en las comunidades agrícolas/campesinas de los Andes.

En resumen, la minería se ha convertido en un tema central dentro de los debates sobre el desarrollo de los países andinos, cargado de profundas implicaciones económicas, sociales, ambientales y políticas. En este marco, el diseñar e identificar áreas prioritarias para promover procesos de manejo y conservación de bosques montanos no puede estar descontextualizado de los escenarios de desarrollo y explotación de los bloques mineros y sus múltiples implicaciones.

El fuego es un excelente descriptor de degradación asociada a la tala selectiva y a procesos de expansión agrícola en áreas boscosas. Por otra parte, es importante entender que el fuego no es un componente natural de regímenes de disturbio, como en bosques boreales o australes. No obstante, los fuegos iniciados por humanos son frecuentes en los Andes Tropicales. Extensas áreas de bosques altoandinos han sido transformadas en sistemas herbáceos y se ha modificado completamente el paisaje (bosques de queñuales, *Polylepis*, en las Yungas).

Las razones para estos sucesos tienen que ver con prácticas asociadas a los sistemas agrícolas. El fuego es utilizado para promover nuevos brotes de pastos que, se piensa, tienen mayor contenido nutricional y una mayor palatabilidad para el ganado (Hofstede 1995). El fuego puede ser utilizado intencionalmente para crear nuevos pastos o para eliminar la vegetación leñosa que se haya regenerado en pastizales preexistentes (Keating 1997). Adicionalmente, las quemadas están asociadas con la producción de carbón para abastecer mercados locales (Carchi) y mantener economías también locales (Baader *et al.* 2007). La ceniza es además colectada para ser empleada como fertilizante, junto con muchas especies arbóreas utilizadas como leña de uso doméstico (Knapp 1991).

La minería representa un impacto directo en la completa remoción de los ecosistemas en el área directa de extracción. Si bien en términos de extensión a nivel individual las áreas de concesión y extracción no son muy grandes, el área agregada de todas las concesiones es sustancial y su impacto ambiental pudiera ser mucho mayor.



Las dinámicas de expansión de pastos, deforestación, tala selectiva y avance de la frontera agrícola son actividades que constituyen el principal factor de pérdida y alteración de los bosques de montaña en los Andes Tropicales.

No obstante, es necesario enfatizar la necesidad de incluir, de forma explícita, las dinámicas de expansión de pastos, deforestación, tala selectiva y avance de la frontera agrícola; actividades que constituyen el principal factor de pérdida y alteración de los bosques de montaña en los Andes Tropicales (Myers *et al.* 2000; Tobon 2009; Bruijnzeel and Hamilton 2000).

La tasa de crecimiento de la población es un buen indicador de presión a escala regional. Las áreas que actualmente experimentan un importante crecimiento de la población tienden a ejercer presión sobre áreas naturales. Éste es un ejemplo clásico de los frentes de colonización en el piedemonte de la Amazonía (Messina y Walsh 1999) y pudiera ser importante para analizar la dinámica de ocupación de los nuevos frentes de deforestación y extracción minera. A futuro, será importante generar escenarios prospectivos del crecimiento poblacional esperado para el año 2015

ó 2020, como una medida de las posibles dinámicas de presión en los ecosistemas remanentes de los Andes.

En cuanto a los potenciales efectos del cambio climático, se observan algunos patrones importantes. El primero es que los efectos en el nicho climático de los bosques montanos son altos y que en escenarios de incremento de temperatura de 4°C a 5°C la distribución de los bosques de montaña estará completamente alterada para fines de este siglo (Still *et al.* 1999; Pounds *et al.* 1999; Bush *et al.* 2009).

Por otra parte, los modelos de nicho empleados no consideran variables como cambios en la distribución altimétrica de la formación de bancos de nubes, lo cual pudiera tener implicaciones muy graves en cuanto a promover extinciones masivas de especies, sobre todo de las más sensitivas a la humedad relativa del ambiente, como las lianas y epifitas en general. Este factor pudiera ser



determinante en los bosques pluvies-tacionales y xéricos, que dependen en gran medida de la lluvia horizontal durante las épocas secas para mantener un balance hídrico positivo.

Existe un consenso de la comunidad científica de que el clima seguirá un proceso continuo de calentamiento en el orden de 0,3°C a 0,7°C por década, en respuesta a los cambios en las fuerzas radioactivas producto de las emisiones de los gases invernadero y aerosoles (IPCC 2007). Los estudios empíricos y los modelos de circulación global (GCM) para los bosques nublados sugieren que los incrementos en la concentración de los gases invernadero producirán un alza en la altitud a la cual se forma y condensa el banco de nubes en los bosques tropicales (Nadkarni y Solano 2002).

Los incrementos en las cantidades del agua evaporada de los océanos generan una inmensa cantidad de vapor; el calor latente liberado, una vez que este vapor se condensa, genera un aumento en la temperatura de la atmósfera. Un efecto derivado de tal fenómeno se manifiesta en los perfiles termales verticales, los que han tendido a un *lapse rate* adiabático húmedo. Debido a esto, se incrementa la amplitud del gradiente térmico, amplificando el rango cálido en las altas montañas en relación a los ecosistemas de tierras bajas (Still *et al.* 1999). Los desplazamientos altimétricos en el banco de nubes se espera que tengan un impacto muy fuerte en el régimen hidrológico de los bosques montanos a través de reducir el ingreso de agua de neblina y lluvia horizontal de las nubes interceptadas por la vegetación (Bruinjeel 1989; Loope y Giambelluca 1998).

Los pocos estudios sobre los posibles impactos de estas alteraciones en los bosques montanos sugieren un fuerte remesón en la comunidad de especies epífitas y animales sésiles (Nadkarni y Solano 2002; Foster 2001; Pounds *et al.* 1999), muchos

de los cuales dependen del agua y de los nutrientes aportados por la lluvia horizontal. Esto pudiera tener un efecto palpable en cambios en la composición de esta comunidad y elevadas tasas de extinciones locales.

De igual manera, una disminución de los días nublados incrementa la exposición a la radiación solar, lo que incide directamente en un incremento en la evotranspiración. Tal combinación de factores pudiera generar altas tasas de extinción, sobre todo de especies con un nicho climático restringido y con poca plasticidad adaptativa (Jump y Piñuelas 2005).

En este contexto, los efectos del cambio climático en los bosques montanos pueden ser múltiples y manifestarse de diversas maneras y a diferentes escalas. Este estudio no considera los posibles efectos en cuanto a cambios en la estructura y composición de los bosques (debido a altas tasas de extinción de especies y valores altos de remplazo de comunidades), procesos ecosistémicos de regulación hídrica y acumulación de carbono, entre otros. En este contexto, el presente estudio es una primera aproximación y sólo aborda uno de los posibles efectos del cambio climático, alteraciones en la distribución regional de los bosques andinos. Las investigaciones futuras deberían estar orientadas a establecer programas de monitoreo que analicen en áreas piloto, de manera más integral, los posibles efectos en la biodiversidad de los bosques montanos, pero de igual manera deberían buscar entender los efectos en los procesos ecosistémicos que crean y mantienen esa gran riqueza biológica.

Retroalimentación entre los impactos del cambio climático y el uso de la tierra

El límite, y las razones que lo determinan, entre los ecosistemas boscosos de montaña y los sistemas dominados por herbáceas (páramos y punas) es uno de los principales debates en la ecología de ecosistemas de montaña. Estudios recientes en los páramos y bosques ecuatorianos (Bader 2007a,b) sugieren que el límite del bosque en áreas de ocupación humana, durante los últimos 5.000 años, es el resultado de actividades antrópicas en las que el fuego tiene un rol preponderante. De igual manera, en Bolivia los estudios de Kessler (1995) sugieren que los bosques altoandinos de *Polylepis* han sido muy reducidos por estas prácticas humanas asociadas al pastoreo y a la agricultura con fuego como un elemento de manejo. Consecuentemente, el límite superior del bosque altoandino, que actualmente fluctúa entre los 3.200 y 3.500 m de elevación, pudiera en varios lugares en la ausencia de estas prácticas agrícolas llegar a oscilar entre los 3.700 y 3.900 m, con incluso bosques abiertos de *Polylepis* hasta más arriba —en Perú y Bolivia, hasta los 4.800 m de elevación (Ellenberg 1958; Kessler 1995)—. En este sentido, los límites definidos antropogénicamente son un serio limitante para las posibles migraciones altimétricas de especies de bosques andinos que ocurren entre los 2.600 y 3.000 m de altitud (Bush *et al.* 2009).

Se espera que el cambio climático induzca una migración altimétrica de plantas y animales para mantener sus nichos bioclimáticos (Thuijler *et al.* 2005). Los 20 modelos GCM del IPCC sugieren un incremento en la temperatura media entre 3°C y 5°C para fines de siglo, en los flancos amazónicos de la cordillera de los Andes. Los vientos adiabáticos húmedos presentan un *lapse rate*

aproximado de 5°C para esta sección de la cordillera, por lo que una migración vertical de 600 a 1.000 m es requerida para mantener temperaturas similares.

Si bien las distancias de migración no son muy grandes (aproximadamente de 20 a 40 km), es bastante probable que la permeabilidad del paisaje no lo permita debido a la presencia de muchas barreras por efectos del fuego asociado a la agricultura y por la expansión de pastos para ganadería, en los límites superiores de los bosques montañosos. Esta presión por arriba y abajo ha sido llamada por algunos autores como la *gran achaparrada*.

Adicionalmente, en muchas regiones del piedemonte andino existe desde hace 30 años una gran producción de agricultura industrializada: café, cacao, palma africana, arroz (Wassenar *et al.* 2002). En casi cualquier área con acceso y con mercados cercanos, casi no quedan bosques remanentes entre los 500 y 1.500 m de elevación, lo que forma un gran vacío de vegetación entre los bosques casi intactos sobre y debajo de este límite. A futuro, es muy posible que dichas áreas se intensifiquen, por lo que el vacío será mayor y se verá amplificado por el desplazamiento de los bancos de nubes que crean sistemas más estresados.

En respuesta de estos dos factores, el mantenimiento de ecosistemas funcionales requerirá del diseño de corredores verticales que permitan la migración, además del mantenimiento de los gradientes ambientales que facilitan los flujos y procesos ecosistémicos. En el diseño de estos corredores, la posibilidad de incluir áreas que puedan ser restauradas es fundamental para crear paisajes viables entre 50 y 100 años.



Prioridades de investigación y fuentes de incertidumbre

A partir de los resultados generados y las limitantes de la información empleada, se sugieren las siguientes prioridades de investigación:

- Información sobre concesiones mineras (exploración y explotación)**
 - Entre los factores de presión utilizados, la información sobre concesiones mineras (exploración y explotación) debe ser mejorada, con un énfasis especial para Bolivia. Igualmente, la base de datos relacionada con los catastros mineros en el resto de países andinos debiera ser complementada con datos sobre el mineral explotado, prácticas específicas de extracción, área de influencia, entre otras. Otro aspecto que no se incluye es la minería ilegal, la cual pudiera incrementar las zonas actualmente bajo explotación.
- Incrementar el rango de tiempo de registro de fuegos**
 - En cuanto a los fuegos, es necesario incrementar el rango de tiempo subanual y anual de registro, que permita dar una mayor utilidad a la información existente. Se sugiere fuertemente la definición de áreas piloto donde evaluar en campo los efectos de una mayor concentración de fuegos en el estado de conservación de los bosques, de forma que se pueda observar de manera más clara la magnitud de tales impactos. Esto es especialmente importante en los bosques estacionales y xerofíticos, donde una prolongación de los períodos de estiaje pudiera generar una mayor frecuencia y extensión de los incendios.
- Estudiar ecosistemas en transformación y patrones de transformación**
 - Desarrollar estudios que permitan identificar los ecosistemas que presentan la mayor dinámica de transformación y patrones de fragmentación a escala nacional y regional, que sirvan como insumo para orientar políticas de conservación efectivas orientadas a los ecosistemas más vulnerables.
- Evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas andinos frente al cambio climático**
 - Evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas andinos frente a procesos de cambio climático y dinámicas de cambio de uso y cobertura de la tierra, utilizando modelos de impacto potencial de estos procesos en la distribución y estructura de la vegetación. Dichos modelos deben ser validados a escalas más locales mediante una red de sitios de trabajo intensivo. Es necesario incorporar a la mencionada red iniciativas existentes de monitoreo (red GLORIA, LEAF) en un marco conceptual coherente que permita integrar los datos generados a escalas locales y traducirlos a modelos regionales.
- Construir una estrategia de monitoreo de los ecosistemas**
 - Construir una estrategia de monitoreo de los ecosistemas, a través de la generación de una serie temporal (histórica y prospectiva) que evalúe la dinámica de cambios en la cobertura y uso de la tierra, que permita identificar áreas prioritarias para el desarrollo de medidas de planificación y gestión de los ecosistemas andinos.

f. Implementación de mecanismos de conservación

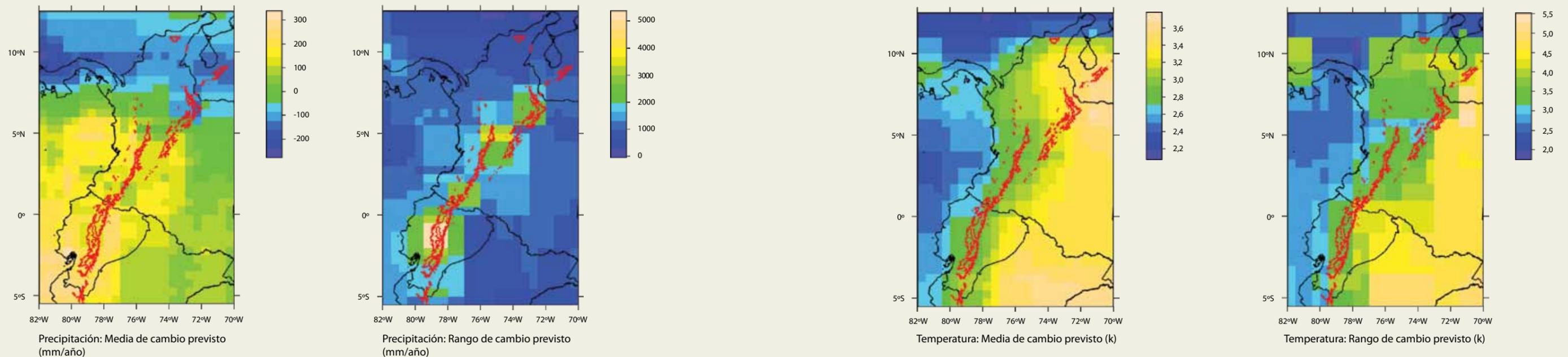
- De manera complementaria con el punto anterior, el monitoreo de deforestación y otras dinámicas de conversión de uso y cobertura de la tierra tiene un vínculo directo con el desarrollo e implementación de mecanismos de conservación asociados a usos sostenibles y reducción del impacto del cambio climático. Éste es el caso del Programa de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques (REDD), el cual tiene una serie de iniciativas interesantes desarrolladas a escala local (Parque Nacional Noel Kempff Mercado) como a nivel nacional (Programa Socio Bosque del Ministerio de Ambiente del Ecuador).

g. Desarrollo y validación de modelos climáticos regionales

- Una prioridad urgente es el desarrollo y validación de modelos climáticos regionales que incorporen, de mejor manera que los modelos globales de circulación disponibles actualmente, las condiciones topográficas de los Andes. Las limitaciones de los modelos climáticos y los vacíos de series de datos (especialmente sobre los 3.000 m de elevación) ocasionan que todavía los modelos futuros tengan mucha incertidumbre inherente. La Figura 15 muestra el promedio y la divergencia de los cambios proyectados en precipitación y temperatura de una combinación de los GCM en el cuarto reporte del IPCC (2007) para el período 2080-2090 (Buytaert *et al.* 2009). La temperatura obtiene resultados consistentes, con un incremento de alrededor de 3°C en los Andes. Este incremento es menor que en la Amazonía, lo cual se debe probablemente a una inadecuada representación topográfica de la cordillera andina. La divergencia entre los modelos globales evidencia una correlación positiva con los cambios proyectados con valores alrededor de 3,5°C para los Andes Tropicales (Buytaert *et al.* 2009; Buytaert *et al.* in prep.). Los cambios proyectados en los patrones de precipitación son mucho más erráticos. Para el caso de Ecuador y la mayoría de los Andes colombianos, se proyecta un incremento en los valores anuales, con alzas tan altas como 300 mm/año. El norte de Colombia y los Andes venezolanos, una región dominada por los patrones climáticos del Caribe,

Figura 15. Promedio, rango y consistencia en la predicción de las anomalías de la temperatura (T) y precipitación (P) en los Andes Tropicales para el período 2080-2099, para el escenario de emisión A1B. Los mapas de la derecha muestran el porcentaje de los modelos que predicen un cambio positivo (un incremento en la precipitación junto con un incremento en la temperatura).

Datos tomados de Buytaert *et al.* (2009) y Buytaert *et al.* (in prep.).



evidencia una tendencia opuesta, con una reducción en los valores anuales de lluvia. No obstante, la discrepancia entre los modelos del IPCC es muy alta, llegando a 5.000 mm/año en los Andes Centrales ecuatorianos (Buytaert *et al.* in prep.).

h. Caracterizar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas áridos, particularmente de los bosques xerofíticos

- Ha sido reconocido que los ecosistemas áridos, en general, y particularmente los bosques xerofíticos en el Neotrópico, presentan comunidades biológicas características, altamente endémicas y en altos niveles de presión que los convierten en prioridades globales de conservación (Myers *et al.* 2000, Gillespie *et al.* 2000). Es necesario concentrar esfuerzos de investigación en estos ecosistemas para caracterizar, de forma adecuada, tanto la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas como los procesos principales de amenaza a su subsistencia (Peralvo *et al.* 2007).

i. Desarrollar programas de monitoreo de las comunidades epifitas

- Los pocos estudios sobre los posibles impactos del desplazamiento del banco de nubes en los bosques montanos sugieren un fuerte impacto en la comunidad de especies epifitas y animales sésiles (Nadkarni y Solano 2002; Foster 2001; Pounds *et al.* 1999), muchos de los cuales dependen del agua y de los nutrientes aportados por la lluvia horizontal. Esto pudiera tener un gran impacto en cambios en la composición de dicha comunidad y elevadas tasas de extinciones locales. No obstante, todos estos estudios preliminares han sido desarrollados en bosques pluviales, así que los impactos en los bosques xerofíticos y estacionales son inciertos. Sin embargo, por su mayor dependencia al agua de neblina en períodos de estiaje, es posible que estos impactos sean mayores. Es prioritario desarrollar programas de monitoreo de las comunidades epifitas como indicadores de respuesta rápida a los efectos del calentamiento global, que permitan evaluar y cuantificar la magnitud de estas afecciones en la biodiversidad y en el ciclo hidrológico en estos ecosistemas andinos.



Referencias

- Arnell, N.W., Livermore, M.J.L., Kovats, S., Levy, P.E., Nicholls, R., Parry, M.L., and Gaffin, S.R. (2004). *Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterising the SRES storylines*. *Global Environmental Change* 14: 3-20.
- Bader, M. Y., Rietkerk, M., Bregt, A. K. (2007a). *Vegetation structure and temperature regimes of tropical alpine treelines*. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 39, 353-364.
- Bader, M. Y., Van Geloof, I., Rietkerk, M. (2007b). *High solar radiation hinders tree regeneration above the alpine treeline in northern Ecuador*. *Plant Ecology* 191, 33-45.
- Balslev, H. (1988). "Distribution patterns of Ecuadorian plant species". *Taxon* 37: 567-577.
- Balslev, H., Forero, E. and Luteyn, J. (eds.). "Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests: Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium", *The New York Botanical Garden*, 21-26 June 1993. The New York Botanical Garden Press, pp 561-577.
- Benzing, D.H. (1998). "Vulnerabilities of tropical forests to climate change: the significance of resident epiphytes". *Climate Change* 39: 519-540.
- Bubb, P., May, I., Miles, L., and Sayer, J. (2004). *Cloud forest Agenda*. UNEP-WCMC. Cambridge, UK.
- Bush M. B., Silman, M.R., McMichael, C. and Saatchi, S. (2009). "Fire, climate change and biodiversity in Amazonia: a Late-Holocene perspective". *Phil. Trans. R. Soc* 363: 1795-1802.
- Buytaert, W., Celleri, R., Timbe, L. (2009). "Predicting climate change impacts on water resources in the tropical Andes: the effects of GCM uncertainty". *Geophysical Research Letters* 36: L07406.
- Buytaert W., Cuesta, F. and Tobón, C. (*In prep.*). *Potential climate change impacts on humid tropical alpine regions*.
- Bruijnzeel L. A. (2001). "Hydrology of tropical montane cloud forests: A reassessment". *Land Use and Water Resources Research* 1: 1.1-1.8.
- Bruijnzeel L. A. (1989). "Deforestation and dry season flow in the tropics: a closer look". *Journal of Tropical Forest Science* 1: 229-243.
- Bruijnzeel, L. A., and Hamilton L.S. (2000). "Decision Time for Cloud Forests". *IHP Humid Tropics Programme Series No. 13*. UNESCO Division of Water Sciences, Paris.
- Clapperton, C. M. (1993). "Quaternary Geology and Geomorphology of South America". *Elsevier Press. Amsterdam*, p. 795.
- Churchill, S.P., Balslev, H., Forero, E. and Luteyn, L. (eds.) (1995). "Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests". *Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium, the NYB*, 21-26 June 1993. The New York Botanical Garden Press, pp. 1-667.
- Debouck, D.G. and Libreros Ferla D. (1995). "Neotropical montane forests: a fragile home of genetic resources of wild relatives of new world crops". En: Churchill, S.P., Balslev, H., Forero, E. and Luteyn, L. (eds.) (1995). "Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests". *Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium, the NYB*, 21-26 June 1993. The New York Botanical Garden Press, pp. 1-667.
- Ellenberg, H. (1958). "Wald oder Steppe? Die natürliche Pflanzendecke der Anden Perus". *Umschau* 1958: 645-681.
- Emck, P., Muñoz Moreira, A. & Richter M. (2007). "El clima y sus efectos en la vegetación". En: Moraes, M., Øllgaard, B., Kvist, L.P.,

- Borchsenius, F. and H. Balslev (eds.). *Botánica Económica de los Andes Centrales*. La Paz, pp. 11-36.
- Fjeldså, J. y Krabbe, N. (1990). *Birds of the High Andes-A Manual to the Birds of the Temperate Zone of the Andes and Patagonia, South America*. Zoological Museum-University of Copenhagen and Apollo Books. Svendborg.
- Foster, P. (2001). "The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests". *Earth-Science Reviews* 55: 73-106.
- García-Moreno, J., Arctander P., and Fjeldså. J. (1999). "Strong Diversification at the treeline among Metallura hummingbirds". *The Auk* 116: 702-711.
- Gentry A. H. (1995). "Patterns of Diversity and Floristic Composition in Neotropical Montane Forests". En: Churchill, S.P., Balslev, H., Forero, E. and Luteyn J.L. (eds.) "Biodiversity and conservation of Neotropical Montane Forests" *Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium, the NYB*, 21-26 June 1993. The New York Botanical Garden, pp. 667.
- Gillespie, T. W., Grijalva, A., and Farris. C. N. (2000). "Diversity, composition and structure of tropical dry forests in Central America". *Plant Ecology* 147: 37-47.
- Groves, C. R. (2003). *Drafting a conservation blueprint – a practitioner's guide to planning for biodiversity. The Nature Conservancy*. Island Press. Washington D.C.
- Hofstede R.G.M. (1995). *Effects of Burning and Grazing on a Colombian Páramo Ecosystem*. Ph.D. thesis, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Jorgensen, P. M., and Leon Yanez S. (eds.) (1999). *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Cabrera, E., Chacón-Moreno, E., Ferreira, W. Peralvo, M., Saito, J. y Tovar, A. (2009). *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. 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. Lima.
- Jump, A. S., and Peñuelas, J. (2005). "Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change". *Ecology Letters* 8: 1010-1020.
- Keating, P. (1997). "Fire Ecology and Conservation in the High Tropical Andes: observations from Northern Ecuador". *Journal of Latin American Geography* 6: 43-62.
- Kessler, M., Herzog S. K., and Fjeldså J. (2001). "Species Richness and Endemism of Plant and Bird Communities along Two Gradients of Elevation, Humidity and Land Use in the Bolivian Andes". *Diversity and Distribution* 7: 61-67.
- Kessler, M. (2002). "The Elevational Gradient of Andean Plant Endemism: Varying Influences of Taxon-Specific Traits and Topography at Different Taxonomic Levels". *Journal of Biogeography* 29: 1159-1165.
- Kessler, M. (1995) "Present and potential distribution of *Polylepis* (Rosaceae) forests in Bolivia". En: Churchill, S. P., Balslev, H., Forero, E., and Luteyn, J. L. (eds.). *Biodiversity and conservation of Neotropical Montane forests*. New York Botanical Garden, pp. 281-294.
- Knapp, G. (1991). "Andean Ecology: adaptive dynamics in Ecuador". Boulder: Westview Press.
- Lauer W. (1989). "Ecoclimatological conditions of the páramo belt in the tropical high mountains". *Mountain Research and Development* 1: 209-221.
- Lambin E. F. H., Geist, J., and Lepers, E. (2003). "Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions". *Annual Review of Environment and Resources* 28:205-41.
- Loop L. L., and Giambelluca, T. W. (1998). "Vulnerability of island tropical montane forest to climate change, with special reference to East Maui, Hawaii". *Climate Change* 39: 503-517.
- Margules, C. R., y Pressey R. L. (2000). "Systematic conservation planning". *Nature* 405: 243-253.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., Kent, J. (2000). "Biodiversity hotspots for conservation priorities". *Nature* 403: 853-858.
- Peralvo, M., Sierra, R., Young, K., R., and Ulloa - Ulloa C. (2007). "Identification of biodiversity conservation priorities using predictive modeling: an application for the equatorial Pacific region of South America". *Biodiversity and Conservation* 16: 2649-2675.
- Pounds J. A., Fogden, M. P. L. y Campbell, J. H. (1999). "Biological response to climate change on a tropical mountain". *Nature* 398: 611-615.
- Pressey R. L. y Taffs, K. H. (2001). "Scheduling conservation action in production landscapes: priority areas in western New South Wales defined by irreplaceability and vulnerability to vegetation loss". *Biological Conservation* 100: 355-376.
- Pressey R. L., Logan V.S. (1998). "Size of selection units for future reserves and its influence on actual vs. targeted representation of features: a case study in western New South Wales". *Biological Conservation* 85, 305-319.
- Proyecto Páramo Andino (2009). *Implicaciones de la minería en los páramos de Colombia, Ecuador y Perú*. CONDESAN, pp. 1-73.
- Richardson, B. A., Richardson, M. J., Scatena F. N. and McDowell, W. H. (2000). "Effects of nutrient availability and other elevational changes on bromeliad populations and their invertebrate communities in a humid tropical forest in Puerto Rico". *J. Trop. Ecol.* 16: 167-188.
- Rivas-Martínez, S., Sánchez-Mata, D., and Costa, M. (1999). "North American Boreal and Western Temperate Forest Vegetation". *Itinera Geobotanica* 12: 5-316.
- Still, C. J., Foster, P. N., and Schneider, S. H. (S. A.). "Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests". *Nature* 398: 608-610.
- Simpson, B. B. (1975). "Pleistocene Changes in the Flora of the High Tropical Andes". *Paleobiology* 1: 273-294.
- Sugden, A.M. (1981). "Aspects of ecology of vascular epiphytes in two Colombian cloud forests: II. Habitat preferences of Bromeliaceae in the Serranía de Macuira". *Selbyana* 5: 264-273.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M. B., Sykes, M. T., Prentice, I. C. (2005). "Climate change threats to plant diversity in Europe". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102: 8245-8250.
- Tobón C., and Arroyave F. P. (2007). "Inputs by fog and horizontal precipitation to the páramo ecosystems and their contribution to the water balance". *Proceedings of the fourth international conference of fog, fog collection and dew*. July 22-27, 2007. La Serena, Chile, pp. 233-236.
- Tobón, C. (2009). *Los bosques andinos y el agua*. Serie investigación y sistematización #4. Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN. Quito.
- Van der Hammen, T. (1974). "The Pleistocene Changes of vegetation and Climate in Tropical South America". *Journal of Biogeography* 1: 3-26.
- Young K. R. and León. B. (1997). "Eastern slopes of Peruvian Andes". In CPD (1997) *Centres of Plant Diversity – The Americas*. Disponible en <http://www.nmnh.si.edu/botany/projects/cpd/>
- Young, K.R. (1992). "Biogeography of the montane forest zone of the eastern slopes of Peru". En: Young, K.R. and Valencia, N. (eds), *Biogeografía, ecología y conservación del bosque montano en el Perú*. Mem. Museo Hist. Nat. Vol. 21. UNMSM, Lima, pp. 119-140.
- Wassenaar, T., Gerber, P., Verburg, P.H., Rosales, M., Ibrahim, M., Steinfeld, H. (2007). "Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest". *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 17(1): 86-104.
- Webster, G. L. (1995). "The panorama of Neotropical cloud forests". En: Churchill, S.P., Balslev, H., Forero, E. and Luteyn, J. (eds.). "Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests". *Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium, The New York Botanical Garden*, 21-26 June 1993. The New York Botanical Garden, pp 53-77.

Agradecimientos

Las personas y organizaciones que apoyaron con la donación de sus fotografías para esta publicación son:

Jan Baiker, Philippe de Rham y Marco Guai-cha del Programa Regional ECOBONA-INTER-COOPERATION, Robert Hofstede, Hugo Navarrete, Luis Suárez —por facilitar el acceso al archivo fotográfico de Conservación Internacional - Ecuador— y Luis Albán —por facilitar el acceso al archivo fotográfico de Naturaleza y Cultura Internacional—.

Agradecemos también a las siguientes personas que han puesto a disponibilidad sus fotografías en el internet: Nina Hanusek, GORE, Bernardeta, Wikipedia, Plearn.



ECOBONA es un Programa Regional Andino de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación Internacional (COSUDE), implementado en Bolivia, Ecuador y Perú por la Fundación Suiza para el Desarrollo y la Cooperación Internacional (INTERCOOPERATION).

Trabaja para que las autoridades y la sociedad conozcan y valoren la importancia y potencialidad que tienen los Ecosistemas Forestales Andinos para el desarrollo económico y social.

El objetivo que persigue el ECOBONA es lograr que actores de nivel local, nacional y regional andino apliquen políticas, normas e instrumentos de gestión social de los recursos de Ecosistemas Forestales Andinos en las áreas geográficas priorizadas en cada país.

www.bosquesandinos.info

PROGRAMA REGIONAL
ECOBONA

inter
cooperation

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el desarrollo
y la cooperación COSUDE

CONDESAN
Conservación de la Diversidad Biológica
de los Bosques Andinos

Proyecto Páramo Andino
Conservación de la Diversidad en el Techo de los Andes



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Agencia Suiza para el desarrollo
y la cooperación COSUDE**

PROGRAMA REGIONAL
ECOBONA



inter
cooperation

Coordinación Nacional Bolivia

Calle Rosendo Gutiérrez 704, Sopocachi
Telf: (591-2) 2419565 / 2419585
Fax: (591-2) 2410735
La Paz, Bolivia

Dirección Regional

Coordinación Nacional Ecuador

Hernando Sarmiento N39-77 y Hugo Moncayo
Segundo piso
Telefax: (593-2) 2435887 / 2431886 / 2261475
Quito, Ecuador

Coordinación Nacional Perú

Av. Ricardo Palma 857, Miraflores
Telf: (511) 628 6152
Fax: (511) 241 4012
Lima 18, Perú

ISBN 978-9942-9966-0-2



9 789942 996602

www.bosquesandinos.info