

Panorama andino sobre cambio climático



Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales

Panorama andino sobre cambio climático

Vulnerabilidad y adaptación
en los Andes Tropicales



**COMUNIDAD
ANDINA**
SECRETARIA GENERAL



Coordinación general:

FRANCISCO CUESTA

Coordinador de la Iniciativa de Estudios
Ambientales Andinos CONDESAN
francisco.cuesta@condesan.org

MARÍA TERESA BECERRA

Responsable del Área de Medio Ambiente
Secretaría General de la Comunidad Andina
mtbecerra@comunidadandina.org

Editores

Francisco Cuesta¹, Macarena Bustamante¹, María Teresa Becerra²,
Julio Postigo³, Manuel Peralvo¹

¹ Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina (CONDESAN)

² Secretaría General de la Comunidad Andina (SGCAN)

³ The University of Texas at Austin

© 2012, CONDESAN, SGCAN

Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina – CONDESAN

OFICINA EN LIMA-PERÚ:

Mayorazgo 217, San Borja Lima 41
Tel. + 511 6189 400

OFICINA EN QUITO-ECUADOR:

Germán Alemán E 12-28 y Juan Ramírez
Tel. + 593 2 2469073/072

condesan@condesan.org
www.condesan.org

Secretaría General de la Comunidad Andina

Av. Aramburú - Cuadra 4, Esquina con Paseo de la República
San Isidro, Lima 27, Perú
Tel. + 51 1 7106400 / Fax: + 51 1 2213329
www.comunidadandina.org

Revisores

Kenneth Young, The University of Texas at Austin
Olivier Dangles Institut de recherche pour le développement (IRD)
Galo Medina Programa Ecobona – Intercooperation

Elaboración de mapas

Edwin Ortiz

Corrección de texto y estilo

Adolfo Macías

Diseño y diagramación

Verónica Ávila ✉ Activa Diseño Editorial

Se permite la reproducción de este libro para fines no comerciales,
siempre y cuando se cite la fuente.

Citas sugeridas:

Cita del libro: Cuesta, F., Bustamante, M., Becerra, M.T., Postigo, J., Peralvo, J. (Eds.) 2012.
Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales.
CONDESAN, SGCAN, Lima.

Cita de capítulos: Autores del capítulo. 2012. Título del capítulo. Pp. XX-XX, En: Cuesta, F.,
Bustamante, M., Becerra, M.T., Postigo, J., Peralvo, J. (Eds.) 2012. Panorama andino de cambio
climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales. CONDESAN, SGCAN, Lima.

Contenido

11

Presentación

13

Introducción: Cambio climático y los Andes Tropicales

19

Área de estudio

INTRODUCCIÓN . 19

LOS AMBIENTES NATURALES . 22

LAS SOCIEDADES ANDINAS . 31

37

Generación de escenarios desagregados del cambio climático para los Andes Tropicales

RESUMEN . 37

INTRODUCCIÓN . 38

LOS CAMBIOS EN EL CLIMA DE LOS ANDES: UNA BREVE REVISIÓN . 38

LOS MODELOS GLOBALES DE CLIMA Y SU INCERTIDUMBRE . 39

LA NECESIDAD DE LA DESAGREGACIÓN . 41

DATOS Y MÉTODOS . 43

RESULTADOS Y DISCUSIÓN . 45

PROYECCIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO DE LOS GCMS . 45

EVALUACIÓN DE LA DESAGREGACIÓN CON PRECIS . 54

CONCLUSIONES . 57

59

Síntesis de los impactos de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos en los Andes Tropicales y las estrategias de adaptación desarrolladas por los pobladores

RESUMEN . 60

INTRODUCCIÓN . 61

EL CLIMA E HIDROLOGÍA DE LOS ANDES TROPICALES . 62

LA DISPONIBILIDAD Y SUFICIENCIA DE AGUA EN LOS ANDES . 64

MÉTODOS . 69

ESTIMACIÓN DE IMPACTOS PROYECTADOS SOBRE RECURSOS HÍDRICOS EN LOS PAÍSES ANDINOS . 69

REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE ADAPTACIÓN Y VULNERABILIDAD EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LOS ANDES TROPICALES . 71

CAMBIOS CLIMÁTICOS ESPERADOS Y SU EFECTO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA . 72

DISPONIBILIDAD FUTURA DE AGUA: TENDENCIAS EN EL PROMEDIO ENTRE LOS MODELOS . 72

EL RANGO DE PROYECCIONES DE DISPONIBILIDAD DE AGUA: EL PROMEDIO OCULTA LOS VALORES EXTREMOS . 77

LA INCERTIDUMBRE EN LAS PROYECCIONES DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA FUTURA . 79

CONSIDERACIONES SOBRE ZONAS DE IMPORTANCIA EN LA REGULACIÓN HIDROLÓGICA EN LOS ANDES TROPICALES . 84

LA DEMANDA HÍDRICA EN LOS ANDES TROPICALES . 86

MAYOR DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO . 86

MAYOR DEMANDA DE AGUA PARA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA . 87

MAYOR DEMANDA PARA USO DOMÉSTICO URBANO Y RURAL . 90

IMPACTO DEL CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO A TRAVÉS
DE UN INDICADOR SENCILLO . 90

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN A CAMBIOS EN LA
DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LOS ANDES TROPICALES . 91

RESPUESTAS LOCALES ANTE VARIABILIDAD CLIMÁTICA . 94

RESPUESTAS LOCALES ANTE CAMBIOS HIDROLÓGICOS
Y EN EL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS . 96

RESPUESTAS LOCALES ANTE LA INCERTIDUMBRE
EXACERBADA POR EL CAMBIO CLIMÁTICO . 97

RESPUESTAS LOCALES PARA FORTALECER LOS MECANISMOS
DE ACCESO Y MEDIACIÓN DEL AGUA . 98

RESPUESTAS LOCALES PARA ENFRENTAR LA DEMANDA DE AGUA . 100

CONCLUSIONES . 101

103

Síntesis de los impactos y estado del conocimiento de los efectos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes Tropicales

RESUMEN . 104

ANTECEDENTES . 104

INTRODUCCIÓN . 105

MÉTODOS . 107

CAMBIO EN EL NICHOS CLIMÁTICO DE ESPECIES ANDINAS . 107

CAMBIOS EN LOS RANGOS CLIMÁTICOS DE DISTRIBUCIÓN
DE LOS BIOMAS ANDINOS . 109

SÍNTESIS DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LOS EFECTOS DEL
CAMBIO CLIMÁTICO EN LA BIODIVERSIDAD ANDINA . 111

RESULTADOS Y DISCUSIÓN . 112

PATRONES DE DIVERSIDAD ACTUALES Y FUTUROS . 112

IMPACTOS EN LA BIODIVERSIDAD A NIVEL DE BIOMAS . 125

CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO . 131

INVESTIGACIÓN Y MONITOREO . 132

MANEJO DE ESPECIES . 134

POLÍTICA Y PLANIFICACIÓN REGIONAL . 136

141

Adaptación y vulnerabilidad de los sistemas productivos andinos

RESUMEN . 142

INTRODUCCIÓN . 142

MÉTODOS . 145

ESTIMACIÓN DE IMPACTOS PROYECTADOS EN LOS CULTIVOS
DE LOS PAÍSES ANDINOS . 145

FUENTES DE VULNERABILIDAD Y ADAPTABILIDAD
DE LOS SP ANDINOS . 147

RESULTADOS . 149

PATRONES PREDOMINANTES DE IMPACTO . 149

FUENTES DE VULNERABILIDAD DE LOS SP ANDINOS . 157

FUENTES DE ADAPTABILIDAD DE LOS SP ANDINOS . 163

LA NATURALEZA SOCIAL Y POLÍTICA DEL CAMBIO
CLIMÁTICO: REFLEXIONES FINALES . 166

173

Acciones de adaptación promovidas por la cooperación internacional en los países andinos como respuesta a los impactos esperados del cambio climático

RESUMEN . 174

INTRODUCCIÓN . 175

MÉTODOS . 178

RESULTADOS . 180

CARACTERÍSTICAS DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN
PROMOVIDAS POR LA COOPERACIÓN . 180

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS ACCIONES DE
ADAPTACIÓN EN LA REGIÓN . 192

FINANCIAMIENTO PARA LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN
EN LA REGIÓN . 195

PRINCIPALES TENDENCIAS DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN
EN LA REGIÓN . 204

REFLEXIONES FINALES BAJO UN ENFOQUE
DE MANEJO ADAPTATIVO . 211

DEFINIR OBJETIVOS COMUNES A TRAVÉS DE LA PARTICIPACIÓN
DE ACTORES DEL ENTORNO INSTITUCIONAL . 213

MODELAR E INTEGRAR EL CONOCIMIENTO EXISTENTE,
IDENTIFICANDO VACÍOS E INCERTIDUMBRE . 214

ESTABLECER METAS EN BASE A LOS RECURSOS Y CONOCIMIENTOS
DISPONIBLES A DIFERENTES ESCALAS . 215

IDENTIFICAR MEDIDAS DE ADAPTACIÓN E IMPLEMENTARLAS . 216

FORTALECER EL MARCO POLÍTICO-INSTITUCIONAL ARTICULANDO ACCIONES
DE ADAPTACIÓN CON LAS HERRAMIENTAS DE DESARROLLO . 217

MONITOREO, EVALUACIÓN Y ESCALABILIDAD
DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN . 218

PRINCIPALES HITOS DE LAS NEGOCIACIONES INTERNACIONALES
SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO . 226

CRONOLOGÍA DE LAS NEGOCIACIONES SOBRE CAMBIO
CLIMÁTICO DESDE LA CUMBRE DE LA TIERRA EN RÍO DE
JANEIRO EN 1992, EN EL CONTEXTO DE LA CMNUCC . 228

DESCRIPCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA TEMÁTICA DE CAMBIO
CLIMÁTICO EN LOS PAÍSES DE LA SUBREGIÓN ANDINA . 233

PRINCIPALES MECANISMOS E INSTRUMENTOS DE
POLÍTICA DESARROLLADOS EN LOS 4 PAÍSES DE LA
SUBREGIÓN EN RESPUESTA A LA CMNUCC . 233

AVANCES REGIONALES EN EL MARCO DE ORGANISMOS
INTERGUBERNAMENTALES . 248

DISCUSIÓN . 254

PRINCIPALES TENDENCIAS IDENTIFICADAS EN LA EVOLUCIÓN DEL TEMA DE CAMBIO
CLIMÁTICO EN LA AGENDA POLÍTICA DE LOS CUATRO PAÍSES DE LA SUBREGIÓN. . 254

LOS RETOS FRENTE A LAS NECESIDADES DE ADAPTACIÓN . 258

EL ROL DE LOS ESTADOS DE LA SUBREGIÓN EN LA
GESTIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO . 259

NECESIDAD DE ARTICULACIÓN INTERSECTORIAL . 259

EL ROL DE LOS ORGANISMOS INTERGUBERNAMENTALES . 260

NECESIDADES DE ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS . 260

221 Marco institucional y normativo en los países de la subregión andina para abordar el tema de cambio climático en el marco de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático

RESUMEN . 222

INTRODUCCIÓN . 223

MÉTODOS . 225

RESULTADOS . 226

263 Adaptación al cambio climático en los Andes Tropicales —Discusión y conclusiones—

INTRODUCCIÓN . 263

IMPACTOS DIFERENCIADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LOS ANDES TROPICALES . 264

MECANISMOS QUE INTERACTÚAN CON LOS IMPACTOS
DEL CC Y LA CAPACIDAD DE RESPUESTA . 267

RESPUESTAS ADAPTATIVAS FRENTE AL CAMBIO
CLIMÁTICO EN LOS ANDES TROPICALES . 271

CERTEZAS PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL
CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO . 274

LIMITACIONES DE CONOCIMIENTO Y
VACÍOS DE INFORMACIÓN . 275

A. FALTA DE ESTUDIOS EMPÍRICOS Y EXPERIMENTALES
SOBRE PROCESOS ECOSISTÉMICOS . 276

B. ESTUDIOS DE IMPACTO BASADOS EN ENFOQUES DE
MODELAMIENTO CON SUPUESTOS GRANDES . 278

C. FALTA DE COMPRENSIÓN DE LA INTERACCIÓN ENTRE FACTORES
BIOFÍSICOS Y SOCIALES, ECONÓMICOS, INSTITUCIONALES. . 279

282 Glosario de términos

287 Literatura citada

Presentación

Los países de la Comunidad Andina han sido identificados como algunos de los más vulnerables en escenario de cambio climático, tanto por los efectos que se prevén en las costas ante el aumento del nivel del mar, como en las alteraciones que implica la elevación de la temperatura a lo largo de los gradientes altitudinales y sus impactos sobre ecosistemas naturales que hoy son determinantes en la provisión de servicios como el agua y el almacenamiento de carbono.

En instrumentos como la Agenda Ambiental Andina y la Estrategia Andina para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, los países han manifestado su compromiso en el desarrollo de acciones conjuntas para mejorar el conocimiento sobre los impactos del cambio climático, promover la implementación de medidas de adaptación, desarrollar acciones de mitigación y abrir espacios de intercambio de experiencias que fortalezcan las capacidades nacionales y subregionales en el tema.

El concepto de montañas es para los países de la Comunidad Andina un referente, si tenemos en cuenta la dinámica vertical de nuestro territorio. Sin embargo, el paisaje andino, también involucra zonas costeras, bosques amazónicos, valles secos y otros sistemas naturales y antrópicos que igualmente están influenciados por la dinámica que imponen las montañas en nuestro territorio. En este sentido, avanzar con el estudio de los efectos del cambio climático en los Andes Tropicales a escala subregional es una labor importante, por lo cual el desarrollo de este estudio evidencia la importancia de conocer con más profundidad lo que implica esta verticalidad en la Comunidad Andina en las estrategias de respuesta a los efectos del cambio climático, así como la necesidad de desarrollar análisis más específicos en sectores de interés, identificar vacíos de información y abrir espacios para compartir experiencias de proyectos de cooperación que se están desarrollando en la subregión a escalas locales, nacionales y regionales.

Santiago Cembrano
Director General



Introducción: Cambio climático y los Andes Tropicales

FRANCISCO CUESTA C.¹
MACARENA BUSTAMANTE¹
MARÍA TERESA BECERRA²
GABRIELA MALDONADO¹

¹ Estudios Ambientales Andinos, CONDESAN ✉ francisco.cuesta@condesan.org
² Secretaría General de la Comunidad Andina

Los ecosistemas de los Andes Tropicales, junto con los de la cuenca Amazónica, contienen más del 15% de la diversidad biológica del planeta (Brooks et ál. 2006, Langhammer et ál. 2007, Mittermeier et ál. 1998) y regulan los patrones climáticos del centro y norte del continente sudamericano (Hoorn et ál. 2010, Vuille 1999, Vuille and Bradley 2000). Esta enorme biodiversidad se explica por la heterogeneidad de los patrones bioclimáticos y físicos de la cordillera, los cuales se evidencian en sus gradientes ambientales y edáficas, así como por su historia geológica y climática (Gentry 1982, Kattan et ál. 2004). Estos mismos procesos han influenciado las prácticas y dinámicas de integración de las sociedades andinas desde hace aproximadamente 8.000 años, abasteciéndolas con recursos naturales que incluyen tierras para agricultura y ganadería, agua y riego para el desarrollo agrícola e industrial, y espacio para la conformación de sociedades organizadas (Young et ál. 2011; Josse et ál. 2009).

Es así como hoy en día este territorio contiene grandes extensiones de paisajes transformados, que conforman mosaicos donde se combinan diferentes usos de la tierra, desde centros urbanos con más de 6 millones de personas, hasta grandes

extensiones rurales que abarcan áreas para agricultura, ganadería y plantaciones forestales con especies exóticas (pinos y eucaliptus primordialmente). Solo las áreas más inaccesibles de los flancos externos de las cordilleras mantienen condiciones donde los paisajes naturales predominan y no se encuentran regidos por los patrones de uso de los recursos naturales. No obstante, la minería a gran escala y los frentes activos de deforestación del piedemonte amazónico, constituyen en la actualidad dos de los usos de la tierra que generarán, en el corto plazo, una mayor tensión, dada la complejidad que presentan las necesidades de conservación y la protección de la biodiversidad versus el desarrollo económico y la reducción de las inequidades sociales (Bebbington 1997, Bebbington et ál. 2008).

Las altas tasas de pérdida y fragmentación de los ecosistemas andinos debidas a la deforestación y la ampliación de la frontera agrícola, el desarrollo de gran infraestructura, la minería a gran escala y las proyecciones de un incremento de la temperatura en el orden de 2° a 4°C al final del presente siglo, plantean una gran disyuntiva respecto a la viabilidad futura de los sistemas sociales y ecológicos de los Andes, en particular de los pequeños agricultores andinos y otros grupos vulnerables (Adger et ál. 2003, Agrawal 2008). La evidencia de la exposición y sensibilidad de los Andes al cambio climático está siendo ya documentada a través del retroceso glaciar y sus posibles implicaciones en el abastecimiento de agua, en particular en las zonas más áridas de la cordillera andina, como el altiplano boliviano (Vergara et ál. 2007, Vuille et ál. 2008), o a través de las extinciones de muchas de las especies de anfibios del páramo y la puna (La Marca et ál. 2005, Pounds et ál. 2006).

La variabilidad climática ha sido parte de la vida de los pobladores rurales de los Andes, quienes han desarrollado continuamente estrategias para minimizar los riesgos asociados a variaciones del clima y del ambiente (Murra 1972, Brush 1976, , Guillet 1987, Knapp 1991, Gade, 1999, Stadel 2001, 2008, Denevan 2001).

Sin embargo, los cambios climáticos asociados al incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera involucran un rango de incertidumbre mayor, tanto para pobladores como para tomadores de decisión, con órdenes de magnitud de cambio en tiempos mucho más cortos. Ello limita aún más la capacidad adaptativa de los pobladores y aumenta su vulnerabilidad (Alley et ál. 2003, IPCC 2007, Adger 2006).

No obstante, aparte de un claro y documentado incremento en la temperatura del aire durante las últimas décadas (Soares and Marengo 2009, Vuille et ál. 2008), nuestro grado de comprensión sobre el futuro climático de la cordillera es todavía incierto; más aun lo son los efectos y respuestas de los ecosistemas, organismos y sociedades humanas a estas nuevas condiciones climáticas, y su capacidad de adaptación. En este contexto, los análisis de vulnerabilidad y el desarrollo de estrategias de adaptación bajo un enfoque de manejo adaptativo han sido propuestos por la comunidad mundial como las herramientas adecuadas para incrementar la capacidad de resiliencia de las sociedades y disminuir los efectos y costos asociados a estos cambios (IPCC 2007).

En los Andes, las prácticas de adaptación se entienden como las respuestas o ajustes de una sociedad o sistema ante cambios ambientales, sociales, económicos e institucionales, dirigidas a reducir la vulnerabilidad y mejorar la resiliencia de los sistemas socioecológicos (Valdivia y Quiroz 2003, Stadel 2008). La resiliencia se refiere a la capacidad de un sistema –social o ecológico– para absorber las perturbaciones y mantener las funciones esenciales y estructuras, al mismo tiempo que es capaz de auto-organizarse, aprender y adaptarse (Walker et al, 2004; Folke, 2006; Adger et ál. 2005;). Por lo tanto, la resiliencia se refiere no sólo a la capacidad de absorber perturbaciones, sino también a la capacidad para aprovechar las oportunidades para renovarse, evolucionar y emerger con nuevas trayectorias (Folke, 2006: 259). En la mayoría de los casos documentados



en la región, el término vulnerabilidad se refiere al grado en que un sistema o comunidad puede soportar y sobreponerse a los cambios a los que está expuesto, revelándose dos fuentes de vulnerabilidad: la exposición al cambio, casi siempre de tipo ambiental o biofísico, y la sensibilidad del sistema, determinada por las características socio-económicas inherentes de comunidades o individuos (Smit and Wandel 2006, IPCC 2007).

En este marco, se impulsan actualmente en la región Andina numerosas iniciativas de adaptación a escala regional, nacional o local, promovidas principalmente por la cooperación internacional. Estas iniciativas no siempre consideran que la vulnerabilidad es un concepto inherentemente diferencial, ya que los riesgos o cambios —y la habilidad de sobrellevarlos— varían geográficamente, tanto entre los diferentes grupos humanos como al interior de cada uno de ellos. Además, no necesariamente se tiene en cuenta que la vulnerabilidad es un concepto dinámico, y como tal, puede cambiar con el tiempo ya que las estructuras y condiciones subyacentes cambian (e.g., pobreza, acceso al agua, migraciones). Debido a estas limitaciones, existe una preponderancia de iniciativas que contemplan acciones poco articuladas con procesos y características locales que apunten a fortalecer aspectos estructurales de la vulnerabilidad, como son la prosperidad, la tecnología, la educación, la información, el fomento de habilidades, la infraestructura, el acceso a recursos, la estabilidad y el fortalecimiento de las instituciones locales (Adger et ál. 2003, Folke et ál. 2002).

En ese contexto, el análisis de la capacidad de adaptarse a la variabilidad climática y situaciones extremas (e.g., sequías o inundaciones severas) puede ayudarnos a inferir la capacidad de respuesta de las sociedades andinas ante cambios climáticos futuros (e.g., cambios de regímenes de precipitación, incremento de la temperatura). Garantizar el mantenimiento de los servicios ecosistémicos en los Andes en el contexto de la incertidumbre asociada al cambio climático, es el gran desafío para tomadores de decisión en la región. Mientras que, para los pobladores andinos, el reto es desarrollar estrategias de adaptación que conjuguen prácticas y conocimientos tradicionales, el fortalecimiento de sus formas de organización social, y el desarrollo de infraestructura para solventar los cambios ambientales, sociales e institucionales que afectan su resiliencia.

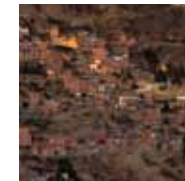
Si bien, tanto el financiamiento como la publicación de los procesos y resultados de estas iniciativas han incrementado en los últimos años, aún existen vacíos conceptuales y limitaciones de conocimiento considerables (Vogel et ál. 2007, Vos et ál. 2008, Wilbanks and Sathaye 2007). Al margen de los esfuerzos de generación de información promovidos y de los procesos institucionales desarrollados por cada uno de los países andinos en relación a la temática del cambio climático, la región andina aún no cuenta con información suficiente o una línea base robusta que alimente el desarrollo de análisis de vulnerabilidad detallados y su posterior utilización en el diseño de acciones de adaptación a múltiples escalas.

En este marco, el estudio Panorama Andino sobre Cambio Climático fue concebido con el propósito de contribuir a documentar y analizar el estado actual del

conocimiento sobre los impactos del cambio climático en los Andes Tropicales, las respuestas promovidas desde la cooperación internacional como acciones de adaptación, y los ajustes institucionales adoptados por los países andinos en el marco de los acuerdos internacionales. Se priorizaron tres líneas temáticas relevantes para los Andes Tropicales: recursos hídricos, biodiversidad, y sistemas productivos. Los estudios partieron de la revisión y análisis de la literatura científica y estudios técnicos disponibles, así como del desarrollo de análisis de impactos construidos a partir de datos climáticos y ambientales disponibles. También fue necesaria la recopilación de información sobre las acciones de la cooperación y sobre las dinámicas institucionales de los países andinos asociadas a la temática del cambio climático.

Con base en los resultados de este trabajo, esta publicación ha sido estructurada en 7 capítulos, cada uno de ellos es una síntesis de las temáticas abordadas. Así, el Capítulo 2 presenta el área de estudio comprendida por los Andes Tropicales, donde se documenta la alta heterogeneidad ambiental y social de la cordillera. El Capítulo 3 presenta una descripción de los escenarios globales de cambio climático, su aplicación y limitaciones para una región geográficamente compleja como los Andes. Los capítulos 4, 5 y 6 reportan ejercicios de modelamiento sobre los posibles impactos del cambio climático en el agua, biodiversidad y un grupo representativo de cultivos andinos. Estos ejercicios son complementados y contrastados a partir revisiones de literatura científica sobre las respuestas de adaptación, primordialmente endógenas, generadas por los pobladores andinos como mecanismo para identificar y sintetizar las principales fuentes de vulnerabilidad y adaptación de los sistemas agrícolas.

El Capítulo 7 presenta una sistematización de las acciones (programas y proyectos) de adaptación promovidas por la cooperación internacional en la región andina con énfasis en los ejes temáticos priorizados. El Capítulo 8 describe los avances respecto de la institucionalidad y estrategias nacionales de los países de la Comunidad Andina en respuesta a los compromisos adquiridos ante la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático, como una contribución a mejorar la articulación entre las acciones de la sociedad civil y la gestión pública en torno al tema. Finalmente, el Capítulo 9 presenta una discusión articulada de las principales conclusiones del conjunto de investigaciones generadas, junto con unas recomendaciones concretas para mejorar la capacidad adaptativa frente al cambio climático en la región andina. Este capítulo incluye una propuesta de una agenda aplicada de investigación para mejorar la base del conocimiento e información sobre las relaciones entre las sociedades rurales andinas y los ecosistemas que las sustentan, como base para implementar un enfoque de manejo adaptativo que permita enfrentar la incertidumbre que el cambio climático implica para la región.





Área de estudio

FRANCISCO CUESTA¹
JULIO POSTIGO^{2,3}
MACARENA BUSTAMANTE⁴

¹ Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos – CONDESAN ✉ francisco.cuesta@condesan.org

² The University of Texas at Austin

³ Centro Peruano de Estudios Sociales – CEPES

⁴ Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos – CONDESAN

INTRODUCCIÓN

El área de estudio de Panorama Andino ha sido definida como la subregión de los Andes Tropicales conformada por las regiones montañosas de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, abarcando una extensión cercana a los 4.000 Km de norte a sur, desde los 11°N desde la sierra del Perijá en Venezuela y Colombia hasta los 23°S en Bolivia. El límite sur del área de estudio corresponde a una delimitación política, y no así al límite biogeográfico de los Andes Tropicales, que se extienden hasta los 27° S en el noroccidente de Argentina. El límite altitudinal establecido coincide con los primeros ecosistemas extra-andinos colindantes que alcanzan una elevación aproximada de 600 metros, con algunas variaciones según la vertiente y la ubicación latitudinal (Figura 1).

El área de estudio abarca una extensión aproximada de 1,52 millones de km², de los cuales cerca del 78 por ciento (1.181.000 km²) corresponde a áreas naturales, mientras que el 22 por ciento restante (333.400 km²) ha sido transformado a otras coberturas y usos (e.g., pastos y agricultura). La distribución de las áreas no-naturales es asimétrica en la región, con una mayor concentración en los Andes del Norte que en los del Centro. En los Andes del Norte la superficie transformada (236.680 km²) es mayor que el área que ocupa la vegetación remanente (197.630 km²), mientras que en los Andes Centrales la transformación es más sutil, llegando a discriminarse apenas el 9 por ciento de su superficie como áreas transformadas (Josse et ál. 2009). No obstante, extensas áreas de la puna y los valles interandinos de Bolivia y Perú se encuentran sutilmente modificadas por los regímenes de pastoreo y agricultura de autoconsumo con sistemas de rotación, lo que dificulta nuestra capacidad de discriminación entre las áreas naturales respecto de las áreas de uso humano. En muchos casos estos sistemas productivos junto con el fuego asociado al pastoreo, controlan la dinámica y composición de la vegetación natural de la puna pero no llegan a cambiar el carácter de la cobertura para ser clasificada como otro tipo de coberturas y los usos humanos asociados.

Los Andes Tropicales albergan los ecosistemas tropicales de altura más diversos del mundo, con 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 2000) (Tabla 1). La alta singularidad de estos ecosistemas es el resultado combinado de su historia geológica y climática (Fjeldsá 1995, Gentry 1995), lo que ha permitido el desarrollo de sistemas naturales a partir de un conjunto de adaptaciones evolutivas determinadas por gradientes ambientales pronunciadas (García-Moreno et ál. 1999, Kessler et ál. 2001).

Estos ecosistemas proveen servicios fundamentales para los países andinos. Los Andes Tropicales acogen a más de 40 millones de personas agrupadas en ciudades importantes y poblados –tanto urbanos como rurales– asentados a lo largo de la cordillera, que dependen de la provisión de agua para el consumo humano y la generación de energía hidroeléctrica (Bradley y Mustard 2006, Buytaert et ál. 2006a, Vergara et ál. 2007a). Adicionalmente, la provisión de agua para los sistemas productivos es un elemento clave para la seguridad alimentaria y el bienestar, en particular de los pequeños agricultores que dependen de estos servicios ecosistémicos para el mantenimiento de sus formas de vida (Young y Lipton 2006). Tomando en cuenta que muchas regiones en los Andes Tropicales se caracterizan por elevados índices de marginalidad y pobreza, esto implica una mayor connotación como áreas vulnerables a cambios ambientales, incluido el cambio climático (Adger et ál. 2003).

FIGURA 1. **Distribución de los biomas andinos en el área de estudio.**

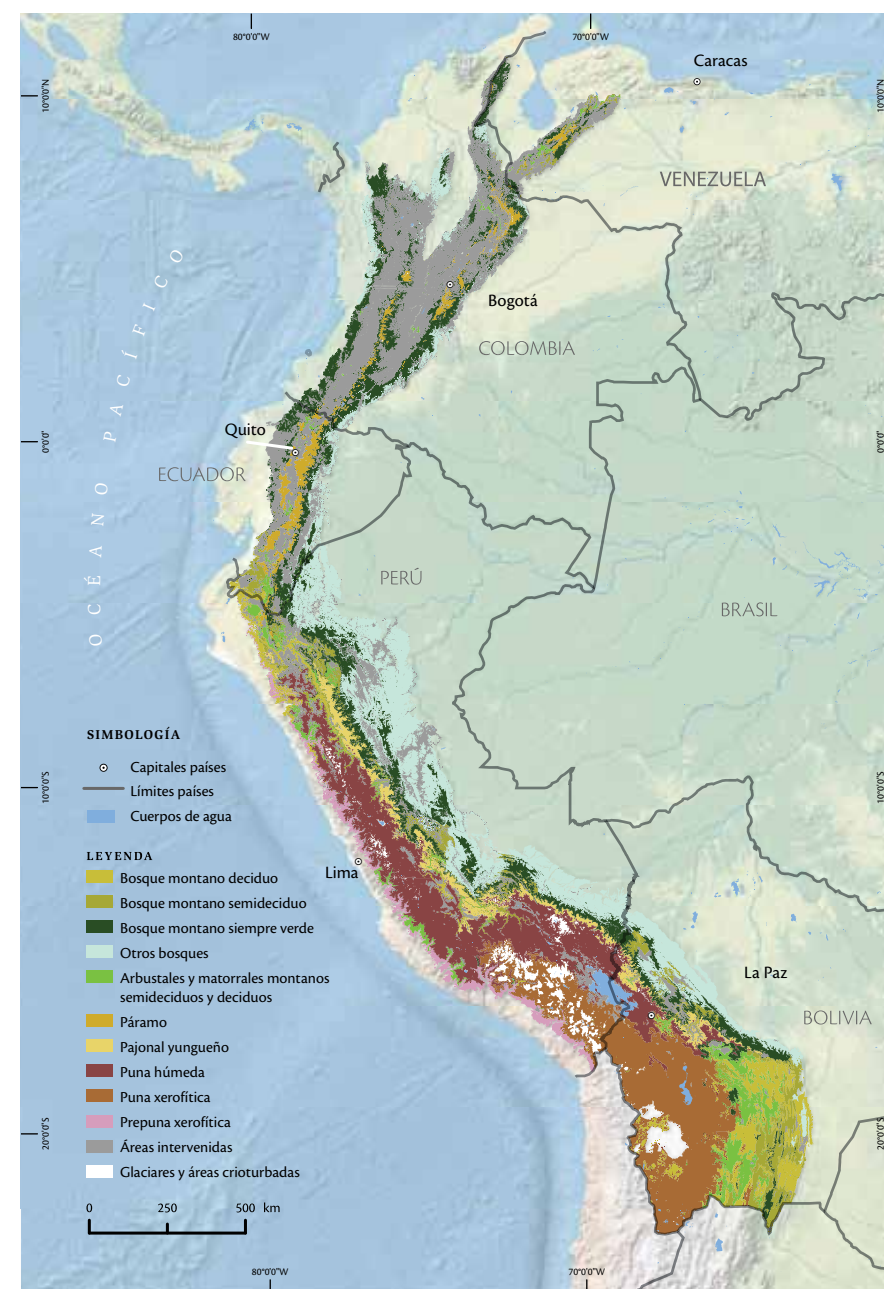


TABLA 1. **Diversidad y endemismo en los Andes Tropicales**

| Taxa | Especies | Especies endémicas | Porcentaje de endemismo |
|---------------------|----------|--------------------|-------------------------|
| Plantas vasculares | 45.000 | 20.000 | 44,4 |
| Mamíferos | 570 | 75 | 13,2 |
| Aves | 1.724 | 579 | 33,6 |
| Reptiles | 610 | 275 | 45 |
| Anfibios | 981 | 673 | 69 |
| Peces de agua dulce | 380 | 131 | 35 |

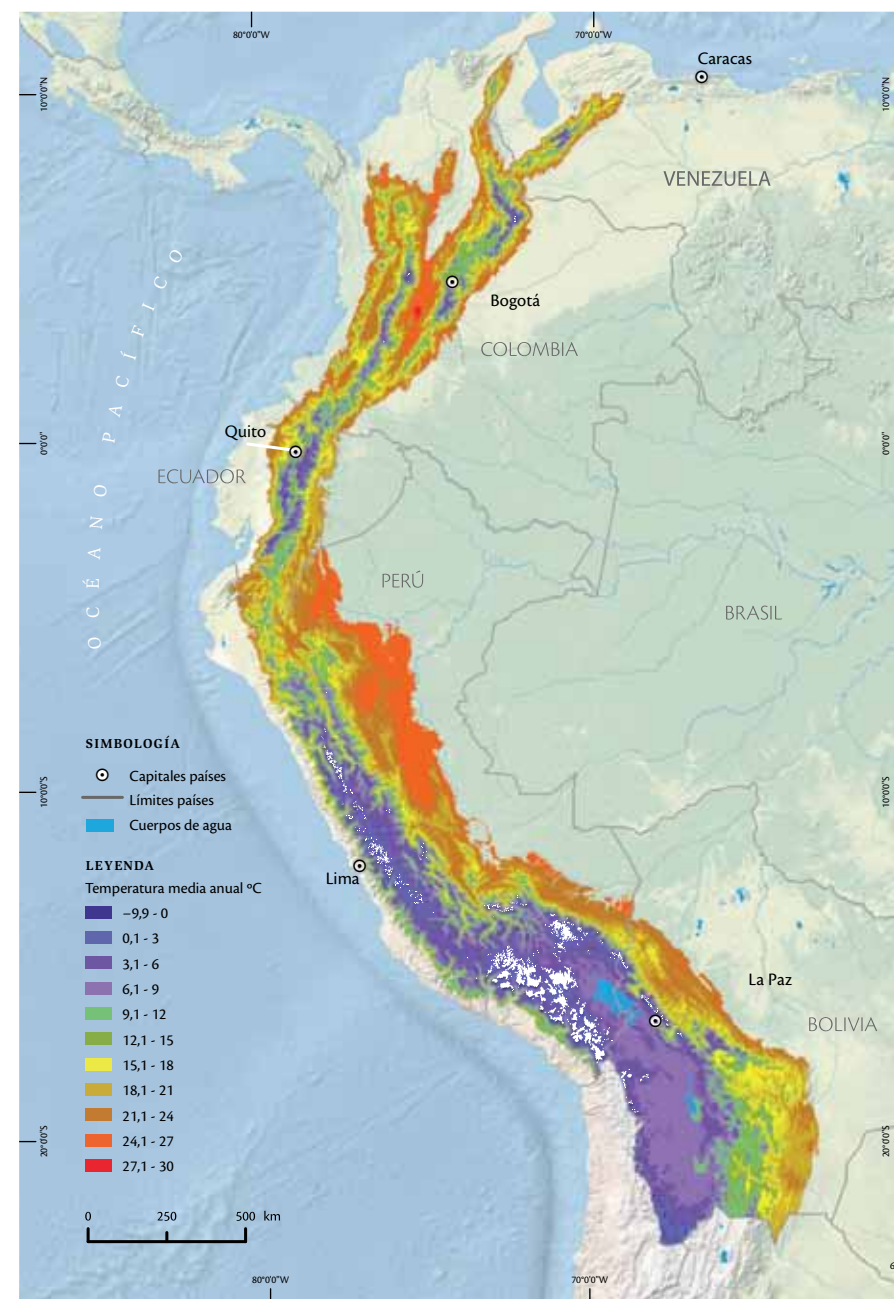
Fuente: Myers et ál. (2000), Mittermeier et ál. (2004)

LOS AMBIENTES NATURALES

La estructura y fisonomía de la vegetación en los altos Andes está determinada, en gran medida, por la interacción entre la temperatura, la precipitación y los vientos, que también controlan otros factores como la humedad. La variabilidad de temperatura en los Andes Tropicales depende principalmente de dos aspectos: el gradiente altitudinal y la humedad del aire, aspecto fuertemente controlado por las condiciones locales de la orografía andina (Smith y Young 1987). La tasa de cambio en el promedio de temperatura con respecto a la altitud está típicamente entre 0.6 y 0.7 °C por cada 100 metros de variación altitudinal (i.e. lapso de proporción; (Buytaert et ál. 2009, Hooghiemstra y van der Hammen 2004). La humedad del aire disminuye tanto el lapso de proporción, como también la variación diaria de temperatura, por lo que las regiones más húmedas tienden a tener menor fluctuación térmica diaria y anual (Smith y Young 1987). La temperatura promedio anual en los Andes Tropicales alcanza valores sobre los 27 °C en los valles interandinos xéricos de Colombia (e.g., valle del Patía o en el Magdalena medio) o en los límites orientales de los Andes peruanos (Figura 2). Conforme los Andes ganan altura, la temperatura promedio anual decrece a una proporción de ~ 1,2 grados por cada 1.000 metros de altitud hasta llegar a los ambientes alpinos tropicales de los páramos y las punas, los cuales ocurren a temperaturas que oscilan entre los 3 y 9 °C (Figura 2).

Contrariamente a la temperatura, la precipitación en los Andes no sigue un patrón lineal sino que está determinada por la orografía andina y la influencia de los vientos prevalecientes localmente, lo que determina su alta variabilidad temporal y espacial (Buytaert et ál. 2010a). La circulación del aire en los Andes Tropicales está influenciada por la interacción de la Zona de Interconvergencia Tropical (ITCZ por sus siglas en inglés) con los factores locales orográficos que controlan el clima, debido al enfriamiento adiabático de las columnas calientes de aire y los factores de convección producto de cambios en la temperatura diaria. Los vientos tropicales del Este (“tradewinds”) traen masas de aire húmedo que chocan con el piedemonte de la vertiente externa de los Andes orientales a lo largo del año (Vuille y Bradley 2000, Vuille et ál. 2003). Los valles interandinos tienen una

FIGURA 2. **Temperatura media anual en los Andes Tropicales.**



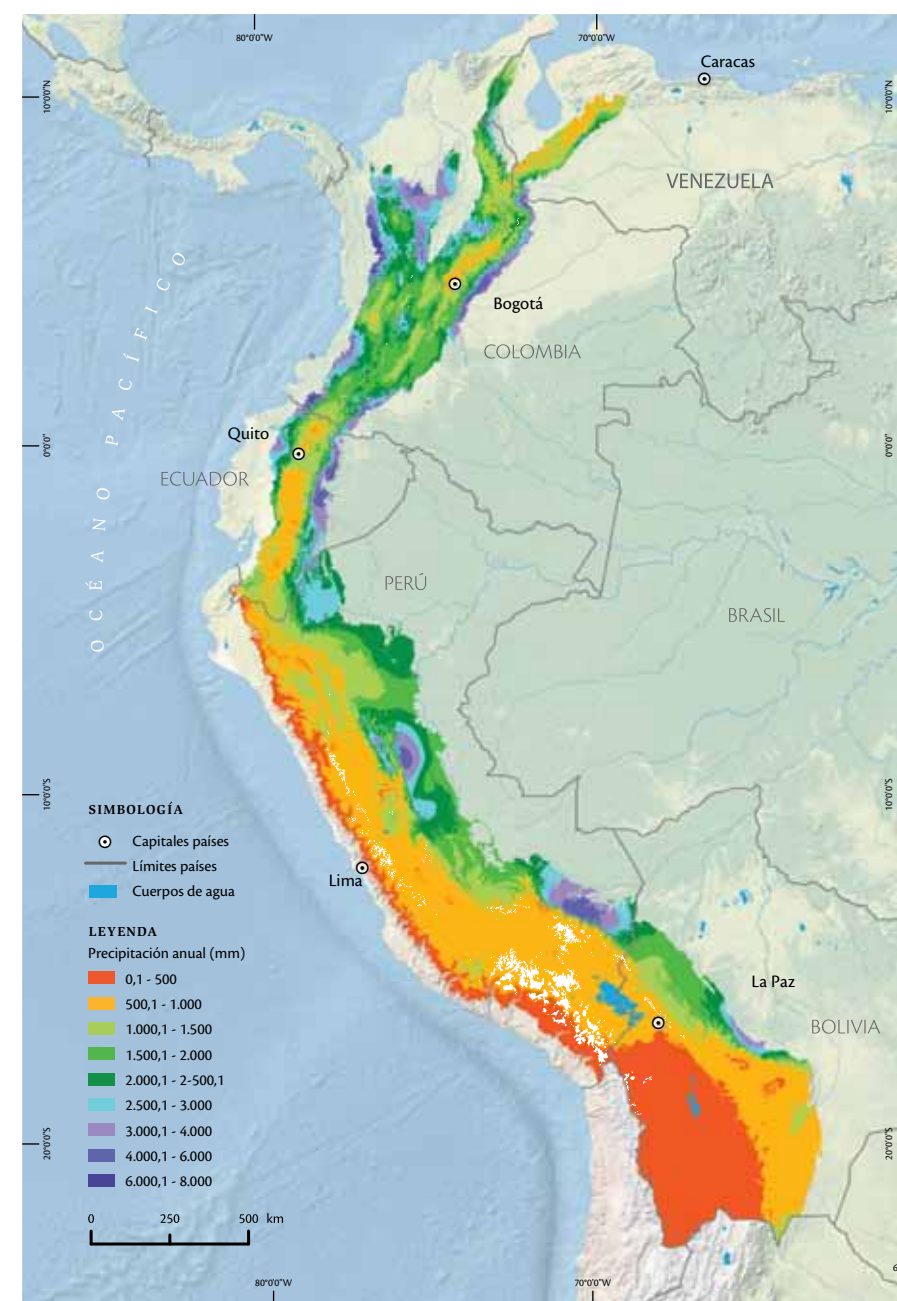
Fuente: worldclim (<http://www.worldclim.org/>)

gran diversidad de climas debido a las diferencias de altitud en distancias cortas y a los efectos de la sombra de lluvia (Kessler et ál. 2001, Killeen et ál. 2007). Los registros climatológicos para el período 1960-2000 reportan una alta variabilidad con valores inferiores a los 200 mm al año, en la puna xerofítica, hasta los 4.000 mm en los flancos externos de las cordillera oriental y occidental, y con valores extremos (> 4.000 mm) en áreas muy específicas de los bosques (Hijmans et ál. 2005b, Jarvis y Mulligan 2011, Killeen et ál. 2007) (Figura 3).

Los Andes Tropicales evidencian un gradiente de humedad decreciente de norte a sur –a excepción de Venezuela, que está expuesta a vientos convergentes del Atlántico y el Caribe, generando un sistema marcadamente estacional con características pluviestacionales subhúmedas a secas (Ataroff y Sarmiento 2003)–. En los Andes de Colombia y Ecuador, los flancos occidentales inferiores están influidos principalmente por las masas de aire originadas en el Pacífico, mientras que la cordillera oriental está dominada por vientos húmedos del Atlántico Tropical y de la cuenca amazónica, por lo que predominan los climas pluviales húmedos a hiperhúmedos (Vuille y Bradley 2000). Los valles interandinos de los Andes del Norte localizados entre las cordilleras se encuentran expuestos a influencias variables entre las masas de aire oceánicas y continentales con dos períodos de lluvia entre febrero-mayo y octubre-noviembre. Por el contrario, dos períodos de estiaje son claramente definibles; el primero se extiende de junio a septiembre y es mucho más pronunciado que el segundo, el cual ocurre entre diciembre-enero. Conforme las masas de aire pierden su humedad en los flancos externos de las cordilleras, se genera un efecto de sombra de lluvia que define valores de precipitación anuales relativamente bajos que fluctúan entre 800 a 1.500 mm al año (Vuille y Bradley 2000, Vuille et ál. 2003). Debido a estas condiciones, los valles interandinos suelen formar enclaves pluviestacionales secos con vegetación xerofítica (precipitación < 800 mm/año) que en muchos casos actúan como barreras biogeográficas (García-Moreno et ál. 1999, Schuchmann et ál. 2001).

Los Andes Centrales tienen una estacionalidad mucho más marcada, que está claramente sectorizada entre el régimen de humedad dominante en los Andes orientales respecto de la aridez de la cordillera occidental a partir de los 15°S hasta los 22°S. En los Andes Centrales, la cordillera alcanza una elevación promedio de 3.500 a 4.000 m, lo que los convierte en una barrera que separa y define las diferencias en el clima de ambas cordilleras. Hacia el oeste, los anticiclones del Pacífico Sur generan condiciones estables y secas, que determinan que la humedad en las masas de aire no precipite, resultando en el clima más seco del mundo a lo largo de la puna xerofítica de Bolivia (Vuille y Bradley 2000). Hacia el Este, en el interior del continente, las condiciones climáticas cálidas del Chaco predominan durante los meses de verano (diciembre-marzo), lo que determina condiciones ambientales húmedas y cálidas, donde los bosques montaños de las Yungas presentan patrones de humedad comparables con sus contrapartes septentrionales. Durante el resto de meses del año (abril-noviembre) predomina la influencia de las masas frías de aire del sur del continente, fijando la ocurrencia de la estación seca, razón por la cual muchos de los bosques montaños de la cordillera oriental de Bolivia (e.g., Tarija, Cochabamba) presenten características

FIGURA 3. Patrones de precipitación anual en los Andes Tropicales.



Fuente: worldclim (<http://www.worldclim.org/>)

semidecíduas propias de la provincia biogeográfica Boliviana-Tucumana (Navarro 2011, Josse et ál. 2009). La precipitación en el Altiplano está asociada con un verano dominado por fuertes convecciones térmicas diarias y flujos de humedad provenientes de la cuenca amazónica (Garreaud et ál. 2003). Más del 80 por ciento de la precipitación anual (350-400 mm) ocurre durante los meses de verano, comúnmente durante la tarde y noches por efectos de convección térmica debido a la alta radiación solar del Altiplano (Vuille 1999).

La gran diversidad de los Andes Tropicales puede ser caracterizada de manera sencilla en siete grandes biomas que estructuran el paisaje andino: (1) los páramos, (2) la puna mesofítica, (3) la puna xérica o xerofítica, (4) los bosques montanos (pluviales, semidecíduos y decíduos), (5) los valles interandinos, (6) prepuna xerofítica y (7) glaciares-áreas crioturbadadas (Cuesta et ál. 2009a) (Figura 1).

El páramo se extiende desde Venezuela hasta los 6° Sur en la depresión de Huanca-bamba, Perú, formando islas confinadas a las cumbres de los volcanes y montañas andinas, representando un archipiélago continental rodeado, generalmente, de bosques montanos (Sklenář et ál. 2005). El páramo está caracterizado por condiciones de una elevada humedad relativa (> 40%) –con notables excepciones– y pequeños cambios estacionales en las medias máximas (12°C) y medias mínimas (8°C) mensuales de temperatura a lo largo del año, pero con una gran amplitud térmica diaria mayor a los 20°C (Buytaert et ál. 2006a). Estos ecosistemas reportan una alta diversidad de especies de plantas vasculares (3.595 especies distribuidas en 127 familias y 540 géneros de los cuales 14 son endémicos de los Andes del Norte) (Sklenář et ál. 2005). Los páramos juegan un papel fundamental en sostener las formas de vida de millones de personas, proveyéndoles de bienes y servicios ambientales tales como la producción de agua para consumo,

riego y generación de energía, tierra fértil para producción agrícola, entre otros (Bradley et ál. 2006, Buytaert et ál. 2006a). Por otra parte, los páramos son reconocidos por ser un importante depósito de carbono almacenado en forma de materia orgánica del suelo (promedio de 100 g/Kg). El proceso de descomposición es tan lento que, a pesar de que los reservorios de hojarasca y biomasa aérea son muy bajos, la materia orgánica (MO) se acumula en el suelo y puede alcanzar los 60 kg C/m², ubicándose entre los suelos con las mayores reservas de carbono en el mundo (Farley 2010, Farley y Kelly 2004).

La puna corresponde a los ecosistemas altoandinos del centro del Perú y Bolivia hasta el límite de los Andes Tropicales en el noroeste de la Argentina (Josse et ál. 2009, Smith y Young 1987). La puna puede ser dividida en dos grandes tipos de vegetación o biomas, la puna mesofítica o húmeda y la puna xerofítica o seca (Navarro 2011).

La puna mesofítica se encuentra distribuida desde el centro-norte de Perú (~ 11° S) hasta el centro de la Cordillera Oriental de Bolivia en una superficie aproximada de 183.500 km², equivalente al 12% del área de estudio. Se extiende por las altas cordilleras tropicales de los Andes Centrales, e incluye la gran cuenca altoandina del Lago Titicaca hasta las cordilleras de Cochabamba en Bolivia (e.g., Tunari, Tiraque). En conjunto, predominan los bioclimas pluviestacionales húmedos a subhúmedos. La vegetación está actualmente dominada por sistemas de pajonales y matorrales, cuya flora es notablemente diversa en especies junto con remanentes de bosques de *Polylepis* spp. Estos pajonales ocurren en condiciones estacionales, es decir, se encuentran adaptados a los meses del año en los cuales las lluvias son mucho más escasas, llegando a crearse condiciones de déficit hídrico en las que la evo-transpiración es mayor que el ingreso de agua por precipitación (Navarro 2011). Durante esa época, las plantas reducen mucho



su producción de biomasa y crecimiento, llegando a secarse y perder parte de sus hojas (Josse et ál. 2009).

La puna xerofítica, de gran extensión en el centro de los Andes, se distribuye fundamentalmente en el centro-sur del oeste de Bolivia y en el noroeste de Argentina, con extensiones menores en zonas adyacentes del suroeste de Perú y noreste de Chile, abarcando una superficie de 100.000 km², equivalente al 6,5% del área de estudio (Josse et ál. 2009, Navarro 2011). Incluye la gran meseta del Altiplano andino, con una altitud promedio de 3800 m, situada en la zona más ancha de toda la cordillera de los Andes. Al estar situada latitudinalmente en el área de influencia del cinturón de altas presiones subtropicales, el clima de la puna xerofítica es marcadamente estacional, con una época seca muy intensa y fría, que se acentúa notablemente hacia el sur y hacia el oeste. Predominan los bioclimas xéricos secos y semiáridos (Josse et ál. 2009). La vegetación de la puna xerofítica está notablemente diversificada, presentando 20 ecosistemas restringidos a esta región geográfica (Navarro 2011). Entre ellos se destacan los grandes salares del Altiplano, que son probablemente los ecosistemas salinos de alta montaña más extensos de la Tierra y con una gran cantidad de especies de plantas vasculares endémicas de los géneros *Festuca*, *Nototriche*, *Arenaria*, *Draba*, *Parastrephia* entre otros (Josse et ál. 2009).

Por sus características geológicas y climáticas, tanto la puna mesofítica como la xerofítica albergan grandes extensiones en torno a lagunas y cursos de agua (~ 50.000 km²). El agua fresca y medianamente salina de los bofedales proviene de agua subterránea asociada a riachuelos que se originan de glaciares, derretimiento de nieve y lluvia. Estos bofedales son entidades únicas, extremadamente frágiles por su dependencia del agua, sensibles a los cambios climáticos y vulnerables a la alteración humana, como es el caso de la actividad minera en la región. Dichos ecosistemas alcanzan en este paisaje su mayor extensión y representatividad dentro del conjunto de los Andes Tropicales. Al igual que los páramos, las turberas o bofedales están marcados por la influencia de bajas temperaturas y humedad ambiental que reducen drásticamente las tasas de descomposición de materia orgánica, por lo que acumulan cantidades importantes de carbono orgánico (~ 500 toneladas/Ha), lo cual contribuye en su alta capacidad de regulación y provisión de agua (Squeo et ál. 2006). Esto ha estimulado la agricultura semi-intensiva y el desarrollo de pastizales adecuados para la crianza de ganado vacuno, vicuñas y alpacas. Por ello no es extraño que esta zona sea una de las más pobladas de toda la puna (Josse et ál. 2009).

Los bosques montanos cubren la mayor superficie de áreas naturales en los Andes Tropicales (336.800 km² equivalente al 23% del área de estudio) y constituyen el paisaje matriz dominante. Se extienden desde el piedemonte (600 ± 100 msnm) hasta el límite arbóreo –que varía de acuerdo con la latitud y la historia de uso del suelo, pero que generalmente se encuentra sobre los 3.500 m de elevación (Webster 1995, Lauer 1989). Este bioma se distribuye a lo largo de los flancos de las vertientes externas e internas de las cordilleras en los Andes del Norte. 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. En los Andes Centrales, adoptan el nombre local de Yungas y se encuentran restringidos principalmente al flanco exterior de la cordillera oriental (Cuesta et ál. 2009a).

El clima de los bosques montanos es altamente variable entre localidades, con un promedio de precipitación de ~ 2000-2600 mm/año y una temperatura promedio anual de 14-18 °C. Por otro lado, los ecosistemas montanos deciduos y semideciduos ocurren en ambientes con precipitaciones anuales inferiores a los 1000 mm pero con patrones de temperaturas similares a las de sus contrapartes siempreverdes (Jarvis y Mulligan 2011). Los bosques montanos generalmente se subdividen en tres grandes grupos de acuerdo a sus patrones bioclimáticos: bosques siempreverdes o de neblina, bosques semi-deciduos y deciduos (Figura 1).

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 ál. 2004). Específicamente, los bosques montanos siempreverdes 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). 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 (Tobón 2009).

El aprovechamiento de la lluvia horizontal cobra gran importancia en la época de estiaje, especialmente en los bosques montanos semi-deciduos y deciduos. 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 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 ál. 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 ál. 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 ál. 2001, Kessler 2002, Jorgensen y León-Yanez 1999). 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 1500 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 1500 y 2900 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 ricos 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 3000 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.).

Es en este escenario de contrastes climáticos, gradientes altitudinales y diversidad ecosistémica donde las sociedades humanas andinas se han desarrollado, convirtiéndolo en un paisaje cultural milenario en permanente transformación.

Grupos humanos han habitado en los Andes por miles de años, conociendo y adaptándose a las condiciones climáticas y características eco-geográficas de este sistema montañoso. En esta convivencia, los Andes han moldeado a los grupos humanos que en ellos han morado, al igual que las sociedades andinas han transformado los Andes mediante las actividades productivas que han desarrollado en busca de garantizar su reproducción material (Etter y van Wyngaarden 2000, Murra 1984, Young 2009, Zimmerer 1995). Esta interacción, mutuamente transformadora, entre naturaleza y sociedad hace de los Andes un sistema social y ecológico (SSE) complejo. El SSE andino –que incluye tanto los Andes del norte como los del centro– se caracteriza hoy en día por una alta densidad poblacional en las zonas urbanas (> 66% en todos los países andinos), y relativamente baja en las zonas rurales (Báez et ál. 2004, Cano 1999, del Callejo 2010, Eguren y Cancino 1999, Etter y van Wyngaarden 2000, Morales et ál. 2009).

La naturaleza y el enfoque adoptado en Panorama Andino prioriza a la zona rural del SSE andino dentro del área de estudio, donde las actividades económicas tradicionales son la agricultura, la ganadería y la minería (Brush et ál. 1981, Dell 2010, Dore 2000, Young 2009, Zimmerer 2002). Las actividades agropecuarias están organizadas principalmente en torno a unidades de producción agrícola (i.e. UPAs) campesinas y familiares, con pequeñas extensiones de tierra que, en muchos casos, tienen un patrón disperso a lo largo de la gradiente altitudinal andina (Field 1991, Knapp 1991, Mayer 2002). Sin embargo, en la región se observa la diversificación de los sistemas productivos, incluidos patrones migratorios –sean estos temporales, cíclicos o permanentes– como fuente complementaria de ingresos familiares (cf. Reardon et ál. 2001). Además, desde hace décadas la población rural andina ha desarrollado diversos grados de interacción con los mercados regionales, nacionales e internacionales, en función de su aislamiento geográfico (i.e. accesibilidad), su relacionamiento con actores externos, y sus vínculos con dinámicas urbanas (Bebbington 1997, Reardon et ál. 2001).

Las características biofísicas y climáticas de los Andes, y su diversidad, han generado numerosos nichos ecológicos aptos para una variedad de cultivos y crianzas que incluyen prácticas propias del SSE andino; sin embargo, estas mismas características determinan la baja productividad (TN/Ha) de los sistemas agroecológicos (Golte 1980). Asimismo, esta aptitud ha hecho posible la creciente presión sobre el uso de la tierra, y los acelerados procesos de conversión asociados a la sobre-explotación de los recursos naturales, los cuales se han convertido en una amenaza para la característica biodiversidad andina y las propias sociedades andinas que merman sus recursos (Etter et ál. 2006, Liberman 1993, Moncayo 2008, Quiroz et ál. 1995). El contexto histórico estructural andino de pobreza, inequidad, aislamiento y marginalidad son factores subyacentes de los patrones mencionados (Bebbington 2001, Glassman y Handa 2005).

El área de estudio del Panorama Andino puede ser categorizada en cuatro grandes sistemas productivos:

a) Sistema pastoril exclusivo.— Es el pastoreo extensivo de rebaños de alpacas, llamas, ovejas y vacas, que se realiza entre los 3200 y 4000 m en los Andes del Norte, y por encima de los 4000 m en los Andes Centrales. El predominio de los camélidos sudamericanos en el rebaño se extiende desde Bolivia (puna xerofítica y los pisos altoandinos pluviestacionales húmedo y seco); (Liberman 1993) hasta Junín (Perú), de aquí hacia el norte predominan las ovejas. La unidad de organización social más importante de este sistema es la comunidad campesina, la misma que es propietaria de la tierra, mientras que las familias que componen la comunidad usufructúan en la propiedad comunal.

b) Sistema agro-pastoril.— Es característico de las laderas andinas desde Bolivia (Zimmerer 2000) hasta Venezuela (Sarmiento et ál. 1993), con el patrón de mosaico formado por campos de policultivo de papa, maíz, trigo, cebada, haba, caña panelera, ajo, cebolla, hortalizas, avena y alfalfa. La tendencia es que la agricultura sea de secano, aunque, si hay riego, este se regula mediante organizaciones de regantes históricamente existentes en los países andinos (Guevara Gil y Boelens 2010, Rocha et ál. 2010) o más recientes (e.g., en Cochabamba, Bolivia: Chila y Delgadillo 2010). La agricultura se combina con la crianza de ganado vacuno, ovino, caprino y equino, que pasta en las zonas más altas y en los terrenos en descanso, como complemento al ingreso familiar (Bebbington et ál. 1992, Hamilton et ál. 2001). La tecnología es mayoritariamente tradicional, siendo notorios los sistemas de terrazas y andenes (para un sistema tradicional de riego con agua subterránea en Bolivia ver: Soto 2010), y el escaso uso de tractores y trilladoras (Field 1991). Una particularidad del sistema agro-pastoril es el barbecho sectorial, especialmente en Bolivia (Pestalozzi 2000) y Perú (Orlove y Godoy 1986, Zimmerer 1991a), aunque también en Colombia y Venezuela (Sarmiento 2000). El barbecho consiste en que los terrenos están en ciclos de descanso de 3 a 15 años luego de una o dos campañas de papa, quinoa, cebada, seguida por

haba o alguna leguminosa. La zona de barbecho suele estar bajo control comunal y su presencia varía en las parcelas familiares, con zonas donde es estricta y zonas donde es casi inexistente (Golte 1992). Las particularidades agronómicas en la región pueden verse, entre otros, en Etter y Villa (2000) y Rodríguez Quijano (1993) para los Andes colombianos; en Cañadas (1993) para el páramo pluviestacional húmedo del Ecuador, y en Field (1991) para la sierra norte de este mismo país; en Fonseca y Mayer (1988), para la vertiente occidental andina en Perú, y en Camino (1982) para la vertiente oriental del mismo país; en del Callejo (2010), Rocha et ál. (2010), y Zimmerer (1999) para Bolivia; y en Sarmiento (1993) para la zona andina venezolana.

c) Sistema agrícola.— El sistema se ubica, fundamentalmente, en los valles interandinos y los valles occidentales. Se trata, en la mayoría de los casos, de pequeña y mediana agricultura comercial con riego tradicional y tecnificado en algunas zonas (para el riego en Bolivia cf. del Callejo 2010), con bajas inversiones en capital y tecnología (Alber 1999, Báez et ál. 2004, Etter et ál. 2006). La tenencia de la tierra es individual, la fuerza de trabajo consiste en el trabajo familiar más trabajadores eventuales asalariados (Bebbington et ál. 1992, Tamayo 2010). Los cultivos característicos son cereales, hortaliza, y frutales, cuyo destino fundamental es los mercados nacionales (del Callejo 2010, Vos 2010, Wieggers et ál. 1999); mientras que el café es también exportado. Una variante de este sistema es la agroindustria—intensiva en capital y orientada mayormente al mercado internacional—productora de caña, café, flores, palmito y palma africana (Báez et ál. 2004) ubicada en el piedemonte andino, en los valles interandinos, y en partes del oriente boliviano (del Callejo 2010).

d) Sistema ganadero.— Nos referimos aquí a la ganadería lechera que se ubica en algunos valles interandinos; por ejemplo: Cajamarca y Mantaro en Perú,



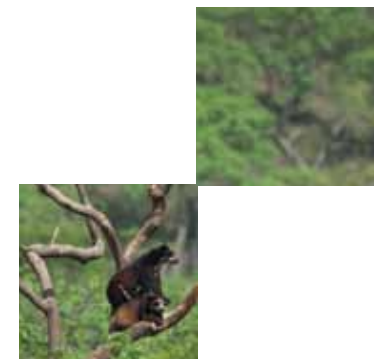
Machachi y Cayambe en Ecuador, y en Colombia, Cauca y Magdalena (Aubron 2006, Báez et ál. 2004, Etter y van Wyngaarden 2000, Etter et ál. 2006). Los sistemas de los valles suelen ser de mediana propiedad, formando ‘cuencas lecheras’ cuya actividad agrícola principal consiste en la producción de forraje con y sin riego (del Callejo 2010). Asimismo, la ganadería también se desarrolla en la región andina colombiana (Etter et ál. 2006), en algunas zonas del altiplano peruano-boliviano y en Ecuador, con pequeña producción lechera campesina familiar (Báez et ál. 2004, Bebbington 2001). La promoción de la industria lechera en la zona altoandina (e.g., en Ecuador y Bolivia: Bebbington 2001) ha impulsado la intensificación de capital y la innovación tecnológica para el mejoramiento de la ganadería, logrando elevar su productividad (Cardozo Gonzales 2007, Morales et ál. 2009).

Estas categorías buscan reflejar tendencias y patrones generales, más no límites rígidos ni situaciones estáticas. Los campesinos andinos están en constante cambio frente a las condiciones sociales y ambientales; en este sentido, la mundialización de la producción agroalimentaria, la consolidación del modelo primario exportador en los países andinos, y las políticas de ajuste estructural (Malleta 1999), han llevado a que los campesinos, tendencialmente, están cada vez más marginados, más excluidos (Callejo 2010), y más empobrecidos (Crabtree 2002). En este contexto, los sistemas productivos que hemos presentado, tienden a ser relegados en terrenos poco fértiles, en zonas de mayor altitud con marcada pendiente—propensas a la erosión—con escasos servicios y muy limitado acceso a infraestructura productiva (Eguren y Cancino 1999, Llambí 1990, Rubio 2008, Salgado y Prada 2000), lo que tiende a agudizarse para las mujeres (Hamilton et ál. 2001) y bajo la influencia de desplazamientos poblacionales y violencia política (para el caso colombiano cf. Cano 1999, Machado 1991, Moscardi 1994). La forma tradicional de acceso a la fuerza de trabajo era el intercambio de trabajo por trabajo o trabajo por especies (con el ayni como institución emblemática de las comunidades andinas), sin embargo, en las zonas de producción comercial predominan las relaciones salariales (Crabtree 2002, Vos 2010), las cuales han modificando las lógicas tradicionales de intercambio de fuerza de trabajo. La creciente movilidad de la mano de obra campesina fuera de sus zonas productivas mengua la presión sobre el ecosistema, pero disminuye la disponibilidad de la fuerza de trabajo; asimismo, como trabajadores asalariados no sólo se les extrae excedentes de múltiples formas (Rubio et ál. 2008), sino que el mercado laboral los somete a trabajos temporales (Campana 2008), sin beneficios sociales y en condiciones deplorables (Llambí 1990, para un caso de jornaleros en la producción de tabaco en México cf. MacKinlay 2007). Estas condiciones sociales y productivas, sumadas con la pobreza endémica de los Andes, merman sistemática y sostenidamente las capacidades de los campesinos y pequeños productores para responder a perturbaciones socioambientales.

La tenencia de la tierra es un tema crítico en la configuración del paisaje andino, y presenta estructuras tanto comunales como privadas/individuales. La propiedad comunal es la forma de propiedad dominante en la zona altoandina, aunque también hay gran propiedad en zonas altoandinas de Ecuador (Báez et ál. 2004),

Colombia (Moncayo 2008, Salgado y Prado 2000) y Bolivia. La propiedad privada individual/familiar predomina en las tierras bajas. Las comunidades son heterogéneas, algunas tienen un pasado prehispánico mientras que otras se crearon en el siglo XX (Cotlear 1989, Mossbrucker 1990, Urrutia 2004). Asimismo, existen variaciones espaciales en las estructuras agrarias y sus históricas vinculaciones con los circuitos mercantiles; por ejemplo en Ecuador, además de la diferencia costa/sierra, existe también la diferenciación entre la sierra norte de estructura hacendaria de producción agrícola; la sierra centro de mediana y pequeña agricultura comercial; y la sierra centro-sur con sus tradicionales haciendas ganaderas (Báez et ál. 2004).

Finalmente, la minería que se encuentra dentro del área de estudio del Panorama Andino se ha convertido en una nueva presión sobre los SES andinos. El despegue de la minería en los países andinos responde al ciclo global de expansión de la explotación de minerales provocado por los altos precios y la creciente demanda (Gordon et ál. 2006, World Bank 2005). Esta minería se caracteriza por masivas inversiones de capital y tecnología, altos requerimientos de agua para su extracción, escasa demanda de mano de obra no calificada (Damonte Valencia 2008); influencia en las políticas nacionales (Bridge 2004b, Durand 2005, Urteaga Crovetto 2010); preeminencia en las economías de los países; y desmesurado poder en la institucionalidad de la gobernanza de los recursos (Bridge 2004a), lo que a su vez deslegitima la institucionalidad y debilita la gobernanza (Bebbington y Bury 2009).





Generación de escenarios desagregados del cambio climático para los Andes Tropicales

WOUTER BUYTAERT¹
JULIÁN RAMÍREZ-VILLEGAS^{2,3,4}

¹ Civil and Environmental Engineering – Imperial College London ✉ w.buytaert@imperial.ac.uk

² Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT

³ CGIAR Challenge Program on Climate Change, Agriculture y Food Security – CCAFS

⁴ Institute for Climatic y Atmospheric Science, School of Earth and Environment – University of Leeds

RESUMEN

En este estudio se evalúan las proyecciones del conjunto de modelos globales de clima adoptado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para los Andes tropicales. En promedio, los modelos predicen un ligero incremento de precipitación (alrededor de 10%) y un incremento de la temperatura (alrededor de 3°C) dependiendo del periodo de predicción y el escenario de emisión. Sin embargo, la discrepancia entre los modelos es muy alta sobre los Andes, especialmente en el caso de la precipitación, lo cual se atribuye a las diferencias en la representación de la topografía y los procesos climáticos sobre la zona de montaña. Aunque la predicción promedia es un incremento de precipitación, varios modelos predicen una disminución dramática, de tal manera que ni siquiera hay acuerdo entre los modelos de clima en cuanto a la dirección del cambio de precipitación, y se concluye que la implementación de métodos de desagregación es necesaria para bajar la incertidumbre de las proyecciones. Por ende, evaluamos el desempeño

de un modelo regional, PRECIS, implementado para los Andes tropicales, con el propósito de evaluar el potencial de modelos regionales para desagregar las proyecciones globales. Se concluye que la aplicación de un modelo regional para bajar la escala de los modelos globales de clima no necesariamente mejora la representación del clima. Un mayor incremento en la resolución, combinado con una mejor disponibilidad y asimilación de datos, será necesario para representar gradientes locales apropiadamente.

INTRODUCCIÓN

LOS CAMBIOS EN EL CLIMA DE LOS ANDES: UNA BREVE REVISIÓN

Se está observando un rápido cambio climático en toda la región de los Andes Tropicales. Las muestras más notorias de este cambio son las observaciones de temperatura de aire en la superficie. Sobre los Andes Tropicales se ha observado un incremento promedio de la temperatura de 0.7°C en las últimas siete décadas (1939 – 2006, Vuille et ál. 2008). De los últimos 20 años, solo dos (1996 y 1999) estuvieron por debajo del promedio de temperatura observado entre 1961 y 1990. Los datos de reanálisis del Centro Estadounidense para la Protección del Medio Ambiente y el Consorcio Estadounidense para la Investigación Atmosférica (NCEP-NCAR) muestran un incremento promedio de 73 m del nivel de altura de congelamiento para los Andes y la cordillera Americana entre 1948 y 2000. Si solo se consideran datos entre 1958 y 2000, período para el cual se considera que la información disponible es más confiable (Díaz et ál. 2003), el incremento es de 53 m.

En términos generales, el incremento de la temperatura y el incremento asociado de la energía en la atmósfera aumentará la evaporación de agua de la superficie de la tierra. Este proceso necesariamente aumentará el contenido de humedad de la atmósfera (IPCC 2007). De acuerdo a las leyes físicas de los gases, eso debe resultar en una disminución del cambio de la temperatura con la altura (llamado el “*lapse rate*” en inglés) y por ende, en un calentamiento mayor a mayores elevaciones (Bradley et ál. 2006). Aunque los resultados de los modelos generales de clima soportan esta tendencia, es difícil de verificar debido a la falta de observaciones suficientemente confiables y abundantes en la región de los Andes tropicales. Sin embargo, la limitada evidencia que existe, ciertamente, parece apoyar el supuesto. Por ejemplo, reportes recientes de los Andes Peruanos, muestran que las temperaturas diarias máximas ahora suben encima de 0°C entre Octubre y Mayo, aún a elevaciones tan altas como 5.680 m (Bradley et ál. 2009). Dichos cambios en temperatura son suficientes para causar alteraciones significativas en la disponibilidad del agua en el suelo y los rangos de distribución de especies nativas.

Los cambios en la precipitación durante el siglo 20 han sido menos notables (Vuille et ál. 2003), sin embargo, es posible encontrar una tendencia de incremento de la precipitación al norte de los 11°S , en Ecuador, mientras que en el sur del Perú y a lo largo del límite peruano-boliviano, la mayoría de estaciones indica una disminución de la precipitación. Estos resultados fueron posteriormente confirmados por Haylock et ál. (2006), quien también encontró un cambio hacia condiciones más húmedas en Ecuador y el norte del Perú, así como una tendencia a la desecación en zonas húmedas del sur peruano. La cantidad de radiación de onda larga, que es indicativa de la actividad convectiva de la atmósfera que origina precipitación, muestra una disminución significativa en los Andes tropicales durante el verano austral (Vuille et ál. 2003, Vuille et ál. 2008). En las zonas cercanas al trópico de Cáncer (al sur de los 10°S) la tendencia es opuesta, mostrando un incremento en la radiación de onda larga (Garreaud et ál. 2003, Vuille et ál. 2003, Vuille et ál. 2008). Aunque estas tendencias son pequeñas y no significativas, son consistentes con las proyecciones en el cambio de la precipitación para finales del siglo 21 hechas por el ensamblaje de modelos del IPCC (Vera et ál. 2006).

LOS MODELOS GLOBALES DE CLIMA Y SU INCERTIDUMBRE

Para enfrentar el problema del cambio climático mundial, la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). El IPCC analiza la información científica, técnica y socio-económica relevante para entender el fenómeno del cambio climático. Una herramienta clave en el análisis del impacto de cambio climático son los modelos globales de clima (GCMs por su denominación en inglés), los cuales se usan para generar proyecciones cuantitativas del cambio climático al futuro. Existe una multitud de modelos globales de clima desarrollados por varios grupos de investigadores mundiales. El IPCC ha seleccionado un conjunto de unos 25 modelos, los cuales han sido presentados y evaluados en los reportes del IPCC. Los modelos difieren en su estructura, la implementación técnica, los datos de ingreso, su resolución, entre otros. Por ende, las proyecciones de dichos modelos divergen debido a esas diferencias, lo cual ayuda a analizar las incertidumbres de las proyecciones futuras del cambio climático.

Regularmente el IPCC publica los resultados de este proceso en reportes de evaluación. El análisis presentado en este estudio está basado en el cuarto informe del IPCC, publicado en 2007 (IPCC 2007).

Especialmente en regiones con un sistema climático complejo como las tienen los Andes tropicales, existen discrepancias importantes en cómo los modelos representan el clima local y regional. En esas regiones es importante tomar en cuenta la incertidumbre en las proyecciones y evaluar la capacidad predictiva de los GCMs. Las incertidumbres en las proyecciones climáticas pueden tener diferentes

fuentes: adicionalmente a la implementación misma del modelo, mencionada anteriormente, el contexto es otra fuente importante de incertidumbre. En el tema del cambio climático, el contexto representa la evolución socio-económica mundial y su impacto sobre las emisiones de gases de invernadero. El reporte especial de escenarios de emisiones (SRES) desarrolló un número de escenarios de emisiones (IPCC 2000), y estos fueron posteriormente usados en el tercer (IPCC 2001) y cuarto (IPCC 2007) reporte de evaluación. Los SRES (como se conocen comúnmente) describen trayectorias socioeconómicas basadas en dos dimensiones: (1) gobierno y (2) desarrollo. Cada dimensión divide los futuros plausibles del mundo en dos. En el caso del gobierno lo divide en mundos: (1) globalizado y (2) regionalizado, mientras que en el caso del desarrollo lo divide en mundos: (1) consciente ambientalmente y (2) orientado al desarrollo puramente económico (IPCC 2000). Estas dos dimensiones dan origen a cuatro familias de escenarios de emisiones (IPCC 2000):

- A1: Un crecimiento económico muy rápido pero con una rápida introducción de tecnologías nuevas. Un miembro de esta familia es el escenario A1B, con un énfasis balanceado en diferentes fuentes de energía.
- A2: Un mundo muy heterogéneo, con una población global incrementando continuamente.
- B1: Un mundo convergente con mayor reducción en intensidad de consumo de materiales e introducción de nuevas tecnologías.
- B2: Un mundo con población que aumenta sistemáticamente pero a una tasa menor que A2, y un nivel intermedio de crecimiento económico.

Dentro de este conjunto de escenarios, B1 y A2 representan los extremos de una tasa de emisión más baja y más alta, respectivamente.

Para analizar adecuadamente los varios tipos de incertidumbre y sus consecuencias para la toma de decisiones, es entonces importante considerar la variabilidad de las proyecciones entre las diferentes estructuras e implementaciones de los GCMs y los diferentes escenarios de emisión. El IPCC facilita este proceso, a través de la recopilación y distribución central de un conjunto de GCMs desarrollados por varios institutos mundiales de investigación. Ese conjunto de modelos se utiliza frecuentemente para analizar los impactos del cambio climático (ej. Fowler et ál. 2007a, Buytaert et ál., 2010a). Aunque la mayoría de los estudios de impacto escogen una selección limitada de modelos, varios estudios (e.g., Allen y Ingram 2002, Stainforth et ál. 2007a) sugieren que es más apto usar el conjunto completo de los modelos globales, e interpretar los límites del conjunto como un sobre mínimo de la incertidumbre de los modelos. La razón principal para llegar a esa conclusión es la dificultad de evaluar el desempeño de los modelos sobre una región, la cual sería una condición necesaria para escoger una selección de modelos “más adecuados” para una cierta zona. Además, no es cierto que un modelo con mejor desempeño en el

pasado tendrá el mejor desempeño en el futuro (Stainforth et ál. 2007a). Ese es el caso de los Andes Tropicales, donde existe menor conocimiento sobre las razones de los errores y sesgos en los modelos actuales. Es probable que las fuentes de error más importantes en los modelos se relacionen con la falta de detalle topográfico y la parametrización de la convección, aunque es también probable que haya una relación entre el desempeño y lo que se conoce como el monzón de Sur América (Hudson y Jones 2002, Marengo et ál. 2010, Carvalho et ál. 2011). Lo anterior resalta la importancia del uso de diferentes GCMs y de una apropiada cuantificación de las incertidumbres, así como la importancia de entender los principales procesos que ocurren en el sub-sistema climático de la región (Challinor et ál. 2009).

LA NECESIDAD DE LA DESAGREGACIÓN

Debido a la gruesa resolución y la falta de representación de procesos locales, ninguno de los modelos de clima logra representar la situación actual de precipitación y temperatura a pequeña escala en los Andes (Sección 2). Eso hace imposible un análisis de impacto directo del cambio climático con base en las proyecciones de los modelos globales. Se vuelve evidente la necesidad de implementar un proceso de disminución de resolución de las proyecciones, lo cual es conocido como desagregación (o “*downscaling*” en inglés, Fowler et ál. 2007b, Maraun et ál. 2010). A pesar de que en la literatura científica existen muchos métodos para la desagregación de las proyecciones climáticas de gran escala, muy pocos de estos métodos han sido implementados en regiones tan complejas como las áreas montañosas tropicales.

El uso de modelos dinámicos regionales basados en procesos físicos (ej. el modelo PRECIS desarrollado por la oficina meteorológica del Reino Unido MetOffice, Jones et ál., 2004) intenta usar de una manera óptima el conocimiento de los procesos climáticos locales. Estos modelos operan a una resolución típica de 50 km o menos, y pueden capturar la variabilidad espacio-temporal del clima en mucho mayor detalle que los GCMs. De esta manera, potencialmente, los modelos regionales de clima (RCMs) pueden proveer simulaciones más realistas del clima actual y de los cambios climáticos futuros en los Andes, en comparación con la resolución más gruesa de los GCMs. También pueden ayudar a tener un mejor entendimiento del impacto potencial que estos cambios tendrían en los ecosistemas andinos.

Los RCMs están basados en los mismos modelos físicos utilizados para los GCMs y, por lo tanto, no requieren una red de observación densa, que sí es necesaria para la desagregación estadística (Jones et ál. 2004, Marengo et ál. 2009). Sin embargo, se requiere una validación cuidadosa del modelo con información observada para asegurar que los RCMs representan de forma precisa la variabilidad espacio-temporal del clima, particularmente a lo largo de áreas montañosas como los Andes, donde la orografía afecta fuertemente la distribución de

DATOS Y MÉTODOS

la estacionalidad de la precipitación (Buytaert et ál. 2010a). Los RCMs han sido usados con éxito para estudios de cambio climático que evalúan toda Sudamérica (e.g., Marengo et ál. 2009, Soares et ál. 2009), pero su aplicación para los Andes aún se encuentra en una fase experimental (Urrutia y Vuille 2009).

Algunas de las principales desventajas de los RCMs son la dependencia en un tiempo largo de procesamiento computacional y la complejidad de su implementación. Por lo tanto, la implementación no usa todo el rango de modelos disponibles en el cuarto informe del IPCC, sino solamente uno o dos modelos globales para producir las simulaciones, lo que hace los análisis de incertidumbre significativamente más difíciles. Las deficiencias estructurales del modelo, los errores presentes en los datos de base y la parametrización se pueden también propagar de los GCMs a los RCMs e incrementar la incertidumbre. En conclusión, la necesidad de disponer de datos locales, la complejidad de la implementación de dichos modelos y los requisitos altos de tiempo de computación prohíben el uso de modelos dinámicos para muchos estudios de impacto.

Alternativamente, se pueden usar modelos estadísticos de desagregación. Estos modelos buscan relaciones estadísticas entre los procesos climáticos a escalas globales y las condiciones locales de clima. Los modelos estadísticos son conceptualmente mucho más simples y fáciles de aplicar para un conjunto de modelos y escenarios, como es el caso en el presente estudio (para tener una idea panorámica, ver e.g., Maraun et ál. 2010). Sin embargo, por no representar los procesos físicos de clima, los modelos estadísticos dependen del supuesto de que las relaciones entre los procesos globales de clima y el clima local no cambiarán en el futuro, lo cual es probablemente erróneo. Uno de los métodos de desagregación más populares es el método delta, que supone que los modelos globales de clima hacen un mejor trabajo proyectando los potenciales cambios de clima (anomalías) que los flujos absolutos (Maraun et ál. 2010).

En este estudio se aplica el método delta para generar climatologías futuras a alta resolución que está siendo usado en los estudios de impacto (Secciones 3 y 4). Se usan todos los GCMs para los cuales las variables están disponibles, y dos escenarios de emisión que se consideran representativos para la incertidumbre en las tazas de emisión de gases de efecto invernadero. La decisión de usar el método delta se basa en razones de parsimonia, uniformidad y facilidad de aplicación. Por su naturaleza, el método delta no puede ser evaluado ni su incertidumbre cuantificada. Entonces, para tener una idea del potencial error de métodos de desagregación, y para evaluar el potencial de métodos de desagregación más avanzados, en esta sección se incluye una evaluación del modelo regional popular PRECIS sobre los Andes del Ecuador.

El objetivo de este capítulo es entonces detallar la generación de las proyecciones usadas en los siguientes capítulos, así como analizar las características de la incertidumbre en dichas proyecciones y el uso del método de desagregación.

El presente estudio analiza dos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero definidos por el IPCC: A1B y A2. A1B es un escenario moderado que es usado frecuentemente en los estudios de impacto (IPCC 2007), mientras que el escenario A2 es un escenario extremo que se puede considerar como un caso pesimista dentro del contexto de la toma de decisiones. Aunque los modelos globales de clima simulan el clima de manera continua hasta 2100, este estudio se enfocó en los promedios de los periodos 2010-2039 y 2040-2069 que son más relevantes para los procesos de toma de decisión.

El conjunto de modelos usado en el cuarto informe del IPCC (2007) consiste en 24 modelos, pero no todos los grupos de modeladores han entregado los resultados de todas las variables simuladas a la base de datos CMIP3 (tercer experimento de inter-comparación de modelos acoplados). Especialmente, las temperaturas mínimas y máximas diarias no están disponibles para varios modelos. Para sincronizar el uso de modelos entre los diferentes estudios de impacto, se restringió la selección de los modelos a los que tienen resultados para dichos parámetros, disminuyendo el conjunto de modelos a 10 para el escenario de emisión A1B y 8 para el escenario de emisión A2 (Tabla 1).

TABLA 1. **Modelos usados en este estudio**
Los modelos en itálicas solo se usaron para el escenario de emisión A1B

| Instituto | Modelo |
|--|--------------------------|
| Bjerknes Centre for Climate Research, Norway | BCCR-BCM2.0 |
| CSIRO Atmospheric Research, Australia | CSIRO-Mk3.0 |
| CSIRO Atmospheric Research, Australia | CSIRO-Mk3.5 |
| NASA / Goddard Institute for Space Studies, US | GISS-AOM |
| Institute for Numerical Mathematics, Russia | INM-CM3.0 |
| <i>Center for Climate System Research, National Institute for Environmental Studies, Frontier Research Centre for Global Change, Japan</i> | <i>MIROC3.2 (hires)</i> |
| <i>Center for Climate System Research, National Institute for Environmental Studies, Frontier Research Centre for Global Change, Japan</i> | <i>MIROC3.2 (medres)</i> |
| National Centre for Atmospheric Research, USA | CCSM3 |
| US Dept. of Commerce, NOAA, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA | GFCM20 |
| US Dept. of Commerce, NOAA, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA | GFCM21 |

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PROYECCIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO DE LOS GCMS

Para la evaluación del método de desagregación estadística en los Andes tropicales, se usan los resultados de la implementación del modelo regional PRECIS generados por Urrutia y Vuille (2009). El modelo PRECIS es un modelo climático regional de área limitada, basado en la tercera generación de los RCM del Hadley Center (HadRM3) (Jones et ál. 2004). Varios estudios han usado PRECIS para evaluaciones regionales de cambio climático para Centro y Sur América (Garreaud y Falvey 2009, Karmalkar et ál. 2008, Marengo et ál. 2009, Soares et ál. 2009, Urrutia et ál. 2009). Urrutia y Vuille (2009) implementaron el modelo a una resolución de 50km, con las condiciones de frontera del modelo HadAM3p y para los escenarios de emisión A2 y B2. Para la comparación de estos modelos con la climatología observada se usó mapas de precipitación interpolados con base en observaciones históricas por New et ál. (2000).

Para la evaluación de la incertidumbre del conjunto de modelos, se remuestreó todos los modelos a una resolución común de 0.1° . Se calculó las anomalías para todas las variables. Se usó la anomalía absoluta para las variables de temperatura (mínima, máxima, y promedia) y la anomalía relativa para la precipitación. Luego se calculó las estadísticas básicas de la distribución de las proyecciones para cada pixel, es decir promedio, varianza y rango. Para la evaluación del conjunto de modelos para el periodo histórico se calculó el rango de la simulación de temperatura promedia y precipitación promedia del periodo 1960 – 1990 para el conjunto de GCMS.

Tomando el promedio de los modelos usados (Tabla 1) se espera un incremento de la precipitación sobre los Andes entre 0% y 10%, junto con un incremento de la temperatura de alrededor de 1°C (escenario A1B, período 2010 – 2039) hasta 3°C (escenario A2, período 2040 – 2079; Figura 1).

Se observa ciertas tendencias claras. En cuanto a la precipitación, se espera sobre los Andes un cambio menor a 10%. En los Andes de Colombia y Ecuador, el promedio del conjunto proyecta un aumento ligero de la precipitación, mientras que hay una disminución más ligera de la esperada para los Andes del sur del Perú y los Altiplanos de Bolivia y el norte de Chile. El impacto más fuerte se encuentra en la región caribe, bajo la influencia de los vientos alisos proviniendo del Atlántico. Esa región espera una disminución dramática de precipitación hasta -40%, la cual afectará a los Andes de Venezuela alrededor de la ciudad de Mérida. No se puede observar relaciones claras con índices topográficos como la altura, el pendiente o la orientación.

En cuanto a la temperatura, los gradientes son menos fuertes y la dirección de la tendencia es más clara. Se observa un aumento de temperatura más fuerte sobre el continente de Sudamérica comparado con los océanos. Este efecto es bien conocido y se atribuye a la mayor capacidad calorífica del agua en comparación con la tierra (IPCC 2007).



FIGURA 1. Promedio de las proyecciones de cambio de temperatura y precipitación para el futuro basado en respectivamente 10 modelos (escenario A1B) y 8 modelos (escenario A2) del conjunto CMIP3.

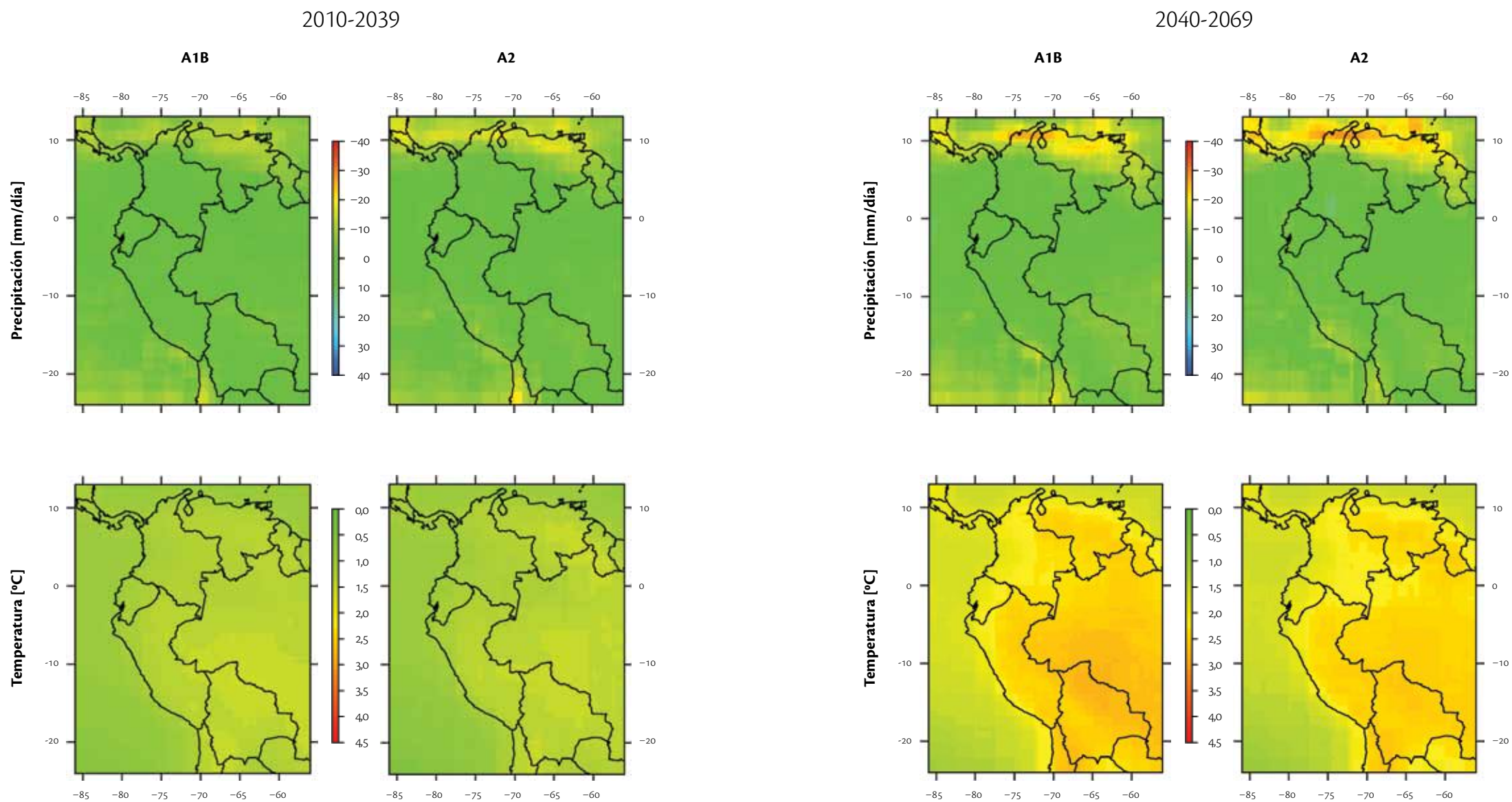
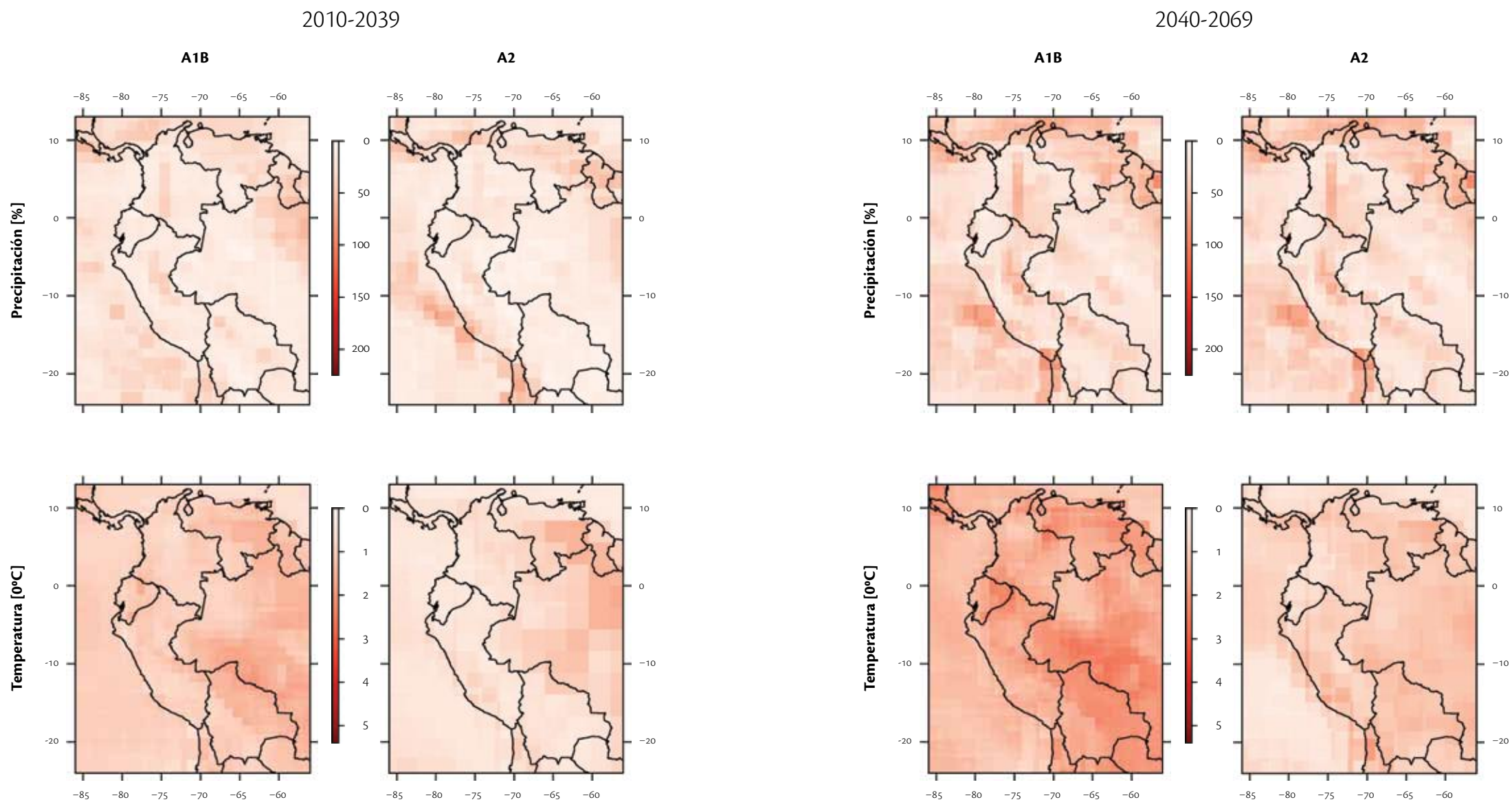


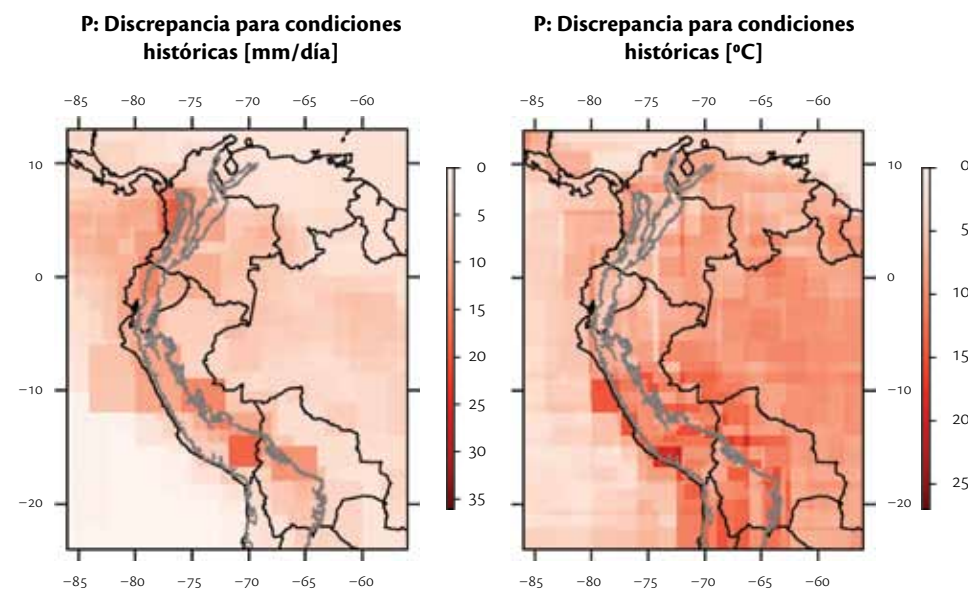
FIGURA 2. Rango de las proyecciones de temperatura y precipitación para el futuro basado en respectivamente 10 modelos (escenario A1B) y 8 modelos (escenario A2) del conjunto CMIP3.



Sin embargo, examinando la discrepancia en la magnitud de las anomalías proyectadas por los modelos (Figura 2), se puede observar que el rango (max – min) de las proyecciones es muy amplio. La discrepancia en las proyecciones de cambio de precipitación es frecuentemente mayor al 50% de la precipitación anual actual, mientras que las proyecciones en el cambio de temperatura van de 1.5 a 4.5°C, dependiendo del período y escenario de emisión. Se puede observar que en los gráficos de los rangos de proyección y concordancia de modelos (Figura 2), los Andes no destacan como una región de incertidumbre particularmente alta. Sin embargo, para tener una mejor idea de la incertidumbre, es importante también evaluar el desempeño de los modelos para condiciones pasadas de clima.

La falta de datos confiables de precipitación sobre los Andes complica la evaluación individual de los modelos para el período 1960 – 1990. Alternativamente, se puede evaluar la discrepancia de los modelos para ese período como indicación de la calidad de la simulación que éstos implementan (Figura 3). La discrepancia entre los modelos es considerable (Figura 3), especialmente sobre los Andes húmedos de Ecuador y Colombia y los altiplanos de Bolivia y el sur de Perú, donde los valores pueden llegar a más de 20 mm/día (7300 mm/año). En general, los Andes destacan como una zona con alta dificultad para modelar adecuadamente los patrones de precipitación. Para la temperatura, las diferencias entre los modelos son más probablemente causadas por las diferentes resoluciones y los alineamientos de los píxeles de los modelos. Los modelos usados tienen una resolución entre 1.5° y 5° (IPCC 2007). En las zonas donde las cordilleras de los Andes son estrechas, como en Ecuador, partes de Colombia y Venezuela, esa resolución simplemente no permite tomar en cuenta la topografía de los Andes. Por ende, ningún modelo representa los procesos climáticos alrededor de los Andes, resultando en un caso típico donde todos los modelos tienen un sesgo en la misma dirección: aunque los modelos pueden estar de acuerdo en cuanto a los procesos, en realidad todos están mal. En el sur de Perú y en los altiplanos

FIGURA 3. Rango (max – min) de las simulaciones de los 10 modelos para el período 1960 - 1990. Isolinia de 1.000 m.



Bolivianos, donde los Andes son más anchos, ciertos modelos representan la topografía, aunque sea de una manera simplificada. En esta zona, la resolución de los modelos determina fuertemente la manera de representar la topografía (por ejemplo la elevación promedio de cada píxel y la alineación de los píxeles, así que en esa zona la discrepancia de los modelos es más pronunciada (Figura 3).



FIGURA 4. Regiones (en gris) donde 80% o más de los modelos usados concuerdan en la dirección de la proyección de precipitación para el futuro.

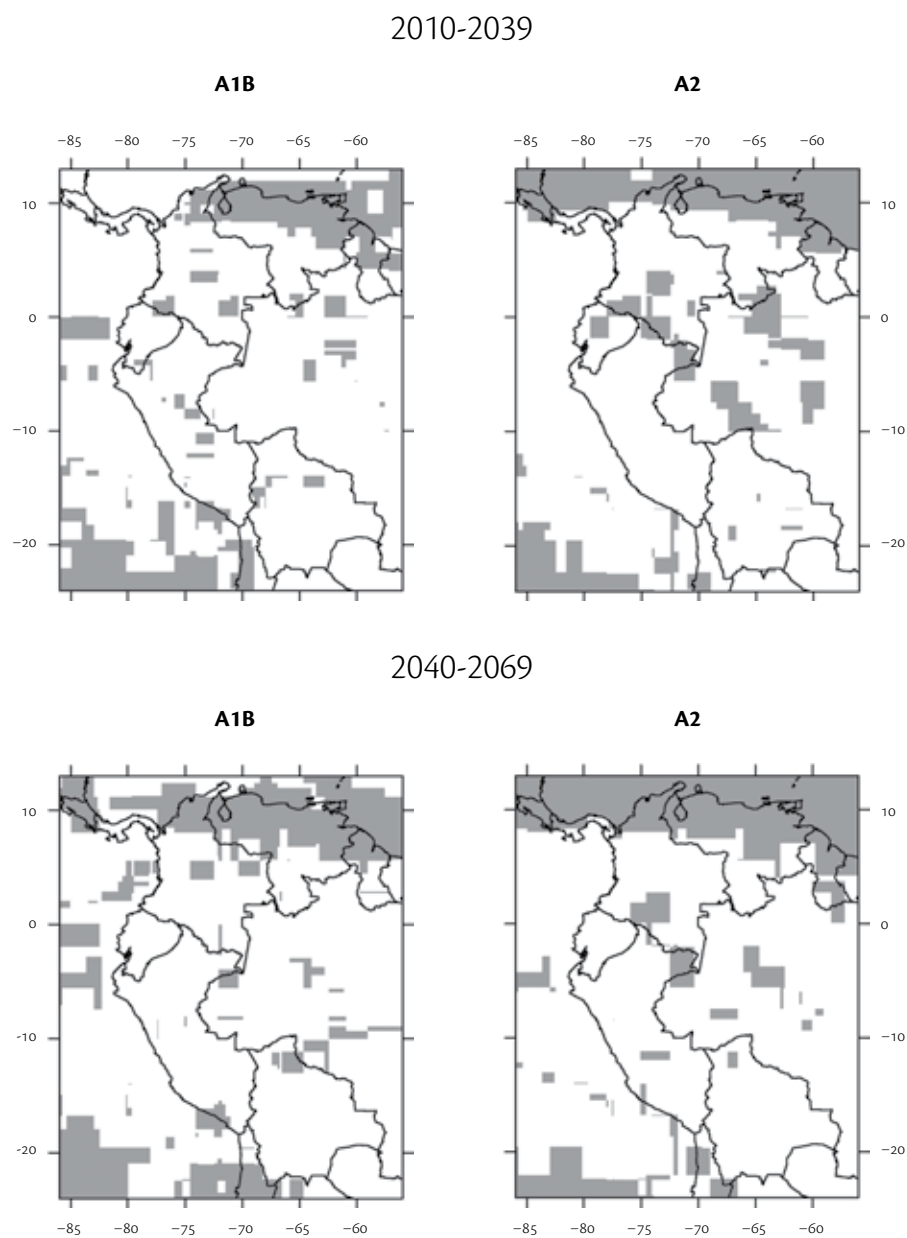
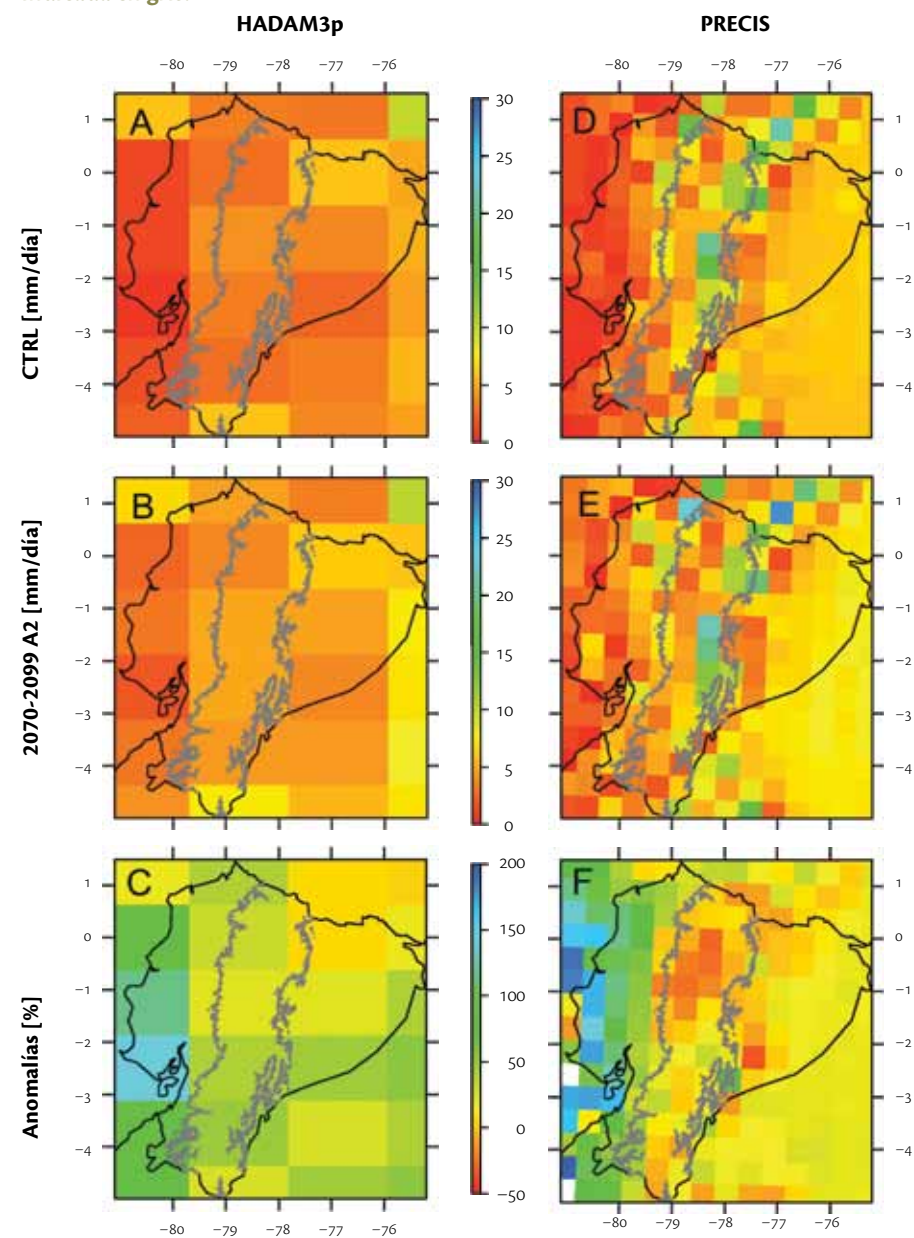


FIGURA 5. Precipitación anual promedio [mm/día] modelada para los periodos 1960 – 1990 (A y D) y 2070 – 2099 (B y E) por el modelo regional PRECIS y el modelo global HadAM3p que ha sido usado como condiciones de frontera. C y F: Anomalías relativas [%] en precipitación entre el presente y el escenario A2. La isolínea de 1000 m de altura está indicada en gris.



En efecto, la discrepancia entre los modelos al representar los patrones locales de clima sobre los Andes puede tener muchas causas subyacentes, pero es probable que las diferencias en resolución sean el factor principal. En efecto, debido a la resolución gruesa, muchos de los GCMs son incapaces de representar adecuadamente los gradientes de elevación, además de no considerar procesos locales importantes como la precipitación orográfica y eventos convectivos localizados. Sería necesario comparar detalladamente los esquemas de parametrización de todos los GCMs para poder entender los mecanismos que se encuentran detrás de esta divergencia. Aunque no hay estudios sobre ese tema en los Andes, estudios similares en los Himalayas muestran la incapacidad de GCMs para representar esos procesos (ej., Turner y Slingo 2009).

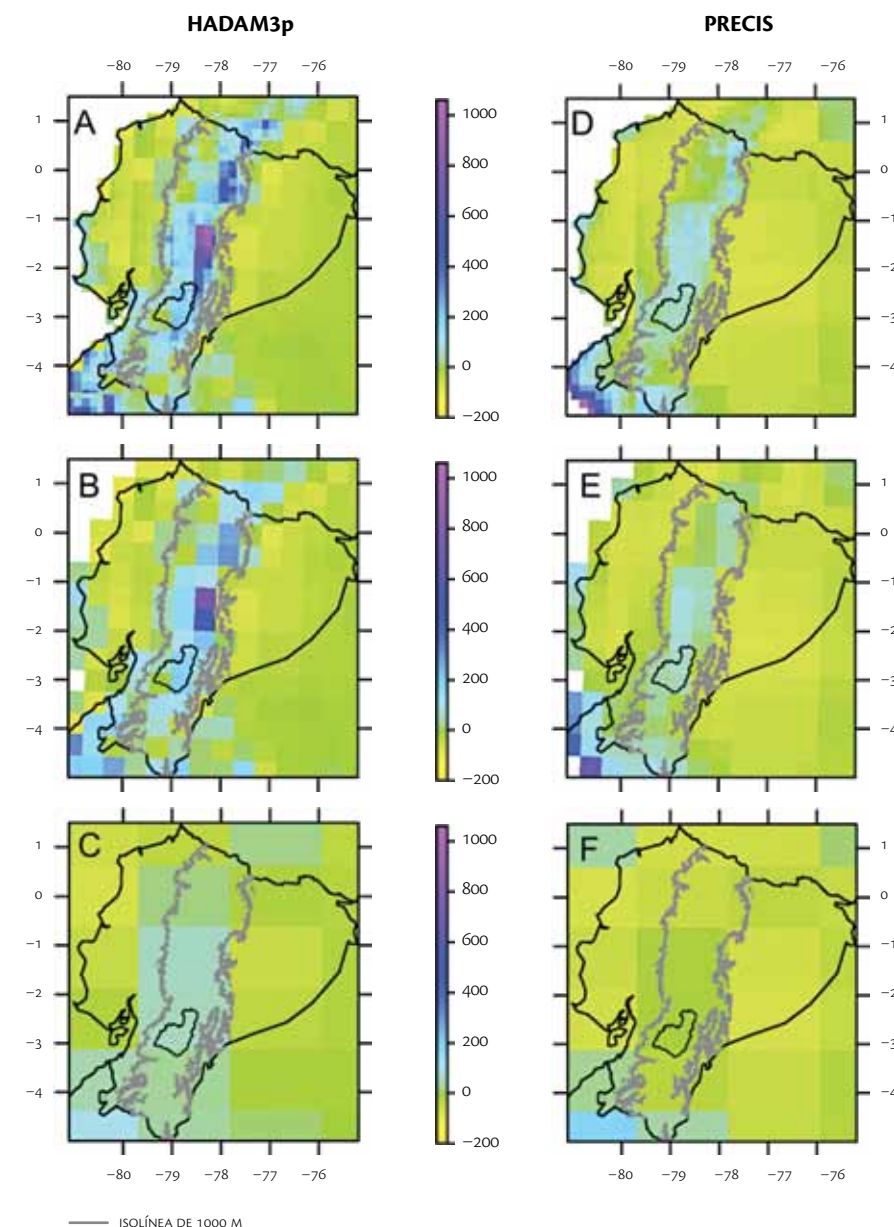
En conclusión, el hecho de que los GCMs no concuerdan en la representación del clima actual pone en discusión la confiabilidad de las anomalías proyectadas. Como consecuencia de la incertidumbre alta, hay poco acuerdo entre los modelos en cuanto a la dirección del cambio de precipitación (Figura 4).

EVALUACIÓN DE LA DESAGREGACIÓN CON PRECIS

En esta sección se evalúa el potencial de usar un modelo regional de clima para mejorar las proyecciones de los GCMs sobre los Andes, usando un estudio de caso de la aplicación de PRECIS sobre Ecuador. Se seleccionaron las simulaciones corridas para el período 1961-1990, ya que se cuenta con datos de estaciones meteorológicas para efectuar una comparación adecuada. Es necesario mencionar que una mejor simulación durante la corrida control no necesariamente indica una mejor simulación de las condiciones futuras (Stainforth et ál. 2007a). El presente trabajo se centra en el desempeño de PRECIS (Urrutia y Vuille, 2009) en la desagregación espacial de la precipitación, que representa la variable más importante para el manejo de recursos hídricos.

El hecho de que PRECIS tiene una resolución más fina que HadAM3 resulta en un patrón de precipitación actual y futura mucho más fina y realista comparado con HadAM3 (Figuras 5d y e comparado con Figuras 5a y b). Sin embargo, eso no necesariamente significa que la simulación de PRECIS es más correcta que HadAM3. Para verificar eso, hay que comparar las simulaciones para el pasado (1960-1990) con mapas de precipitación observada. En el presente estudio se compara las simulaciones con la climatología observada de New et ál. (2000) de 10 min de resolución (Figura 6). Para hacer la comparación más justa, se ha agregado los resultados a tres resoluciones: la resolución de la climatología (0,167°); la resolución de PRECIS (0.5°), y la resolución de HadAM3p (1,25 por 1,875°). Así se puede evaluar la posibilidad que HadAM3p represente mejor los flujos a escala gruesa, aunque no pueda resolver la variabilidad espacial dentro de un pixel.

FIGURA 6. Diferencia relativa [%] entre la lluvia simulada por PRECIS y por HadAM3p durante el período 1960 – 1990 usando la climatología observada a tres resoluciones diferentes. A y D: Resolución de la climatología (0.167°); B y E: resolución de PRECIS (0.5°); C y F: Resolución de HadAM3p (1.25 por 1.875°). Notar que el área de agregación de algunas celdas de PRECIS y HadAM3p es más baja debido a la falta de disponibilidad de datos de clima sobre el océano.



En general, PRECIS subestima la precipitación a lo largo de las partes bajas de la vertiente Amazónica, mientras que sobrestima los valores de precipitación para las zonas de mayor elevación en los Andes en esta misma vertiente (Figura 6a), lo cual es consistente con el modelo de validación (Urrutia et ál. 2009).

El desplazamiento observado entre la precipitación real y la modelada sugiere que PRECIS es incapaz de capturar completamente la gradiente de precipitación orográfica que existe a lo largo de la vertiente oriental de los Andes ecuatorianos. La sobre-estimación de la precipitación en esta zona es un problema común a todos los RCMs y está relacionada con una gradiente orográfica extremadamente pronunciada, debido a los fuertes vientos alisios (da Rocha 2009, Insel 2010, Urrutia y Vuille 2009). Se debe tener en cuenta que las grillas de precipitación observada, que provienen de datos climatológicos usados como datos control, tienen incertidumbres significativas generadas por la falta de continuidad espacial y temporal en los datos, problemas con los instrumentos de medición y calibración, y posibles problemas de muestreo (New et ál. 1999, New et ál. 2000). Este problema es aún más serio en las regiones montañosas, donde la densidad de estaciones es baja y los procedimientos de interpolación introducen errores significativos (New et ál. 1999).

Aún cuando la mayor resolución de los RCMs no sería suficiente para proveer predicciones localizadas correctas, una mejor representación de los patrones del clima podría generar una mejor simulación a escala regional. Sin embargo, la escala a la cual la agregación se traduce en una mejora depende fuertemente de las condiciones climáticas locales, con un impacto sobre la precisión de las proyecciones, tanto para PRECIS como para HadAM3p (Figura 6). Las corridas de control de PRECIS y HadAM3p están comparadas con la climatología observada a tres niveles de agregación: a la resolución de la climatología observada (0.167°), la resolución de PRECIS (0.5°) y a la resolución de HadAM3p (1.25 por 1.875°) (Figuras 6c y f).

A la resolución de HadAM3p (Figuras 6c y f) se observa que PRECIS tiene potencial para mejorar ligeramente las simulaciones de precipitación. Pero el desempeño tiene una variabilidad espacial muy alta y en varias regiones es inferior al modelo global HadAM3p. Este es el caso particular de la vertiente oriental del centro de Ecuador, donde PRECIS excede hasta 500% la precipitación observada, además de mostrar peores resultados locales que el HadAM3p. Finalmente, a una resolución mayor (Figuras 6a y d) el efecto es mucho más pronunciado (hasta 1000% de lo observado). Tanto el PRECIS como el HadAM3p fallan al simular la precipitación orográfica a lo largo de ambas vertientes andinas, donde la vertiente oriental de los andes centrales ecuatorianos resulta particularmente problemática. Esta es, en efecto, una región dominada por una fuerte precipitación orográfica.

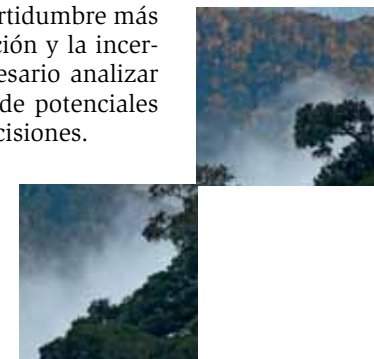
Los resultados muestran que la incorporación de una mayor resolución en los gradientes de precipitación en los modelos climáticos es complicada y potencialmente riesgosa. Las desviaciones entre los procesos atmosféricos observados y

simulados podrían resultar en desempeños bastante pobres de los modelos climáticos regionales en ciertos lugares. Tales errores son promediados cuando se trata de regiones extensas, pero podrían resultar problemáticos para evaluaciones de impacto local, donde la localización exacta de la precipitación es importante.

CONCLUSIONES

Los Andes tropicales presentan unos de los regímenes de clima más diversos y complejos del mundo (Vuille et ál. 2008, Garreaud et ál. 2003). La representación de los gradientes de topografía, temperatura y humedad es problemática con la generación actual de modelos globales de clima (GCM). El tamaño de las celdas, típicamente alrededor de 200 a 300 km, no permite representar procesos locales. Por ende, el potencial sesgo y la discrepancia entre distintos modelos es alto, y hay mucha incertidumbre en las proyecciones del potencial impacto de cambio climático. El uso de modelos regionales de clima tiene el potencial de mejorar las proyecciones, pero el análisis en el presente estudio muestra los potenciales riesgos de la aplicación de dichos modelos y su incapacidad de representar ciertos procesos meteorológicos, como la lluvia orográfica.

Entonces concluimos que es importante usar la mayor cantidad de modelos del conjunto del IPCC, para evitar de poner demasiada confianza en los resultados de una selección limitada de modelos globales o regionales. Más bien, es importante cuantificar y analizar cada modelo disponible como potencial escenario futuro. Ese método enfatiza que el rango de proyecciones es un “sobre mínimo” de la incertidumbre futura. Finalmente, para estudios de impacto y para la toma de decisiones a escala más local, hay que tomar en cuenta que la incertidumbre de los modelos globales de clima es solo una parte de una incertidumbre más grande, incluyendo también la incertidumbre en la desagregación y la incertidumbre en el modelo de impacto. Por consecuencia, es necesario analizar la cadena completa de proyecciones y considerar el impacto de potenciales errores y límites de conocimiento en el proceso de toma de decisiones.





Síntesis de los impactos de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos en los Andes Tropicales y las estrategias de adaptación desarrolladas por los pobladores

BERT DE BIÈVRE¹
MACARENA BUSTAMANTE²
WOUTER BUYTAERT³
FELIPE MURTINHO⁴
MARÍA TERESA ARMIJOS⁵

¹ Proyecto Páramo Andino e Iniciativa de Monitoreo Hidrológico Andino – CONDESAN
✉ bert.debievre@condesan.org

² Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos – CONDESAN

³ Civil and Environmental Engineering – Imperial College London

⁴ Geography Department – University California

⁵ Institute of Development Studies – University of Sussex

RESUMEN

Estudios globales anticipan que el cambio climático tendrá un fuerte impacto sobre los recursos hídricos alrededor del mundo. En los Andes Tropicales, una de las regiones más complejas y heterogéneas en términos de clima e hidrología, el impacto esperado del cambio sobre la temperatura y sobretodo precipitación está cargado de incertidumbres. Los resultados presentados en este artículo, con base en modelos globales de cambio climático (GCMs) acoplados a un modelo regional de balance hídrico (Buytaert et ál. 2011), demuestran que el promedio del conjunto de GCMs predice que el incremento de la evapotranspiración se compensará con el incremento de la precipitación, con un efecto limitado sobre la disponibilidad total anual de agua en la región. Sin embargo, el rango de predicción es muy amplio, incluyendo escenarios de aumento dramático del estrés hídrico, que deberían ser tomados en cuenta en el proceso de toma de decisiones y definición de políticas. Los impactos modelados sobre la precipitación (en términos totales y temporales) son espacialmente diferenciados, mientras que el impacto de la temperatura, en términos espaciales, es relativamente homogéneo y provoca que el incremento de evapotranspiración sea mayor en zonas calientes que en zonas frías. En su conjunto, en la mayoría de la zona Andina tropical se observa muy poco cambio en la disponibilidad anual de agua, con excepción de la zona costera de Venezuela y en los altiplanos de Perú y Bolivia, donde se espera una disminución de la disponibilidad de agua.

Sin embargo, la disponibilidad y suficiencia de agua no depende solo de efectos del cambio climático sobre la temperatura y precipitación, sino de procesos antrópicos que modifican, por ejemplo, la cobertura vegetal, su consumo de agua y la capacidad de infiltración del suelo, así como de las instituciones que definen derechos de uso y las tendencias de demanda de agua. En ese marco, las sociedades andinas han desarrollado numerosas y diversas estrategias que pretenden anticipar los impactos negativos de la variabilidad climática exacerbada por los cambios globales y locales. El agudo proceso de crecimiento urbano y el impulso a modelos de desarrollo ligados a la agroindustria y minería se constituyen, junto a los cambios de uso del suelo, en amenazas incluso tanto o más serias que el cambio climático para la apropiada gestión de los recursos hídricos en la región. Al exacerbar mutuamente sus impactos, las poblaciones andinas –particularmente, las rurales– enfrentan un contexto de vulnerabilidad más profundo y diferenciado, que requerirá el apoyo de esfuerzos externos planificados y sustentados en manejo adaptativo para hacerles frente.

INTRODUCCIÓN

Es muy probable que el cambio climático global tenga un fuerte impacto en los recursos hídricos en muchas regiones del mundo (Bates et ál. 2008). Entender las diferencias e implicaciones del cambio climático sobre los procesos hidrológicos, y su retroalimentación, es de gran importancia para la planificación y el manejo sostenible de los recursos hídricos a largo plazo, así como para facilitar procesos de adaptación a los impactos de cambio climático en la región. La gran mayoría de los reservorios de agua superficial (i.e. cuerpos y cursos de agua) y subsuperficial (i.e. acuíferos) dependen de la precipitación como la principal entrada de agua. Por consecuencia, cualquier cambio en la cantidad, intensidad o distribución espacial y temporal de la precipitación tendrá un efecto sobre la disponibilidad física de agua (i.e. servicio hidrológico de generación) y su distribución temporal (i.e. regulación). Adicionalmente, el incremento esperado de temperatura por efectos del cambio climático conllevaría un incremento de la evaporación desde las capas de vegetación húmeda, suelos desnudos y superficies de cuerpos de agua, igual que una mayor transpiración de la vegetación, afectando otros componentes del ciclo hidrológico, como la humedad del suelo, la escorrentía y la infiltración. Estos cambios, a su vez, determinarán el contenido de vapor atmosférico, retroalimentando cambios en los patrones de precipitación a gran escala y en la frecuencia de eventos extremos. La interacción de múltiples factores climáticos e hidrológicos se combina con procesos sociales que influyen, tanto la disponibilidad y suficiencia del agua, como las estrategias de adaptación con las cuales los pobladores locales han afrontado tradicionalmente las variaciones climáticas de su entorno natural, y que, en un escenario de cambio climático e incertidumbre, serán la base para acciones de adaptación endógenas.

Este artículo presenta la síntesis de los impactos esperados del cambio climático en los Andes Tropicales sobre los recursos hídricos y las estrategias adaptativas de los pobladores andinos para contrarrestar sus efectos. Esta se basa en dos estudios realizados en el marco de Panorama Andino para comprender mejor ambos temas (Buytaert et ál. 2011, Murtinho y Armijos 2010 respectivamente). A continuación se presenta una breve caracterización del clima e hidrología andina, así como de los procesos naturales, climáticos y antrópicos que influyen sobre la disponibilidad hídrica. La sección 2 describe los métodos aplicados. La sección 3 muestra los impactos esperados sobre la generación hídrica en la región (i.e. oferta), asociados a cambios esperados en precipitación, temperatura y evapotranspiración con base en modelos globales, eventualmente acoplados a un modelo climático regional (RCM) de balance hídrico. La sección 4 discute las implicaciones del cambio climático sobre zonas de importancia en la regulación hídrica. La sección 5 caracteriza las principales tendencias de la demanda, considerando distintos usos, y ejemplifica las implicaciones del crecimiento demográfico y los patrones de urbanización en los países andinos frente a los efectos esperados del cambio climático sobre la oferta hídrica. Finalmente, la sección 6 describe el estado del conocimiento sobre las estrategias de adaptación que los pobladores andinos han desarrollado como respuesta a la variabilidad climática y su impacto en los recursos hídricos, a fin de reducir su vulnerabilidad.

EL CLIMA E HIDROLOGÍA DE LOS ANDES TROPICALES

Los Andes Tropicales son uno de los sistemas climáticos más complejos del mundo, con gradientes naturales extremos de precipitación y temperatura (Martínez et ál. 2011, Young 2011). El régimen de temperatura está dominado por grandes gradientes altitudinales. En general, se puede decir que la estacionalidad de la lluvia tiene un gradiente norte-sur, con estaciones lluviosas y secas más marcadas hacia el sur en los Andes Centrales, y existen importantes gradientes de humedad este-oeste. Los patrones de precipitación tienen su origen en sistemas climáticos de gran escala sobre el Océano Pacífico, la Amazonía y el Caribe, cuyo grado de sobreposición e influencia en distintas épocas del año, le dan una complejidad extrema a la distribución espacial y temporal de la precipitación en los Andes Tropicales. Como patrón climático general, la Amazonía envía masas húmedas de aire hacia los flancos orientales de los Andes; en el hemisferio norte este patrón presenta baja variación durante el año, mientras que en el hemisferio sur, los Andes orientales peruanos y bolivianos reciben mayor humedad desde la Amazonía durante el período diciembre-abril que en el resto del año (Garreaud 1999). Desde el occidente, el Océano Pacífico envía masas húmedas de aire por la zona de convergencia intertropical. Estas se presentan todo el año en la Cordillera occidental colombiana y la porción norte del Ecuador. A partir de 1° grado de latitud sur, se presentan con mayor estacionalidad en la Zona de Convergencia Intertropical. Hacia el sur, en la costa Peruana, la corriente fría de Humboldt impide que se transporte humedad desde el océano a la zona costera y el flanco occidental de la Cordillera. En los valles interandinos puede existir mayor o menor influencia desde los diferentes orígenes de humedad, en función de que la topografía de las cordilleras impida o no el ingreso de masas húmedas a la zona interandina. Ciertas zonas interandinas son áridas debido a que no puede ingresar humedad desde ninguno de los dos lados, y otras tienen presencia de lluvias casi todo el año, o tienen un régimen bimodal ya que reciben humedad desde ambos. En el Norte de los Andes, las masas húmedas de origen caribeño añaden un factor adicional a estos patrones. Por lo tanto, los Andes Tropicales son diversos, heterogéneos, y sujetos a múltiples factores que influyen su clima e hidrología.

En el ciclo hidrológico existen dos funciones esenciales para el bienestar de las sociedades de los países andinos: la generación o provisión de agua, y la regulación hídrica. La generación hídrica se refiere a la producción total de caudal en los ríos, siendo un importante indicador el caudal medio. Este componente del ciclo hidrológico es el resultado de la escorrentía superficial o subsuperficial, y la precipitación. En su expresión más simple, el balance hídrico de una cuenca (Q) es el resultado de la diferencia entre la precipitación (P) y la evapotranspiración (ET): $Q = P - ET$. Para la generación de agua, la evaporación –sea ésta desde superficies de cuerpos de agua, el suelo húmedo o la vegetación– y la transpiración desde el follaje de la vegetación (i.e. evapotranspiración), son pérdidas.

A esta expresión matemática es necesario añadir la dimensión temporal de los procesos hidrológicos que, a través de diversos mecanismos de regulación natural

dentro de la cuenca, como son los acuíferos, las zonas no-saturadas del suelo, las depresiones de la topografía (e.g., lagunas), la microtopografía (charcos), el hielo glaciar y la cobertura vegetal, liberan poco a poco agua en épocas de estiaje (i.e. regulación hídrica estacional) o controlan crecientes tras eventos extremos de precipitación. Una buena regulación hídrica es aquella en la que el caudal del cauce principal de una cuenca se mantiene durante todos los meses del año sin que llegue a secarse, o –en escalas temporales más cortas– cuando limitan el caudal de una creciente. Por ello, un buen indicador para la regulación hídrica, es el caudal específico mínimo¹, es decir el caudal que se mantiene en períodos de sequía.

Los mecanismos más relevantes de regulación en los Andes están asociados al almacenamiento de agua en los glaciares y en ecosistemas como los bosques andinos, los páramos y los humedales de la puna. Estos biomas y sus ecosistemas tienen gran capacidad de almacenamiento de agua en la capa de hojarasca, bofedales y turberas, y en sus suelos orgánicos porosos, aun cuando estos sean poco profundos. Además, la cobertura vegetal, sea esta pajonales, arbustos o bosques, protege el suelo del impacto de la lluvia, disminuyendo la energía cinética de las gotas, previniendo la desecación por exposición a la radiación, y manteniendo la capacidad de infiltración en el suelo (Podwojewski et ál. 2002, Poulenard et ál. 2001, Hofstede 1995, Tobón 2009), por lo que la ocurrencia de escorrentía superficial es poco frecuente.

En el caso de bosques, el sotobosque, la capa de hojarasca, y el alto contenido de materia orgánica en el suelo hacen que el agua encuentre un camino permeable hacia el interior del suelo. Así, se almacenan importantes cantidades de agua en las capas orgánicas del suelo, al igual que en las más profundas, a través de la presencia de hojarasca, los procesos de descomposición y el transporte o movilidad vertical asociada a microorganismos (Tonnejck 2010). De allí que la presencia de cobertura vegetal (asociada a los procesos de estabilización de la materia orgánica) contribuya a disminuir las crecientes y a garantizar caudales base durante la estación seca. Esto aplica sobre todo a nivel micro (i.e. escala local) y con lluvias de duración mediana e intensidad fuerte, mas no extrema. Los páramos, en cambio, tienen una alta capacidad de regulación hídrica debido a la porosidad del suelo, que facilita la infiltración, y debido a la extraordinaria capacidad de retención (Poulenard et ál. 2001). La cobertura vegetal de páramo protege al suelo, evita la escorrentía al disminuir la velocidad del agua y facilita la infiltración, ayudada por la topografía ondulada con suaves pendientes que los caracteriza (Podwojewski et ál. 2002, Poulenard et ál. 2001). En ambos casos (bosques andinos y páramos), las propiedades que garantizan una buena infiltración y que, por lo tanto, contribuyen a la regulación hídrica, disminuyen en suelos desnudos.

¹ "Específico" se refiere a que el valor del caudal ha sido dividido por la superficie de la cuenca a fin de que sean comparables entre cuencas.

Mientras en los páramos y bosques andinos, la totalidad del área con cobertura vegetal contribuye significativamente al almacenamiento y regulación hídrica, en la puna, las zonas de almacenamiento y regulación más importantes están limitadas a los fondos de los valles –con importantes humedales, bofedales y turberas–, y glaciares. Los glaciares almacenan agua en forma de hielo y se constituyen en un excelente mecanismo de regulación, al aumentar su deshielo durante períodos de mayor radiación asociados, generalmente, a época de sequía. A pesar de su importancia, la cobertura glaciar es limitada y su contribución a caudales regulados varía entre los Andes Centrales respecto a los del Norte. Por ejemplo, en los Andes Centrales, con una estacionalidad muy marcada, bajos niveles de precipitación anual y alta variabilidad interanual, los glaciares y los humedales de la puna tienen una importancia muy grande como sostén de los sistemas productivos de pastoreo (Browman 1974, Postigo et ál. 2008). Mientras tanto, en los Andes del Norte, las condiciones de humedad son típicamente mayores, y allí los páramos ganan mayor protagonismo en el rol de regulación (Buytaert et ál. 2006b).

LA DISPONIBILIDAD Y SUFICIENCIA DE AGUA EN LOS ANDES

En situaciones donde la oferta de recursos hídricos está limitada por las condiciones naturales de la cuenca (e.g., baja precipitación, infiltración, o poca capacidad de recarga de acuíferos), los procesos inducidos por el ser humano exacerban aún más la falta de disponibilidad de agua (Santos Pereira et ál. 2009; Figura 1). Estos procesos incluyen los efectos del cambio climático sobre precipitación, temperatura y evapotranspiración, que en su conjunto modifican la oferta hídrica basada en la hidrología de la cuenca, o cambios de cobertura y uso de la tierra

(CCUT) que alteran el estado del ecosistema. Por ejemplo, la degradación de los páramos andinos (Buytaert et ál. 2006a) o el deshielo de los glaciares (Francou et ál. 2005, Jordan et ál. 2005, Vuille et ál. 2008, Ramirez et ál. 2001, Poveda 2009) modifican la capacidad de regulación hídrica y la respuesta de los caudales en los ríos en el corto, mediano y largo plazo. Por ejemplo, varios estudios realizados en los países andinos muestran que el incremento en la pérdida de los glaciares inicialmente aumenta los caudales, pero con el paso del tiempo, los caudales disminuyen y se vuelven más variables (i.e. aumentando en época de lluvias y disminuyendo en la época seca; Chevallier et ál. 2004, Kaser et ál. 2003, Mark y Seltzer 2003, Juen et ál. 2007, Poveda 2009).

Considerando los cambios esperados en la precipitación y el incremento de la temperatura media por el cambio climático, también se prevé un avance de la frontera agrícola hacia alturas mayores, y la conversión de ecosistemas altoandinos como páramos y bofedales en áreas de cultivos (De Haan et ál. 2010) con cambios en la distribución de nichos climáticos de especies y ecosistemas, así como en la provisión de alimentos y actividades agrarias (Cuesta et ál., capítulo 5, en esta publicación, Postigo et ál., capítulo 6, en esta publicación). Los cambios climáticos generan problemas, tanto en la disponibilidad de agua a lo largo del año para diversos usos (doméstico, agricultura, y generación hidroeléctrica; Bradley et ál. 2006, Vergara et ál. 2007b), como en la frecuencia y riesgo de desastres naturales por inundaciones, avalanchas/aluviones, heladas y erosión de suelos (Carey 2005, Cigarán y García 2006, Angulo 2006). Muchas veces es difícil identificar con precisión si estos fenómenos se deben a cambios climáticos o a cambios de uso de la tierra localmente, sugiriendo que la interacción entre procesos climáticos y antrópicos es la que determinan la oferta hídrica, y el grado de vulnerabilidad de los pobladores. A futuro, se proyecta que estos cambios se acentúen, teniendo en cuenta que se espera que el incremento de la temperatura



FIGURA 1: **Procesos que influyen la disponibilidad y suficiencia de agua en los Andes**

| Naturales | | Inducidas por el ser humano | | | |
|---|--|--|---|---|--|
| Climáticos | Hidrológicos | Cambio climático | Estado de ecosistemas | Mediación y acceso | Demanda |
| <ul style="list-style-type: none"> • Baja precipitación media • Alta variabilidad de precipitación • Sequías | <ul style="list-style-type: none"> • Baja infiltración • Alta erosión y sedimentación • Baja capacidad de almacenamiento • Baja recarga de acuíferos | <ul style="list-style-type: none"> • Incremento de temperatura y evapotranspiración • Disminución de precipitación • Aumento de estacionalidad • Mayor frecuencia de eventos extremos • Efectos de cambios de vegetación a gran escala de sobre patrones de cambio en la distribución de ecosistemas y sistemas productivos | <ul style="list-style-type: none"> • Conversión de ecosistemas (e.g., deforestación) • Degradación de ecosistemas (e.g., desecación de humedales) | <ul style="list-style-type: none"> • Pobre institucionalidad con políticas deficientes o inequitativas • Infraestructura pobre o ausente • Uso ineficiente de infraestructura • Falta de tratamiento para reutilización de agua | <ul style="list-style-type: none"> • Patrones de consumo (huella hídrica) • Modelos de desarrollo extractivista-intensivo • Crecimiento poblacional • Urbanización |
| Oferta basada en la hidrología de la cuenca | | | | Institucionalidad e infraestructura que media el acceso | Demanda basada en patrones de crecimiento |

Adaptado de Santos Pereira et ál. (2009).

sea más severo a mayores alturas (Bradley et ál. 2006). Por lo tanto, el cambio climático podría exacerbar patrones de cambio de cobertura y uso en los Andes que, de por sí, son la mayor amenaza al mantenimiento de funciones hidrológicas esenciales para el bienestar humano.

En las últimas décadas, varios estudios han subrayado cómo los recursos hídricos disponibles en los Andes son cada vez más escasos o mal distribuidos a nivel local y regional (Oré et ál. 2009, Jacobsen y MacNeish 2006). La compleja hidrología de los Andes Tropicales, con grandes diferencias de precipitación, humedad y temperatura, está acompañada por una compleja y heterogénea dinámica de acceso y demanda de agua (Boelens y Dávila 1998, Boelens 2008a, Gelles 2000, Roth et ál. 2005, Boelens, et ál. 2006, Randolph-Bruns y Meinzen-Dick 2000, Trawick 2001, van Koppen et ál. 2010). Por un lado se encuentra la presencia histórica de comunidades indígenas, con sólidas bases organizativas a través de las cuales median el acceso al agua, las cuales han desarrollado históricamente prácticas de adaptación a la variabilidad climática y ambiental (Denevan 2001, Boelens et ál. 2006). Por otro, la expansión de nuevos sectores productivos y extractivos –con altas exigencias de agua–, junto con el crecimiento urbano, ponen más presión sobre los recursos hídricos disponibles (van Koppen et ál. 2010, Oré et ál. 2009). Para todos, el acceso seguro al agua en el corto y largo plazo es vital para su reproducción social, cultural y económica.

En los Andes, el marcado crecimiento demográfico –especialmente urbano– ha incidido sobre los patrones de acceso y demanda de agua, a través de la expansión de los servicios de agua potable y alcantarillado, la intensificación de las actividades agrícolas e industriales, y la contaminación de los recursos hídricos (Oré et ál. 2009). La alta concentración de la población en áreas urbanas (> 66% de la población en los cinco países andinos; PNUD 2008) genera demandas materiales para producción y consumo, tanto de agua como de nuevos productos agrícolas y energía, transformando el entorno ambiental, la cobertura y uso de la tierra, y los sistemas hidrológicos, a múltiples escalas (Seto et ál. 2010, Grimm et ál. 2008). La demanda de agua está relacionada a los patrones de crecimiento de los países andinos y al impulso de modelos de desarrollo basados en sectores que requieren grandes volúmenes de agua para sostener altas tasas de rentabilidad (e.g., la agro-industria en el desierto costero peruano), con efectos negativos sobre la calidad del agua (e.g., minería). Las actividades de estos sectores están orientadas, frecuentemente, a satisfacer nuevas preferencias del mercado internacional y dietas alimenticias de las poblaciones urbanas. Aunque la agricultura siga siendo el principal usuario de agua en los Andes Tropicales, en su conjunto, todo ello implica una presión creciente sobre los recursos hídricos a través de usos competitivos, afectando el bienestar humano y la seguridad alimentaria (van Koppen et ál. 2010, Rosegrant 2009) y, además, donde cada uso tiene diferentes formas de gestionar el recurso (Gelles 2000, Roth et ál. 2005, Boelens et ál. 2006, Randolph-Bruns y Meinzen-Dick 2000, Trawick 2001).

La suficiencia del recurso hídrico (i.e. cuando la oferta satisface la demanda de múltiples usos; Santos Pereira et ál. 2009), depende en gran medida de las instituciones, políticas e infraestructura que median el acceso al agua. En muchos casos, una pobre institucionalidad con políticas inadecuadas e inequitativas, y una infraestructura ineficiente o inexistente agravan aún más la situación (Santos Pereira et ál. 2009). Las diferencias e inequidad en el acceso al agua entre diferentes grupos sociales ha hecho que este recurso sea por definición una demanda social, y al mismo tiempo, causante de conflictos políticos y de cooperación social en los Andes (Gutierrez 2006, Jacobsen y MacNeish 2006, Oré et ál. 2009, Ruf 2000, Van der Ploeg 2006, Zimmerer 2000). Uno de los casos más conocidos y estudiados es el de Cochabamba, Bolivia, donde miles de habitantes de esta ciudad salieron a las calles para protestar en contra de la concesión del servicio de agua a una empresa privada (Assies 2003, Crespo y Fernández 2004, Laurie et ál.2002). El caso de Cochabamba no es único, y muchos otros estudios han subrayado el carácter político, pero también cultural del recurso hídrico en los Andes (cf. Boelens y Hoogendam 2002, Boelens 2008b, Jacobsen y MacNeish 2006, Oré 2005, Perreault 2005, Roth et ál. 2005). En la región, las comunidades altoandinas generalmente utilizan normas tradicionales o consuetudinarias –junto con leyes y reglas introducidas por el Estado para gestionar este recurso– (i.e. legalismo plural; Gelles 2000, Roth et ál. 2005, Boelens et ál. 2006, Randolph-Bruns y Meinzen-Dick 2000, Trawick 2001). En el contexto de cambio climático, se cree que, mientras más organización y capacidad de manejo existe, las poblaciones son menos vulnerables a la variabilidad climática (Doornbos 2009a), ya que pueden responder con más facilidad a estos cambios (Murtinho 2010). Sin embargo, muchas veces las políticas e inversiones gubernamentales han desconocido la compleja y heterogénea estructura de obligaciones y derechos que rigen en la gestión andina del agua, generando visiones contrarias y contraproducentes sobre el manejo del recurso hídrico (Boelens y Dávila 1998).

En este marco, esta síntesis abarca tanto los impactos esperados sobre los recursos hídricos, así como las respuestas adaptativas de los pobladores, especialmente rurales, quienes han estado expuestos históricamente a la variabilidad climática y han desarrollado estrategias para minimizar sus riesgos (cf. Murra 1972, Brush 1976, Stadel 2001).

MÉTODOS

ESTIMACIÓN DE IMPACTOS PROYECTADOS SOBRE RECURSOS HÍDRICOS EN LOS PAÍSES ANDINOS

En primer lugar, se analizaron los escenarios de cambios en precipitación que plantean los diferentes modelos globales de clima (GCMs por sus siglas en inglés), y las diferencias entre ellos, que conllevan un alto grado de incertidumbre sobre precipitación futura (ver Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación, Buytaert et ál. 2009). En segundo lugar, a fin de contar con una idea general de escenarios futuros para los Andes Tropicales en cuanto a disponibilidad de agua, Buytaert et ál. (2011) aplicaron un modelo hidrológico sencillo a escala regional. Este modelo proyecta cambios de las variables climáticas sobre variables hidrológicas que inciden sobre la disponibilidad de agua. Para ello, se han integrado los GCM con un modelo regional de balance hídrico a través de una desagregación estadística. El modelo regional de balance hídrico (RCM) tiene una resolución espacial de 0.1°, y refleja la estacionalidad de la disponibilidad de



agua, estimando niveles promedios esperados, pero no representa la variabilidad interanual. El modelo calcula la evapotranspiración actual y futura, y determina la cantidad de agua disponible para extracción en forma superficial o subsuperficial (i.e. la fracción de precipitación que constituye la escorrentía superficial más la recarga de los acuíferos subterráneos) como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración.

Adicionalmente, Buytaert et ál. (2011) realizó un análisis que ilustra la falta de capacidad predictiva (y alto nivel de incertidumbre) del régimen de caudal a escalas locales, tomando en cuenta los mejores modelos climáticos regionales y desagregados disponibles. Como estudio de caso, se aplicó un modelo lluvia-escorrentía en la cuenca del Río Tomebamba, una subcuenca del Río Paute en Ecuador, para la que existe una información suficiente. Al contrario que el modelo de balance hídrico, este modelo considera la regulación de agua en la cuenca a través de la inclusión de distintos reservorios dentro del modelo. El modelo consiste en un módulo para calcular pérdidas por evapotranspiración, y un módulo de escorrentía que representa la demora entre la precipitación y el caudal (Beven 2001). Tanto la evapotranspiración potencial como la humedad del suelo dependen fuertemente de las condiciones climatológicas, las cuales cambiarían en escenarios futuros. Esa dinámica está incluida en el modelo, usando un módulo de déficit hídrico (Croke et ál. 2004). Para el módulo de escorrentía, se implementaron dos reservorios lineales paralelos, para componentes de flujo rápido y lento, respectivamente (Beven 2001). La evapotranspiración potencial fue calculada mediante el método FAO-Penman Monteith (Allen et ál. 1998), usando los datos de cuatro estaciones meteorológicas cerca del área de estudio. Para la interpolación se usó la relación Thornthwaite entre temperatura y evapotranspiración potencial, con una relación entre altura y temperatura obtenida de 24 estaciones de temperatura locales ($-0.54/100 \text{ m}^1$, Timbe 2004).

Los promedios espaciales de precipitación se obtuvieron de 13 estaciones pluviométricas (Célleri et ál. 2007) usando la interpolación de Thiessen. El modelo se corrió con pasos diarios para el periodo 1978-1991, incluyendo un año de estabilización del modelo.

REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE ADAPTACIÓN Y VULNERABILIDAD EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LOS ANDES TROPICALES

La revisión de la literatura de Murtinho y Armijos (2010) se concentró en identificar las respuestas y procesos de adaptación a efectos de cambio climático a escala local y regional, con especial énfasis en la oferta y demanda hídrica para uso local (e.g., riego, consumo humano), e incluyendo problemas de degradación ambiental. Las fuentes consultadas incluyeron libros, revistas indexadas, reportes institucionales, memorias de conferencias disponibles en internet, priorizándose la revisión de aquellos documentos que describían estudios de casos de vulnerabilidad y adaptación sobre los recursos hídricos asociados a la variabilidad climática histórica o generados por el cambio climático (e.g., cambios recientes en sequías, variabilidad de precipitaciones, inundaciones). En base a ese insumo, en esta síntesis se reclasificaron las estrategias identificadas bajo un enfoque conceptual adaptado sobre los procesos que influyen la suficiencia hídrica, de Santos Pereira et ál. (2009). Adicionalmente, se amplió la revisión de literatura, incluyendo temas como la gestión de los recursos hídricos en los Andes y prácticas de sistemas productivos andinos.

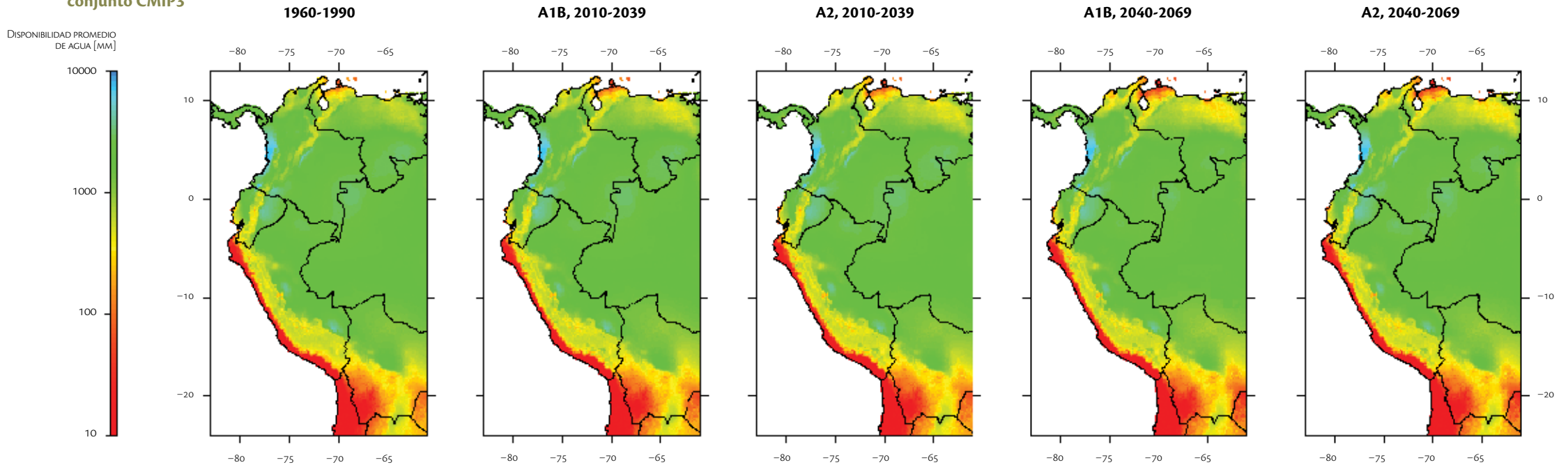


CAMBIOS CLIMÁTICOS ESPERADOS Y SU EFECTO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA

DISPONIBILIDAD FUTURA DE AGUA: TENDENCIAS EN EL PROMEDIO ENTRE LOS MODELOS

Buytaert et ál. (2011) acoplaron los modelos globales de cambio climático (GCMs) a un modelo regional de balance hídrico, desarrollado específicamente para los Andes Tropicales, para determinar la disponibilidad física de agua. En la predicción promedia del conjunto de GCMs, el incremento de la evapotranspiración es compensado por un incremento en la precipitación, resultando en un efecto total limitado sobre las tasas de agua disponibles para recargar acuíferos y escurrir en los cursos de agua (Figura 2). Sin embargo, las discrepancias entre las proyecciones del conjunto de modelos se propagan a través del modelo hidrológico, resultando en un rango de predicción muy amplio, incluyendo escenarios de aumento dramático de estrés hídrico.

FIGURA 2: Disponibilidad promedio de agua [mm] para el presente y el futuro basado en respectivamente 10 modelos (escenario A1B) y 8 modelos (escenario A2) del conjunto CMIP3

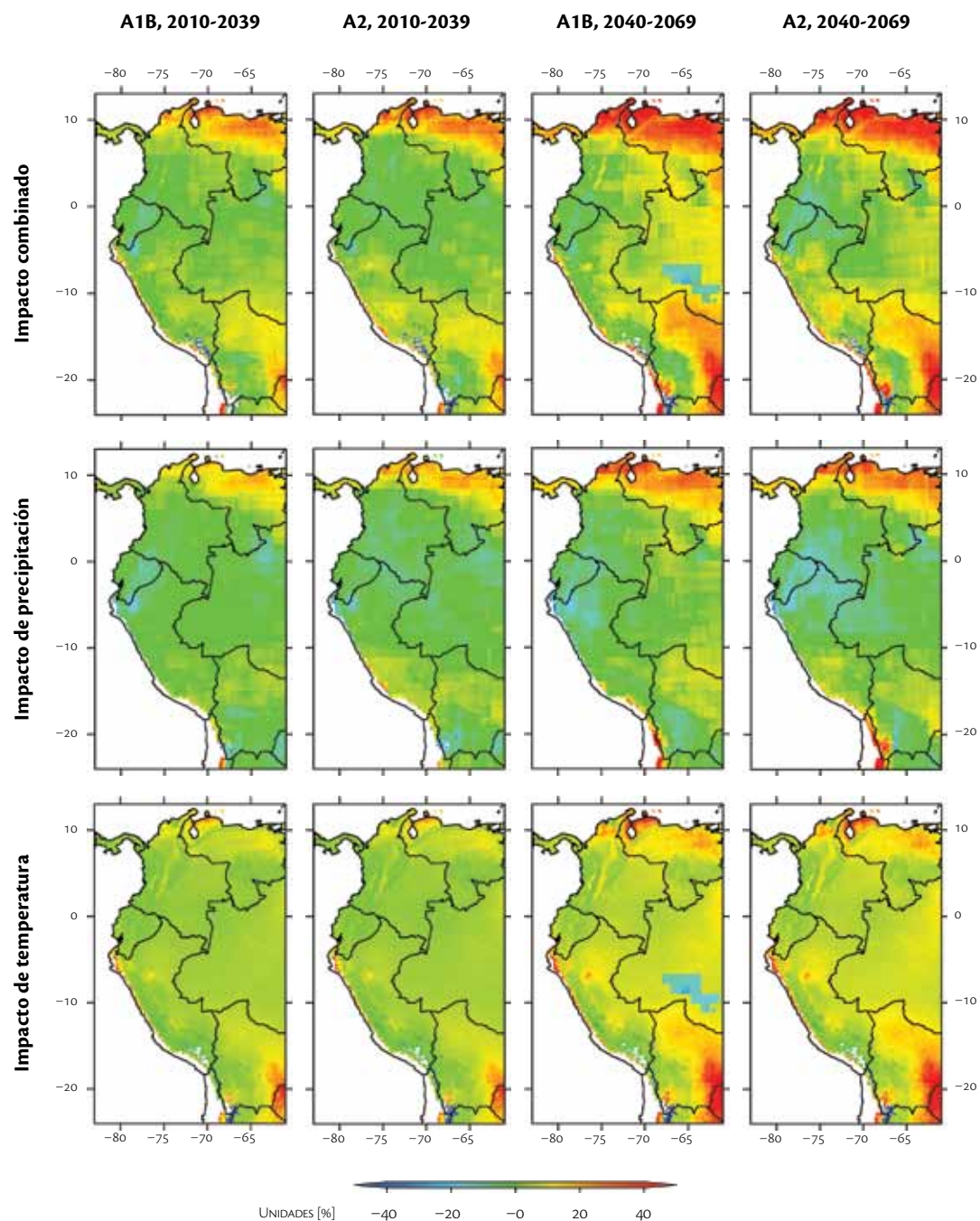


Consistente con las tendencias en precipitación (Figura 4 en Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación), se observa una disminución de la disponibilidad de agua en la zona costera de Venezuela, la cual está bajo la influencia de los vientos alisios del Caribe. De igual manera, el estrés hídrico se incrementa en los altiplanos de Perú y Bolivia. Sin embargo, en la mayor parte de la zona Andina tropical se nota muy poco cambio en la disponibilidad de agua. Esto se debe a que se anulan mutuamente dos fenómenos: un incremento de precipitación de hasta 10% (Figura 4 en Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación) y un incremento parecido de la evapotranspiración actual debido al incremento de la temperatura.

INFLUENCIA DE CAMBIOS EN LA PRECIPITACIÓN

Debido a la influencia de los regímenes de precipitación sobre la disponibilidad de agua, existe gran preocupación por los potenciales cambios en su cantidad y estacionalidad bajo escenarios de cambio climático. Sin embargo, durante el Siglo XX los cambios en precipitación han sido mucho menos notorios que el aumento de la temperatura (Vuille et ál. 2003). Estudios regionales en base a análisis de series largas de registro de precipitación no han encontrado tendencias marcadas sobre cambios en precipitación, incluida la mayor parte de los Andes Tropicales (Muñoz com pers. 2011) Sin embargo, al norte de los 11°S, en Colombia y

FIGURA 3: Cambio relativo de la disponibilidad física promedio de agua [%] para el futuro.



Ecuador varios estudios encuentran una tendencia moderada de incremento de la precipitación y condiciones más húmedas, mientras que en el sur del Perú y a lo largo del límite peruano-boliviano, la mayoría de estaciones indican una disminución de la precipitación (Vuille et ál. 2003, Haylock et ál. 2006).

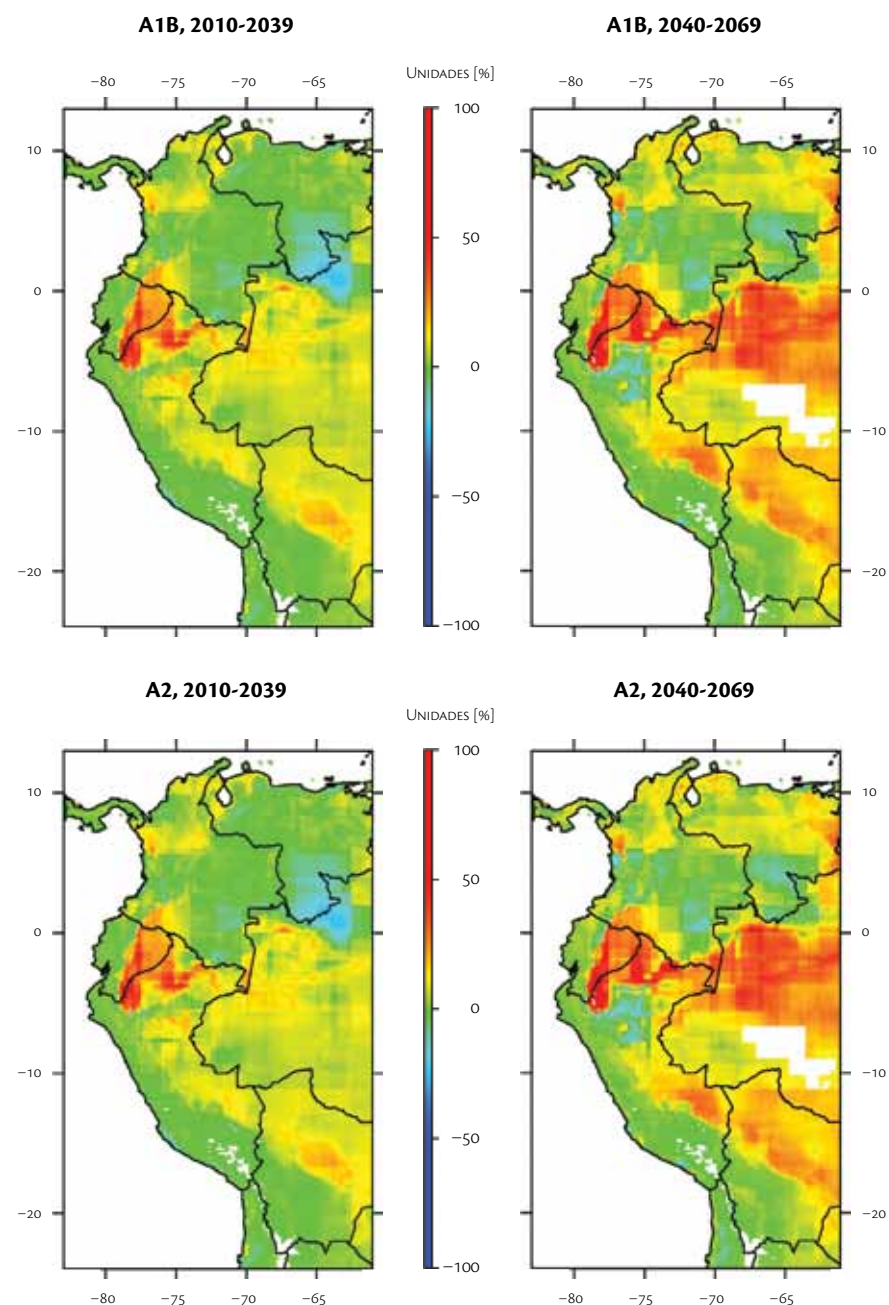
Diferentes GCM, ajustados al modelo regional desagregado, dan proyecciones completamente distintas en cuanto a la magnitud de los cambios de precipitación y su dirección para los Andes Tropicales. Los escenarios de cambio de precipitación con base en los modelos climáticos globales, y con base en modelos regionales desagregados, se discuten en detalle en Buytaert y Ramírez-Villegas (capítulo 3, en esta publicación). Considerando las proyecciones de todos los modelos, en promedio se espera un ligero, casi insignificante incremento en precipitación total (segunda línea de imágenes en la figura 3); pero esta tendencia no refleja disminuciones drásticas locales, ni tampoco una exacerbación de contrastes entre estaciones, algo que varios modelos indican.

El patrón del impacto de precipitación sobre la disponibilidad de agua es muy variable, y sigue en líneas generales las tendencias de la misma precipitación. En los Andes del Ecuador y Colombia, así como en el altiplano Boliviano, se observa un incremento de disponibilidad de agua por causa de un aumento de precipitación, mientras que, en el norte de la sierra peruana, varias zonas sufrirían una disminución de la disponibilidad de agua hasta 10%, y localmente 20% en el escenario A2B, periodo 2040 – 2069.

Se muestra respectivamente el cambio total, el cambio debido a la variación en la precipitación y al incremento de evapotranspiración generado por el aumento de temperatura. Las regiones sin datos, mostrados en blanco, tienen una precipitación actual de 0 mm.

Varios estudios globales, incluyendo los informes del mismo IPCC (Giorgi y Bi 2005, IPCC 2007) sugieren que la estacionalidad de la precipitación aumentará, es decir lloverá más durante el periodo húmedo y menos durante el periodo seco. Evaluamos los cambios en el índice de estacionalidad tal como fue definido por Walsh y Lawler (1981). Se observa en promedio un ligero aumento de la estacionalidad a nivel regional (Figura 4), pero la tendencia tiene una variabilidad espacial muy errática y no es notable. Una vez más, los modelos tienen grandes dificultades para confirmar la percepción generalizada de un aumento de la estacionalidad (cf. Seto et ál. 2010). Además, es posible que percepciones a nivel local relacionadas a una mayor estacionalidad (cf. PRATEC 2011) se basen en mayor medida sobre sus observaciones de caudal y en menor grado en observaciones de precipitación, en cuyo caso el aumento de la estacionalidad podría ser consecuencia de una pérdida de capacidad de regulación de la cuenca, y no necesariamente de un cambio en estacionalidad de la precipitación.

FIGURA 4: Cambio relativo en el índice de estacionalidad (%) para el presente y el futuro basado en respectivamente 10 modelos (escenario A1B) y 8 modelos (escenario A2) del conjunto CMIP3



La evapotranspiración depende, entre otros parámetros, tanto del tipo de vegetación (e.g., cultivos, bosques) como de la temperatura. Particularmente, la influencia de la temperatura en la evapotranspiración relega efectos de otros parámetros meteorológicos, como la humedad del aire, la velocidad del viento, y la radiación solar, a un segundo plano. Con base en las fórmulas empíricas que establecen la relación entre la evapotranspiración y los parámetros meteorológicos, se espera un incremento de entre 5 y 15 % por cada grado de aumento de temperatura. Por lo tanto, la progresiva y creciente pérdida de agua en el ciclo hidrológico por evapotranspiración es importante en escenarios de aumento de temperatura de 2 o 3 grados Celsius.

Existen razones físicas para asumir que el aumento de temperatura sea mayor a altitudes mayores que en menores (Viviroli et ál. 2010). Aunque los resultados de los GCMs soportan esta tendencia, es difícil de verificar debido a la falta de series de datos observados confiables y suficientemente largas. Sin embargo, reportes recientes de los Andes Peruanos, que muestran que las temperaturas diarias máximas ahora suben encima de 0°C entre Octubre y Mayo aún a elevaciones tan altas como 5680 m, ciertamente parecen apoyar el supuesto (Bradley et ál. 2009).

Al contrario de lo que ocurre con la precipitación, en cuyo caso la incertidumbre es tan amplia que no existe ni siquiera certeza sobre la dirección del cambio, la evidencia sobre el aumento de la temperatura y de la evapotranspiración sugiere un efecto negativo sobre la disponibilidad de agua (Vuille et ál. 2003). Tal efecto está distribuido en todo el año, y afecta por igual a las estaciones lluviosas y secas.

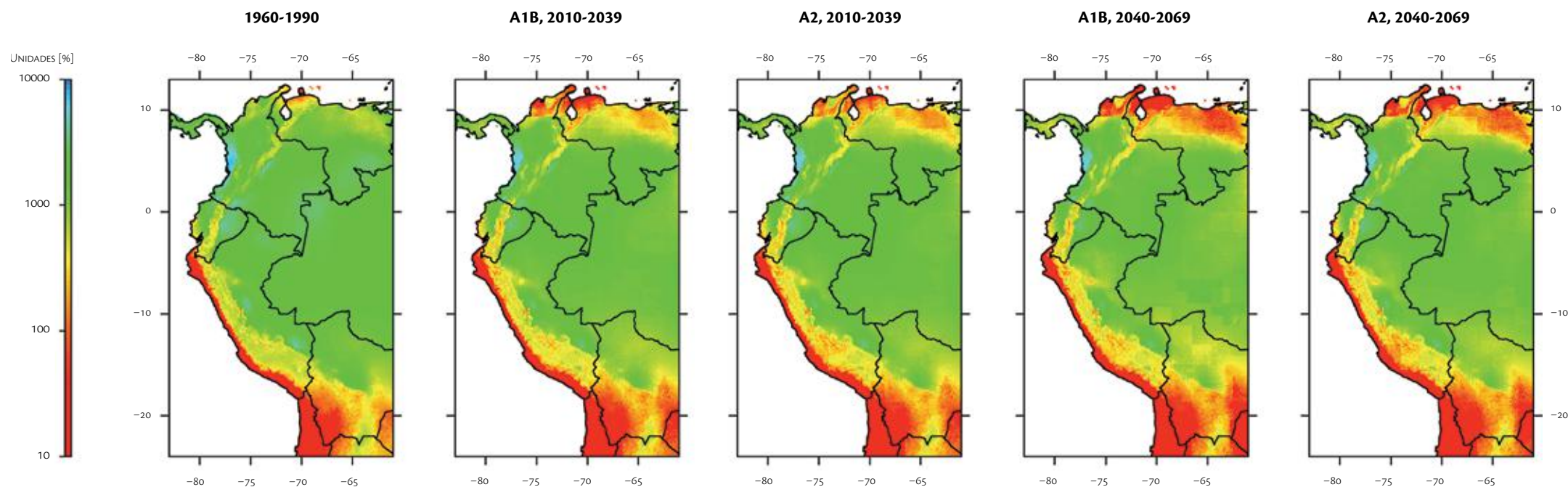
El impacto de la temperatura, en términos espaciales, es relativamente homogéneo, aunque se nota un impacto ligeramente menor en los Andes respecto a los llanos orientales (y la Amazonía) (tercera línea de imágenes en la figura 3). La lógica de esta tendencia no es evidente, pero es probable que la relación no-lineal entre la temperatura y la evapotranspiración de referencia de Thornthwaite juegue un papel importante. Esta hace que el mismo incremento de temperatura resulte en un incremento mayor de evapotranspiración en zonas calientes, comparado con zonas frías.

EL RANGO DE PROYECCIONES DE DISPONIBILIDAD DE AGUA: EL PROMEDIO OCULTA LOS VALORES EXTREMOS

De igual forma que en el análisis de las proyecciones directas de variables climáticas del conjunto de GCMs empleados, la media de las proyecciones de disponibilidad de agua representa la proyección más probable para el futuro, bajo

el supuesto de que todos los modelos del conjunto tienen la misma capacidad predictiva. Sin embargo, la incertidumbre en las proyecciones de variables climáticas se propaga por el modelo hidrológico, y se agrega a la incertidumbre propia de la modelización hidrológica. Es así que se debe considerar también a los escenarios extremos, dentro del conjunto de GCMs como realistas. De especial interés es el peor escenario desde el punto de vista de los recursos hídricos, el más seco (Figura 5). Especialmente en el periodo 2040-2069 se observan cambios importantes en la disponibilidad de agua en los Andes Tropicales. En este escenario, varias regiones del altiplano peruano y boliviano, actualmente en condiciones semiáridas (amarillo), se convertirían en zonas áridas (rojo). Algunas zonas en el Caribe bajo la fuerte influencia de los vientos alisios, y que actualmente son zonas no áridas, se convertirían en zonas áridas. Finalmente, grandes partes de la sierra Ecuatoriana y Colombiana, incluyendo el eje cafetero, podrían presentar características de regiones semiáridas. Este escenario es tan probable como cualquier otro, y nos hace reflexionar a la hora de diseñar medidas de adaptación. Está claro que los cambios moderados, en el promedio de las tendencias identificadas a través de los distintos GCMs, no deben hacernos pensar que no debemos esperar cambios más drásticos.

FIGURA 5: Predicción más seca de la disponibilidad de agua [mm] para el presente y el futuro de acuerdo a los 10 modelos (escenario A1B) y 8 modelos (escenario A2) del conjunto CMIP3



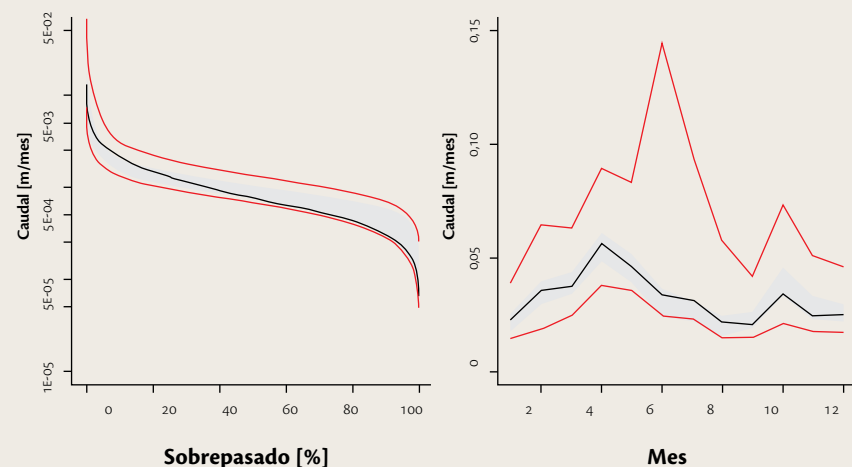
LA INCERTIDUMBRE EN LAS PROYECCIONES DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA FUTURA

Dentro de las distintas fuentes de incertidumbre asociadas a las proyecciones de disponibilidad hídrica futura, la incertidumbre sobre la disponibilidad actual es una de las más importantes. Los modelos mantienen problemas significativos para describir adecuadamente la disponibilidad de agua en condiciones climáticas actuales, debido a información limitada sobre patrones de precipitación a una resolución espacial adecuada, y la falta de conocimiento sobre los procesos hidrológicos dominantes, como la escorrentía subsuperficial y la regulación en suelos orgánicos poco profundos. Las proyecciones de disponibilidad hídrica futura, se basan en modelos que tienen ya esta limitación inherente, y en las proyecciones de parámetros meteorológicos para el futuro con su propia incertidumbre adicional. El caso de estudio de Paute, en Ecuador, muestra que la primera fuente de incertidumbre es más importante que la segunda, lo que significa que para mejorar las proyecciones debemos, en primer lugar, mejorar la capacidad de descripción de la situación actual, y en segundo lugar, mejorar nuestra capacidad predictiva. A la vez, significa que la incertidumbre sobre el cambio relativo a darse es menor que sobre los valores futuros de los distintos parámetros climáticos e hidrológicos. Podemos saber con mayor precisión qué cambio relativo se va a producir, pero debido al desconocimiento sobre la situación actual de los recursos hídricos, la incertidumbre sobre el valor futuro sigue siendo grande.

Limitaciones de los modelos regionales de clima de los modelos hidrológicos en cuencas andinas para predicciones a nivel local

A escala local, y tomando en cuenta distintos escenarios de emisión, la variabilidad entre las proyecciones de clima es muy grande. Por ejemplo, para el caso de la cuenca del Río Tomebamba en Paute, Ecuador, las proyecciones para el periodo 2070-2099 tienen un rango de cambio entre -25% y +45% para la precipitación, y para la temperatura un incremento entre 1.2 y 4.8°C (Figura 6). La exclusión o reducción del peso de ciertos escenarios de emisión o de ciertos GCMs podría ser una opción para reducir estos rangos de cambio, pero estas decisiones son subjetivas y polémicas (Allen y Ingram 2002, Stainforth et ál.

FIGURA 6: Incertidumbre en las proyecciones del impacto de cambio climático sobre los recursos hídricos



Curva de duración de flujo, o caudal en función del porcentaje de tiempo que es sobrepasado (caudal máximo sobrepasado 0% del tiempo, caudal medio sobrepasado 50% del tiempo y caudal mínimo sobrepasado 100% del tiempo);

Caudal mensual promedio. La línea negra representa la curva observada, el área gris indica los límites de 90% de incertidumbre del modelo hidrológico durante la calibración (90%), las líneas rojas indican los límites de 90% de incertidumbre de predicción para el escenario A1B, periodo 2070-2099), incluyendo ambos la incertidumbre del modelo hidrológico y los modelos globales de clima.

2007b). Otra alternativa para reducir la incertidumbre, especialmente para las regiones montañosas, consistiría en la exploración de la desagregación espacial.

Buytaert y Ramírez-Villegas (capítulo 3, en esta publicación) han mostrado que los modelos regionales de clima (RCMs) pueden mejorar la representación de los patrones de precipitación local bajo ciertas condiciones. Potencialmente, también contribuyen a la disminución de la incertidumbre de las proyecciones climáticas. Sería necesaria la implementación de los RCMs para todo el juego de GCMs para confirmar si los RCMs disminuyen en efecto la variabilidad de las proyecciones de precipitación. Este sería el siguiente paso a seguir investigando. Sin embargo, las potenciales mejoras están también condicionadas por la contribución de las proyecciones climáticas a la incertidumbre total del impacto proyectado. Esto depende del sistema específico bajo consideración. Se realizó una evaluación de la importancia de cada una de las fuentes de incertidumbre sobre la predicción de la curva de duración de flujo y sobre la variación estacional de la descarga del río bajo condiciones de clima futuro, usando el modelo AR4 del IPCC para la cuenca del río Tomebamba (Figura 6). Este análisis se enfoca en el escenario A1B, para facilitar la comparación con otros estudios que utilizan este escenario.

La parte más grande de la incertidumbre en las proyecciones futuras (61.4% para las curvas de duración del flujo y 71.0% para la estacionalidad) corresponde al juego de modelos del IPCC, resaltando la importancia que tendría una mejor desagregación espacial. El modelo hidrológico por sí mismo también contribuye significativamente a la incertidumbre total, lo cual resalta la necesidad de mejorar el entendimiento del funcionamiento hidrológico del sistema estudiado. Investigaciones hidrológicas previas (e.g., Buytaert et ál. 2006b) en el área de estudio han demostrado que el pobre conocimiento, tanto de los patrones de precipitación, como del funcionamiento de los humedales locales, son los principales problemas para una modelación adecuada.

Los resultados de la aplicación de un modelo desagregado (RCM) como PRECIS son mixtos. En comparación con el HadAM3p, el GCM que provee las condiciones de borde de la implementación del PRECIS para los países andinos. PRECIS es capaz de simular mejor la precipitación total sobre la cuenca Amazónica. Sin embargo, grandes errores en la simulación de los patrones de precipitación aparecen sobre los Andes cuando el modelo es comparado con la data observada. Localmente, estas simulaciones pueden exceder el error registrado con el modelo HadAM3p de resolución más gruesa. Los resultados muestran que hay que tener cuidado con la implementación de modelos regionales. Para climas locales, los RCMs podrían producir resultados inapropiados o peores que los de los GCMs, especialmente cuando se considera la precipitación.

Tanto a nivel regional como local, el rango de escenarios potenciales es muy amplio. En muchos casos, las condiciones potenciales futuras envuelven completamente las condiciones actuales. Actualmente no es posible llegar a conclusiones decisivas acerca de la magnitud o dirección del cambio respecto a la disponibilidad de agua o el régimen de caudal bajo condiciones de clima futuro. Las proyecciones regionales de cambio climático no proveen estimaciones confiables de los patrones de precipitación futuros a una escala local, que son necesarias para optimizar las estrategias de manejo de agua. Por ello es importante cuantificar el rango de incertidumbre de las proyecciones (e.g., Dessai y Hulme 2007). Los modelos regionales proveen información acerca del rango de incertidumbre y el rango de escenarios que se debe considerar en el proceso de toma de decisiones para el manejo.

El conocimiento sobre la situación futura de los recursos hídricos está limitado, en gran medida, por grandes vacíos en nuestro conocimiento sobre los elementos del ciclo hidrológico actual. En ciertos aspectos, las preguntas que los tomadores de decisión hacen acerca de las predicciones de disponibilidad de agua para el futuro, han llevado a concientizar sobre la necesidad de conocer con mucho mejor detalle el funcionamiento hidrológico actual. Por ejemplo, el parámetro más elemental para cualquier análisis hidrológico, la precipitación, todavía no está descrito con una resolución adecuada para el modelamiento a escala de cuencas o subcuencas para todos los Andes, debido a las condiciones de variabilidad espacial extrema. Una gran parte de los Andes tropicales no cumple con los requerimientos mínimos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en cuanto a la densidad de la red pluviométrica en alta montaña. La implementación

de modelos regionales de clima a alta resolución, considerada indispensable para bajar la incertidumbre de las proyecciones, tal como el desarrollo de intervenciones bajo criterios precautorios (i.e., *no regrets*), requieren mayor información y entendimiento de los procesos hidrológicos locales. Por otro lado, sabemos que los páramos y bofedales de la puna juegan un rol importante de regulación, pero su funcionamiento no está bien descrito, lo que impide realizar proyecciones sobre cómo este funcionamiento sería afectado por el calentamiento.

Mientras que investigación adicional podría probablemente reducir de alguna manera el rango de escenarios posibles, una parte importante de la incertidumbre no podrá ser eliminada en un futuro cercano. Más allá de debatir sobre la relevancia de los esfuerzos de modelización para el manejo sostenible del agua en el contexto de incertidumbres, es necesario apoyar los procesos de toma de decisiones para afrontar el cambio climático ahora. El desarrollo de investigaciones de adaptación climática y manejo de agua presenta diferentes métodos para el manejo de incertidumbre en la toma de decisiones. El manejo adaptativo del agua parte de la aceptación de que no es posible reducir totalmente la incertidumbre sobre el cambio climático futuro (Pahl-Wostl et ál. 2007). Asumiendo cambios futuros e incertidumbre no reducible acerca de la dirección y el tiempo de estos cambios, esta aproximación pasa del paradigma “predicción-y-control” a una aproximación adaptativa, con un continuo aprendizaje y flexibilidad como objetivos claves. En este sentido, las grandes inversiones de infraestructura con altos costos irreversibles, decisiones irreversibles o estrategias de manejo fijas no permiten un continuo aprendizaje y ajuste. Una manera más efectiva de lidiar con lo impredecible es a través de la creación de capacidad de respuesta efectiva ante el cambio y condiciones desconocidas, usando estrategias de desarrollo que sean robustas ante un rango amplio de posibles futuros escenarios, por ejemplo diversificación de estrategias o estrategias que



puedan ser aplicadas de manera flexible cuando sean necesarias (Brugnach et ál. 2008).

El enfoque de estrategias más robustas puede ser complementado con un análisis de las vulnerabilidades clave del sistema de agua y los servicios que el agua provee, más que en una estrategia óptima (Dessai et ál. 2009). En este caso, un método útil es el desarrollo de intervenciones seguras, definido como el conjunto de estrategias que conlleva a beneficios independientemente de las tendencias futuras en escenarios climáticos (Heltberg et ál. 2009). Dado que el clima es solo uno de los tantos procesos inciertos que influyen en el manejo de recursos hídricos, estrategias seguras, o de amplio espectro, favorecerán medidas que son beneficiosas para enfrentar situaciones de otras presiones también.

Estas estrategias son idealmente los productos de una aproximación integrada que involucra usuarios, científicos, administradores de recursos y tomadores de decisiones. En la cuenca del río Paute, representativa de muchas cuencas de los Andes del Norte, tales interacciones han sido puestas en curso por un largo tiempo. Dos ecosistemas claves, los bosques andinos y el páramo, han sido identificados como excelentes proveedores de agua debido a la alta capacidad de almacenamiento y regulación hídrica. Por lo tanto, los esfuerzos de adaptación tienen que enfocarse en estos ecosistemas (Celleri y Feyen 2009). De igual manera, el control de la erosión y la restauración de tierras agrícolas degradadas en la parte baja de la cuenca del Paute intentan disminuir la presión agrícola sobre las áreas que contienen los recursos hídricos.

CONSIDERACIONES SOBRE ZONAS DE IMPORTANCIA EN LA REGULACIÓN HIDROLÓGICA EN LOS ANDES TROPICALES

La evapotranspiración de la vegetación y el contenido de materia orgánica de los suelos y las turberas serán afectados por el calentamiento global. Estas variables tienen repercusión directa sobre la hidrología de las cuencas andinas. La evapotranspiración es directamente proporcional a la temperatura, independientemente de la vegetación en cuestión. De tal manera que la “pérdida” de agua por evapotranspiración estaría en aumento en todas las zonas hidrológicas o ecosistemas: bosques andinos, puna, páramo, y zonas cultivadas. El efecto ha sido evaluado a través de la modelización en la sección 3.1.2, y cuantificado, dependiendo del escenario, en un aumento de 10 a 20% (Buytaert et ál. 2010a). Por otro lado, el contenido de materia orgánica de los suelos tiene gran influencia, tanto en la capacidad de infiltración como en la capacidad de almacenamiento de los suelos y las turberas. A pesar de que no existen estudios cuantitativos del efecto del calentamiento global sobre las dinámicas de carbono en estos suelos, se conoce que la temperatura es uno de los factores reguladores, y que a temperaturas

de la superficie más altas, la descomposición de la materia orgánica se acelera (Buytaert et ál. 2010b). Se espera que esto, a su vez, afecte la capacidad de regulación hídrica de estos ecosistemas, especialmente los páramos y los bofedales de la puna, a través del deterioro de la capacidad de infiltración y de almacenamiento (Buytaert et ál. 2010b).

El derretimiento de los glaciares ha sido relativamente bien documentado en la literatura (e.g., Vuille et ál. 2008, Francou 2005) y causa grandes preocupaciones entre académicos, tomadores de decisión y pobladores locales. El retroceso observado de los glaciares andinos es generalmente asociado con disminuciones drásticas en disponibilidad futura del recurso hídrico a escala local o de cuenca hidrográfica. En algunos casos se estima que por el derretimiento, la disponibilidad actual y de próximos años, sea más alta que el promedio histórico, sin embargo, luego de este período de “bonanza”, se espera que la disponibilidad sea drásticamente menor (Mark y McKenzie 2007). Una vez más, el efecto esperado es sobre todo en la regulación hídrica de cuencas hidrográficas con importante cobertura de glaciares, afectando los caudales de estiaje (Vuille et ál. 2008). Sin embargo, muchas cuencas estratégicas de los Andes del norte y algunas de los Andes centrales no tienen cobertura glaciar; por ejemplo, la cuenca del Río Guavio (que alimenta la segunda más grande central hidroeléctrica de Colombia), del Río Paute (que produce más del 50% de la energía eléctrica para el Ecuador), del Río Catamayo-Chira (transfronteriza Ecuador-Perú y que riega grandes extensiones de desierto en la zona de Piura, norte de Perú), y las cuencas abastecedoras de agua a varias ciudades de altura de los Andes, como Bogotá, Medellín y Cuenca. En cuencas estratégicas que abastecen a las ciudades de Quito y Lima, existen glaciares pequeños, pero cuyo aporte al caudal regulado en estas cuencas se estima en menos del 5%. En los Andes Centrales existen cuencas con mayor cobertura de glaciar que en los Andes del Norte, como por ejemplo la cuenca del Río Santa (Cordillera Blanca, centro de Perú), la del Río Apurímac (sur de Perú) y las que desde la Cordillera Real de Bolivia proveen de agua a las ciudades de La Paz y El Alto.

Al igual que en muchas otras partes del mundo, en las cordilleras de mayor cobertura glaciar existen programas de monitoreo de los glaciares, e incluso proyecciones de caudales futuros provenientes de los glaciares a través de modelización. Sin embargo, la falta de datos apropiados y la pobre representación de ecosistemas altoandinos en los modelos, impide tener una visión integral de la importancia de los glaciares a escala de cuenca (Kaser et ál. 2010) y su interacción con los ecosistemas altoandinos (e.g., páramo, puna, humedales). Por lo tanto, es necesario incrementar la atención sobre los ecosistemas andinos que colindan y tienen relación con los glaciares, que tienen gran importancia para la regulación hídrica, y en los cuales aún se desconoce elementos esenciales de su ciclo hidrológico.

LA DEMANDA HÍDRICA EN LOS ANDES TROPICALES

El grado de suficiencia o insuficiencia hídrica está determinado por el balance entre oferta y demanda (Santos Pereira et ál. 2009). Por lo tanto, es indispensable reflexionar también sobre la demanda en el contexto de la futura problemática de los recursos hídricos en los Andes. A través del uso de un índice sencillo de la disponibilidad de agua por persona, se determina que el aumento de la demanda por el crecimiento poblacional proyectado puede ser más importante que el efecto del cambio climático (Figura 7).

MAYOR DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO

La evapotranspiración de la vegetación, sea esta de vegetación natural o de cultivos, incrementa conforme aumenta la temperatura. Por lo tanto, en condiciones *ceteris paribus*, los requerimientos de agua para la producción de cultivos aumentará, aumentando a su vez la demanda de agua para riego. Adicionalmente, en áreas de riego donde actualmente una parte importante de los requerimientos de consumo de agua para cultivos es cubierta por precipitación, y el riego es solamente suplementario, este suplemento también puede ser localmente más alto debido a cambios en el régimen de precipitación. Por lo tanto, existe un efecto directo del calentamiento global sobre la demanda de agua para riego.

Por otro lado, aproximadamente 70% del uso actual del agua a nivel global se dedica a la irrigación agrícola contribuyendo directamente al incremento de la productividad de cultivos y sosteniendo la demanda global de alimentos (Rosegrant 2009). Por lo tanto, la creciente demanda para producción de alimentos tiene un alto impacto potencial sobre la demanda global de agua. En los Andes, esta mayor demanda se sitúa principalmente en dos áreas distintas. La una dentro de la cordillera, en sistemas de riego para la agricultura andina, y la otra en los grandes sistemas de riego aguas abajo, fuera de la Cordillera, especialmente los del desierto de la franja costera del Perú, en donde se amplían las áreas bajo riego con esquemas de varias decenas de miles de hectáreas.

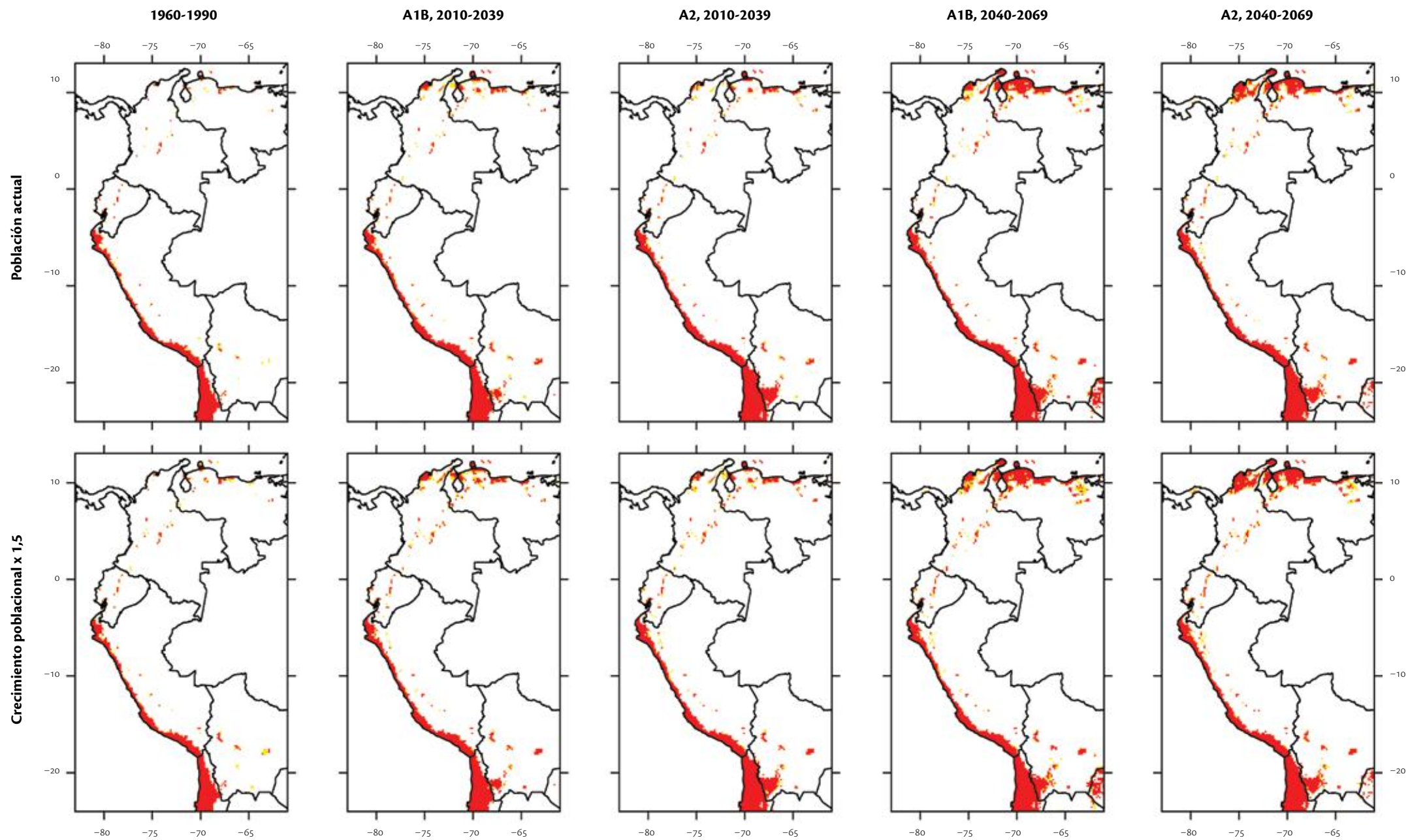
MAYOR DEMANDA DE AGUA PARA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

La demanda de energía eléctrica tiene una tendencia al alza ligada a los actuales modelos de desarrollo y al incremento de la demanda de energía per cápita. Se prevé cubrir parte de esta demanda mediante energía hidroeléctrica. Adicionalmente, y allí la relación con el cambio climático, bajo compromisos internacionales (e.g., Mecanismo de Desarrollo Limpio) u otras motivaciones, muchos países pueden estar motivados para incrementar la proporción de su matriz energética cubierta por generación no-térmica para bajar sus emisiones de CO₂. En los países andinos, todos con alto potencial hidroeléctrico, esta forma de generación es la más viable dentro de las opciones que no emiten CO₂. Es importante mencionar que la demanda de agua para generación hidroeléctrica es una demanda para uso no-consuntivo, es decir que el agua en algún lugar y momento es devuelta a un cauce natural y no es “consumida”. Esta característica ofrece opciones de optimización y acuerdos con otros usos del agua en la cuenca.



FIGURA 7: Impacto de crecimiento demográfico y cambio climático sobre la disponibilidad de agua por persona.

Rojo: insuficiencia de agua (< 1000 m³ por persona por año); amarillo: estrés hídrico (< 1700 m³ por persona por año). Para las proyecciones de la disponibilidad de agua en el futuro, se usó el promedio de las proyecciones del ensamble CMIP3.



MAYOR DEMANDA PARA USO DOMÉSTICO URBANO Y RURAL

Es una exigencia y un derecho tener acceso a agua para consumo humano. Sin embargo, muchas comunidades rurales y grandes zonas urbanas andinas todavía no disponen de abastecimiento (Fernández Cirelli y du Mortier 2005). Adicionalmente, el crecimiento poblacional indefectiblemente hace crecer la demanda de agua para consumo humano. Adicionalmente, en un contexto de cada vez mayor urbanización, la demanda de agua para uso doméstico experimenta una concentración espacial en estos polos urbanos, donde, además, el patrón de consumo varía según las condiciones socioeconómicas. En los Andes la situación puede volverse crítica, sobre todo en las grandes ciudades de altura como Bogotá, Quito y La Paz-El Alto, ya que estas no disponen de grandes áreas de cuencas a altura aún mayor para sustraer agua, y en las grandes ciudades de la costa desértica peruana, principalmente la ciudad de Lima, que dependen de ríos con una estacionalidad muy fuerte.

IMPACTO DEL CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO A TRAVÉS DE UN INDICADOR SENCILLO

Los países andinos son países caracterizados por un desarrollo socio-económico muy rápido, incluyendo una dinámica muy fuerte de crecimiento demográfico y concentración urbana (Stadel 2001). Aunque un análisis comparativo del impacto de crecimiento demográfico usando proyecciones detalladas está fuera del alcance de este estudio, se comparó con el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua, usando un crecimiento demográfico hipotético y uniforme de 50%, y dos valores referenciales de escasez en términos de m³ de agua disponible por persona y por año (Falkenmark y Wistrand 1992; Figura 7). Los impactos son muy diversos, dificultando la generalización de tendencias. Sin embargo, en regiones con una alta densidad poblacional, tales como las sierras Colombiana y Ecuatoriana, el crecimiento demográfico tiene mayor importancia que el efecto esperado del cambio climático (aunque depende del escenario de emisión bajo consideración). Además, es necesario considerar los vínculos entre áreas costeras (e.g., Piura, en el norte de Perú) que, a pesar de encontrarse por debajo del límite altitudinal de los Andes, para su suficiencia hídrica dependen en gran medida del estado de conservación de los ecosistemas altoandinos y/o glaciares. Al contrario, en zonas como la costa caribeña y el desierto de Atacama se espera que el impacto del cambio climático sea más fuerte que las dinámicas demográficas.

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN A CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LOS ANDES TROPICALES

La variabilidad climática, en conjunto con otros cambios globales y locales (e.g., fluctuaciones de mercados, políticas macroeconómicas o sectoriales), demanda que los individuos y las sociedades modifiquen sus estrategias –o desarrollen otras más flexibles– a fin de mejorar o mantener sus modos de vida (Valdivia et ál. 2002, 2003, Dillehay y Kolata 2004). Los modos de vida incluyen los activos, estrategias, instituciones y el contexto sobre el cual las comunidades –rurales o urbanas– satisfacen sus necesidades, por ejemplo, de ingreso o consumo, y reducen su vulnerabilidad (Carney 2003). Dado que gran parte de los pobladores de los Andes Tropicales dependen del recurso hídrico para sostener sus modos de vida, es importante analizar su capacidad de respuesta ante los cambios ambientales, sociales o políticos que modifiquen su acceso al agua. Muchas de las estrategias, mecanismos y prácticas empleadas por los pobladores andinos, no son *nuevas*. En realidad las prácticas de adaptación a la variabilidad climática han sido desarrolladas históricamente por los pobladores locales desde épocas pre-colombinas con el fin de persistir a través del tiempo (Knapp 1991), implementado complejas formas de adaptación que implicaron la transformación del paisaje –a través de desarrollo de terrazas, camellones, pozos, canales– y cambios radicales en las formas de producción agrícola u organización social (Dillehay y Kolata 2004, Erickson 2000, Pandey et al. 2003). Sin duda, en ciertos casos los cambios climáticos fueron de tal magnitud que desataron importantes cambios sociales incluyendo hasta la desintegración de civilizaciones (Dillehay y Kolata 2004). En los países andinos, hay relaciones sociales, económicas y ecológicas que median y puede socavar la sostenibilidad de las estrategias rurales y que pueden superar la capacidad adaptativa de los actores (Bebbington 1990), por lo que es necesario integrar diversos actores y fuentes para una adaptación efectiva en un entorno de rápidos cambios. Sin duda, las formas tradicionales de adaptación a diversas condiciones climatológicas que aún subsisten son cada vez más relevantes en el contexto del cambio climático. Sin embargo, parece improbable que solo en base a acciones de adaptación endógenas sea posible afrontar sus impactos negativos sobre poblaciones vulnerables. Las diferentes estrategias de adaptación pueden entenderse como respuestas claras ante cambios climáticos, ambientales, sociales o institucionales, así como identificar estrategias que se basan en la diversificación, el conocimiento tradicional y/o técnico –y el desarrollo de infraestructura basado en tal conocimiento–, el fortalecimiento institucional, y la comunicación (Figura 8).

FIGURA 8: Estrategias de adaptación frente a variaciones en la disponibilidad y suficiencia de agua en los Andes

| | Climático | Hidrológico | Estado de ecosistema | Cambio climático | Mediación y acceso | Demanda |
|--|---|--|--|--|--|---|
| Objetivo | <ul style="list-style-type: none"> Reducción de riesgo ante variabilidad climática histórica | <ul style="list-style-type: none"> Manejo de cuencas para mantener la capacidad de regulación | <ul style="list-style-type: none"> Disminuir efectos negativos de cambios de uso de suelo | <ul style="list-style-type: none"> Manejo de la incertidumbre climática futura | <ul style="list-style-type: none"> Fortalecimiento de mecanismos de acceso al agua | <ul style="list-style-type: none"> Control de la demanda creciente |
| Diversificación | <ul style="list-style-type: none"> Uso de diferentes pisos ecológicos Diversificación de cultivos y animales Variación del calendario agrícola | | | | | |
| Conocimiento tradicional e infraestructura | <ul style="list-style-type: none"> Predicción meteorológica en base a indicadores climáticos tradicionales (e.g., posición de estrellas) Desarrollo de cultivos y semillas resistentes a sequías o heladas Cultivos en camellones para prevenir heladas y sembrar en zonas | <ul style="list-style-type: none"> Rotación de cultivos para protección del suelo | | <ul style="list-style-type: none"> Fortalecimiento de sistemas y redes sociales (e.g., mingas para mantenimiento de canales) Recuperación de formas de riego tradicional Cosecha de agua por qochas y amunas | | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> Recuperación de valores sagrados de la cosmovisión andina (e.g., lagunas y montañas) | | | | |
| Conocimiento técnico e infraestructura | <ul style="list-style-type: none"> Infraestructura de monitoreo meteorológico Sistema de información y pronósticos del clima Varietades de cultivos resistentes a variabilidad climática y plagas | <ul style="list-style-type: none"> Infraestructura para monitoreo hidrológico Cercamiento de fuentes de agua Buenas prácticas de manejo para conservación de suelos | <ul style="list-style-type: none"> Reforestación y restauración Buenas prácticas de manejo de bosques | <ul style="list-style-type: none"> Modelamiento de escenarios climáticos futuros Identificación y mapeo de áreas vulnerables Desarrollo de herramientas para la toma de decisiones frente al cambio climático | <ul style="list-style-type: none"> Mejora y desarrollo de infraestructura de distribución, almacenamiento, y acceso a nuevas fuentes de agua Adopción de tecnologías más eficientes Sistemas de tratamiento y re-uso | <ul style="list-style-type: none"> Sistemas de medidores para control de consumo Uso de nuevas tecnologías para reducir consumo |
| | | <ul style="list-style-type: none"> Protección de cuencas y ecosistemas a través de la compra de predios y denuncia de actividades ilícitas | <ul style="list-style-type: none"> Control de quemas Exclusión de áreas de pastoreo Conservación de bosques | | | |
| Instituciones y políticas | | | | <ul style="list-style-type: none"> Leyes, políticas, estrategias y planes nacionales para enfrentar efectos del cambio climático Planes de gestión de riesgo por cuencas | <ul style="list-style-type: none"> Fortalecimiento institucional a nivel local y diseño de nuevos mecanismos de manejo Fortalecimiento de relaciones con instituciones a nivel nacional Manejo y resolución de conflictos Movilización social ante políticas que generan exclusión en acceso | <ul style="list-style-type: none"> Sistema tarifario del agua en función del consumo |
| Comunicación | | | | <ul style="list-style-type: none"> Campañas de información sobre cambio climático | <ul style="list-style-type: none"> Capacitación en uso de nuevas tecnologías Difusión de saberes tradicionales | <ul style="list-style-type: none"> Concientización de ahorro a través de campañas para evitar mal uso |

RESPUESTAS LOCALES ANTE VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Frente al conjunto de condiciones climáticas heterogéneas que gobiernan los Andes Tropicales, los pobladores han desarrollado estrategias de adaptación cuyo objetivo principal se orienta a reducir el riesgo ante la histórica variabilidad climática. Este tipo de estrategias se basan en gran medida en la *diversificación agrícola* a través del uso de diferentes pisos ecológicos (Murra 1972, Brush 1976, Guillet 1981, ver Postigo et ál., capítulo 6, en esta publicación), la diversificación de semillas, sembríos y manejo de ganado, y la variación del calendario agrícola (Angulo 2006, Araujo 2009, Carriquiry y Baquero 2007, Portocarrero et ál. 2008, Surkin et ál. 2010, Ticehurst et ál. 2009, Torres 2002, Torres y Gómez 2008, Trigo-so Rubio 2007, Valdivia y Quiroz 2003, VanDerwill 2008, Young y Lipton 2006). A esto se puede sumar la diversificación económica, que significa complementar los ingresos por actividades agrícolas con otros tipos de trabajo remunerado como turismo, venta de ganado o productos lácteos y, en ciertos casos, migrar temporal o permanentemente (Rhoades 2008, Sperling et ál. 2008).

Basada en la experiencia milenaria de los pobladores rurales y su necesidad de adaptarse a condiciones ambientales cambiantes y extremas, en los Andes Tropicales destacan las estrategias basadas en conocimientos y prácticas tradicionales. Estas incluyen formas tradicionales de predicción meteorológica a través de indicadores climáticos (e.g., posición de estrellas, comportamiento de animales), el conocimiento sobre cultivos andinos, el uso de variedades de semillas resistentes a diversos tipos de estrés, y el uso de terrazas y camellones (Earls 2009, Sperling et ál. 2008, Stadel 2008, Ticehurst et ál. 2009, Valdivia y Quiroz 2003, VanDerwill 2008). Las terrazas o los cultivos por andenes permitieron realizar actividades agrícolas en zonas montañosas, previniendo la erosión del suelo y las heladas, y facilitando el manejo del agua y el riego (Figura 9; Treacy y Denevan 1994). Por su parte, los camellones (también conocidos como waru waru y utilizados tanto en zonas andinas como costeras) son campos elevados o montículos de tierra desarrollados para cultivo, en lugares donde no hay suficiente drenaje natural, adaptando el cultivo a épocas de exceso de lluvias y sequías, y disminuyendo los efectos de la radiación térmica (Figura 10; Denevan 2006, Erickson 1996, Gondard 2006, Jacobsen y MacNish 2006, Álvarez 2006, Knapp 1982, Valdez 2006). En su conjunto, estas prácticas han permitido a los pobladores el acceso a diversos recursos, incluido el hídrico, durante el máximo cantidad de meses durante el año, minimizando los efectos de la fluctuación diaria e interanual, previniendo heladas, cultivando en zonas inundadas y aminorando los efectos de estrés hídrico.

Complementariamente, hay varias estrategias basadas en el *desarrollo de infraestructura y conocimiento técnico-científico*. Se han documentado los esfuerzos científicos en el establecimiento de sistemas de monitoreo meteorológico, sistemas de información climática temprana (González y Aparicio 2009, Martínez 2007, Torres 2002), e inversión en infraestructura de monitoreo, con particular énfasis en la observación y cuantificación del retroceso glaciar (e.g., Vuille et ál. 2008, Bustamante et ál., capítulo 7, en esta publicación), así como en el

desarrollo de sistemas de información y pronósticos de clima asociados fuertemente al Fenómeno del Niño (ENSO). Finalmente, también se ha desarrollado el mejoramiento de variedades de cultivos resistentes a plagas y sequías a través de programas gubernamentales y agencias internacionales, aunque también es necesario reconocer iniciativas *in situ* desarrolladas por varias asociaciones de productores andinos con el fin de mantener la agrobiodiversidad andina en su poder (PRATEC 2011).

FIGURA 9: **Técnica de construcción de terrazas o andenes andinos**
(Treacy y Denevan 1994)

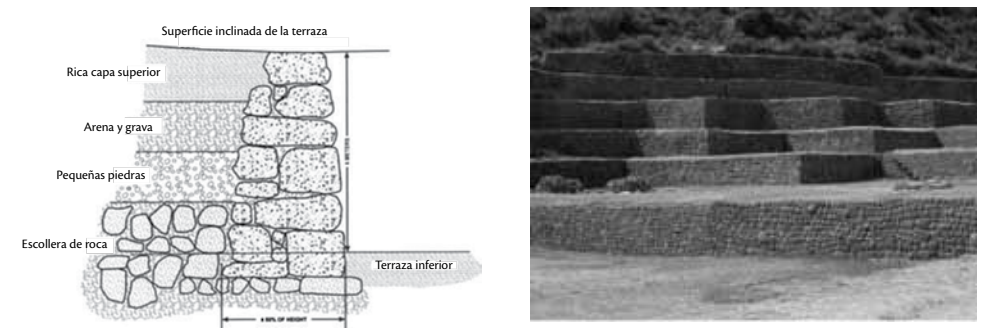
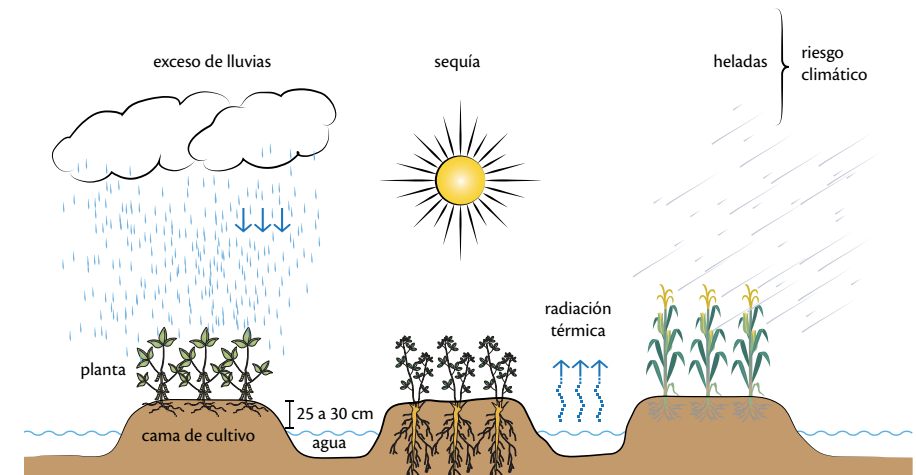


FIGURA 10: **El uso de camellones en los cultivos andinos para hacer frente a condiciones climáticas cambiantes**
(Denevan 2006, Erickson 1996, Gondard 2006, Jacobsen y MacNish 2006, Álvarez 2006, Knapp 1982, Valdez 2006)



RESPUESTAS LOCALES ANTE CAMBIOS HIDROLÓGICOS Y EN EL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS

Considerando el vínculo entre el estado de los ecosistemas, las propiedades físico-químicas del suelo y el ciclo hidrológico en los Andes Tropicales, existen numerosos esfuerzos orientados hacia i) el manejo de cuencas para mantener la capacidad de regulación y ii) disminuir los efectos negativos de cambio de cobertura y uso de suelo. Estas prácticas están ligadas al mejoramiento de la resiliencia de los ecosistemas naturales y sistemas sociales (Gonzalez y Aparicio 2009) sobre la base de que los efectos de la degradación ambiental, tales como el deterioro de los páramos andinos, cambian los mecanismos de regulación hídrica en las cuencas y la respuesta hidrológica de los caudales en los ríos (Buytaert et ál. 2006a).

Entre las prácticas aplicadas, se identifican *prácticas tradicionales* de rotación de cultivos para protección del suelo, así como la recuperación de valores culturales asociados a los elementos del entorno considerados sagrados dentro de la cosmovisión andina, tales como lagunas o montañas (Robles 2010) y rituales (e.g., casamiento del agua, PRATEC 2011).

Alternativamente, se han realizado esfuerzos con soporte de *conocimiento técnico* para la protección de fuentes de agua, con el objeto de mejorar la capacidad reguladora del caudal a lo largo del año, reducir la contaminación y proteger el suelo contra la erosión (Doornbos 2009a). Esto incluye la promoción y adopción de buenas prácticas para el manejo del suelo, el cercamiento de las fuentes de agua y/o declaratorias de protección de cuencas o ecosistemas que, en ciertos casos, incluyen la compra de predios y denuncias de actividades ilícitas alrededor de las

mismas (Murtinho 2010, Torres 2002, Angulo 2006), e instalación de infraestructura para el monitoreo hidrológico. En estos casos, también se puede considerar el diseño e implementación de esquemas de pago por servicios hidrológicos (i.e. fondos de agua, cf. Quintero 2010), cuyo interés es prevenir procesos de conversión de cobertura y uso del suelo, y que en el marco de cambio climático pueden exacerbar aún más los efectos de cambio climático. Complementariamente, se han desarrollado actividades de reforestación y, en menor medida, restauración de ecosistemas intervenidos, así como el control de quemas, exclusión de áreas de pastoreo (Torres et ál. 2008, Angulo 2006, Murtinho 2010, Doornbos 2009a), y el establecimiento de reservas para la conservación, muchas de las cuales se basan en la participación de comunidades, organizaciones de usuarios, gobiernos municipales y seccionales para su *institucionalidad* (e.g., Doornbos 2009a).

RESPUESTAS LOCALES ANTE LA INCERTIDUMBRE EXACERBADA POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

En la literatura se ha documentado cómo las poblaciones locales andinas se enfrentan a cambios climáticos que están afectando la disponibilidad de agua en los Andes Tropicales. Estos cambios incluyen el aumento de la variabilidad climática, específicamente modificaciones en los patrones de lluvias, incluidos la intensidad del Fenómeno del Niño (Torres y Gómez 2008, Torres 2002, Torres et ál. 2008) y el aumento de la temperatura promedio (Vuille et ál. 2008), con atención sobre la desaparición o el retroceso de glaciares. En particular, existen estudios de caso a profundidad en la Cordillera Blanca, Perú, donde se evidencia particularmente la vulnerabilidad de las mujeres frente a la deglaciación (Carey



2005, 2010, Martínez 2007). Asociada a estos cambios climáticos, se reporta la presencia de sequías e inundaciones con mayor frecuencia o magnitud, así como heladas, avalanchas/aluviones, erosión de suelos y epidemias (Earls 2009, Doornbos 2009a, Trigoso Rubio 2007, MAE 2001a, Machaca et ál. 2009, Wilches-Chaux 2009), aunque estos efectos son menos analizados.

Las estrategias de adaptación detalladas en la literatura para enfrentar los efectos del cambio climático se orientan principalmente al manejo de la incertidumbre climática futura. En gran medida, estas acciones se basan en el desarrollo de *conocimiento científico* a través de ejercicios de modelamiento de escenarios climáticos futuros (Angulo 2006, Boulanger et ál. 2007, Seto et ál. 2010, Buytaert et ál. 2009), la identificación y mapeo de áreas vulnerables (Bravo 2009), y el desarrollo de herramientas como apoyo en el proceso de toma de decisiones frente al cambio climático (e.g., CRISTAL; Gálmez y Encina 2010).

Adicionalmente, en el marco del desarrollo de *políticas e institucionalidad*, se observa el establecimiento de leyes, políticas, estrategias, planes nacionales, e instituciones coordinadoras para la gestión de riesgo y adaptación al cambio climático a nivel nacional (VanDerwill 2008, Llosa Larrabure y Pajares 2009). Se han implementado, por ejemplo, planes de gestión de cuencas, nacionales y binacionales como la Catamayo-Chira entre Ecuador y Perú (Torres 2002). Estas herramientas pretenden apoyar los procesos de ordenamiento tradicional, mejorar la capacidad adaptativa (i.e. organizativa, toma de decisiones) y reducir la vulnerabilidad socio-ambiental en los países de los Andes Tropicales (Torres 2007, Gonzalez y Aparicio 2009). Complementariamente, tanto actores de la sociedad civil como gubernamentales, han desarrollado campañas *comunicacionales* de difusión de información sobre los efectos y riesgos del cambio climático en la región, con el objetivo de incrementar el nivel de conciencia de la ciudadanía y su sensibilidad (Gonzalez y Aparicio 2009).

RESPUESTAS LOCALES PARA FORTALECER LOS MECANISMOS DE ACCESO Y MEDIACIÓN DEL AGUA

En las últimas décadas, varios estudios han subrayado cómo los recursos hídricos disponibles en los Andes se encuentran mal distribuidos, tanto a nivel local como regional (Oré et ál. 2009, Jacobsen y MacNeish 2006). Las diferencias e inequidad en el acceso al agua –entre diferentes grupos sociales y usos– han sido fuente de numerosos conflictos políticos en los Andes (Gutierrez 2006, Jacobsen y MacNeish 2006, Oré et ál. 2009, Ruf 2000, Van der Ploeg 2006, Zimmerer 2000). Sin embargo, a través del agua también se promueven procesos de colaboración que se traducen en una compleja y poderosa organización social en torno al recurso hídrico (Boelens 2010). A través de esta institucionalidad, que incluye tanto niveles gubernamentales (i.e. formales) como comunitarios (i.e. informales configurados históricamente) en los Andes, no solo se asignan derechos de acceso

sino también se administran –y se mantienen– los sistemas de almacenamiento y transporte (e.g., canales; Boelens 2008a). En su conjunto, tanto los sistemas de organización social como la infraestructura median el acceso al recurso hídrico, y las estrategias de adaptación impulsadas se orientan a fortalecer los mecanismos de acceso.

En ese contexto, destacan las medidas orientadas a robustecer las formas de *organización tradicional* como estrategia de adaptación para mejorar la gobernabilidad del recurso. Este es un factor elemental para enfrentar el cambio climático tanto a nivel local (Murtinho 2010, Young y Lipton 2006, Torres y Gómez 2008, Portocarrero et ál. 2008) como a nivel regional y nacional (VanDerwill 2008, Torres 2002). Se destacan investigaciones relacionadas a los sistemas de manejo de agua en las comunidades altoandinas basadas, generalmente, en normas tradicionales o consuetudinarias –junto con leyes y reglas introducidas por el Estado para gestionar el recurso– (Gelles 2000, Roth et ál. 2005, Boelens et ál. 2006, Randolph-Bruns y Meinzen-Dick 2000, Trawick 2001). Estas investigaciones resaltan el alto nivel de organización y capacidad de administración que existe entre las organizaciones de regantes y movimientos sociales en diferentes localidades andinas.

Las estrategias basadas en el fortalecimiento de los sistemas y redes sociales tradicionales (e.g., las mingas para el mantenimiento de canales) y la recuperación de infraestructura, formas de riego y almacenamiento tradicional (e.g., cosecha de agua por qochas y rituales sagrados) han recibido atención y apoyo de numerosas iniciativas (Machaca et ál. 2009, PRATEC 2011). En gran medida, se considera que un alto nivel de organización es la base para el desarrollo de acciones de adaptación efectivas, el fortalecimiento institucional a nivel local y nacional, el diseño de nuevos mecanismos de manejo, y la movilización social para reivindicar derechos ante políticas excluyentes (Doornbos 2009a, Murtinho 2010).

Alternativamente y, en la mayoría de casos, desde los gobiernos centrales, sin consideraciones previas sobre el vínculo con otras normas constitucionales vigentes (Boelens 2008a), se ha impulsado el desarrollo de obras de infraestructura (Carey 2010, Martínez 2007, Torres 2002, Trigoso Rubio 2007), así como para acceder a nuevas fuentes. Tomando en cuenta las categorías desarrolladas por Doornbos (2009a), gran parte de la infraestructura se dedicó a almacenamiento y suministro. El almacenamiento de agua es importante porque permite a la población mantener la cantidad necesaria del recurso, tanto para consumo humano como para actividades agrícolas, y adaptarse así a los cambios abruptos en la oferta hídrica. Se menciona, por ejemplo, la construcción de reservorios, canales de riego, tanques, diques, muros de contención, y la adopción de tecnología que facilita la creación de sistemas de riego y de almacenamiento más eficientes (Carriquiry y Baquero 2007, Martínez 2007, Trigoso Rubio 2007, Machaca et ál. 2009, Portocarrero et ál. 2008, Murtinho 2010). En cuanto al suministro, que implica mantener el nivel de abastecimiento de agua pese a la variabilidad climática, se han implementado proyectos de tratamiento y nuevas fuentes de agua, y mejora en sistemas de distribución, tuberías y canales. Además, se encuentran

CONCLUSIONES

sistemas de tratamiento y re-utilización del recurso hídrico. En ciertos casos, se complementa el conocimiento tradicional con tecnología de origen moderno, por ejemplo a través de la construcción de micro represas en la zona de Puno, Perú para mejorar los pastos en épocas de sequía (Machaca et ál. 2009, Torres y Gómez 2008, Sperling et ál. 2008).

Por último, se han desarrollado estrategias basadas en la difusión de saberes tradicionales y/o la capacitación sobre el uso de nuevas tecnologías.

RESPUESTAS LOCALES PARA ENFRENTAR LA DEMANDA DE AGUA

La demanda de agua ha incrementado notablemente debido al crecimiento de la población, la expansión de los servicios de agua potable y alcantarillado en zonas urbanas y rurales, la intensificación de las actividades agrícolas e industriales, y la contaminación de los recursos hídricos (Oré et ál. 2009). Dentro de esta realidad, distintos usuarios compiten por el acceso al agua, ya sea para uso doméstico o productivo (van Koppen et ál. 2010).

Entre las medidas de adaptación se destacan las estrategias orientadas a reducir el consumo a través del uso de nuevas tecnologías (e.g., sistemas sanitarios) y sistemas de medidores para reducir y controlar el consumo. Adicionalmente, en los países andinos se reportan las políticas ligadas a los sistemas tarifarios del agua (i.e. precio; Boelens y Zwarteveen 2005), típicamente normalizado en función del consumo. Complementariamente, se desarrollan campañas de concientización de ahorro de consumo para evitar el mal uso. Sin embargo, en varios casos, la estrategia implementada por los administradores de los sistemas de agua potable de grandes ciudades (e.g., Ríos Orientales en Ecuador) se orienta a inversiones en infraestructura de trasvase de agua para acceder a fuentes en regiones más remotas. Aunque esto soluciona el problema cuantitativo para los centros urbanos durante un horizonte temporal dado, si no se aplican medidas más integrales, estas no constituyen soluciones de largo plazo, y además, ofrecen consecuencias desconocidas sobre ecosistemas y poblaciones humanas que dependan de esos recursos.




Los impactos esperados del cambio climático sobre la generación y regulación hídrica en los Andes Tropicales a través de los modelos GCMs y RGMs se relacionan, principalmente, a cambios en la temperatura. En cuanto a la generación de agua en las cuencas, el escenario promedio de un ligero incremento de precipitación compensa la creciente pérdida por evapotranspiración, resultando en la inexistencia de cambios drásticos en el agua disponible. Sin embargo, los diferentes escenarios de precipitación tienen un rango muy amplio, donde solamente el escenario promedio resultaría tener poco cambio en agua disponible. Otros escenarios más extremos de cambios en precipitación, de algunos de los modelos, obviamente resultarían en iguales cambios drásticos en agua disponible.

Sin embargo, la mayor preocupación radica en el aumento de variabilidad estacional del agua disponible, causada por un lado por un incremento en la variabilidad estacional de la precipitación, y por otro lado por una pérdida de regulación en glaciares, páramos y bofedales altoandinos. Esta preocupación está basada, por ahora, en el entendimiento parcial de la variación en la distribución estacional de la precipitación, con altos niveles de incertidumbre. Así mismo, la dependencia de los procesos de regulación de la temperatura, aún sufre de vacíos de conocimiento sustancial que deben ser investigados en los Andes Tropicales.

Considerando la realidad socioambiental de los Andes Tropicales, los efectos del cambio climático vienen a exacerbar procesos de degradación ambiental (e.g., CCUT), presiones desde la demanda, o la (des)institucionalidad, que afectan la suficiencia hídrica. Uno de los factores más fuertes al determinar la suficiencia del balance oferta – demanda de agua, es el incremento de la demanda para diferentes usos. Las estrategias de adaptación a una eventual disminución o mayor variabilidad de la oferta, deben necesariamente involucrar un radio de acción amplio que atienda las múltiples causas de vulnerabilidad de los pobladores andinos.

La oferta de agua en los Andes siempre ha tenido una variabilidad espacial y temporal muy grande. Las poblaciones Andinas han desarrollado estrategias de adaptación a esta realidad basadas en su conocimiento y prácticas tradicionales. Estas estrategias siguen siendo válidas para enfrentar los efectos del cambio climático actual y futuro. Sin embargo, la velocidad y grado del cambio podría superar la capacidad de los pobladores locales y sus estrategias locales. En este escenario, se hace indispensable coordinar esfuerzos desde la participación activa del Estado, la sociedad civil organizada y actores locales, para implementar programas que fortalezcan la capacidad adaptativa de las poblaciones andinas, integrando las prácticas y conocimientos científicos y tradicionales, y solventando los procesos de toma de decisiones.



Síntesis de los impactos y estado del conocimiento de los efectos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes Tropicales

FRANCISCO CUESTA¹

SELENE BÁEZ²

JULIÁN RAMÍREZ^{3,4,5}

CAROLINA TOVAR⁶

CHRISTIAN DEVENISH^{7*}

WOUTER BUYTAERT⁸

ANDY JARVIS⁹

¹ Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos – CONDESAN ✉ francisco.cuesta@condesan.org

² Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos – CONDESAN

³ Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT

⁴ CGIAR Challenge Program on Climate Change, Agriculture y Food Security – CCAFS

⁵ Institute for Climatic y Atmospheric Science, School of Earth and Environment – University of Leeds

⁶ Centro de Datos para la Conservación – CDC, Universidad Agraria La Molina,

⁷ Birdlife International – Secretariado de las Américas

⁸ Civil and Environmental Engineering – Imperial College London

⁹ CGIAR Challenge Program on Climate Change, Agriculture y Food Security – CCAFS

* Dirección actual: Iniciativa de las Montañas CONDESAN - MRI

RESUMEN

Este artículo presenta una síntesis del estado del conocimiento sobre los posibles impactos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes Tropicales. Se analizó la sensibilidad de la biodiversidad a nivel de biomas y de un grupo representativo de especies de plantas vasculares y aves, a partir de datos climáticos de un conjunto de GCMs para los escenarios de emisiones (SRES) A1B y A2 en los períodos 2020s y 2050s. En ambos casos se realizaron análisis espaciales que permiten identificar áreas específicas en la cordillera de los Andes con un mayor grado de sensibilidad al cambio climático. El documento contrasta los resultados con lo documentado en la literatura científica durante los últimos 40 años para la región.

Los resultados muestran que se producirían cambios en las extensiones de las áreas de ocurrencia de los biomas andinos independientemente del escenario de emisión o del período de tiempo analizado. En general, estos tenderían a mostrar un desplazamiento vertical ascendente, siendo el páramo el bioma que sufra la mayor pérdida de su área actual de distribución. Los resultados reportados para el grupo de especies de plantas y aves presentan un patrón similar. En escenarios sin capacidad de desplazamiento para el período 2050s, más del 50% de las especies analizadas reportan pérdidas iguales al 45% de su nicho climático actual, y para un 10% de estas especies las condiciones que constituyen su nicho climático habrán desaparecido del área de estudio. Por otro lado, en muchas regiones del área de estudio existen discrepancias entre los modelos y las proyecciones de impacto, por lo que los resultados tienen un importante grado de incertidumbre que es fundamental considerar en la toma de decisiones y recomendaciones de política pública.

Los cambios proyectados en los patrones regionales de biodiversidad y las alteraciones en los rangos de distribución de las especies, requieren acciones de planificación que excedan los límites políticos nacionales y que contemplen un marco regional para articular agendas de investigación y conservación a largo plazo. La articulación de programas de investigación aplicada y el fortalecimiento de la institucionalidad ambiental de los países andinos en el marco de la CAN son dos elementos prioritarios.

ANTECEDENTES

Este documento presenta una síntesis de los tres estudios realizados para el eje temático biodiversidad. El primero, “Cambio en el nicho climático de especies andinas”, analiza los posibles impactos del cambio climático a escala de especies

en grupos representativos de especies de aves y plantas de los Andes Tropicales (Ramírez-Villegas et ál. 2011). El segundo, “Cambios en los rangos climáticos de distribución de los biomas andinos”, modela la distribución de los biomas bajo regímenes climáticos futuros y discute los posibles efectos de tales cambios en la biodiversidad (Arnillas et ál. 2011). En ambos casos se realizaron análisis espaciales que permiten identificar áreas específicas en la cordillera de los Andes con mayor grado de exposición y sensibilidad al cambio climático, y se discuten las posibles consecuencias para la biodiversidad andina. Los resultados de estos dos ejercicios son contrastados y discutidos a partir del tercer estudio, la revisión de literatura científica realizada por Báez et ál. (2011). En base a estos insumos, la última sección de este artículo propone acciones de adaptación para mejorar la resiliencia de los ecosistemas y las especies andinas a los efectos del cambio climático.

INTRODUCCIÓN

Los Andes Tropicales son un área prioritaria para la conservación de la biodiversidad a escala global. Su status como ecorregión crítica para la conservación se debe a que presentan una alta concentración de especies en un área pequeña del planeta (1%), rangos limitados de distribución para un elevado porcentaje de estas especies, y a que muchas de ellas se encuentran listadas en alguna de las categorías de la lista de especies amenazadas de la UICN (Baillie et ál. 2004, Myers et ál. 2000).

Muchas de las especies y comunidades características de los Andes surgieron durante las fluctuaciones climáticas del Pleistoceno, hace menos de 5 millones de años, por efectos de aislamiento poblacional y deriva génica (Luteyn 2002, Schuchmann et ál. 2001). Muchas de ellas ocupan nichos climáticos restringidos, ocurren en densidades poblacionales bajas con poca diversidad genética y son altamente especializadas (p.ej., polinización) (Kattan et ál. 2004). Los ecosistemas en los Andes también presentan características muy singulares. Por ejemplo, los páramos constituyen un tipo de comunidad fisonómicamente bien definida de los altos Andes, caracterizados por su elevado nivel de especiación “autóctona”. El trabajo de (Sklenář et ál. 2005) sobre la flora genérica del páramo reporta 3.595 especies de plantas vasculares distribuidas en 127 familias y 540 géneros, de los cuales 14 son endémicos de los Andes del Norte.

El origen de esta alta diversidad y endemismo se encuentra en su historia evolutiva, relacionada con el gradual levantamiento de los Andes y los ciclos glaciares del período Plioceno/Pleistoceno (Hooghiemstra y Van der Hammen 2004, Van Der Hammen 1974). Otro factor favorable es una relativa estabilidad en cuanto a la humedad del clima, lo que ha permitido la gradual adaptación de algunos géneros provenientes de las tierras bajas, a diferencia de lo que ocurre en

los Andes centrales. Durante las glaciaciones, los géneros sufrieron procesos de retracción y dispersión caracterizados por períodos de aislamiento que favorecieron la especiación (Simpson y Todzia 1990).

Estas particularidades hacen que los sistemas andinos sean frágiles y susceptibles a procesos de alteración por los efectos de los cambios ambientales globales que incluyen tanto cambios en el clima como en la dinámica de uso de la tierra y los recursos naturales (IPCC 2007, MEA 2005). Los Andes Tropicales son una de las áreas de importancia de biodiversidad global más amenazadas por los efectos combinados de la pérdida y fragmentación de hábitat, sobre-explotación de recursos naturales (Mittermeier et ál. 1998, Wassenaar et ál. 2007) y el cambio climático (Jetz et ál. 2007, Sala et ál. 2000).

De acuerdo al reporte del IPCC (2007), se prevé que incrementos en 1°C desplacen cerca de 120 a 150 km las zonas ecológicas a nivel global. Si el incremento alcanzará los 3,6°C durante el próximo siglo, las especies en el Hemisferio Norte tendrían que desplazarse cerca de 550 km (o 550 m en elevación) para encontrar un régimen climático idóneo (Thuiller 2007). Paralelamente, durante los últimos 50 años se han registrado cambios en la distribución de ecosistemas o biomas de montaña, con evidentes desplazamientos inducidos hacia áreas más altas. Por ejemplo, Peñuelas y Boada (2003) documentaron reemplazos progresivos de ecosistemas alpinos por ecosistemas mediterráneos desde 1945 hasta el 2002 en las montañas Montseny en el noreste de España. Patrones similares se han reportado para la cordillera Central de la península ibérica (Sanz-Elorza et ál. 2003), Alaska (Lloyd y Fastie 2003) y Escandinavia (Kullman 2007). Estudios de modelamiento sobre los impactos en la distribución de ecosistemas sugieren tendencias de desplazamiento hacia mayores altitudes de los distintos biomas de la región. Por ejemplo, Cuesta et ál. (2009a) reportaron modelos de cambios en la distribución del páramo y otros biomas, con un alto riesgo de reducción de su superficie. Estudios realizados en el sur del Ecuador (Bendix 2010) reportan patrones similares de desplazamiento altitudinal en bosques montanos de la vertiente oriental.

A nivel de especies, los estudios de evidencias sobre respuestas ecológicas en los Andes a los cambios recientes en el clima se basan en estudios que reportan varios impactos, entre ellos: (1) alteraciones en la fisiología de las especies (Sierra-Almeida y Cavieres 2010), y (2) incrementos en las tasas de extinción locales de algunas especies (La Marca et ál. 2005, Pounds et ál. 1999, Pounds et ál. 2006). Adicionalmente, en los Alpes se han registrado procesos de desplazamiento de las comunidades de especies de plantas alpinas, con evidencias de extinciones locales y expansiones en los rangos de otras (Pauli et ál. 2007). No obstante, para los Andes, ejercicios de modelamientos sugieren un patrón similar de comportamiento en las especies de plantas en bosques montanos y punas de la cordillera oriental peruana (Feeley y Silman 2010a, b).

Con estos precedentes, este estudio tiene por objetivo analizar el impacto potencial del cambio climático sobre la biodiversidad de los Andes tropicales a dos niveles de agregación, a fin de identificar áreas con mayor sensibilidad a los

impactos derivados del cambio climático. A un nivel macroecológico, se presenta los resultados de modelación del impacto en la distribución de las condiciones bioclimáticas bajo las cuales los biomas se distribuyen en la actualidad en la Cordillera (Arnillas et ál. 2011). Por otro lado, se modelaron las respuestas de una gran cantidad de especies de aves y plantas vasculares a partir de cambios proyectados en los patrones geográficos de su distribución (Ramírez-Villegas et ál. 2011). Para ello se contrastaron cambios en la distribución de los nichos climáticos de estas especies, asumiendo que el rango de distribución de la mayoría de las especies es similar a la expresión geográfica de su nicho. Los resultados de estos dos ejercicios se discuten a partir de la revisión de literatura científica realizada sobre los impactos documentados del CC en la biodiversidad andina en los últimos 25 años (Báez et ál. 2011). Finalmente, se propone un conjunto de acciones de adaptación orientadas a disminuir los impactos y fortalecer la resiliencia de la biodiversidad andina como un mecanismo de respuesta a escalas locales.

MÉTODOS

En esta sección se presenta un resumen de los principales aspectos metodológicos con los cuales los tres estudios descritos previamente fueron realizados. Los reportes técnicos se encuentran disponibles en línea.

CAMBIO EN EL NICHO CLIMÁTICO DE ESPECIES ANDINAS

Utilizamos información acerca de la ocurrencia de especies de aves y plantas en los Andes Tropicales. Los datos de ocurrencia fueron generados a partir de la integración de tres bases de datos: CONDESAN, Centro de Datos para la Conservación de la Universidad Nacional Agraria La Molina (CDC-UNALM) y del Global Biodiversity Information Facility (GBIF, disponible en <http://www.gbif.org/>). A su vez, estas bases de datos articulan múltiples fuentes de dominio público compiladas por varias instituciones e investigadores. De esta integración se obtuvo un total de 530.991 registros de ocurrencia correspondientes a 17.231 especies (14.913 plantas vasculares con 428.998 ocurrencias y 2.318 especies de aves con 101.993 registros). De este primer conjunto de datos se seleccionaron solamente aquellas especies que tenían 10 o más registros únicos y al menos uno de ellos se encontraba sobre los 500 metros de elevación. El conjunto final de datos está compuesto por 9.457 especies de plantas y 1.555 especies de aves con 478.301 y 88.636 registros respectivamente.

Los modelos generados con esta información estuvieron orientados a evaluar los efectos del cambio climático en estas especies, considerando dos escenarios futuros proyectados para los años 2020 y 2050. Asimismo, dos escenarios de dispersión de las especies fueron evaluados: (1) no dispersión, asumiendo que

las especies no pueden desplazarse, y (2) dispersión total, asumiendo que las especies pueden migrar ilimitadamente a cualquier lugar donde las condiciones climáticas se tornen favorables. Bajo estas premisas, los modelos de especies de aves (1.456 especies) y plantas (9.062 especies) fueron generados a través de un algoritmo de máxima entropía (Maxent) que integra datos de ocurrencia de especies y variables climáticas actuales y futuras espacialmente explícitas (Philips et ál. 2006).

Los modelos de distribución actual fueron proyectados a dos escenarios futuros (2020s y 2050s) bajo los escenarios de emisión (SRES por sus siglas en inglés) A1B y A2, como un promedio de la combinación de los modelos de circulación global (GCMs por sus siglas en inglés) utilizados (Araújo y New 2007). Los GCMs seleccionados son aquellos que para el tercer reporte del CMIP3 (tercer experimento de inter-comparación de modelos acoplados) reportan las variables necesarias para el desarrollo de estudios de impacto, esto es datos de temperaturas mínimas y máximas mensuales. A partir de estos criterios, se seleccionaron diez modelos para el escenario de emisión A1B y nueve para el escenario de emisión A2 (ver Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación, para mayor detalle sobre los GCMs utilizados).

Con base en los modelos actuales y las proyecciones para los dos períodos (2020 y 2050), se calcularon los cambios en los patrones de riqueza, así como el recambio en la composición de la comunidad de especies de aves y plantas a escala de cada píxel (~5km) del área de estudio. Finalmente, se estimó el cambio en el área del nicho climático de cada especie como una medida de sensibilidad. Esta estimación representa el porcentaje de expansión o contracción del área del rango climático futuro en relación al área del rango climático actual de cada especie bajo cada escenario y para cada punto en el tiempo.

CAMBIOS EN LOS RANGOS CLIMÁTICOS DE DISTRIBUCIÓN DE LOS BIOMAS ANDINOS

Para evaluar la sensibilidad de los biomas a los efectos del cambio climático, se utilizó como aproximación la modelización de cada bioma utilizando regresiones logísticas, considerando no sólo variables climáticas, sino también topográficas. Estas últimas contribuyen de manera importante en la determinación de las características climáticas de una localidad (Killeen et ál. 2007). El análisis utilizó el mismo conjunto de modelos del CMIP3 para los dos escenarios de emisión (A1B y B2) aplicados para el estudio de especies (ver sección 2.1 y Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación). Como se ha mencionado anteriormente, los GCMs muestran una incertidumbre grande con mayor énfasis en las zonas andinas (Buytaert et ál. 2009). Por lo tanto, las proyecciones de futuras distribuciones de la vegetación también cargan con esta incertidumbre (Bachelet y Neilson 2000). De esta manera, la consideración de un amplio conjunto de modelos del IPCC permite medir la parte de la incertidumbre vinculada a la variabilidad entre los modelos climáticos futuros de manera explícita.

Los modelos de impacto para los biomas andinos fueron generados a partir de un mapa de la distribución actual observada y de las variables climáticas para el período actual (i.e. serie de datos 1960-1990) y las proyecciones climáticas futuras. El mapa de la distribución de los biomas para el año 2000 se construyó en función del mapa de ecosistemas para los Andes Tropicales producido por Josse et ál. (2009), y siguiendo la reclasificación de los biomas producida por Cuesta et ál. (2009a), según la cual la vegetación de los Andes es clasificada en 8 biomas: (1) páramo, (2) puna húmeda, (3) puna xerofítica, (4) bosque montano siempre-verde, (5) bosque montano semidecíduo y decíduo, (6) arbustales y matorrales



montanos semidecíduos y decíduos, (7) prepuna xerofítica, y (8) vegetación crioturbada y glaciares. El mapa se construyó a una resolución de 1km de lado de píxel y solo consideró las áreas naturales remanentes.

A partir de este mapa de la distribución remanente de los biomas al año 2000, se realizó un muestreo de puntos de observación con el fin de calibrar y validar regresiones logísticas que permitieron la construcción de mapas de probabilidad de ocurrencia de cada bioma andino. Posteriormente, se proyectó la distribución futura de cada bioma para los mismos escenarios de emisiones, cortes de tiempo y modelos empleados en los análisis de especies.

Los puntos de muestreo de presencia de cada bioma se seleccionaron de manera sistemática, con una separación de 4 km entre ellos para minimizar el efecto de autocorrelación espacial. Adicionalmente, los puntos de presencia (177.923 observaciones) fueron generados únicamente en la vegetación remanente de cada bioma. El 70% de las observaciones fue usado para calibrar el modelo y el 30% para la validación del mismo (Graham et ál. 2011).

Para estimar la sensibilidad de cada bioma al cambio climático, se comparó la distribución del bioma para cada escenario futuro respecto de su distribución climática potencial actual y el grado de cambio se reporta en tres métricas: áreas sin cambio (áreas estables), áreas de ganancia, definidas como los píxeles en donde se proyecta que el bioma ocurrirá en el futuro pero no en el presente, y áreas de pérdida, definidas como los píxeles donde ocurrirá un remplazo del bioma actual por otro bioma en el futuro. A partir de esto, se reportan los valores promedio, máximos y mínimos para cada tipo de cambio en cada bioma, para cada escenario y período analizado. De esta manera se puede estimar la incertidumbre vinculada al escenario y a las proyecciones realizadas.

SÍNTESIS DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA BIODIVERSIDAD ANDINA

Esta sección reporta el estado de conocimiento acerca de los efectos del cambio climático en la biodiversidad de la región andina, utilizando como base literatura científica presente en la base de datos Web of Science para el período de 1975, a abril del 2010. La búsqueda de artículos en Web of Science incluyó las palabras clave: “biodiversity” o “diversity” y “Andes” o “Andean” y “climate change” o “global climate change” y “land use cover change”. Los artículos encontrados fueron clasificados de acuerdo a cuatro temas principales de investigación: organismos, cambio en la línea de bosque, ecosistemas, y cambio en la cobertura y uso de la tierra (CCUT).

A escala de organismos se reportó el tipo de alteraciones que sufren los individuos de una especie debido a los cambios en el clima (e.g., mayor mortalidad). A escala de ecosistemas se trataron tres temáticas particulares por su vinculación con la biodiversidad: 1) cambios en la línea de bosque, 2) interacciones entre cambio climático y cambio de cobertura y uso de la tierra (CCUT) en el cambio en la distribución espacial de los ecosistemas así como en los patrones de riqueza de las especies y 3) cómo estos cambios en la estructura del paisaje repercutirían finalmente en la biodiversidad andina.



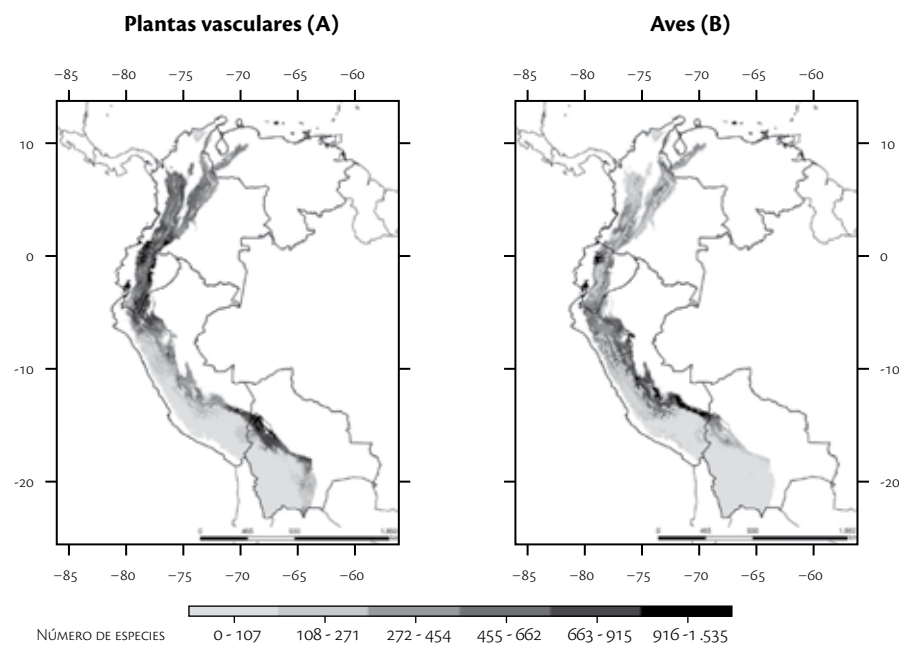
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PATRONES DE DIVERSIDAD ACTUALES Y FUTUROS

A partir de los modelos de nicho generados para 9.062 especies de plantas vasculares y 1.456 especies de aves, se construyeron mapas de síntesis que representan los patrones de riqueza actuales en los Andes Tropicales a escala de píxel (Figura 1). Los modelos de riqueza para las condiciones climáticas de referencia reportan para las aves un valor máximo de 452 especies (media = 185) y de 1.535 (media = 664) para las plantas vasculares.

Los patrones de diversidad para las aves fueron particularmente altos en las Yungas peruanas (rango 141-452), así como en los bosques montanos de los Andes nor-occidentales del Ecuador y los bosques del Cauca en Colombia. Una segunda región de alta riqueza de especies de aves fue el macizo del Perijá en la frontera entre Venezuela y Colombia junto con los bosques montanos deciduos de la región Tumbes-Piura en el norte del Perú y sur-occidente del Ecuador (Figura 1b). Las áreas con mayor concentración de plantas vasculares estuvieron a lo largo de las vertientes pacífica y amazónica de los Andes colombianos, ecuatorianos y venezolanos, entre los 1500 y 3000 m de elevación, así como en las vertientes

Figura 1. Patrones actuales de riqueza de especies en los Andes Tropicales.



interiores de la cordillera central colombiana (cuenca alta y media del río Magdalena). Una segunda área de alta concentración de especies se localizó en los bosques montanos (Yungas) de la cordillera oriental del Perú y Bolivia (Figura 1a).

Estos patrones descritos son coherentes con lo reportado en varios estudios para los Andes Tropicales realizados sobre diferentes grupos de plantas y algunos gremios de aves (Arctander y Fjeldså 1997, Barthlott et ál. 2007, Borchsenius 1997, Gentry 1982, 1995, Heindl y Schuchmann 1998, Knapp 2002, Luteyn 2002), por lo que podemos considerar que el conjunto de especies seleccionadas para los dos grupos modelados se ajusta a los patrones de diversidad reportados para los Andes Tropicales.

CAMBIOS EN LOS PATRONES DE RIQUEZA Y COMPOSICIÓN DE ESPECIES (RECAMBIO) DE LAS COMUNIDADES DE PLANTAS Y AVES EN LOS ANDES TROPICALES

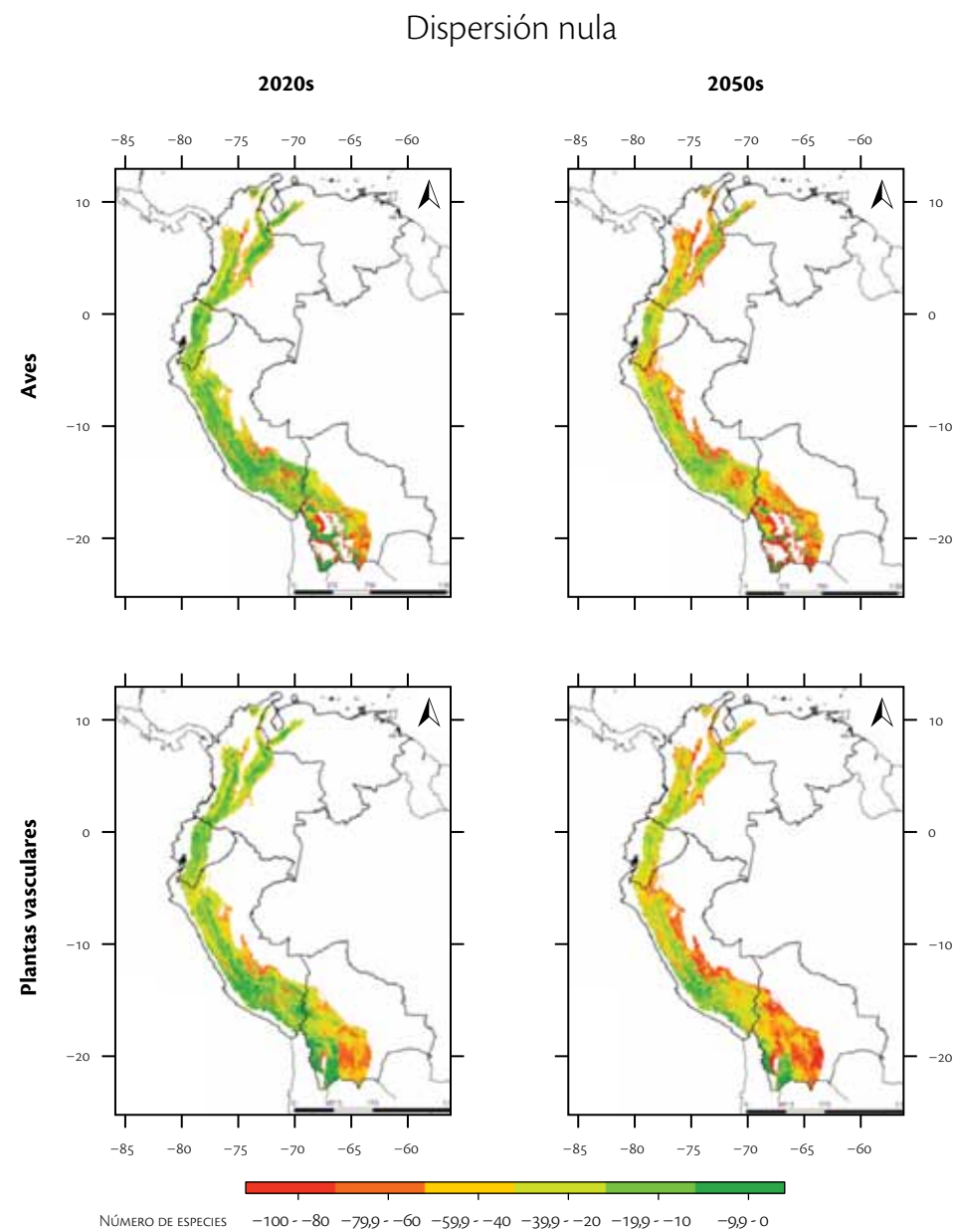
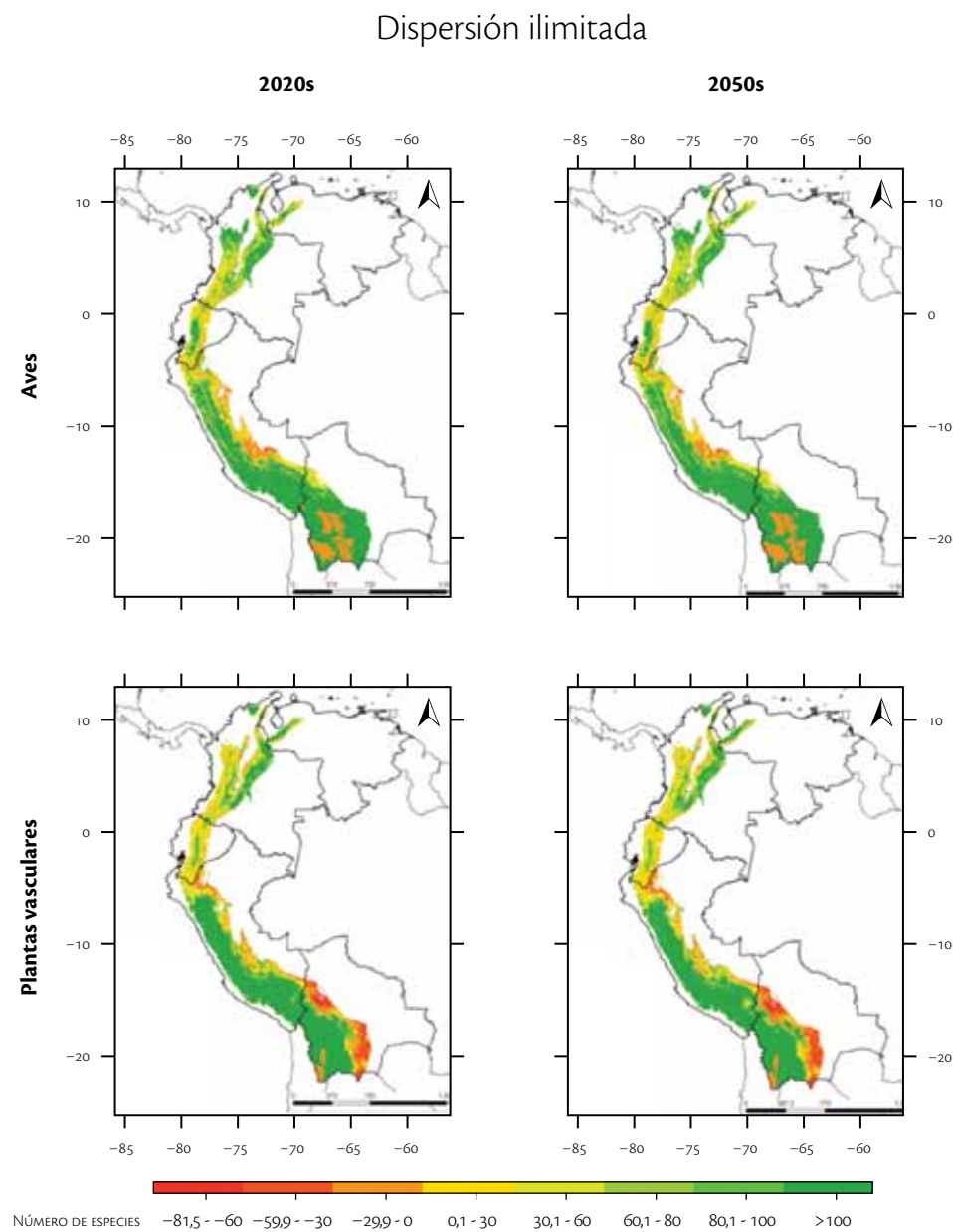
Los cambios en los patrones de riqueza muestran diferencias dependiendo de los mecanismos de dispersión de las especies y los períodos de análisis (2020- 2050). Por el contrario, los patrones y tendencias de riqueza fueron similares en los escenarios de emisión A1B y A2 (Figura 2).

Los escenarios con **dispersión ilimitada** proyectaron un desplazamiento vertical ascendente de las especies de aves y plantas, provocando cambios importantes en la configuración de los patrones de diversidad en los Andes, patrón que se acentúa para el período 2050. Muchas de las especies de aves y plantas del piedemonte a lo largo de la Cordillera de los 5 países reportan valores de pérdida de hasta 81 especies (áreas entre 600 a 1500 metros de elevación).

En el caso de las aves, un área muy particular de pérdida se concentra en los flancos exteriores de la Cordillera oriental del Perú (e.g., Cusco, Ucayali, Junin, Pasco y Huanuco) donde los impactos proyectados son extremadamente altos, con valores incluso de pérdida en la riqueza de especies > 60% (Figura 2). Una segunda área que reporta impactos moderadamente altos pero que ocupan un área geográfica grande es la región sur occidental de Bolivia en las provincias de Sucre, Tarija y Potosí. En particular los bosques pluviestacionales y xerofíticos Boliviano-Tucumanos y la Puna Xerofítica proyectan pérdidas en la riqueza de especies en el orden del 15 al 30 por ciento. Para las plantas, las áreas con mayor pérdida (60 a 82% de pérdida de riqueza) se concentran en los Andes orientales de Bolivia a lo largo de bosques semi-caducifolios y caducifolios de las provincias de Cochabamba, Santa cruz, Sucre y Tarija (Figura 2). Por otro lado, bajo este escenario de amplia capacidad de dispersión, extensas áreas de la Cordillera sobre los 2500 metros –y en particular las regiones sobre los 3500 metros– reportan un incremento mayor al 80% en la riqueza de especies, muchas de ellas provenientes del desplazamiento altitudinal y latitudinal (hacia el sur) proyectado de los nichos climáticos (Figura 2).

FIGURA 2. Patrones espaciales de cambios en la riqueza de aves y plantas vasculares para ambos escenarios de dispersión para los periodos 2020 y 2050. Las áreas marcadas en rojo identifican a las regiones donde se proyecta una

mayor pérdida de especies por extinciones locales o desplazamientos de los nichos climáticos. Las áreas verdes reportan áreas donde existe un incremento en la riqueza de especies.



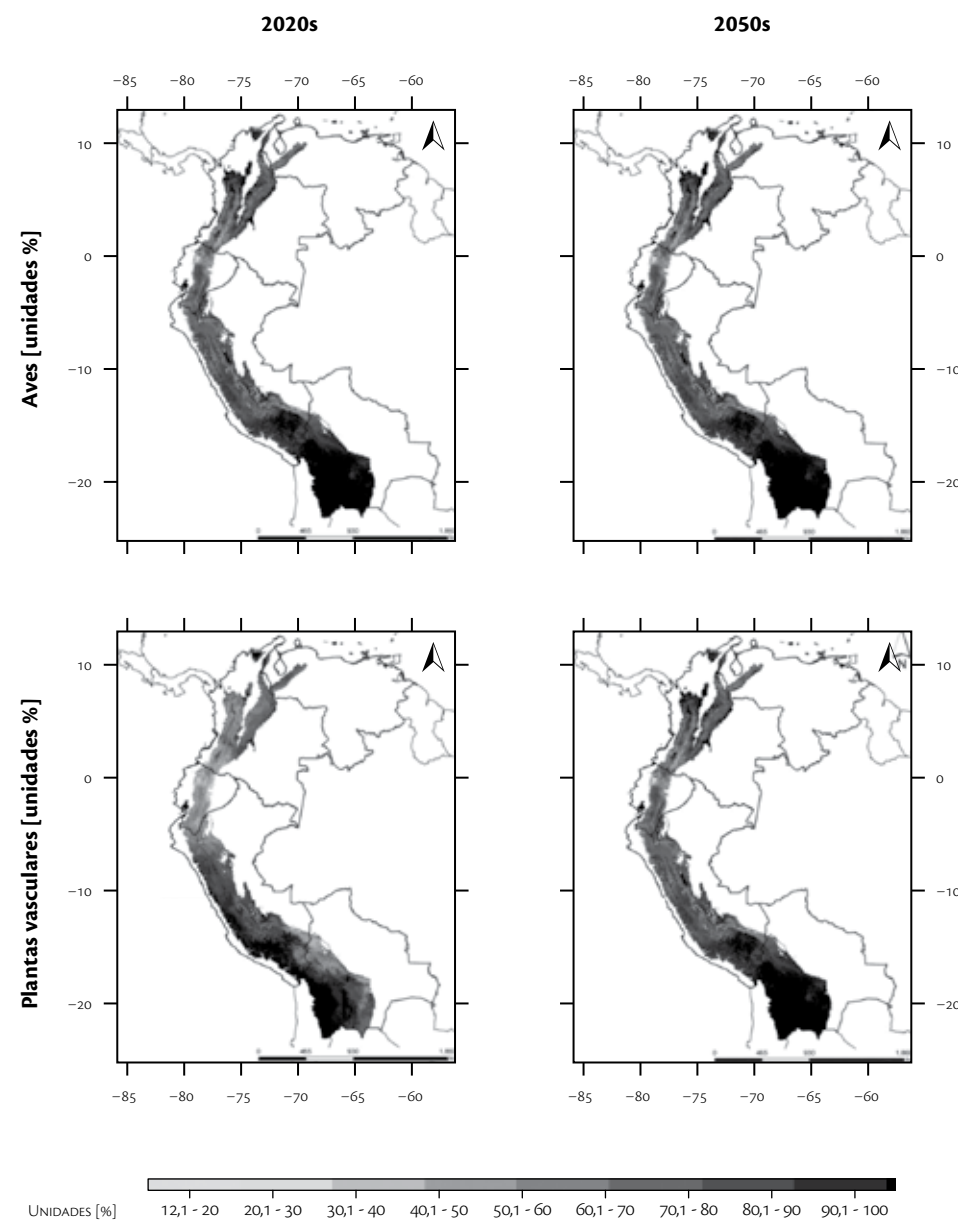
Los escenarios con dispersión nula evidenciaron una pérdida sustancialmente mayor en la riqueza de especies de plantas y aves que el escenario de dispersión ilimitada. Para ambos grupos las áreas de mayor pérdida se distribuyen a lo largo de toda la cordillera, especialmente para el período 2050. Los valores máximos de pérdida de riqueza en este escenario fueron de 1.244 especies para las plantas (media = 163; Sd ± 178) y 295 para las aves (media = 29; Sd ± 36). Las áreas que se reportaron con una mayor pérdida (> 60% de la riqueza de especies) son las Yungas de la cordillera oriental de Bolivia y Perú entre los 500 y 1.200 metros, los bosques Boliviano-Tucumanos en Bolivia, los flancos del piedemonte de la vertiente oriental en Ecuador y Colombia, y la vertiente pacífica del norte de Ecuador y Colombia (Figura 2). Por otro lado, las áreas con pérdidas menores se concentraron en el altiplano Boliviano-Peruano y en la vertiente pacífica de los Andes del Perú. Estos resultados sostienen lo reportado para estudios globales, donde el calentamiento global genera un desplazamiento altitudinal y latitudinal (hacia el sur) en los nichos de las especies (Feeley y Silman 2010a, Jetz et ál. 2007, Sala et ál. 2005, Sala et ál. 2000).

Sin embargo, es importante resaltar que los dos escenarios de dispersión utilizados son proyecciones extremas y fueron generados como una manera de reportar la incertidumbre inherente en estos ejercicios, y en la necesidad de evidenciar la importancia de incorporar criterios ecológicos de las especies modeladas. Es muy probable que las respuestas de las especies sean idiosincráticas, las cuales posiblemente estén determinadas por sus características ecológicas (e.g., capacidad de dispersión), evolutivas (e.g., amplitud de su nicho) y por el contexto de la matriz del paisaje (e.g., patrones de fragmentación y conectividad de parches de hábitat remanentes). No obstante, varias de las especies andinas podrían encontrarse en uno de estos dos escenarios, por lo que los datos pueden ser vistos como posibles tendencias de la biota andina a los efectos del cambio climático.

Los impactos en las tasas de recambio de la comunidad de aves y plantas se concentraron en los Andes bolivianos y peruanos, y en los contornos inferiores de los Andes Colombianos en la Serranía de la Macarena, Sierra Nevada de Santa Marta, el Magdalena medio y en la Cordillera de Mérida en Venezuela (Figura 3). En estos escenarios de dispersión ilimitada y de acuerdo con lo reportado en otros estudios (Feeley y Silman 2010a), las áreas de la puna boliviana-peruana recibirían una gran cantidad de las especies de los bosques montanos producto de la expansión de su nicho climático.

Las alteraciones proyectadas por los ejercicios de modelación en los patrones de distribución espacial de las especies en los Andes (Feeley y Silman 2010a, Jetz et ál. 2007) sugieren el apareamiento de comunidades nóveles, lo cual afectaría considerablemente el funcionamiento de los ecosistemas andinos (Williams y Jackson 2007). Muchas de las especies leñosas y herbáceas (i.e. *Solanaceae*, *Bromeliaceae*) dependen de las interacciones con animales para la dispersión de semillas y la polinización; los efectos del CC en estos organismos podrían ocasionar asincronías espaciales, temporales o fisiológicas entre especies mutualistas, produciendo cambios en la composición y estructura de las comunidades (Zavaleta et ál. 2003).

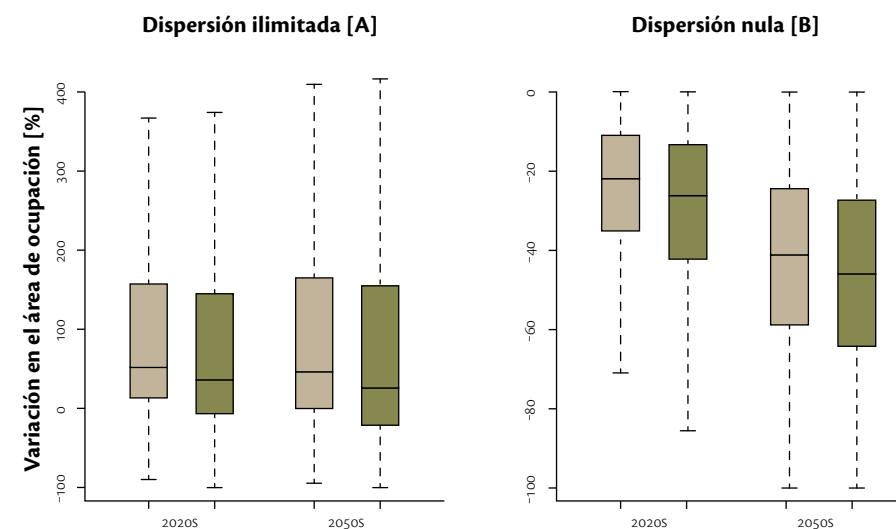
FIGURA 3. Recambio en la comunidad de aves y plantas vasculares para el período 2020s y 2050s para el Escenario de emisión A1B en escenarios de dispersión ilimitada.



Los cambios promedio en las áreas de distribución potencial de las especies analizadas evidencian la sensibilidad del análisis al variar los parámetros de dispersión así como el alto grado de incertidumbre asociado a este tipo de ejercicios. Cuando la respuesta de las especies es a través de una dispersión ilimitada, los resultados reportan a la mayoría de las especies con un incremento del área de su nicho climático actual. Algunas de ellas podrían incrementar su área (promedio) en más del 300 % (Figura 4a) independiente del período analizado o del escenario de emisión. Este es el caso para muchas de las especies de bosques montanos como las aves de los géneros *Grallaria* y *Eriocnemis*, en el que las especies de estos grupos que tienen una mayor amplitud de nicho reportan incrementos mayores al 100% en los escenarios de dispersión ilimitada. En particular *Eriocnemis cupreiventris* y *E. nigrivestis* incrementan considerablemente su nicho para este escenario para el 2020 y el 2050 (Tabla 1).

En contraste, al incorporar una respuesta de las especies donde no existe capacidad de desplazamiento (i.e. dispersión nula) los resultados muestran una respuesta muy diferente. El nicho climático de las especies se contrae significativamente en todos los períodos y escenarios, siendo más evidentes las proyecciones para el período 2050 y el escenario de emisión A2 (Figura 4b, Tabla 1). Para el período 2020 el cambio máximo esperado es la reducción promedio del área del nicho climático en 50% para aves y 80% para las plantas mientras que para el 2050, en ambos casos muchas especies reportan una contracción del 100% de su nicho climático sugiriendo la extinción de muchas de ellas en este escenario (Figura 4b). Este es el caso también para las mismas especies de aves del género *Eriocnemis* (*E. nigrivestis* y *E. cupreiventris*) donde para el escenario del 2050

FIGURA 4. Cambio del área del nicho climático para aves (cajas beige) y plantas vasculares (cajas verdes) para (A) dispersión ilimitada y (B) dispersión nula, para el escenario de emisión A2 (SRES-A2) para ambos períodos (2020s y 2050s). Los valores medios de cambio se reportan en las líneas negras horizontales con su respectivo intervalo de confianza (95%). Las cajas reportan el rango intercuartil de los datos mientras que las patillas simbolizan los percentiles 5 y 95.



sin capacidad de dispersión, el nicho climático se contrae en 69% y 65% respectivamente. Casos similares se reportan para todas las especies modeladas del género *Grallaria*, resaltando los casos de *G. alleni*, *G. aplonota*, *G. gigantea* y *G. Hypoleuca*, donde la contracción para el SRES-A2 2050 es de 59%, 83%, 54% y 63% respectivamente (Tabla 1).

Patrones similares se reportan para las especies de plantas de los géneros *Polylepis* y *Gynoxys*. Las especies *Polylepis lanuginosa* y *P. tomentela* reportan incrementos sustantivos en su área de distribución para el escenario de dispersión universal para los dos períodos, pero reducciones considerables en el escenario de dispersión limitada. No obstante, algunas especies de estos géneros (e.g., *Polylepis incana*, *P. reticulata*, *Gynoxis buxifolia*, *G. caracensis*) reportan una contracción de su nicho climático para los dos escenarios de dispersión y para los dos períodos de tiempo (Tabla 1). Quizá estas especies podrían ser identificadas como de mayor sensibilidad, y ser priorizadas para desarrollar estudios más específicos que generen una mejor comprensión de esta gran sensibilidad. Posiblemente esta está dada por ocurrir en zonas muy altas (i.e. páramos, punas) donde la contracción de las áreas climáticas son mayores y la exposición a los impactos incrementa (Williams y Jackson 2007, Williams et ál. 2007).

Varios estudios resaltan el hecho de que se esperan respuestas idiosincrásicas de los organismos a los impactos del CC. Estas respuestas dependerán en gran parte de las características fisiológicas y ecológicas de las especies en cuestión (Broennimann et ál. 2006). Esta idea se fortalece por los resultados generados en el estudio de Ramírez et ál. (2011) para las especies de aves y plantas modeladas. La tendencia indica que especies endémicas o de distribución restringida y localizadas en las partes más altas de los Andes serían las más afectadas debido a una mayor contracción de su nicho climático, muchas de ellas sufrirían extinciones locales. Este resultado apoya las conclusiones de otros estudios en otras regiones montañosas, que indican mayor sensibilidad de las especies con distribución restringida o altamente especializadas (Araújo et ál. 2004, Laurance et ál. 2011, Raxworthy et ál. 2008, Sekercioglu et ál. 2008, Thuiller et ál. 2005).

Las tasas de extinción proyectadas o documentadas para las especies andinas podrían ser amplificadas debido a los efectos ocasionados por cambios en la cobertura de la tierra (ver Sección 3.2). La fragmentación del hábitat tiene una relación directa con el grado de conexión entre las poblaciones de una especie, con el intercambio y mantenimiento de diversidad genética inter e intra-poblacional, y con su capacidad de adaptación a nuevas condiciones ambientales (Jump y Peñuelas 2005, Opdam y Wascher 2004). En general, especies móviles podrán seguir el desplazamiento de sus nichos climáticos, mientras que las especies capaces de generar cambios evolutivos rápidos o con un amplio rango de tolerancia fisiológica podrán adaptarse a las nuevas condiciones ambientales sin necesidad de desplazarse (Harrison et ál. 2006). Para poblaciones relativamente continuas, la adaptación a climas más cálidos será facilitada por el flujo genético de las poblaciones que se encuentran actualmente en regiones más cálidas dentro de su rango de distribución; mientras que la respuesta de poblaciones aisladas a

TABLA 1. Cambio promedio en el rango del nicho climático de especies andinas para los nueve GCMs seleccionados (ver sección 2) para el escenario de emisión A2 (SRES-A2) para los cortes temporales 2020s y 2050s.

| Especies | Categoría UICN (2010) | Endemismo | Rango altitudinal (msnm) | Cambio en el rango (%) | | | |
|------------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | | | | D. universal (2020s) | D. limitada (2020s) | D. universal (2050s) | D. limitada (2050s) |
| 1. Plantas | | | | | | | |
| <i>G. acostae</i> | LC | sí, Ec | 2700-4300 | 17098 | -37 | 16279 | -84 |
| <i>G. asterotricha</i> | n/a | no | 3100-4100 | 1785 | -21 | 1659 | -65 |
| <i>G. baccharoides</i> | VU D(ii) | no | 3300-4200 | 233 | -41 | 110 | -69 |
| <i>G. buxifolia</i> | n/a | no | 2500-4100 | -13 | -22 | -52 | -57 |
| <i>G. caracensis</i> | LC | sí, Pe | 2800-4335 | -13 | -69 | -40 | -81 |
| <i>G. cuicochensis</i> | NT | sí, Ec | 2500-4050 | 91 | -22 | 54 | -39 |
| <i>G. fuliginosa</i> | n/a | no | 2700-4150 | -7 | -27 | -35 | -53 |
| <i>G. hallii</i> | LC | sí, Ec | 2500-4100 | 266 | -18 | 199 | -40 |
| <i>G. miniphylla</i> | NT | sí, Ec | 3100-4000 | 224 | -37 | 45 | -64 |
| <i>G. oleifolia</i> | LC | sí, Pe | 3380-4900 | -59 | -82 | -90 | -94 |
| <i>G. parvifolia</i> | n/a | no | 2900-4100 | 1974 | -22 | 1488 | -43 |
| <i>G. psilophylla</i> | n/a | sí, Bo | 2800-3900 | 918 | -8 | 947 | -15 |
| <i>G. reinaldii</i> | n/a | no | 2400-3300 | 165 | -45 | 226 | -64 |
| <i>G. sodiroi</i> | VU B1ab(iii) | sí, Ec | 2900-4286 | 55 | -16 | 21 | -38 |
| <i>Polylepis incana</i> | no | no | 2450-3800 | -39 | -65 | -56 | -83 |
| <i>Polylepis lanuginosa</i> | VU B1abIII | sí, EC | 2600-3630 | 1451 | -26 | 1310 | -49 |
| <i>Polylepis pauta</i> | no | no | 2700-4200 | 8 | -60 | -61 | -88 |
| <i>Polylepis reticulata</i> | VU A4c | sí, EC | 3200-4450 | -29 | -52 | -31 | -81 |
| <i>Polylepis sericea</i> | no | no | 2500-3900 | -39 | -64 | -53 | -84 |
| <i>Polylepis besseri</i> | no | no | 2500-4100 | 13 | -24 | 8 | -32 |
| <i>Polylepis racemosa</i> | no | no | 2900-4500 | 24 | -16 | 30 | -31 |
| <i>Polylepis tomentella</i> | no | no | 2800-4700 | 72 | -7 | 59 | -16 |
| <i>Polylepis weberbaueri</i> | no | no | 2700-4800 | -38 | -60 | -47 | -73 |

TABLA 1. Cambio promedio en el rango del nicho climático de especies andinas para los nueve GCMs seleccionados (ver sección 2) para el escenario de emisión A2 (SRES-A2) para los cortes temporales 2020s y 2050s.

| Especies | Categoría UICN (2010) | Endemismo | Rango altitudinal (msnm) | Cambio en el rango (%) | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | | | | D. universal (2020s) | D. limitada (2020s) | D. universal (2050s) | D. limitada (2050s) |
| 2. Aves | | | | | | | |
| <i>E. alinae</i> | LC | no | 2300-2800 | -17 | -23 | -33 | -37 |
| <i>E. cupreiventris</i> | NT | no | 1950-3000 | 149 | -45 | 101 | -69 |
| <i>E. derbyi</i> | NT | no | 2500-3600 | -31 | -45 | 18 | -48 |
| <i>E. luciani</i> | LC | no | 2800-3800 | 42 | -14 | -9 | -30 |
| <i>E. mosquera</i> | LC | no | 1200-3600 | -18 | -21 | -34 | -38 |
| <i>E. nigrivestis</i> | CR | sí, EC | 1700-3500 | 261 | -30 | 92 | -65 |
| <i>E. vestita</i> | LC | no | 2800-3500 | 8 | -30 | -2 | -52 |
| <i>G. alleni</i> | VU B1a+b(i,ii,iii) | no | 1800-2500 | 47 | -31 | 3 | -59 |
| <i>G. erythroleuca</i> | LC | sí, Pe | 2150-3000 | 39 | -22 | -12 | -47 |
| <i>G. flavotincta</i> | LC | | 1300-2350 | 51 | -17 | -8 | -48 |
| <i>G. gigantea</i> | VU B1a+b(i,ii,iii) | no | 1200-2600 | 835 | -26 | 1283 | -54 |
| <i>G. guatimalensis</i> | LC | no | 200-3000 | 10 | -31 | 2 | -51 |
| <i>G. haplonota</i> | LC | no | 700-2000 | 11 | -55 | -19 | -83 |
| <i>G. hypoleuca</i> | LC | no | 1400-2300 | 170 | -13 | 71 | -63 |
| <i>G. nuchalis</i> | LC | no | 1900-3150 | 73 | -10 | 26 | -36 |
| <i>G. quitensis</i> | LC | no | 2200-4500 | -8 | -38 | -48 | -67 |
| <i>G. ruficapilla</i> | LC | no | 1200-3600 | 29 | -16 | 18 | -35 |
| <i>G. rufocinerea</i> | VU B1a+b(i,ii,iii) | no | 2200-3150 | 11 | -31 | 61 | -42 |
| <i>G. rufula</i> | LC | no | 2300-3650 | 31 | -26 | 10 | -53 |
| <i>G. squamigera</i> | LC | no | 2000-3800 | 6 | -26 | -22 | -51 |
| <i>G. watkinsi</i> | LC | no | 600-1700 | 44 | -21 | 34 | -50 |

los cambios climáticos dependerá de la cantidad de genes asociados a la variabilidad climática contenidos en estas poblaciones (Jump y Peñuelas 2005).

Los estudios teóricos refuerzan el hecho de que la pérdida y fragmentación de hábitat potenciarán el riesgo de extinción por efectos del CC en muchas especies de montaña. El grado de vulnerabilidad de éstas está dado por su capacidad de dispersión junto con la diversidad genética contenida en las poblaciones de estas especies. No obstante, a la fecha del presente reporte no existen estudios orientados a evaluar: 1) la capacidad de dispersión de especies andinas en diferentes paisajes con distintos grados de alteración, 2) la forma en que los cambios climáticos actúan sobre la diversidad genética de las poblaciones, y 3) cómo esta diversidad puede ayudar a generar procesos de adaptación a las nuevas condiciones.

PROYECCIONES VERSUS EVIDENCIAS

La literatura científica sobre los impactos del CC a escala de especies concuerda en que se esperan tres posibles respuestas: desplazamiento, adaptación y extinción local (Pearson 2006, Peterson et ál. 2001, Sekercioglu et ál. 2008, Thuiller et ál. 2008). No obstante, existe una gran variedad de factores externos que proveen los mecanismos para que estas tres respuestas generales ocurran. Por ejemplo, al contrastar lo documentado para los Andes Tropicales, se evidencia que de los 28 casos analizados, los impactos se resumen en disminuciones en la densidad poblacional o en extinciones locales originadas en la mayoría de los casos por aumentos en las tasas de contagio de enfermedades causadas por patógenos exógenos (Tabla 2). No obstante, no existe todavía una evidencia de que en los Andes existan procesos locales de adaptación o desplazamientos geográficos ocasionados por las anomalías climáticas (pero ver Seimon et ál. 2007), aunque desplazamientos de especies en gradientes altitudinales si han sido registrados para otras montañas tropicales (Chen et ál. 2011, Deutsch et ál. 2008).

TABLA 2. Frecuencia de los temas tratados en los artículos científicos sobre los efectos del cambio climático en organismos.

| Tema | Referencia | Frecuencia |
|------------------------|--|------------|
| Enfermedades | Angulo 2008, Dangles et ál. 2008, La Marca et ál. 2005, Lampo et ál. 2006, Lips et ál. 2008, Paritsis y Veblen 2011, Seimon et ál. 2007, Young et ál. 2001 | 8 |
| Extinción | Angulo 2008, Bustamante et ál. 2005, Merino-Viteri et ál. 2005, Pounds et ál. 2006, Ron et ál. 2003, Young et ál. 2001 | 6 |
| Especies invasivas | Ledo et ál. 2009, Molina-Montenegro et ál. 2009, Paritsis y Veblen 2011, Pauchard et ál. 2009, Rodder 2009 | 5 |
| Diversidad de especies | Killeen et ál. 2007, Lawler et ál. 2009, Molau 2004, Nores 2009 | 4 |

TABLA 2. Frecuencia de los temas tratados en los artículos científicos sobre los efectos del cambio climático en organismos.

| Tema | Referencia | Frecuencia |
|--------------|---|------------|
| Crecimiento | Daniels y Veblen 2004, Lara et ál. 2005 | 2 |
| Poblaciones | Gosling et ál. 2009, La Marca et ál. 2005 | 2 |
| Autoecología | Gosling et ál. 2009 | 1 |
| Endemismo | Fjeldsá et ál. 1999 | 1 |
| Fisiología | Sierra-Almeida et ál. 2009 | 1 |
| Migración | Hillyer y Silman 2010 | 1 |
| Polinización | Torres-Díaz et ál. 2007 | 1 |
| Regeneración | Tercero-Bucardo et ál. 2007 | 1 |

Adicionalmente, en su gran mayoría, los estudios llevados a cabo en los Andes tienen una aproximación descriptiva, y existe un vacío en el desarrollo de estudios experimentales que permitan distinguir los efectos individuales de los factores ambientales sobre las especies. La revisión realizada sobre el estado del conocimiento documentado para los Andes, reporta 28 artículos que analizaron el tema de cambio climático a escala de organismos, de los cuales 20 se basaron en datos descriptivos. Los escasos estudios experimentales reportados corresponden a los experimentos de fisiología en la puna de Chile (Molina-Montenegro et ál. 2009, Sierra-Almeida y Cavieres 2010) y uno en Ecuador en plantas de páramo (Sklenář et ál. 2010). Estos resultados evidencian la necesidad de generar experimentos, en condiciones ambientales controladas, que permitan particularizar las respuestas de las especies y las comunidades bióticas a los cambios ambientales en períodos de tiempo corto. La información descriptiva y experimental es básica para construir modelos de predicción de respuestas frente a cambios ambientales futuros y delinear medidas de adaptación acordes a estas respuestas.

De los 28 artículos revisados, la mayoría de estudios utilizaron cambios en temperatura y en algunos casos precipitación o la combinación de ambas. Esta realidad obedece probablemente a las limitadas series de datos continuos de precipitación (especialmente sobre los 3 000 m de elevación) a escalas locales y sub-nacionales, lo cual impide la construcción de patrones actuales y proyecciones futuras en escenarios de cambios ambientales con menor incertidumbre (ver Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación).

Por lo tanto, la evaluación o análisis de la sensibilidad de los organismos andinos a estos impactos es por lo pronto incompleta y parcial, especialmente a escalas geográficas grandes (i.e. sub-nacionales). Una prioridad es el desarrollo y validación de modelos climáticos regionales que incorporen, de mejor manera, los modelos globales de circulación disponibles actualmente y las condiciones topográficas de los Andes (Buytaert et ál. 2010a, Buytaert et ál. 2009), así como

también es prioridad mejorar la red hidro-meteorológica andina en lo referido a su infraestructura, la calidad de los instrumentos y las mediciones, la capacidad técnica y el mantenimiento de la red de estaciones.

IMPACTOS EN LA BIODIVERSIDAD A NIVEL DE BIOMAS

Los resultados generados muestran que los biomas andinos son muy susceptibles a los efectos del calentamiento global, pero que su sensibilidad está determinada por su ubicación geográfica, por sus condiciones actuales de humedad y su fenología (i.e. estacionalidad). La mayoría de los biomas evidencian un desplazamiento vertical ascendente en su límite inferior de su distribución. Este desplazamiento es más pronunciado para las áreas crioturadas y glaciares¹, el páramo, la puna húmeda, y el bosque montano siempreverde. Por otro lado, los bosques semi-decíduos, la prepuna xerofítica y especialmente los matorrales montanos evidencian una expansión de sus límites inferiores colonizando áreas inferiores (Figura 5). Las proyecciones sugieren que los impactos serían más severos para el período 2050 que para el 2020. Sin embargo, los impactos para los dos escenarios de emisión (A1B y A2) reportados son similares y no existen diferencias estadísticamente significativas; los resultados presentan una tendencia similar en la dirección del cambio con los obtenidos en los modelos de impacto en las especies andinas (ver sección 3.1).

Los desplazamientos de los sobres climáticos en la Cordillera de los Andes tendrán un impacto directo en la configuración espacial futura de los biomas, en particular sobre el área que ocupan. Las proyecciones de cambio determinan una contracción general en el área actualmente ocupada por los biomas (Josse et ál. 2009), para ambos escenarios de emisión y cortes de tiempo analizados. Para el período 2020s el promedio de todos los modelos para el SRES-A1b es de -3,0 por ciento y para el SRES-A2 de -2,4 por ciento. Para el período 2050s, el promedio de todos los modelos para el SRES-A1b es de -4,9% y para el SRES-A2 es de -2,5% (Figura 5).

No obstante, los biomas ubicados a mayor altitud tienden a una mayor contracción de su área de distribución climática para ambos escenarios y cortes de tiempo. Por ejemplo, para el corte 2020 en el escenario A1B, los glaciares y áreas crioturadas perderían cerca del 57% de su actual superficie para el período 2020, mientras que los páramos se contraerían en un 29% en promedio para el mismo período y escenario. Para el período 2050 se espera que la pérdida promedio sea de 80% y 50% respectivamente para el escenario A2 (Tabla 3).

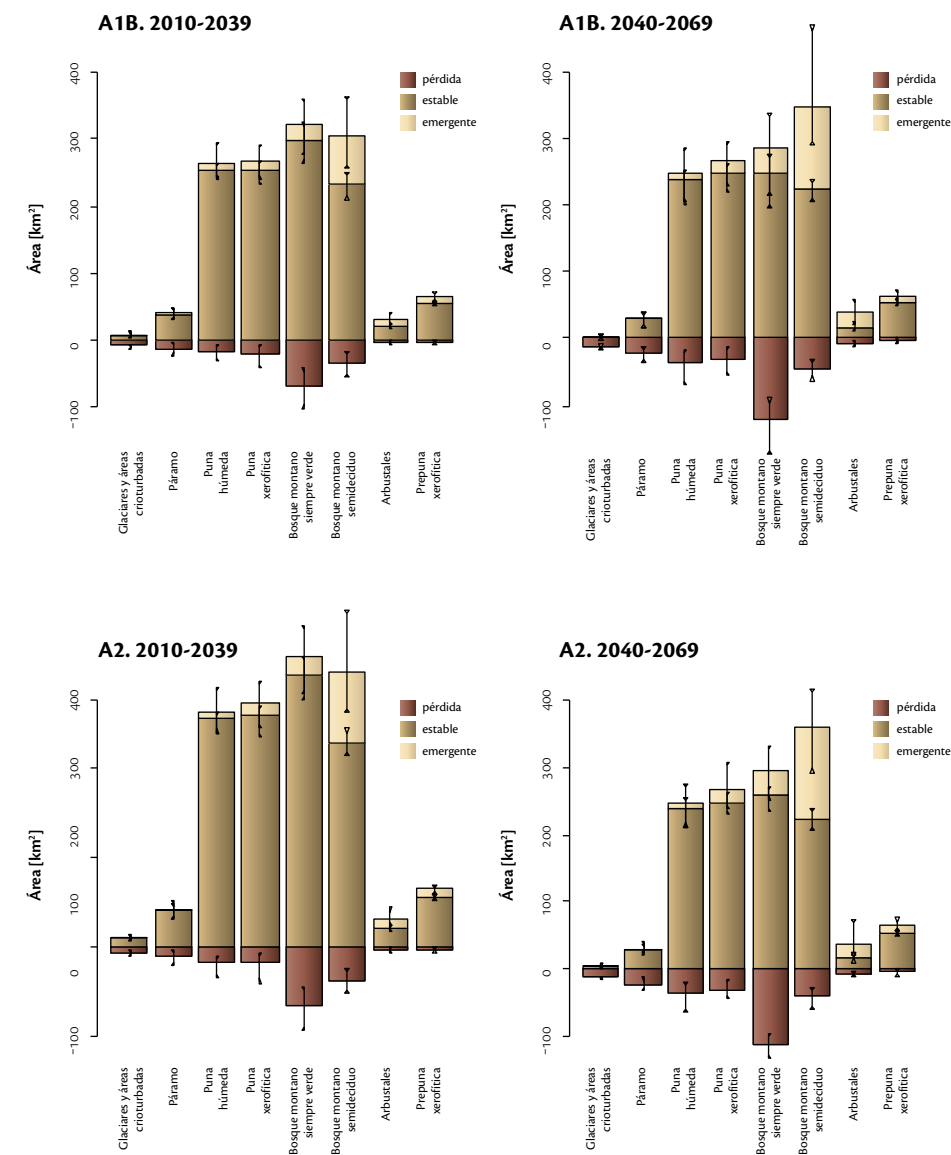
¹ Esta investigación no pretende reportar sobre el retroceso glaciar pues para ello se necesitaría incluir un modelo específico para estos fines. Este estudio se concentra simplemente en analizar lo que sucederá en las condiciones climáticas en las que ocurren las áreas crioturadas y la eventual colonización de hábitats periglaciares por el páramo o la puna.

De todos los biomas andinos, el BMS es el que reporta la mayor superficie de pérdida total para ambos cortes de tiempo y escenarios de emisión. Para el corte 2020, se proyecta una pérdida promedio de 18,5% y una ganancia promedio de 6,5% para los bosques montanos, lo que determina una pérdida absoluta de 12,5% de su superficie climática; para el período 2050, la pérdida absoluta incrementa al 20% (Tabla 3). Por el contrario, los escenarios proyectados para los ambientes xéricos reportan un incremento en su área de ocurrencia. Los bosques semidecíduos y deciduos montanos tienen un incremento absoluto del 15% para el período 2020 y de 34% para el 2050 (Tabla 3, Figura 5). Las áreas de pérdida en la mayoría de los modelos coinciden en prever un cambio en los límites superiores e inferiores de los biomas. Esto concuerda con otros modelos generados para especies en los Andes y otras regiones (Broennimann et ál. 2006, Feeley y Silman 2010a, Thuiller et ál. 2008).

TABLA 3. Cambio relativo promedio (%) en el área de los biomas entre las condiciones climáticas actuales y futuras para el escenario A1B para los cortes 2020s y 2050s. Entre paréntesis se incluye el rango de valores para los nueve GCMs utilizados.

| Bioma | A1B 2010-2039 | | | A2 2040-2069 | | |
|---|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Áreas perdidas (%) | Áreas estables (%) | Áreas emergentes (%) | Áreas perdidas (%) | Áreas estables (%) | Áreas emergentes (%) |
| Ac/Gc Glaciares y áreas crioturbadas | -56,5 (-48,9 - -63,9) | 43,5 (36,1 - 51,0) | 0,2 (0,0 - 0,4) | -81,4 (-68,5 - -86,3) | 18,6 (13,7 - 31,7) | 0,1 (0,0 - 0,1) |
| Pa Páramo | -29,4 (-17,4 - -38,7) | 70,6 (61,3 - 82,6) | 0,8 (0,3 - 1,3) | -46,1 (-29,2 - -54,9) | 53,9 (45,1 - 70,8) | 0,9 (0,3 - 1,4) |
| PH Puna húmeda | -6,9 (-3,6 - -9,6) | 93,1 (90,4 - 96,4) | 3,7 (0,9 - 11,3) | -12,9 (-7,0 - -22,8) | 87,1 (77,2 - 93,0) | 4,2 (1,1 - 7,4) |
| PX Puna xerofítica | -8,7 (-3,6 - -15,0) | 91,3 (85,0 - 96,4) | 4,9 (2,9 - 8,2) | -10,8 (-5,9 - -16,2) | 89,2 (83,8 - 94,1) | 7,1 (3,3 - 17,3) |
| BMS Bosque montano siempre verde | -18,5 (-13,0 - -24,8) | 81,5 (75,2 - 87,0) | 6,5 (3,2 - 9,6) | -30,1 (-27,0 - -35,6) | 69,9 (64,4 - 73,0) | 10,1 (4,6 - 16,8) |
| BMD Bosque montano semidecíduo | -13,7 (-6,7 - -21,0) | 86,3 (79,0 - 93,3) | 28,0 (18,3 - 42,9) | -15,8 (-10,9 - -22,4) | 84,2 (77,6 - 89,1) | 50,4 (32,7 - 65,7) |
| MM Arbustales | -23,2 (-13,0 - -27,8) | 76,8 (72,2 - 87,0) | 40,9 (25,5 - 66,0) | -34,8 (-14,3 - -50,4) | 65,2 (49,6 - 85,7) | 89,4 (42,9 - 200,3) |
| PPx Prepuna xerofítica | -7,0 (-3,3 - -11,3) | 7,0 (3,3 - 11,3) | 93,0 (88,7 - 96,7) | -8,2 (-3,7 - -16,0) | 91,8 (3,7 - 16,0) | 20,3 (84,0 - 96,3) |

FIGURA 5. Cambio promedio en las áreas de los biomas andinos para cada escenario (A1B y A2) y para cada periodo (2010-2039 y 2040-2069) con respecto al año base 2000. Las barras muestran los valores promedio de todos los modelos, mientras que las líneas muestran el intermedio del valor máximo y mínimo de todos los modelos.



Si bien en los Andes Tropicales no se han podido documentar cambios en los límites actuales de los biomas durante los últimos 50 a 100 años, existen evidencias de dichos desplazamientos durante los últimos 50 años en varios sistemas montañosos europeos (Jurassinski y Kreyling 2007, Nogués-Bravo et ál. 2007, Pauli et ál. 2007, Peñuelas y Boada 2003, Sanz-Elorza et ál. 2003). Sin embargo, no se conoce con certeza si en los Andes tropicales existen cambios en el límite altitudinal de la línea de bosque, que puedan ser exclusivamente atribuidos a CC reciente. Los estudios revisados indican que las respuestas del límite arbóreo han demostrado ser lentas, variar entre especies y, en general, tener patrones no lineales. Esto se debe a que las tendencias transicionales abruptas de vegetación están mediadas por varios factores y procesos que incluyen interacciones entre humedad y temperatura, y retroalimentación positiva por interacciones interespecíficas entre especies de bosque y el páramo o la puna (Bader et ál. 2007b).

Estos procesos parecen conferir a la línea de bosque cierto grado de estabilidad frente a cambios en el clima (Kupfer y Cairns 1996). Por ejemplo, interacciones positivas (i.e. facilitación) entre plantas pueden promover el establecimiento de ciertas especies leñosas solamente en sitios de bosque, debido a una variedad de factores que podrían incluir disponibilidad de agua, pH y nutrientes del suelo, luz, temperatura, herbivoría, entre otros (Bader et ál. 2007a). Mecanismos similares de retroalimentación positiva para las herbáceas de páramo son menos conocidos, pero, de igual manera, podrían limitar el avance altitudinal de zonas boscosas (Kupfer y Cairns 1996). Las conclusiones preliminares que se derivan de estos estudios, sugieren que aumentos en la temperatura ambiental no implican un ascenso inmediato de la vegetación, posiblemente debido a procesos autogénicos de la línea de bosque, y actividades humanas. Existen otros límites de distribución de ecosistemas que son menos evidentes y no han recibido atención desde el punto de vista científico. Los límites entre diferentes tipos de bosques andinos podrían también estar regulados por procesos biológicos o ambientales (e.g., distintos tipos de suelos), lo cual limitaría las posibilidades de expansión de estos ecosistemas hacia sitios con condiciones climáticas adecuadas.

Otra perspectiva de investigación asume que el límite del bosque está fijado por la interacción entre las presiones ambientales y las tolerancias fisiológicas de los individuos (Cavieres y Piper 2004). Los estudios en esta línea se han enfocado en la fisiología de las respuestas adaptativas de especies o grupos funcionales predominantes, es decir, de árboles. Estos estudios han tratado de manera combinada los efectos de la temperatura, la radiación y el estrés hídrico sobre las respuestas de especies leñosas que forman el límite arbóreo en los Andes. Los resultados de estos esfuerzos han descartado la hipótesis de que las especies leñosas carezcan de mecanismos de resistencia a bajas temperaturaa que les permitan evitar daño en sus tejidos y por ende colonizar ambientes a mayor altitud. Se habla, más bien, de un efecto combinado sobre la maquinaria fotosintética de las bajas temperaturas nocturnas y las altas radiaciones, lo que podría incidir negativamente en el balance de carbono, especialmente en los ecosistemas ubicados a mayores altitudes (Dulhoste 2010). En este contexto, un aumento en la temperatura podría

mejorar las condiciones limitantes para el crecimiento de las plantas sobre la línea de bosque. Sin embargo, la colonización de leñosas sobre la línea de bosque todavía estaría limitada por altas radiaciones (Bader et ál. 2007a).

En conclusión, aun cuando podría ser generalizado el ascenso vertical de la línea de bosque y posiblemente de otros ecosistemas, en función de controles climáticos, esta tendencia sería fuertemente controlada por variabilidad regional, local y temporal, y por el legado de uso humano histórico del paisaje (Holtmeier y Broll 2007). Los procesos biológicos que permitirían un ascenso en la línea de bosque incluyen: 1) supervivencia de árboles debido a menor daño físico por congelamiento, desecación y fototoxicidad, 2) supervivencia de plántulas hasta la adultez (reclutamiento), y 3) menores limitaciones fisiológicas relacionadas con el balance de carbono y mayores tasas de crecimiento (Grace et ál. 2002).

Finalmente, para entender los factores que controlan la línea de bosque es importante considerar la interacción del uso de la tierra con la dinámica de la vegetación. La línea de bosque ha estado sometida a fuertes presiones por pastoreo, fuego, forestación con especies exóticas y agricultura. Varios estudios documentan un desplazamiento de la línea de bosque hacia zonas inferiores por efectos del pastoreo y las quemadas (Wille et ál. 2002). Se ha sugerido que lo abrupto de la línea de bosque y su localización por debajo de su potencial climático, se debe a retroalimentación positiva causada por la quema y pastoreo de los páramos (Bader et ál. 2007a). Por lo tanto, el uso que los seres humanos dan a los ecosistemas herbáceos sería un factor adicional que limitaría el ascenso de la línea de bosque, aún cuando nuevas condiciones climáticas posibilitarían su ascenso.

No obstante, existen pocos estudios que investiguen de manera integrada los efectos del CC y CCUT en la biodiversidad en la región andina. Hasta la fecha de esta revisión, solo existe un ejercicio de modelación que integra escenarios de cambio climático junto con escenarios de uso de la tierra y umbrales de dispersión en los Andes (Feeley y Silman 2010a). En este estudio se plantean cuatro escenarios distintos que generan resultados contrastantes al variar las condiciones de los factores modelados en 223 especies de árboles de la vertiente oriental de los Andes.

El primer escenario considera dispersión ilimitada, sin cambios en la cobertura y un incremento de 5°C en 100 años. Este escenario proyecta un desplazamiento vertical de los nichos climáticos en 900 m, lo que cambia el tamaño de las poblaciones entre -45% a 133% (media = 20%); es decir algunas especies se ven afectadas y otras favorecidas. El segundo escenario mantiene las mismas condiciones pero no considera dispersión. En este escenario las predicciones cambian significativamente. Todas las especies evaluadas reportan disminución sustancial de sus poblaciones, entre -53% a -96% (media = -72%). Este ejercicio resalta la gran importancia de la capacidad de dispersión y colonización de las especies para subsistir en escenarios de CC. El tercer escenario incluye deforestación y un límite superior del bosque fijo por efectos de pastoreo y quemadas en ecosistemas altoandinos. En este escenario, todas las especies evaluadas de forma

independiente a su distribución altitudinal promedio, reducirían considerablemente su tamaño poblacional (promedio - 74%). En este mismo escenario, pero con una capacidad de migración ilimitada, las reducciones promedio proyectadas en las poblaciones de las 223 especies llegan a -59 por ciento.

Por consiguiente, los resultados del único modelamiento disponible para temas de CC y CCUT para la región Andina, confirman la importancia de tres factores claves tratados en estudios realizados fuera de la región: 1) la capacidad de dispersión, 2) los factores intrínsecos de respuesta de las especies andinas incluyendo la amplitud de su distribución altitudinal (especies alto-andinas se ven más expuestas) junto con su densidad poblacional, y 3) la interacción de dinámicas de CCUT con los procesos derivados del CC.

Es necesario el desarrollo de modelos que representen de manera satisfactoria las respuestas de la biodiversidad a cambios en el uso de la tierra. El desarrollo de estos modelos depende del entendimiento de los procesos mecánicos que determinan cómo las especies interactúan y responden a estos cambios ambientales. En muchos casos, y para la mayoría de especies, este conocimiento de procesos fundamentales no existe por lo que redundaría en una falta de herramientas de modelamiento apropiadas que representen esta causalidad de manera adecuada (Thuiller et ál. 2008).

CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Los resultados de los ejercicios de modelamiento generados en esta investigación, así como los estudios empíricos y teóricos sistematizados para los Andes, coinciden sobre el alto grado de sensibilidad que tiene la biodiversidad de los Andes Tropicales a los cambios ambientales globales. Esta realidad requiere de un planteamiento sobre como modificar o ajustar las estrategias de protección de la biodiversidad que han sido aplicadas durante los últimos 50 años en los países andinos. En este documento nos enfocamos en acciones de adaptación y mitigación en el contexto del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC).

A lo largo de los últimos 20 años, la academia ha escrito prolíficamente sobre los impactos potenciales del cambio climático y sugerido diversas acciones de adaptación para reducir la pérdida de biodiversidad (Heller y Zavaleta 2009). Sin embargo, la aplicación de estas recomendaciones ha tenido avances puntuales debido a que la mayoría de los estudios científicos proponen recomendaciones generales que tienen poca aplicación para necesidades específicas a escalas locales.

En esta sección, a partir de los principales impactos documentados para los Andes Tropicales, se sugieren acciones de adaptación y mitigación que han sido agrupadas en tres grandes estrategias siguiendo la propuesta de Heller y Zavaleta (2009) y Mawdsley et ál. (2009): (1) Investigación y monitoreo, (2) Manejo de especies, y (3) Política y planificación regional .

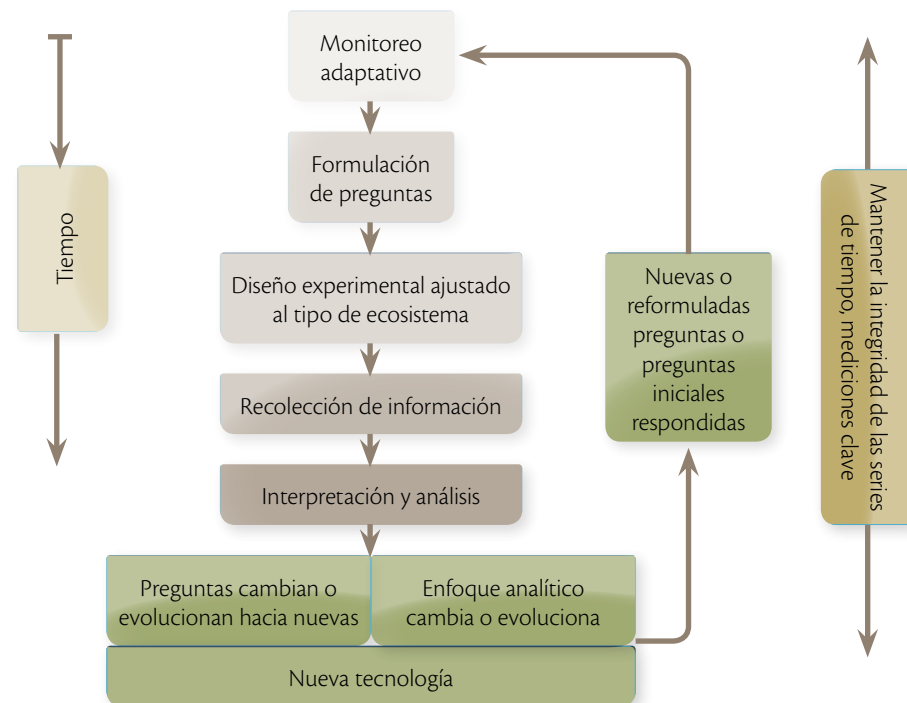


INVESTIGACIÓN Y MONITOREO

Para orientar la inversión en el desarrollo de acciones que apoyen la conservación de los ecosistemas andinos y sus servicios, es necesario mejorar nuestra comprensión de los efectos potenciales del cambio climático y de la variabilidad climática en la biodiversidad. La información generada tiene que apoyar el desarrollo de acciones de adaptación y manejo del paisaje. Las acciones de investigación prioritizadas deben permitir cubrir los vacíos de conocimiento sobre cómo funcionan los ecosistemas y cómo responderán a los cambios ambientales.

El entendimiento de estos procesos requiere de series de datos confiables que alimenten la construcción de modelos conceptuales a través del desarrollo de programas de investigación de mediano y largo plazo bajo una orientación de monitoreo adaptativo que permita retroalimentar y validar la efectividad de los programas de manejo orientados a incrementar resiliencia de los ecosistemas andinos.

FIGURA 6. Esquema conceptual de un programa de monitoreo con enfoque adaptativo a través del cual es posible la incorporación de nuevas preguntas en un esquema de investigación a largo plazo mientras que se mantiene la integridad de las medidas clave



Adaptado de Lindenmayer y Likens (2009).

Los programas exitosos de monitoreo comparten características importantes en común, tales como: (1) Formulación de preguntas de investigación relevantes, previo al inicio del programa de monitoreo; (2) Diseño experimental estadísticamente válido, (3) Desarrollo detallado de protocolos metodológicos que permiten una buena calidad de colección de datos en campo y su posterior manejo y almacenamiento de datos, (4) un buena red colaborativa de investigadores, manejadores y tomadores de decisión, (5) acceso a fuentes confiables de financiamiento, y (6) una buena coordinación y liderazgo. Finalmente, un programa de monitoreo adaptativo requiere de incorporar un elemento clave el desarrollo permanente de nuevas preguntas, una vez que las iniciales hayan sido contestadas o la investigación generada provee de pautas sobre la necesidad de formular nuevas (Lindenmayer y Likens 2009) Figura 6).

Los elementos clave de un sistema de monitoreo de este tipo son: 1) el desarrollo de preguntas clave bien definidas y medibles, basado en un diseño experimental robusto que permita tener un número adecuado de replicas para observar patrones, 2) estar basados en un modelo conceptual de cómo el ecosistema funciona o cómo los elementos priorizados de un ecosistema funcionan, y 3) estar orientados hacia la necesidad humana de generar respuestas de manejo que promuevan el diseño de acciones de adaptación basadas en información científica.

En este contexto, el desarrollo de programas de estudios ecológicos de larga duración promovidos por la colaboración entre los Estados, centros de investigación y organizaciones de la sociedad civil podría ser una alternativa favorable para institucionalizar programas de investigación en los países andinos. La articulación de redes de investigación con los programas nacionales ministeriales y centros de investigación permitirá delinear acciones concretas de mitigación y adaptación en la región, a partir de la información que se genera a través de este tipo de sistemas de monitoreo de largo plazo.

En particular, la Red de Estudios Ecológicos de Larga Duración de Estados Unidos de América ha impulsado la creación de una red Internacional asociada (www.iltinternet.edu), que ha servido como la base para la formación de científicos en países en vías de desarrollo, así como para el intercambio de conocimiento e información entre varios países. Impulsar la entrada de los países andinos a una red de este tipo sería un impulso crítico a la creación de conocimiento ecológico en la región. De la misma manera, es importante promover la institucionalización de iniciativas de monitoreo ecológico a largo plazo, incluyendo las ya existentes: RAINFOR (Amazon Forest Inventory Network), GLORIA (Global Observation and Research Initiative in Alpine Environments) y CORFOR (Cordillera Forest Dynamics Network). Estas iniciativas actualmente monitorean la dinámica de la vegetación a través de parcelas permanentes en varios países andinos. La articulación de redes de investigación con los programas nacionales ministeriales y centros de investigación podría permitir delinear acciones concretas de mitigación y adaptación en la región, a partir de la información que se genera a través de este tipo de sistemas de monitoreo de largo plazo.

No obstante, estas redes requieren de contar con al menos los siguientes aspectos a ser tomados en cuenta (Lovett et ál. 2007):

- Instituciones capaces de comprometerse al mantenimiento de estos programas a largo plazo.
- Desarrollo de mecanismos de información que pongan a disposición en línea la información generada, para consulta de tomadores de decisiones y otros actores.
- Necesidad de mantener procesos de financiamiento junto con la posibilidad de institucionalizar los programas dentro de los ministerios de ambiente, para lograr una sostenibilidad a largo plazo.
- Por otro lado, por su naturaleza, los sistemas de monitoreo de largo plazo requieren ser acompañados con programas experimentales que generen respuestas concretas en el corto plazo y que permitan proveer de información para la toma de decisiones.

MANEJO DE ESPECIES

Los resultados sistematizados evidencian tres principales impactos documentados o modelados: (1) extinciones locales o en todo el rango de distribución por efectos combinados del CC junto con la proliferación de patógenos (e.g., especies del género *Atelopus*, AMPHIBIA), (2) reducciones poblacionales junto con pérdida de diversidad genética, (3) contracciones del rango de distribución con un desplazamiento considerable de sus óptimos climáticos asociado a posibles fragmentaciones de su distribución futura.

En este contexto, en muchos casos, las especies especialistas con baja capacidad de colonización y con requerimientos ecológicos específicos (e.g., hábitat, nutrientes, mutualismos) tienden a tener una mayor susceptibilidad a los impactos de los cambios ambientales globales. En estos escenarios, el desarrollo de programas de manejo y conservación de las poblaciones es percibida como es mecanismos más adecuados. La traslocación de poblaciones (migración asistida) de un hábitat históricamente favorable a las nuevas regiones climáticamente aptas podría ser una estrategia de adaptación factible (Hole et ál. 2011). No obstante, la evidencia empírica sugiere que programas de traslocación animal han sido poco exitosos y altamente costosos (Fischer y Lindenmayer 2007). Sin embargo, el programa de restauración y recolonización de tortugas gigantes en las Islas Galápagos, en testimonio de lo contrario.

En este caso, la posibilidad de utilizar taxones sustitutos para el restablecimiento de funciones ecológicas y dinámicas ecosistémicas es una importante opción de manejo de la vida silvestre (Hansen et ál. 2010). La visión, en este caso, es

más amplia, pues no solo está orientada a la especie sino a generar ecosistemas sanos y resilientes. Una limitante clave es la inexistencia de guías prácticas que determinen procesos metodológicos y estándares para realizar este tipo de manejo. Otro aspecto clave a considerar es la necesidad de caracterizar aquellas especies que tengan mejores condiciones para un proceso de colonización asistida. Algunos estudios proponen que los candidatos sean aquellas especies con alta probabilidad de extinción en escenarios de cambios ambientales, que posean una baja capacidad de desplazamiento (vagilidad) y que cumplan roles claves en el ecosistema (Hunter 2007).

En conclusión, para evaluar la factibilidad de medidas de adaptación basadas en traslocaciones se requiere de un entendimiento profundo de los métodos disponibles, de los riesgos potenciales, y una comprensión de las políticas regionales, con el propósito de evitar situaciones en las que diferentes objetivos de conservación se encuentran contrapuestos (McLachlan et ál. 2007).

Otro de los mecanismos de adaptación para especies altamente vulnerables es el desarrollo de programas de conservación ex-situ con posibilidades de repoblación o con el propósito de mantener poblaciones de especies que por sus condiciones actuales son inviables en estado silvestre. Este es el caso para muchas de las especies de anfibios andinos que han sufrido severos procesos de extinción (Bustamante et ál. 2005) o para parientes silvestres de cultivos claves para seguridad alimentaria (Jarvis et ál. 2008). El desarrollo de programas focalizados en la cría en cautiverio junto con la creación de bancos de germoplasma podría ser un mecanismo de adaptación factible que permita preservar la diversidad genética de las poblaciones silvestres.

Como ya se ha mencionado, se espera que para poblaciones relativamente continuas, la adaptación a climas más cálidos sea apoyada por el flujo genético de las poblaciones que se encuentran actualmente en regiones más cálidas dentro de su rango de distribución. En cambio, para poblaciones aisladas, el flujo genético de poblaciones vecinas se verá disminuido. Por lo tanto, la respuesta de poblaciones aisladas a los cambios climáticos dependerá de la cantidad de genes asociados a variabilidad climática contenidos en estas poblaciones. Si la población contiene una variabilidad considerable de las características morfológicas y fisiológicas que determinan las respuestas de las especies al clima, las poblaciones tienen una mayor posibilidad de adaptación (Jump y Peñuelas 2005). Sin embargo, al expandirse los frentes de deforestación en las zonas bajas de los Andes o al ser las primeras poblaciones en sufrir extinciones locales por efectos del cambio climático, es posible que se esté perdiendo variabilidad genética asociada a promover procesos adaptativos a nuevas condiciones y que, en general, se reduzca la diversidad genética de la especie haciéndola menos resiliente (Bush et ál. 2009).

Finalmente, para muchas de las especies que se encuentran actualmente en la lista roja de especies amenazadas, una medida directa de promover procesos de adaptación es a través de reducir las presiones actuales como la cacería, la competencia de hábitat por especies exóticas, así como la pérdida y fragmentación

del hábitat por cambios de uso de la tierra. El reducir estas presiones apoya de manera directa a tener especies y sistemas menos estresados, y con mayor resiliencia (Hole et ál. 2011).

POLÍTICA Y PLANIFICACIÓN REGIONAL

Los cambios proyectados en los patrones regionales de biodiversidad y las alteraciones en los rangos de distribución de las especie, requieren acciones de planificación que excedan los límites de los países y contemplen un marco regional que permita la articulación de agendas de investigación y conservación a largo plazo. De igual forma, esta agenda regional requiere de la participación de un colectivo mayor de actores del desarrollo de los países que en la actualidad. En este contexto, la Estrategia Regional de Biodiversidad de los Países del Trópico Andino y la Agenda Ambiental Andina constituyen dos herramientas fundamentales para el trabajo regional. La articulación de programas de investigación aplicada y el fortalecimiento de la institucionalidad ambiental de los países andinos en el marco de la CAN son dos elementos prioritarios. En este mismo marco, el desarrollo y aplicación de una estrategia regional de cambio climático constituye uno de los pasos prioritarios para delinear programas y acciones concretas que reduzcan la vulnerabilidad de la biodiversidad y promueva acciones de adaptación basadas en información científica bajo escenarios de incertidumbre.

Las principales recomendaciones de acciones a este nivel son dos: (1) planificación para la conservación, y (2) mejorar la conectividad del paisaje

PLANIFICACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN

Los sistemas nacionales de áreas protegidas constituyen la principal estrategia de conservación in-situ a nivel global, regional y nacional (Leverington et ál. 2010). Los Andes Tropicales en la actualidad tienen una representación de su biodiversidad en los sistemas nacionales de áreas protegidas mayor a los 31 millones de hectáreas, equivalente al 27% del área total de la cordillera en Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. Sin embargo, todavía existen vacíos y áreas prioritarias de conservación que se encuentran fuera de las áreas protegidas (Cuesta et ál. 2006, Peralvo et ál. 2007, Rodrigues et ál. 2004). No obstante, la inclusión de áreas nuevas de conservación en condiciones actuales, sin considerar los posibles efectos de cambios en los patrones de biodiversidad por efectos del cambio climático, parece ser insuficiente (Araújo et ál. 2004, Hannah et ál. 2007).

Sin embargo, en la región Andina, la posibilidad de la creación de nuevas reservas varía entre países. En muchos casos es una opción poco factible, dado los regímenes de tenencia de la tierra, la brecha de la pobreza y la asimetría entre los centros urbanos y rurales, la demanda por recursos naturales y el modelo de desarrollo económico basado en una economía extractivista (e.g., minería). En

este contexto, la articulación de las reservas nacionales con otros subsistemas nacionales de bosques protectores, territorios indígenas, reservas de la sociedad civil y áreas protegidas de gobiernos seccionales (e.g., municipios) podría ser un mecanismo de trabajo viable. Por último, el debate sobre la planificación para la conservación en escenarios de cambios ambientales gira en torno a discusiones teóricas sobre la ecología del paisaje y la ecología de poblaciones (viabilidad poblacional). Varios estudios analizan las oportunidades y desventajas de tener sistemas nacionales compuestos por pocas reservas grandes versus varias pequeñas (Heller y Zavaleta 2009). La discrepancia gira en torno a si las reservas grandes serán suficientes como para garantizar que contendrán los nichos climáticos desplazados o si al contrario, las reservas pequeñas, dispuestas a lo largo de gradientes ambientales estarán lo suficientemente juntas como para garantizar el desplazamiento de las especies entre ellas. Los estudios de (Opdam y Wascher 2004, Opdam et ál. 2006) proponen un escenario intermedio donde se plantea la creación de una red de áreas protegidas grandes y pequeñas embebidas en un paisaje de diferentes usos del suelo que favorecen el desplazamiento de las especies.

En este sentido, se sugiere como una de las acciones urgentes la identificación de áreas prioritarias de conservación en escenarios de cambios ambientales globales. Este tipo de ejercicios permitirá evaluar la representatividad de los sistemas nacionales de áreas protegidas actuales respecto de estos posibles escenarios a nivel regional. Pese a las limitaciones inherentes a los insumos de información primaria sobre la distribución y estado de la biodiversidad, los supuestos detrás de ellos y las herramientas de modelamiento disponibles, consideramos que este tipo de ejercicios son importantes como mecanismos exploratorios que guíen procesos de discusión. Consideramos que esto tiene que verse como un ejercicio dinámico que se mejore continuamente, de manera que permite disponer de escenarios con menor incertidumbre a una toma de decisiones mejor informada.

El reconocimiento de estas limitante, ha ocasionado que varios estudios sugieran que primero es necesario mejorar la capacidad predictiva de los modelos de distribución de especies o biomas antes de realizar estos ejercicios (Thuillier et ál. 2008). Por lo pronto se sugiere generar este tipo de estudios de manera que integren los siguientes elementos:

- Modelos acoplados de cambio climático y uso de la tierra
- Consolidar y mejorar las bases de datos de ocurrencia actual de especies y ecosistemas andinos,
- Generar varios escenarios a partir de diferentes umbrales de dispersión para las diferentes especies modeladas,
- Comparar resultados para diferentes combinaciones de grupos de especies de interés (e.g., plantas vasculares versus aves).

- Incorporar a las áreas prioritarias de biodiversidad la provisión de bienes ecosistémicos importantes para el desarrollo y bienestar humano (agua, carbono).
- Utilizar la mayor cantidad de GCMs posibles de manera combinada para al menos dos escenarios de emisión. Esto permitirá estimar el grado de incertidumbre inherente. Alternativamente, se sugiere desarrollar escenarios solo a partir de las variables de temperatura. Esto facilitará generar coberturas a una mayor resolución espacial que permitan generar resultados a escalas más aplicables para el manejo y delineamiento de acciones de adaptación.
- Complementar los modelos de impacto en el nicho de especies ectotérmicas con modelos fisiológicos que permitan analizar la capacidad adaptativa de las especies a escenarios de cambio climático. Esto es particularmente importante para las especies de plantas vasculares de alta montaña (Sierra-Almeida y Cavieres 2010, Sierra-Almeida et ál. 2009)

Complementariamente, varios estudios sugieren que dado el alto grado de incertidumbre respecto a los impactos del CC, la prioridad debe estar enfocada en mejorar la permeabilidad del paisaje a través de incorporar nuevas áreas en localidades que minimicen la distancia espacial entre las reservas existentes de manera de garantizar la capacidad de migración y colonización efectiva de la especie (Opdam y Wascher 2004, Williams et ál. 2005).

La creación de nuevas reservas locales, debería estar vinculada de manera explícita con asegurar la provisión de bienes y servicios ambientales asociados al bienestar de la población y al mantenimiento de formas de vida que dependen de estos servicios para sus subsistencia (e.g., el agua para los pequeños productores andinos).

Independientemente de estos enfoques propuestos y de la gran incertidumbre inherente a los modelos y criterios de priorización empleados, un sistema regional de áreas protegidas en el contexto de los Andes debería considerar los siguientes elementos:

- Mantener la conectividad a lo largo de la gradiente de elevación, humedad y condiciones edáficas (Hole et ál. 2011, Killeen y Solórzano 2008). Estas gradientes son fundamentales para el mantenimiento de una alta diversidad beta y la posibilidad de tener diferentes poblaciones de una especie con diversos acervos genéticos que puedan garantizar una mejor capacidad adaptativa (Jump y Peñuelas 2005, Thuiller et ál. 2008).
- Incorporar los ecotonos en el diseño de las áreas. Los ecotonos son claves pues permiten mantener poblaciones que han estado sometidas a continuas variaciones microclimáticas y por lo tanto a condiciones de estrés fisiológico que incidan en condiciones genéticas que las poblaciones que ocurren en los óptimos climáticos probablemente no posean (Cavieres y Piper 2004).

- Los modelos de nicho climático permiten identificar áreas climáticamente estables en escenarios futuros. Estas áreas podrían ser considerados como áreas climáticamente estables que podrían actuar como refugios biológicos, similares a los sugeridos por Fjeldsa (1995) durante las fluctuaciones climáticas del pleistoceno. La incorporación de estas áreas climáticamente estables es un criterio clave en el diseño de estos sistemas de reservas pues podrían actuar de conectores entre las antiguas y nuevas áreas de concentración de biodiversidad (Vos et ál. 2008).

CONECTIVIDAD DEL PAISAJE

De acuerdo a la revisión de Heller y Zavaleta (2008), mejorar la conectividad del paisaje para facilitar migración y colonización de las nuevas áreas climáticamente apta, es la recomendación más frecuente reportada por la literatura (Opdam y Wascher 2004, Resco de Dios et ál. 2007, Travis 2003). En esta línea de acción, lo que se propone frecuentemente es la creación de corredores biológicos que maximicen la cobertura de gradientes ambientales, en particular para ecosistemas montañosos y costeros. Sin embargo, guías específicas sobre las características que deberían tener estos corredores y los procesos metodológicos e institucionales para su implementación siguen siendo muy generales excepto para casos particulares (Vos et ál. 2008) o en Canadá (Scott y Lemieux 2007).

Pese a que el sentido común favorece la creación de sistemas de áreas protegidas interconectadas, evaluaciones empíricas sobre su efectividad siguen siendo un tema de investigación aplicada pendiente en donde dos elementos claves tienen que ver con el diseño mismo, de manera de optimizar su configuración espacial y, por otro lado, reducir el riesgo de ser canales para la transmisión de enfermedades o especies invasivas. Estos dos temas son claves para considerar antes de proponer a los corredores como herramientas efectivas de adaptación al cambio climático (Scott y Lemieux 2005, Williams et ál. 2005).

Otra de las acciones frecuentemente propuestas tiene que ver con el manejo del paisaje, considerando a la matriz como un área de uso y ocupación humana. De las publicaciones revisadas, las recomendaciones están orientadas a proponer la incorporación de mejores prácticas de uso de la tierra tales como sistemas de cultivos por estratos (e.g., café de sombra), cercas vivas, entre otros. Se espere con estas medidas tener una matriz permeable que facilite los flujos de dispersión entre los parches de hábitat remanentes (Opdam y Wascher 2004, Travis 2003).

Adicionalmente, esta es una temática muy vinculada a los procesos de planificación del Estado, por lo que tiene que ser conceptualizada como un proceso de trabajo a múltiples escalas del ordenamiento territorial (e. g. a escalas relativas a las reservas en particular y a la red de reservas a una escala nacional y regional).





Adaptación y vulnerabilidad de los sistemas productivos andinos

JULIO POSTIGO¹²
MANUEL PERALVO³
SANTIAGO LÓPEZ⁴
EMMANUEL ZAPATA-CALDAS⁵
ANDY JARVIS⁵⁶
JULIÁN RAMIREZ⁵⁶⁷
CHARLOTTE LAU⁸

¹ The University of Texas at Austin ✉ jpostigo@utexas.edu

² Centro Peruano de Estudios Sociales – CEPES

³ Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos – CONDESAN

⁴ University of Washington at Bothell

⁵ Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT

⁶ CGIAR Challenge Program on Climate Change, Agriculture y Food Security – CCAFS

⁷ Institute for Climatic y Atmospheric Science – University of Leeds

⁸ CGIAR Challenge Program on Climate Change, Agriculture y Food Security – CCAFS

RESUMEN

El cambio climático impactará con mayor intensidad los países pobres, y en ellos el impacto será mayor en sus poblaciones marginales, pobres y de zonas rurales. Usando los escenarios A1B y A2, y 18 modelos climáticos, estimamos la aptitud climática para 25 cultivos andinos. Tendencialmente, las áreas de mayor pérdida de aptitud climática para los 25 cultivos están en las zonas de piedemonte de los países andinos. Las áreas de mayor ganancia se ubican en las zonas altas en los Andes. Esto sugiere un desplazamiento hacia arriba de algunos cultivos, la pérdida de aptitud para los cultivos de altura y una expansión para los cultivos de tierras bajas. La revisión de la literatura indica que los sistemas productivos andinos han respondido a cambios ambientales, políticos y sociales mediante el uso del espacio basado en el control vertical de pisos ecológicos, y el capital social que ha hecho posible tal patrón de ocupación del espacio. Asimismo, los SP andinos son vulnerables frente al cambio climático por su marginalidad y pobreza, por el debilitamiento de su capacidad adaptativa debido al impacto de procesos modernizadores que han desestructurado su organización social, limitado su acceso a múltiples zonas de producción, disminuido tanto la disponibilidad de fuerza de trabajo como su acceso a recursos productivos. Finalmente, los SP andinos no podrán responder adaptativamente al CC sin modelos de desarrollo incluyentes y equitativos que mejoren sus condiciones de vida, y políticas públicas que fortalezcan su organización social y capacidad productiva, y provean servicios e infraestructura básica.

INTRODUCCIÓN

La capacidad adaptativa de los pequeños productores andinos —individuos, familias o comunidades— frente al CC, se origina en las respuestas de estos para adaptarse tanto a un conjunto de condiciones biofísicas y ecológicas que trascienden el CC, como a procesos sociales y ambientales que ocurren en distintas escalas temporales y espaciales. Este capítulo se enfoca en la identificación de patrones generales de vulnerabilidad y adaptación en el sector agropecuario, asociados a las particularidades sociales y ambientales de los ecosistemas de los Andes Tropicales (ver delimitación en Cuesta et ál., capítulo 2, en esta publicación). Ha sido este enfoque de la vulnerabilidad social (Adger 2006, Brooks 2003, Ribot 2010) el que ha guiado la revisión de la literatura realizada por Peralvo et ál. (2011); consecuentemente, nuestro énfasis son los elementos estructurantes de las decisiones que toman los pequeños productores agropecuarios andinos.

Los elementos que destacamos son las condiciones biofísicas y ambientales (e.g., topografía y variabilidad climática de ecosistemas de montaña); la expansión de

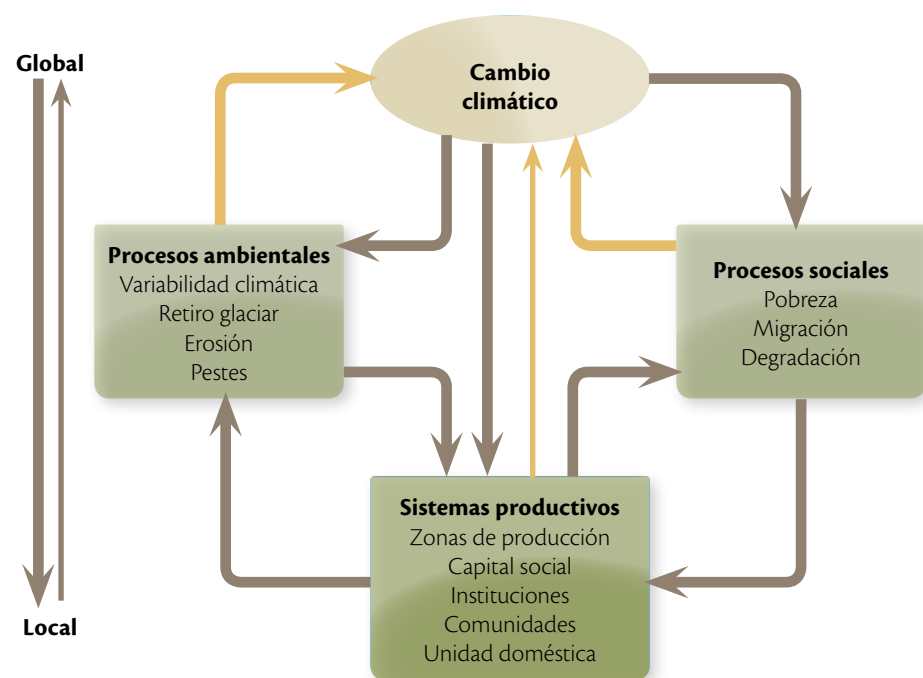
economía de mercado, la pobreza, la marginalidad, la migración y la minería (ver recuadro 1); y los efectos de acciones socio-ambientales (e.g., erosión, degradación de suelos, y pestes). Consideramos que estos elementos estructurantes son fundamentales en la adaptación de pequeños productores frente a los efectos del CC (Agrawal 2010), porque son determinantes de las estrategias de vida que los pobladores locales han desarrollado como respuesta a las fuentes de vulnerabilidad (e.g., tendencias, shocks y regímenes de disturbio sociales y ambientales) de los SP agropecuarios en los Andes (Denevan 2001, Stadel 2008). Adicionalmente, las experiencias documentadas de adaptación a los efectos observados y proyectados del CC son muy limitadas (Agrawal 2010, ver Bustamante et ál., capítulo 7, en esta publicación); las estrategias de adaptación raramente aparecerán como respuesta única al CC (IPCC 2007); y la vulnerabilidad a cambios ambientales no está aislada de los usos de los recursos guiados por la economía política (Ribot 2010). Por lo tanto, es necesario ampliar el enfoque del análisis para incluir respuestas históricas de los pequeños productores a otros factores de riesgo. Finalmente, reconocemos la diversidad de estrategias de vida de las familias rurales en los Andes (Bebbington 1999); característica importante, puesto que la diversificación inter e intra sectorial ha sido identificada como una de las principales estrategias para aumentar la resiliencia (sobre el concepto de resiliencia ver, entre otros: Chapin III et ál. 2009, Holling 1973) y disminuir la vulnerabilidad de los SP a los efectos del CC (Kasperson et ál. 2005, Smit y Skinner 2002).

Nuestro objeto de análisis son los sistemas productivos (SP) —i.e., conjunto de unidades de producción agropecuaria que comparten tecnología, patrones generales en términos de su base de recursos y las prácticas utilizadas para manejarlos con el fin de satisfacer objetivos definidos (Dixon et ál. 2001). Los SP son productos sociales e históricos en tanto la producción es un proceso de naturaleza social que se sostiene en relaciones sociales previas y actuales; simultáneamente, los SP son actuales en tanto responden y se adaptan a las condiciones de su tiempo y, al hacerlo, incorporan, descartan y recrean procesos y creaciones precedentes que los hicieron posibles. En este sentido, los SP son antiguos y actuales, y su devenir implica su constante negación y recreación.

Las relaciones entre el cambio climático (CC) y los sistemas productivos (SP) son complejas, multi-dimensionales y multi-direccionales, e incluyen fenómenos climáticos, y procesos ambientales y sociales (Figura 1) (Boselloy Zhang 2005, Raleigh y Jordan 2010, Ribot 2010). La complejidad aumenta por la interacción del CC con otros procesos ecosistémicos a lo largo del tiempo, por la propia dinámica de los SP, y porque las direcciones de las relaciones pueden cambiar, dependiendo de la escala espacial y temporal, causando incertidumbre en las predicciones.

Las relaciones entre CC y SP (Figura 1) son directas, indirectas y asimétricas. El impacto de los cambios en precipitación y temperatura sobre los SP es un ejemplo del tipo de relación directa (ver acápite 3.1 en este capítulo). En las relaciones indirectas, los efectos del CC impactan primero en procesos sociales y ambientales, y a través de estos el CC afecta los SP; de manera que los procesos

FIGURA 1. Marco analítico de las relaciones entre cambio climático y los sistemas productivos de los pequeños productores en los Andes



señalados son mediadores entre CC y SP. Un ejemplo es el incremento de la temperatura que modifica los patrones de distribución de pestes, las que afectan el rendimiento de cultivos (Sutherst et ál. 2007, Sutherst et ál. 2011). La asimetría de las relaciones entre CC y SP consiste en que la influencia del CC sobre los procesos mediadores y los SP es mucho mayor que la que éstos pueden operar sobre aquél (flechas punteadas en Figura 1). Asimismo, mientras el CC es global sus impactos, los procesos mediadores¹ se expresan en el nivel local. El CC global es afectado por los SP y los procesos mediadores cuando los efectos de éstos son sistémicos y operan a través de los sistemas de la biósfera-geósfera, y también cuando cambios locales se acumulan hasta impactar globalmente (Turner II et ál. 1990). Ejemplos de esto son los niveles de emisión de gases de efecto invernadero, debido al proceso de industrialización iniciado a mediados del siglo XVIII y, más recientemente, a la agricultura, que causan el calentamiento global actual (Tubiello et ál. 2007). El ejemplo de la expansión de la epidemia de escarabajo

¹ Una dimensión de la asimetría no abordada aquí es la existente entre la distribución de la responsabilidad por causar el CC y la distribución de sus impactos; es decir, los pobres de los países en desarrollo sufren los impactos habiendo contribuido escasamente a sus causas. (Kates 2000, UNDP (United Nations Development Programme) 2007, Watson 2003)

de pino de montaña (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins, Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae), en la provincia de British Columbia (Canadá), que aumenta la mortalidad de árboles al punto de disminuir significativamente la capacidad del bosque de secuestrar carbono e incrementar las emisiones futuras de los árboles diezmados, ilustra la dinámica global-local-global del CC (Kurz et ál. 2008). En el marco de interacciones entre procesos que atraviesan múltiples niveles se encuentran la vulnerabilidad y capacidad adaptativa de los SP andinos.

Este capítulo sintetiza dos insumos mayores. El primero (Zapata-Caldas et ál. 2011) analiza el impacto del CC en 25 cultivos de los Andes Tropicales para los periodos 2010–2040 y 2040–2069 con los escenarios de emisiones A1B y A2, usando un grupo representativo de modelos de circulación climática global (ver Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación). El segundo insumo (Peralvo et ál. 2011) es una revisión de la literatura sobre SP en los Andes Tropicales, basada en las respuestas de los SP a los cambios sociales y ambientales. La síntesis está organizada, luego de la introducción, en tres secciones: i) métodos; ii) resultados, que se dividen en los patrones del impacto del CC en la distribución espacial de 25 cultivos andinos, las fuentes de adaptabilidad y las de vulnerabilidad de los SP andinos; y iii) reflexiones finales esbozando conclusiones.

MÉTODOS

ESTIMACIÓN DE IMPACTOS PROYECTADOS EN LOS CULTIVOS DE LOS PAÍSES ANDINOS

Se seleccionaron 25 cultivos considerados importantes en los Andes por su distribución, producción, rendimiento y contribución al ingreso y consumo de pequeños productores altoandinos², con base en datos de FAOSTAT³ (Tabla 1). El área de aptitud climática potencial actual y las proyecciones futuras se estimaron utilizando EcoCrop⁴ (Hijmans et ál. 2005a). Esta plataforma

² Siguiendo la base conceptual de Netting(1993) y Zimmerer(2003), definimos como pequeños productores a aquellos involucrados en prácticas agropecuarias intensivas, permanentes y diversificadas en fincas relativamente pequeñas (incluyendo productores que practican ganadería extensiva de rebaño mixto de alpacas, llamas y ovejas). Generalmente la familia es la unidad principal de toma de decisiones, el destino de la producción es mixto (consumo y mercado) y el acceso a la tierra es individual, pero la familia generalmente pertenece a formas de asociación que definen distintos regímenes de acceso a recursos (e.g., comunidades).

³ Disponible en línea: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>

⁴ Disponible en línea: <http://www.diva-gis.org/>

permite generar un índice de aptitud climática para un cultivo, y proyectarlo en un mapa, utilizando parámetros básicos de crecimiento de la especie (e.g., extremos y valores óptimos de crecimiento para temperatura y precipitación). EcoCrop no genera mapas de distribución del cultivo sino de la variabilidad espacial de las condiciones climáticas existentes para el cultivo. La escala de los mapas es porcentual, con valores bajos indicando falta de aptitud, y valores cercanos al 100% indicando elevada aptitud para un cultivo dado.

TABLA 1. Selección de 25 principales cultivos en para los Andes

| No. | Cultivo | Nombre científico | Rango altitudinal (m.s.n.m.) |
|-----|------------|---|------------------------------|
| 1 | Arrachacha | <i>Arracacia xanthorriza</i> Bancr. | 600 - 3.500 |
| 2 | Arroz | <i>Oryza sativa</i> L. | 0 - 2.500 |
| 3 | Arveja | <i>Pisum sativum</i> L. | 2.700 |
| 4 | Banano | <i>Musa sp.</i> L. | 0 - 1.600 |
| 5 | Café | <i>Coffea Arabica</i> L. | 1.300 - 1.800 |
| 6 | Camote | <i>Ipomea batatas</i> L. | 0 - 2.800 |
| 7 | Cebada | <i>Hordeum vulgare</i> L. | 0 - 3.250 |
| 8 | Frijol | <i>Phaseous vulgaris</i> L. | 0 - 3.000 |
| 9 | Lechuga | <i>Lactuca sativa var. capitata</i> L. | 3.000 |
| 10 | Maíz | <i>Zea mays</i> L. | 0 - 3.800 |
| 11 | Naranja | <i>Citrus sinensis</i> Osbeck | 0 - 2.100 |
| 12 | Papa | <i>Solanum tuberosum</i> L. | 400 - 4.500 |
| 13 | Papaya | <i>Carica papaya</i> L. | 0 - 2.100 |
| 14 | Pepino | <i>Cucumis sativus</i> L. | 2.000 |
| 15 | Plátano | <i>Musa balbisiana</i> Colla | 1.200 |
| 16 | Quinoa | <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. | 4.000 |
| 17 | Repollo | <i>Brassica oleracea var. capitata</i> (L.) Alef. | 1.000 - 2.000 |
| 18 | Sorgo | <i>Sorghum bicolor var. sweet</i> (L.) Moench. | 0 - 2.500 |
| 19 | Soya | <i>Glycine max</i> L. | 0 - 3.000 |
| 20 | Tomate | <i>Solanum lycopersicum</i> L. | 0 - 2.400 |
| 21 | Trigo | <i>Triticum Aestivum</i> L. | 3.000 - 4.570 |
| 22 | Ulluco | <i>Ullucus tuberosus</i> Caldas | 0 - 4.000 |
| 23 | Uvas | <i>Vitis vinifera subsp. Vinifera</i> L. | 1.200 - 2.000 |
| 24 | Yuca | <i>Manihot esculenta</i> Crantz | 0 - 2.000 |
| 25 | Zanahoria | <i>Daucus carota</i> L. | 0 - 2.600 |

Los mapas de aptitud climática potencial actual fueron generados utilizando WorldClim⁵ (Hijmans et ál. 2005b), que consiste en una línea base de datos de clima que contiene mapas mensuales de precipitación, temperatura máxima, media y mínima, generadas utilizando datos de estaciones climáticas distribuidas globalmente. Para generar los mapas futuros de aptitud climática para cada cultivo, se utilizaron dos escenarios de emisiones (SRES A1B y A2), en los períodos 2010-2039 (“2020s”) y 2040-2069 (“2050s”), usando proyecciones climáticas de un grupo representativo de Modelos de Clima Global. Se utilizaron diez modelos para SRES-A1B y ocho para SRES-A2⁶. Todos los análisis se realizaron a una resolución espacial de 5’ (~ 10 km en el ecuador).

Los efectos del CC se visualizan comparando la distribución potencial de la aptitud climática actual con la distribución potencial futura para cada uno de los distintos años /escenarios modelados. Esto permite identificar áreas geográficas donde la aptitud climática se pierde, gana o permanece constante para los cultivos seleccionados. Adicionalmente, se utilizaron mapas del número de personas que viven bajo la línea de pobreza extrema (establecida para este estudio en USD\$2.00 diarios), generados a nivel global por el Centro Internacional para la Red de Ciencias de la Tierra (CIESIN por sus siglas en inglés) de la Universidad Columbia, a 5 km de resolución (CIESIN (Center for International Earth Science Information Network) y Columbia University 2006)⁷. Este mapa se cruzó con los mapas de cambio en la aptitud climática de los cultivos seleccionados para estimar la proporción de personas viviendo bajo la línea de pobreza en áreas de pérdida o ganancia de aptitud para cada cultivo.

FUENTES DE VULNERABILIDAD Y ADAPTABILIDAD DE LOS SP ANDINOS

El estado del conocimiento sobre adaptación y vulnerabilidad de los sistemas productivos andinos se construyó sobre el análisis de estudios publicados en la literatura científica. El análisis parte de la premisa de que la capacidad adaptativa de los productores en los Andes está construida sobre la experiencia y conocimiento de los productores, fruto de las respuestas a procesos de cambio social y ambiental ocurridos en el pasado. En este contexto, se realizaron búsquedas sobre la literatura publicada, utilizando las siguientes frases:

⁵ Fuente: disponible en línea en www.worldclim.org

⁶ Para los modelos utilizados, ver Tabla 1 en Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación. El criterio para seleccionar los modelos fue que provean proyecciones de temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales.

⁷ Información disponible: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/povmap/atlasMedia.jsp>

RESULTADOS

PATRONES PREDOMINANTES DE IMPACTO

- Agricultural systems Andes
- Farming systems Andes
- Land use Andes
- Soil water conservation Andes
- Livelihoods Andes
- Migration Andes

Las búsquedas se realizaron tanto sobre Google®Scholar como ISI Web of Science® priorizando artículos publicados después de 1970. En total se analizaron 141 artículos publicados en la literatura científica (Figura 2). La mayoría de artículos analizados fueron publicados en los últimos 10 años, con una tendencia constante de crecimiento de publicaciones entre décadas consecutivas (Figura 3).

FIGURA 2. Total de publicaciones por país. Algunos de los artículos revisados contenían estudios de caso en más de un país (N=152).

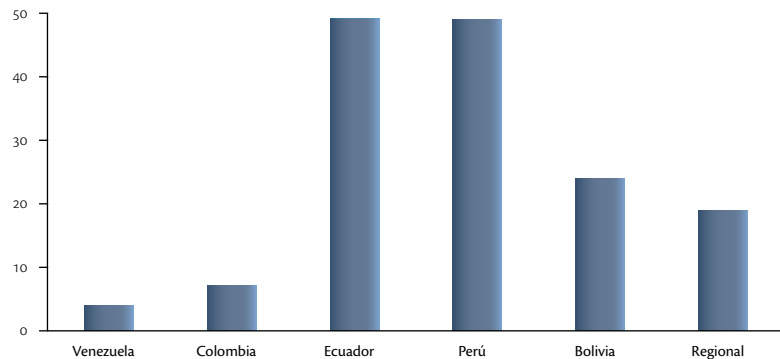
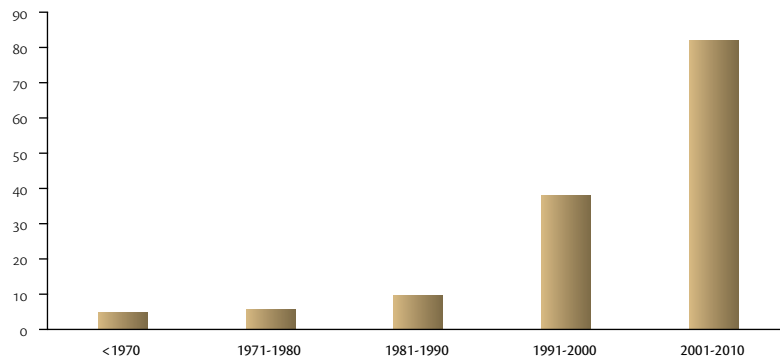


FIGURA 3. Número de artículos publicados por década (N=141).



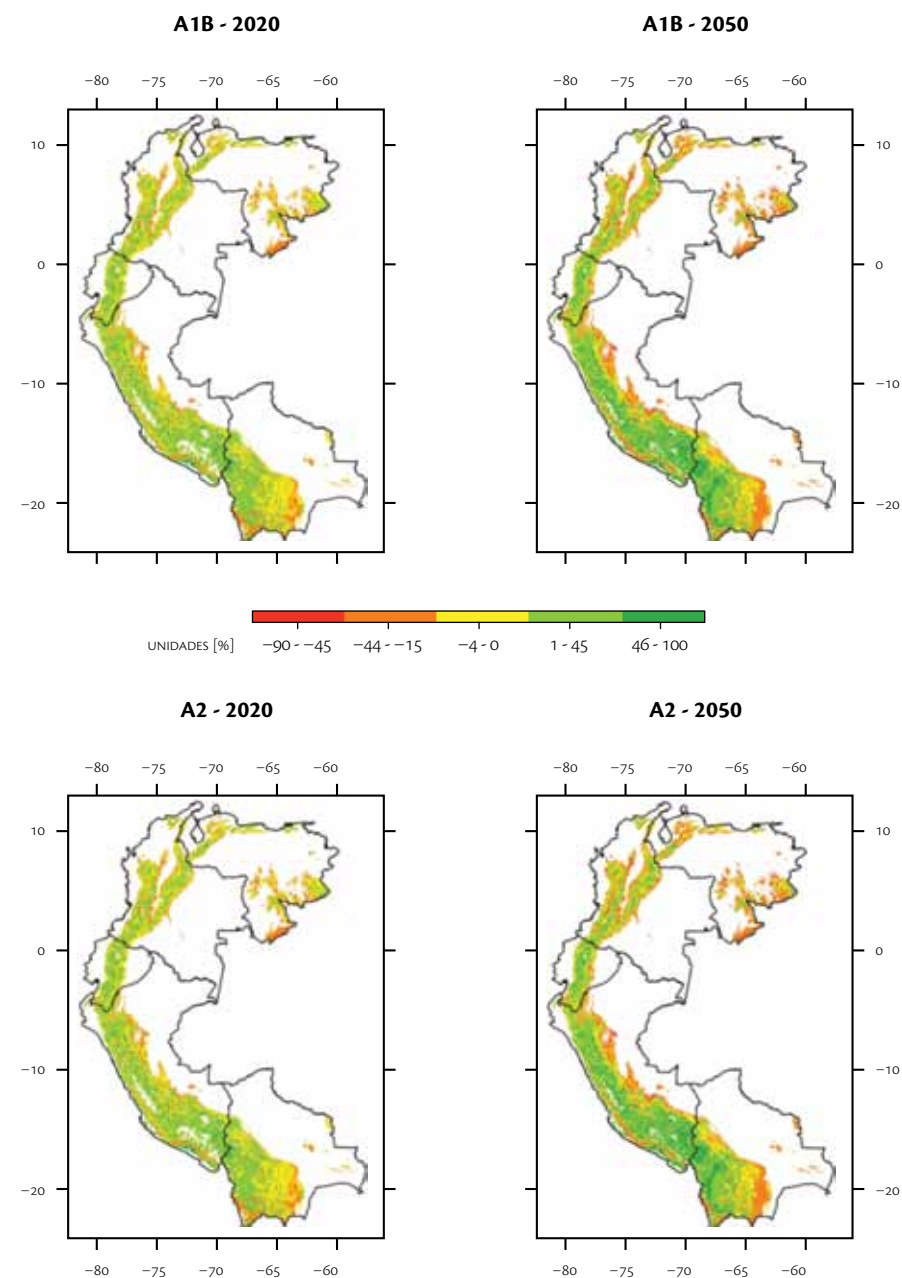
Se espera que el CC va a modificar los patrones de precipitación, y alterar la distribución de patrones de temperatura, impactando en el desempeño y distribución espacial de los cultivos. Evaluamos el impacto potencial del CC en 25 cultivos en los Andes tropicales, comparando la aptitud climática promedio actual con la futura, para los 25 cultivos seleccionados, en cada pixel del área de estudio, de acuerdo a los valores modelados por EcoCrop (Figura 4). A nivel regional, se observan patrones espaciales heterogéneos en las áreas de pérdida y ganancia en la aptitud de los cultivos seleccionados. Esta diferenciación espacial de los cambios asociados al CC es importante por su relación directa con patrones de exposición de los sistemas productivos andinos y, eventualmente, con la distribución de la vulnerabilidad entre distintos grupos humanos en la región.

Geográficamente, las áreas donde existiría mayor pérdida de aptitud climática para los 25 cultivos están ubicadas en los extremos de latitud del área de estudio y en el extremo inferior de altitud, en las zonas de piedemonte de los países andinos. Las zonas de pérdida de aptitud entre -5 y -44 se concentran en el sur de Venezuela, el piedemonte de la cordillera oriental y valles interandinos de Colombia, y sobre la zona central y sur occidental de Perú, además del sur occidente y centro de Bolivia (Figura 4a y c).

En contraste, las áreas de mayor ganancia se ubicarían en las zonas altas en los Andes. Esto sugiere un patrón general de movimiento hacia arriba en los cultivos seleccionados con una pérdida de aptitud para los cultivos de altura y una expansión para los cultivos de tierras bajas. En general, los patrones espaciales de ganancia / pérdida de aptitud climática son similares para los dos escenarios en el año 2020. Al 2050, el escenario A2 presenta condiciones más severas de pérdida de aptitud, especialmente en áreas como el piedemonte oriental andino en Perú y Bolivia (Figura 4b y d). En general, al 2050 únicamente las áreas más elevadas de los andes experimentarían incremento en la aptitud de los cultivos.

Al analizar los patrones de pérdida y ganancia de aptitud por país, se observan importantes diferencias en cuanto a oportunidades o amenazas potenciales resultado del cambio climático (Figura 5). A nivel general, existe un gradiente de afectación potencial que disminuye de norte a sur, con Venezuela perdiendo aptitud en 17 cultivos, Colombia y Bolivia en 10 cultivos, y Ecuador y Perú en 8 cultivos. El patrón opuesto de ganancia en aptitud agrícola implica que Ecuador y Perú tendrían mayores oportunidades potenciales, al experimentar ganancia para 17 cultivos, en comparación con Venezuela, donde solo 6 cultivos tendrían ganancia (Figura 5).

FIGURA 4. Diferencia en aptitud climática promedio modelada en EcoCrop entre condiciones futuras y actuales para 25 cultivos andinos para 4 escenarios.

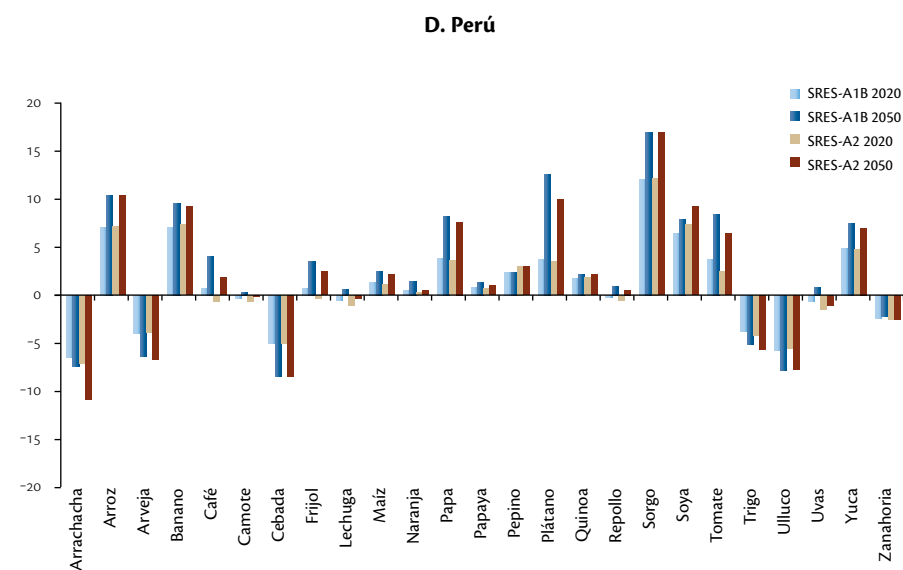
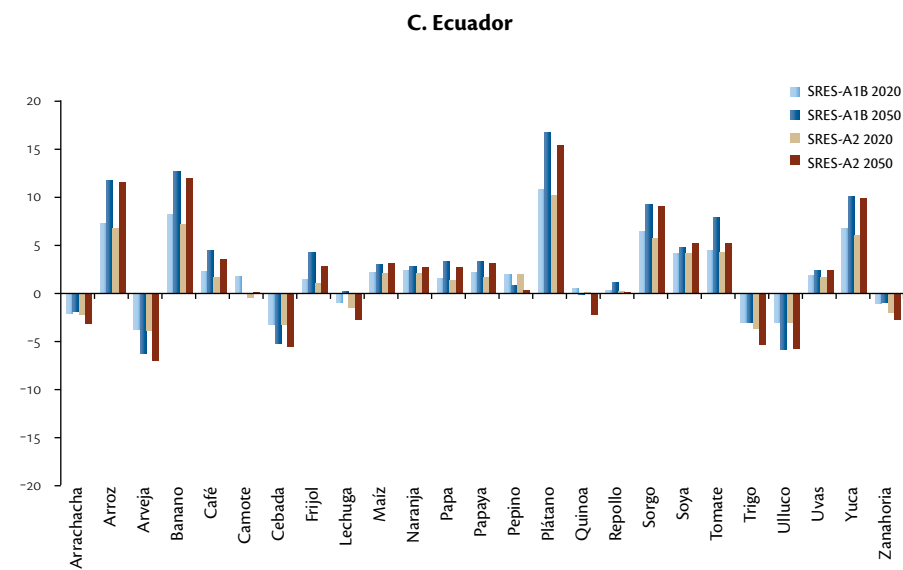
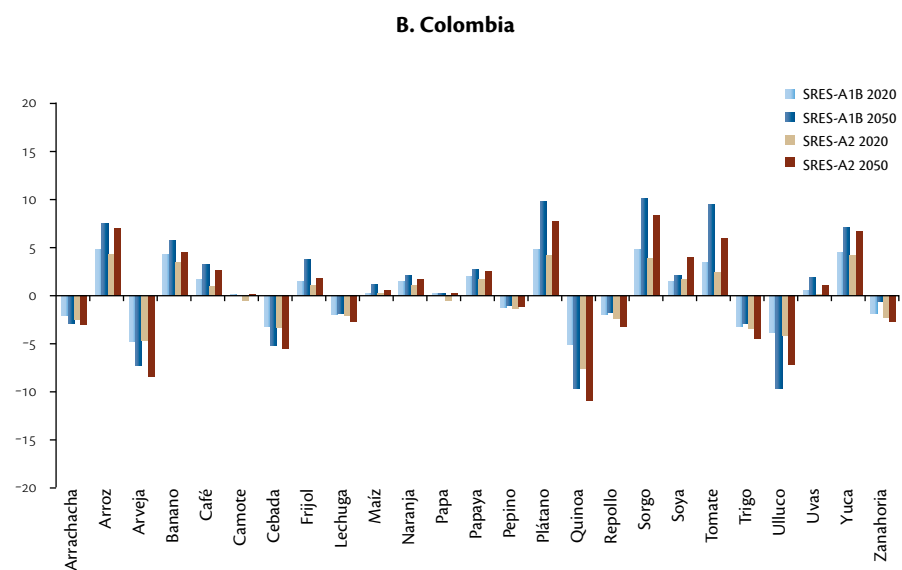
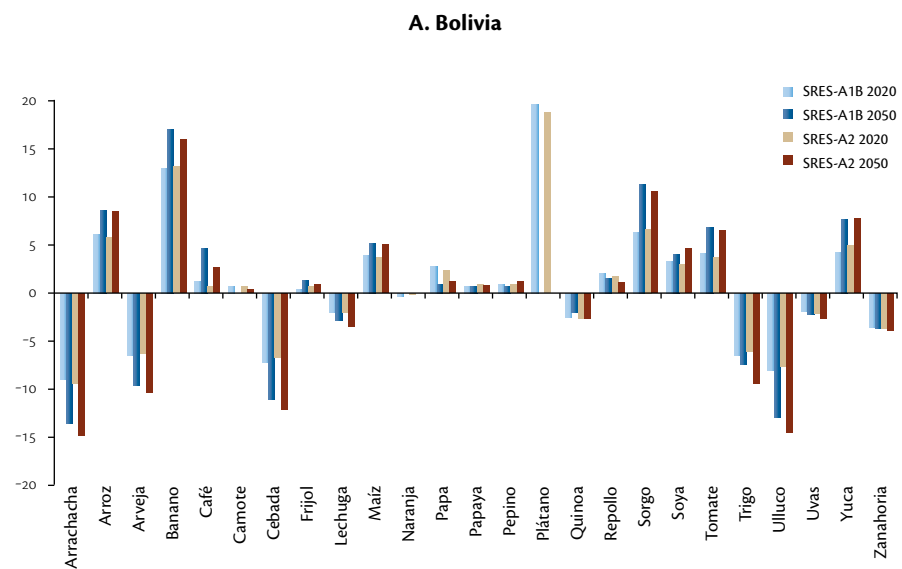


Un proceso importante es el desplazamiento a zonas de mayor elevación, de la aptitud climática para los cultivos analizados. Esto se refleja en que la mayoría de cultivos que experimentan incremento en aptitud en los Andes son cultivos de tierras bajas. El arroz (*Oryza sativa* L.), banano (*Musa sp.* L.), plátano (*Musa balbisiana* Colla), sorgo (*Sorghum bicolor var. sweet* (L.) Moench.) y yuca (*Manihot esculenta* Crantz) experimentarían un incremento significativo en todos los países. En casos como el banano (*Musa sp.* L.) y el plátano (*Musa balbisiana* Colla), este aumento podría exceder el 10% respecto a las condiciones actuales en Ecuador y Bolivia. El desplazamiento en elevación hacia arriba implica que los cultivos distribuidos hacia el extremo superior del rango de elevación en los Andes serían los más afectados en cuanto a pérdida de áreas de aptitud climática. Este patrón también está recogido en los datos de impactos potenciales por país. Por ejemplo, la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) y el ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) experimentarían pérdida de aptitud en todos los países, con valores de alrededor del 10% de pérdida en Venezuela y Bolivia para los escenarios / años estudiados.

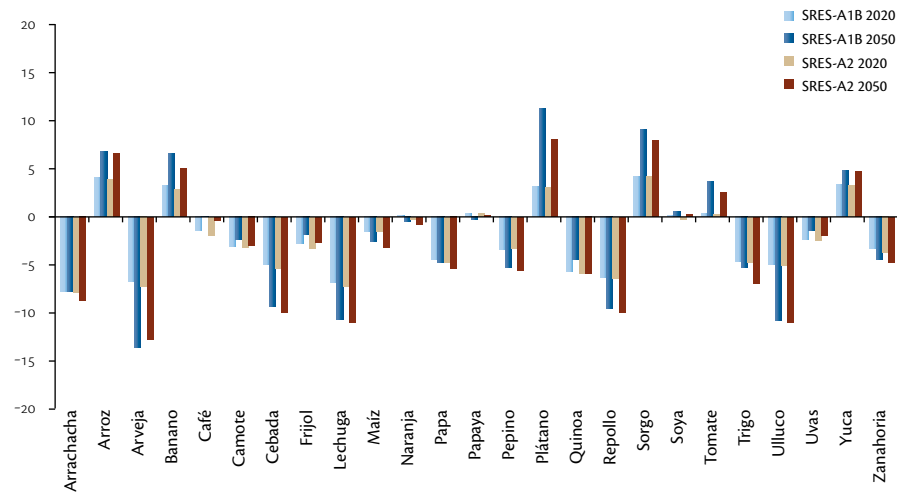
Otros cultivos de altura como la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), camote (*Ipomoea batatas* L.) o papa (*Solanum tuberosum* L.) tienen patrones más heterogéneos de impacto en los países andinos. Por ejemplo, el camote (*Ipomoea batatas* L.) tiene valores modestos de pérdida (~2,5%) en los Andes venezolanos, mientras que en el resto de países se esperarían impactos mucho menores. La papa (*Solanum tuberosum* L.) experimentaría pérdidas de aptitud importante sólo en Venezuela (~5%) mientras que en Ecuador y Perú los modelos proyectan incrementos en la aptitud (Figura 5). Los patrones de cambio futuro en la aptitud climática de los cultivos de altura son especialmente importantes para la seguridad alimentaria de las poblaciones rurales en los Andes, cuya subsistencia depende en gran medida de estos cultivos.



FIGURA 5. Cambio en aptitud climática para 25 cultivos seleccionados a) Bolivia, b) Colombia, c) Ecuador, d) Perú y e) Venezuela.



E. Venezuela



B. Colombia

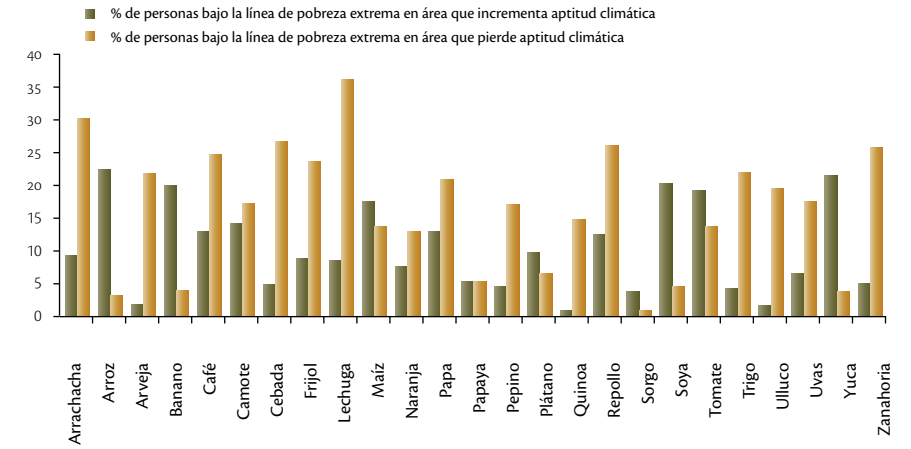
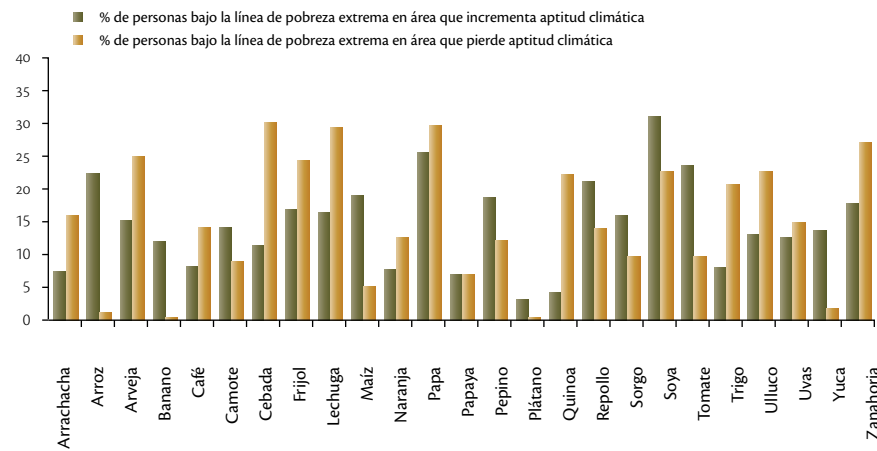
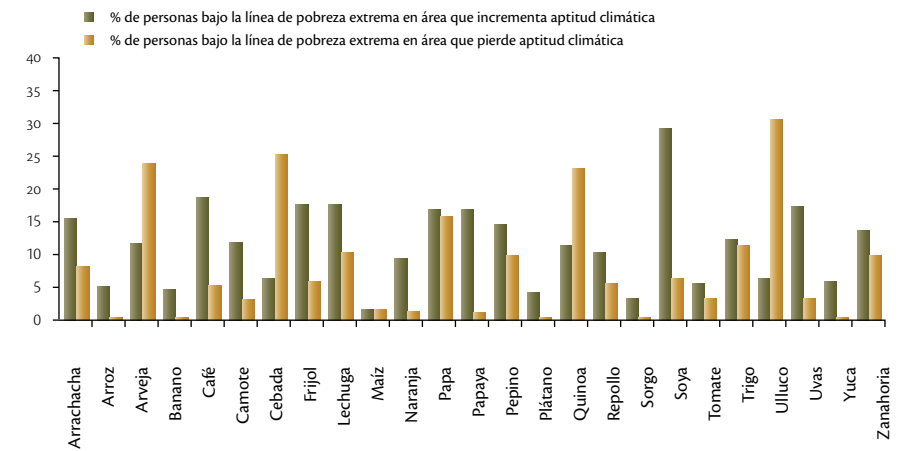


FIGURA 6. Porcentaje de personas bajo la línea de pobreza extrema en áreas de pérdida / ganancia de aptitud climática, para 25 cultivos seleccionados en los cinco países andinos de acuerdo a la proyección del escenario SRES-A1B – 2050: a) Bolivia, b) Colombia, c) Ecuador, d) Perú y e) Venezuela.

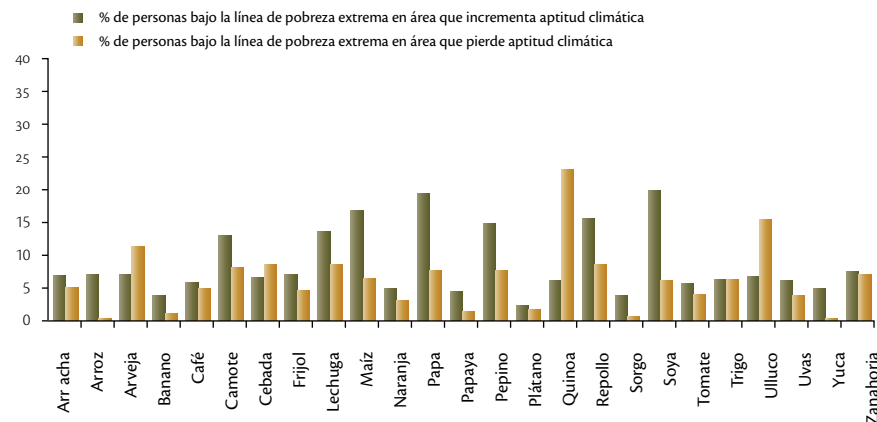
A. Bolivia



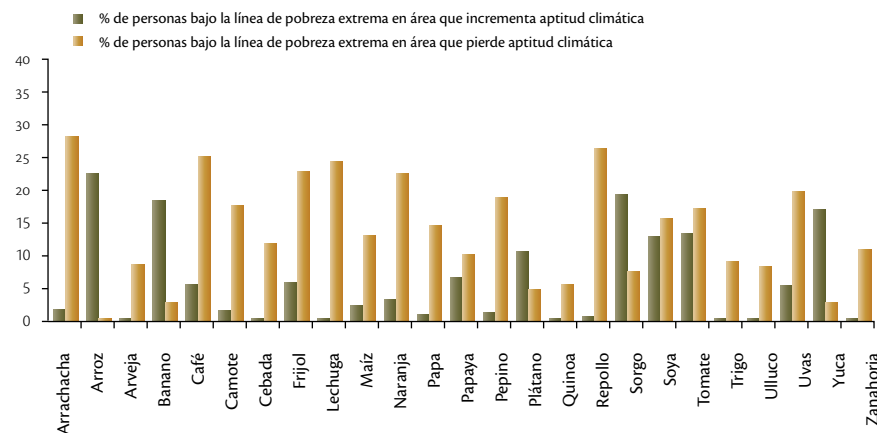
C. Ecuador



D. Perú



E. Venezuela



Al examinar el porcentaje de personas viviendo bajo la línea de pobreza extrema en áreas de pérdida y ganancia, se observa que existen cultivos para los cuales un porcentaje mucho más alto de la población pobre de cada país vive en áreas de pérdida que en áreas de ganancia. Por ejemplo, en Venezuela el 27% de la población bajo la línea de pobreza vive en áreas que pierden aptitud climática para la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.), mientras que menos del 3% viven en áreas que ganan aptitud (Figura 6e). En contraste, en Bolivia el 22% de personas bajo la línea de pobreza extrema viven en áreas que ganarían aptitud para cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.) en los Andes, y menos del 2% viven en áreas que perderían aptitud para este cultivo (Figura 6a). Un balance relativo se observa en el caso del trigo (*Triticum Aestivum* L.) en Ecuador, con alrededor del 12% de personas pobres viviendo en áreas de ganancia y pérdida (Figura 6c).

Los cultivos para los cuales existen más personas bajo la línea de pobreza en áreas de ganancia de aptitud climática en los cinco países son arroz (*Oryza sativa* L.), banano (*Musa sp.* L.), plátano (*Musa balbisiana* Colla), sorgo (*Sorghum bicolor var. sweet* (L.) Moench.) y yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Cultivos de altura como la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) o el ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) tienden a presentar el patrón opuesto, con mayor porcentaje de pobres viviendo en zonas de pérdida que de ganancia.

A nivel de países, Venezuela tiene 18 cultivos para los cuales existen más personas pobres viviendo en áreas de pérdida, y 5 cultivos para los cuales existe mayor porcentaje de personas pobres viviendo en área de ganancia. En contraste, Ecuador tiene 17 cultivos para los cuales existe mayor porcentaje de personas pobres viviendo en área de ganancia, y 4 cultivos para el patrón opuesto. En general, los cultivos para los cuales existe un mayor porcentaje de personas pobres viviendo en áreas de ganancia que de pérdida se da entre los cultivos de tierras bajas, cuya aptitud climática se estaría desplazando hacia la zona andina. Sin embargo, se debe recordar que el hecho de tener un porcentaje importante de personas pobres en áreas de ganancia no se traduce automáticamente en condiciones en las que un agricultor pueda derivar beneficios de condiciones climáticas favorables. Como se analiza en las siguientes secciones, existe un conjunto complejo de procesos y factores que actúan como barreras o facilitadores para poder aprovechar potenciales oportunidades asociadas al CC.

FUENTES DE VULNERABILIDAD DE LOS SP ANDINOS

La revisión de la literatura comprueba la observación generalizada sobre el alto grado de complejidad que enfrentan los pequeños productores agropecuarios en los Andes. El CC representa una dimensión adicional en un mosaico de impactos ambientales que varía abruptamente a diferentes escalas. Simultáneamente, procesos de cambio social, político y económico, que coexisten e interactúan con las condiciones ambientales, influyen en el tipo de respuestas observadas a nivel local. En este nivel, algunos de los impactos y procesos de cambio son la erosión

de suelos, la degradación de fuentes de agua —agravada por la poca infraestructura y gobernanza de los recursos hídricos. En las siguientes subsecciones, se analizan las interrelaciones del CC y SP en contextos de pobreza y marginalidad, y migración.

POBREZA Y MARGINALIDAD

La vulnerabilidad frente al CC, en particular la de las poblaciones pobres y marginales, está relacionada con procesos sociales, políticos, económicos, y con los factores institucionales (Adger 2006, Agrawal 2010, Cancino Borge et ál. 2011, Chapin et ál. 2006, Ribot 2010, Watson 2003). Por ejemplo, la participación de los pequeños productores en la economía de mercado requiere cambios en los SP —e.g., reducción de la diversidad de cultivos y de zonas de producción (Earls 2006)—. Estos cambios comprometen la economía de subsistencia y las relaciones sociales que la sustentan, exponen más los SP a la volatilidad de los precios de los alimentos (porque dependen del mercado) y a las condiciones climáticas (al reducir la diversidad con la que enfrentaban la variabilidad climática).

En los países andinos, la pobreza, y la marginalidad social y ambiental hacen que ciertos grupos humanos y ecosistemas sean más vulnerables a cambios sociales y ambientales (Farrow et ál. 2005, Hentschel y Waters 2002, Kay 2006, Swinton et ál. 2003). La pobreza, endémica en gran parte de los Andes (Swinton et ál. 2003), ha mermado las capacidades y recursos necesarios de los productores para adaptarse (y lidiar con) perturbaciones y condiciones ambientales; por lo tanto, compromete sus posibilidades de respuesta frente al CC (Swinton y Quiroz 2003). La marginación de estos productores del acceso y control de una base de recursos apropiada (e.g., tierra productiva, extensión agropecuaria) limita su capacidad adaptativa frente al CC.

En los Andes existen casos de comunidades locales cuya interacción con factores externos mejora sus condiciones generales de bienestar (Bebbington 2000) y amplía sus capacidades productivas y políticas (Bebbington 1997, 1999). Las trayectorias exitosas de desarrollo pueden ofrecer entornos de disminución de vulnerabilidad a los efectos del CC, mientras que lo opuesto sucedería en regiones con marginalidad persistente.

EROSIÓN DE SUELOS Y DEGRADACIÓN

La fertilidad de los suelos andinos varía con la altitud, asimismo su resistencia a la erosión aumenta con la elevación (Perez et ál. 2010, Zehetner y Miller 2006a). En Ecuador, por ejemplo, la concentración de material orgánico es mayor en las zonas altas que en las partes bajas, probablemente por las condiciones de frío y humedad (Zehetner y Miller 2006b). El aumento de la temperatura derivado del CC aceleraría la descomposición de materia orgánica, especialmente por debajo de los 2700 m de altitud, donde no se encuentran materiales amorfos activos que protejan la materia orgánica (Zehetner y Miller 2006b).

El retiro glacial, el aumento del límite altitudinal de la agricultura, la intensificación de las prácticas agropecuarias, y, posiblemente, la mayor ocurrencia de lluvias más intensas, generarán inestabilidad en los suelos de las zonas altas de los Andes; por lo tanto harán los SP más vulnerables a la erosión y degradación. La pérdida de suelos por consecuencia del CC en los Andes podría ser substancial en el largo plazo, posiblemente excediendo efectos locales y directos como la disminución de la productividad agrícola, para extenderse regionalmente y afectar a otros sectores vitales de la economía (Winters et ál. 2004). En este sentido, la mayor intensidad de la precipitación —como consecuencia del CC— podría acelerar, en algunas zonas de los Andes ecuatorianos, la pérdida de suelos mediante



el aumento de deslizamientos de tierra, y consecuentemente, disminuir la productividad (Harden 2001, Zehetner y Miller 2006b).

El abandono de prácticas y tecnologías agrícolas tradicionales, y el sobrepastoreo —asociado al fuego— generan condiciones para una pérdida masiva de suelos (Harden 1996; para un caso no andino cf. Lasanta et ál. 2000, Zimmerer 1993). En escenarios con incrementos en las precipitaciones totales anuales en los Andes del Norte y períodos más prolongados de estiaje en los Andes Centrales es posible que se obtengan suelos más productivos en los primeros, mientras que en los Andes Centrales aumente el riesgo de degradación por la mayor intensidad de la precipitación y la pérdida de cobertura vegetal derivada de la sequía. Perez et ál. 2010, sintetizaron los resultados del modelamiento de erosión, indicando un rango de variación que va desde menos de $5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ en el páramo y la puna, entre 10 y $100 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ en las laderas cultivadas, hasta por encima de $150 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ para laderas de pendiente pronunciada sin obras de manejo.

LAS PESTES Y SUS IMPACTOS EN CULTIVOS ANDINOS

El clima tiene efectos profundos en las poblaciones de plagas de invertebrados, influenciando su desarrollo, reproducción y dispersión (Collier 2008, Dangles et ál. 2008); es esperable que el CC estimule las invasiones tardías en lugares sanos y/o más elevados. Por ejemplo los áfidos, como vectores virales, amenazan la producción de semillas, que es relevante para los SP andinos. El incremento de la temperatura permitirá la expansión del límite superior del rango de los insectos, incrementando la diversidad e intensidad de insectos herbívoros en mayores altitudes (Perez et ál. 2010). Asimismo, mayores temperaturas permitirán que insectos de ciclo de vida corto completen más generaciones en un año, lo que lleva a mayor uso de pesticida que, a su vez, puede conducir a que aquéllos desarrollen más rápidamente resistencias a éste (Perez et ál. 2010).

La expansión del rango de ocurrencia de la ranca (causada por *Phytophthora infestans*) se ha atribuido al incremento de la temperatura y la globalización (Perez et ál. 2010). La intensificación de la producción lleva a la disminución de la rotación de cultivos, del barbecho, y del policultivo, todas estrategias que reducen la prevalencia del gorgojo de la papa (Kroschel et ál. 2009). En este sentido Poveda et ál. (2008) determinaron que la diversificación agrícola, frente a la intensificación de la afectación por plagas, tiene las siguientes consecuencias: 1) aumenta la producción de enemigos naturales de plagas en 52%, 2) reduce la presión de plagas en 53%, y 3) aumenta el volumen de producción en 32% de los casos examinados. Se resalta la importancia de la agrobiodiversidad y las parcelas policultivo —sustentadas en parte en el conocimiento etnobotánico— para el control biológico, incrementando la resiliencia del SP frente al aumento de plagas producto del CC y las presiones del mercado. El control biológico, asimismo, reduce la dependencia de agroquímicos que deterioran el ambiente (Heemsbergen et ál. 2004, Landis et ál. 2000).

RECUADRO 1:

La minería y la adaptación al CC de los SP andinos

La minería ha perturbado socio-ambientalmente los SP andinos por más de 500 años. Son emblemáticas las perturbaciones ambientales, por su larga extensión espacial y temporal, en los Andes centrales del Perú (Bakewell 1984, Nriagu 1993). Las perturbaciones sociales incluyen la reubicación de poblados y la extracción forzada de fuerza de trabajo cuyas consecuencias son rastreadas hasta la actualidad (Dell 2010, Fisher 1977, Lasanta et ál. 2000). En los 90s, las políticas neoliberales entronizaron la economía de mercado en los países de la Región Andina (Lucero 2001, Walton 2004, Whitehead 2001), estimulando el crecimiento de la inversión privada (Bury 2005, Weyland 1996) y la expansión de la gran minería (Bridge 2004a, Damonte Valencia 2008). Estas políticas han ido acompañadas de iniciativas para debilitar, cuando no eliminar, tanto los derechos de las comunidades sobre la tierra y el agua (Bebbington et ál. 2007, Sawyer 2004), como el marco institucional de toma de decisiones sobre el acceso y uso de los recursos (Bebbington 2007a, Bebbington y Williams 2008, Damonte Valencia 2008, Naito et ál. 2001).

La ofensiva expansiva de la gran minería amenaza directamente a las poblaciones campesinas y los pequeños productores, porque ven sus derechos de propiedad constreñidos o arrebatados, y por la contaminación ambiental. Estas tensiones se expresan en la gran cantidad de conflictos socioambientales (para casos en Ecuador, Perú y Bolivia ver: Bebbington 2007b). Sin embargo, la minería podría tener efectos más sutiles pero tan o más perniciosos que los antes mencionados. Nos referimos a los cambios en las relaciones entre naturaleza y sociedad cuando los paisajes rurales son menos agrarios y más mineros; es decir cuando los pequeños productores y campesinos dejan de tener tierras o se convierten en asalariados de la mina, cuando las relaciones sociales dejan de basarse en el parentesco y la reciprocidad para ser reemplazadas por el salario, cuando la alimentación no depende de la producción local sino de circuitos comerciales mayores. Aún están por conocerse las adaptaciones frente a los efectos del CC cuando los SP andinos —que han respondido a las presiones y disturbios ambientales por miles de años—, sean desplazados por los proyectos de extracción de recursos naturales no renovables a gran escala.

La migración y los SP andinos se han relacionado mediante las dinámicas de la fuerza de trabajo y las remesas. En la mayoría de casos, la migración genera escasez de mano de obra, la que deviene en: 1) menor capacidad laboral en las labores agrarias, causando degradación ambiental (Lasanta et ál. 2000, Painter 1991, Zimmerer 1993) y pérdida de biodiversidad (Zimmerer 1991b), 2) debilitamiento en la organización social y cultural que sostiene al SP (Bebbington 1993), 3) incapacidad para innovar o recuperar (Inbar y Llerena 2000), y 4) saturación de trabajo, para los que permanecen en el sitio (usualmente mujeres, cf. Chant 1998), lo que interfiere con las labores agrícolas (Collins 1987, Painter 1984, Perez-Crespo 1991).

Las remesas se usan parcialmente en educación, salud, vivienda, pago de deudas, y consumismo conspicuo (Durand et ál. 1996). Aunque son raramente invertidas en proyectos productivos o en el mejoramiento de los sistemas agrícolas (Black 1993, Mines y Dejanvry 1982, Reichart 1981, Rhoades 1978) impactan en los SP mediante la compra de insumos y la tecnificación, el incremento de la productividad y la agricultura comercial, y la superación de problemas de capital y crédito (Christensen et ál. 2007, Conway Cohen 1998, Durand et ál. 1996, Gray 2009, Massey et ál. 1993, Taylor y Wyatt 1996).

La migración no ha llevado, necesariamente, al abandono de la agricultura ni las remesas han sido utilizadas únicamente para el mejoramiento de los sistemas agrícolas en la sierra sur y central de Ecuador (Jokisch 2002). La migración y las remesas tienen un efecto mixto en la pequeña agricultura sur andina ecuatoriana (Gray 2009); la migración disminuyó la mano de obra diferenciada por género; mientras que las remesas promovieron las inversiones locales, resultando en la intensificación de la producción de maíz. La relación entre migración, sistemas productivos y remesas depende de la composición y estructura de la unidad doméstica, del tipo de comunidad a la que esta pertenece y de las relaciones de ambas con el exterior.

Se estima —cuestionablemente por ser conjeturas basadas en el peor escenario (Raleigh y Jordan 2010)— que entre 25 y 1000 millones de personas migrarán obligadas por el CC para el año 2050 a nivel global (IASC 2008). Aunque existen pocos estudios empíricos sobre el CC como un factor ambiental específico conducente a la migración externa (McLeman y Smit 2006; ver como ejemplo: Meze-Hausken 2000), hay consenso en la influencia de los factores ambientales en las causas de la migración, aunque se debate su importancia.

⁸ Consideramos la migración como una fuente de vulnerabilidad por su impacto en la disponibilidad de mano de obra y el capital social. Sin embargo, reconocemos que la migración también es considerada como una adaptación frente al CC (McLeman y Smit 2006) a lo largo de la historia de diversos grupos humanos (Gupta et ál. 2006); lo que no ha estado libre de debate (Mortreux y Barnett 2009)

En general, la magnitud y dirección de causalidad entre cambios ambientales, migración y SP es variada. Los factores ambientales promueven la migración interna y la influyen en más de una forma, dependiendo del fenómeno ambiental y su duración, y de las capacidades locales para enfrentarlo (Raleigh y Jordan 2010). En la sierra sur ecuatoriana, las condiciones ambientales son un factor significativo de la migración local e interna —mas no de la internacional—; asimismo, las condiciones ambientales negativas no llevan necesariamente a la emigración (Gray 2009).

FUENTES DE ADAPTABILIDAD DE LOS SP ANDINOS

Las sociedades andinas han adaptado, en distinto grado, sus SP a las condiciones biofísicas y ambientales, y a los procesos sociopolíticos ocurridos a distintas escalas temporales. La adaptación en los Andes ha sido posible mediante patrones de ocupación del espacio y la organización social que han hecho posible dicha ocupación (Brush 1976, Fonseca y Mayer 1988, Murra 1975). Consideramos que estos elementos son estructurales en las estrategias adaptativas frente al CC (Stadel 2008, Valdivia et ál. 2010).

OCUPACIÓN DEL ESPACIO ANDINO: DE PISOS ECOLÓGICOS A ZONAS DE PRODUCCIÓN

La estrategia de ocupación espacial mediante el “control vertical del máximo de pisos ecológicos” (Murra 1975) condensa los elementos principales para la reproducción social y material en los Andes, existiendo variaciones regionales asociadas a configuraciones del paisaje y factores socio-ambientales (Morris 1999, Wiegert et ál. 1999). Esta estrategia requiere un alto grado de movilidad —del ganado y de la gente— entre los distintos pisos ecológicos (Grötzbach 1988, Lopez 2004), y una elaborada organización e institucionalidad social que opere intra e inter niveles organizativos, desde la unidad doméstica hasta entre comunidades. Sin embargo, hay zonas donde el control vertical se ha hecho inviable por la creciente privatización de tierras en zonas bajas y la escasez de mano de obra, esta última causada por la migración a zonas urbanas y plantas agroindustriales.

La creación de zonas de producción es una acción social transformadora de los pisos ecológicos, agrupando recursos productivos específicos y generando condiciones ambientales, técnicas y sociales para la implementación de SP particulares (Mayer 1985, Mayer 2002, Wiegert et ál. 1999). La zona de producción viabiliza el acceso a diversos cultivos y crianzas, y disminuye el riesgo al dispersar y combinar los espacios productivos (Earls 2006, Orlove 1977, Young 2008, Zimmerer 1999). La domesticación de plantas —e.g., papa (*Solanum tuberosum* L.), el frejol (*Phaseolus vulgaris* L.), posiblemente el arrurruz (*Maranta arundinacea*) en Colombia (Bray 2000, Gnecco y Mora 1997)— y animales —e.g., camélidos

sudamericanos— ha sido crucial para crear zonas de producción, incrementando la agro-biodiversidad y permitiendo la subsistencia de la población.

Las estrategias de ocupación territorial son diversas, desde zonas de producción continuas cercanas al asentamiento poblado, hasta archipiélagos de zonas que permiten acceder a pisos lejanos mediante movilidad periódica y ocupación dispersa del territorio en áreas de gradientes ambientales menos pronunciados (Brush 1976, Fonseca y Mayer 1988, Orlove 1977). En las zonas pobladas de los sistemas agro-pastoriles de los Andes tropicales del sur (Peru-Bolivia), por ejemplo, el grado de permanencia, duración y regularidad del asentamiento depende de los ciclos productivos y pisos climáticos (Zimmerer 1996), con familias viviendo cerca a sus actividades agrícolas en zonas entre los 3,000 m y 4,000 m; pero su asentamiento (y actividad agrícola), generalmente, se limita a la época de verano (Lopez 2004). En las zonas de estacionalidad menos marcada (e.g., Andes del Norte), el uso del paisaje es también menos diferenciado o con patrones de movilidad más circunscritos. Estas estrategias resaltan la importancia de las redes de intercambio y la movilidad para la producción (Alberti y Mayer 1974), y la variabilidad climática. Sin embargo, es necesario precisar la heterogeneidad intra-comunal que lleva al desigual acceso a las zonas de producción, así como las distintas capacidades familiares para movilizar mano de obra y capital, lo que deriva en distintas vulnerabilidades y resiliencias de los SP.

DE LA ORGANIZACIÓN SOCIAL DE LA PRODUCCIÓN AL CAPITAL SOCIAL EN LOS ANDES

La organización social es crucial para la adaptación de los SP de los Andes Centrales. Consiste en las relaciones sociales y formas de intercambio de trabajo (reciprocidad simétrica y asimétrica) (Alberti y Mayer 1974) que permiten el control, acceso y usufructo de múltiples zonas de producción⁹ (Guillet 1978, Orlove y Custred 1980). El aspecto de dicha organización más relevante para la adaptación al CC son los vínculos entre las unidades domésticas que forman redes y grupos de cooperación¹⁰ para adaptarse a las condiciones ambientales, económicas y políticas. Las relaciones que los hogares, grupos y comunidades establecen con actores externos para acceder a recursos (e.g., crédito, infraestructura, asistencia técnica) son también importantes para responder al CC.

La comunidad campesina consiste en un grupo de unidades domésticas que controlan algunos recursos productivos (Alber 1999, Fonseca 1973, Fonseca y Mayer 1976, 1988, Golte 1992, Mayer 2002, Mossbrucker 1990, Murra 1975). En la zona andina de Perú y Bolivia es la organización más importante, siendo propietarios formales de la mayoría del territorio.

⁹ En los Andes del Norte y del Sur, la tendencia en el control de la tierra es la organización social familiar privada, mientras que se establecen articulaciones supra-familiares, como en los Andes Centrales, para el acceso a servicios, defensa de territorios y redes migratorias.

¹⁰ Sobre los grupos de cooperación véase también Mayer y de la Cadena (1989)

Algunas características del contexto institucional de la comunidad que consideramos relevantes frente al CC incluyen:

- Redistribución periódica de derechos de acceso a la tierra y el agua, particularmente en zonas altas marginales para la agricultura, donde predomina el pastoreo extensivo.
- Definición colectiva de reglas y ciclos de producción, especialmente en las zonas de barbecho sectorial, estableciéndose áreas determinadas y las fechas claves del calendario agropecuario (Fonseca y Mayer 1988, Pestalozzi 2000).
- Movilización y coordinación de mano de obra, mediante arreglos institucionales (e.g., ayni, minga), para trabajos comunitarios o individuales (e.g., sistemas de irrigación, vivienda). Los arreglos incluyen el monitoreo del cumplimiento de los miembros y la aplicación de sanciones (Sobre los impactos de la falta de mano de obra ver el acápite 3.2.2 en este capítulo).
- Gobernanza territorial mediante competencias y arreglos institucionales que norman el funcionamiento del cuerpo de gobierno comunitario (e.g., procedimientos de elección de autoridades) y la gestión del territorio (e.g., definición y defensa de límites).

Esta caracterización, sin ser exhaustiva, manifiesta patrones generales sobre cómo las relaciones sociales y acción colectiva influyen en la producción de paisajes productivos andinos resilientes frente a cambios socioambientales entre los que se incluye el CC. La importancia del capital social en la capacidad adaptativa de los actores se puede caracterizar por su impacto sobre el acceso a los recursos y su grado de diversificación (Adger et ál. 2003) y, por extensión, sobre la habilidad de los actores para responder a eventos y tendencias de cambio ambiental. Sin embargo, en el contexto de adaptación al CC, y considerando la heterogeneidad intra comunal y familiar, la posibilidad de encontrar soluciones basadas en acción colectiva no implica automáticamente la equidad en el acceso a recursos para ciertos grupos (Adger 2003), ni relaciones de poder equitativas (Hotimsky et ál.2006, Ishihara y Pascual 2009, Robbins 2004). De hecho, los actores con más poder (en las comunidades y unidades domésticas) pueden capturar los beneficios de estrategias adaptativas en desmedro de grupos y miembros sin una representación efectiva en espacios de toma de decisiones (Meinzen-Dick 2007, Pelling y High 2005).

El capital social también vincula las comunidades con actores externos, para mejorar su acceso a recursos y oportunidades de desarrollo, influyendo en la capacidad adaptativa de los actores locales (Agrawal 2010, Bebbington 2001). Existen trayectorias positivas de agregación de capital social facilitado por la intervención de ONGs, el Estado y otras organizaciones de la sociedad civil (ver Bustamante et ál., capítulo 7, en esta publicación).

LA NATURALEZA SOCIAL Y POLÍTICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO: REFLEXIONES FINALES

El CC modificará heterogéneamente las condiciones ambientales de los SP, generándoles mosaicos de amenazas y oportunidades. Los incrementos de la temperatura y variabilidad de la precipitación, así como el aumento en intensidad y frecuencia de fenómenos climáticos extremos (e.g., ENSO, heladas, sequías) cambiarán la aptitud de las zonas de producción requiriendo ajustes tanto del sistema natural como del social (ver Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación sobre escenarios climáticos). Por ejemplo, las áreas aptas para los cultivos se contraerán, expandirán o desplazarán, requiriendo la capacidad adaptativa basada en el conocimiento tradicional capaz de innovar; la organización social para recrear zonas de producción; programas gubernamentales que refuercen la capacidad adaptativa local con infraestructura, conocimiento y servicios; así como inversión para lograr SP resilientes al CC.

En los Andes, el CC representa una dimensión adicional en un mosaico de impactos potenciales que varían abruptamente a diferentes escalas. En este sentido, aquellos productores con un alto nivel de dependencia en cultivos de altura podrían experimentar mayores problemas que aquellos con estrategias más diversificadas. Eventualmente, los efectos dependerán de la flexibilidad de estos productores para acceder a tierra en lugares con mejores condiciones para la producción, o para diversificar sus estrategias productivas. Asimismo, el cambio hacia condiciones más favorables para cultivos de tierras bajas podría representar una oportunidad de diversificación para los sistemas productivos de altura.

Los efectos del CC en la precipitación (i.e. acentuada estacionalidad) y el incremento en la temperatura modificarán las zonas de producción en términos de alteraciones de la idoneidad climática de los cultivos y crianzas actuales y potenciales, requiriendo ajustes de los productores en términos de nuevos conocimientos, prácticas y tecnología, así como distribución de la fuerza de trabajo y acceso a tierras, agua e insumos. La naturaleza y dirección de estos efectos dependerá de las capacidades familiares, las instituciones, los niveles de coordinación y las relaciones con agentes externos, así como de la capacidad comunal para movilizar recursos exteriores a la comunidad y sus propias fuerzas sociales (Postigo et ál. 2008, Young y Lipton 2006).

Los SP andinos se encuentran generalmente vinculados a áreas relativamente marginales para la producción, en los extremos superiores climáticos de aptitud para la agricultura, en los extremos inferiores del piedemonte andino, y en los frentes “recientes” de colonización por desplazados andinos. Asimismo, estos SP son marginados de servicios e infraestructura básicos y productivos, y tienen elevados y prevalentes niveles de pobreza. El CC exacerba este contexto adverso y agudiza la vulnerabilidad de los SP andinos. Sin embargo, el análisis de patrones de vulnerabilidad a nivel local requiere entender también lo que los actores tienen, hacen, y lo que pueden llegar a hacer con lo que tienen frente al CC. La necesidad de incluir vínculos a escalas menores para entender procesos locales es un factor común en marcos conceptuales orientados a analizar procesos sociales y ambientales complejos (Lambin y Meyfroidt 2011, Liverman 2004, Ostrom 2008, Ostrom 2009, Turner II et ál. 2003).

En un contexto de creciente exposición y cambiante sensibilidad a los riesgos ambientales, la vulnerabilidad de los SP depende en gran medida de sus condiciones actuales de acceso a recursos y oportunidades de mejorar sus modos de



vida. El balance entre instituciones, opciones de acción colectiva y estrategias individuales de respuesta es crítico para pensar en las capacidades y oportunidades de adaptación existentes a nivel local. Así también lo es conocer los mecanismos sociales que habilitan distintas opciones de acción, producción y cambio (sobre el marco analítico de los capitales y las capacidades cf: Bebbington 1999). La influencia de estos mecanismos puede establecerse utilizando las instituciones como factores mediadores del comportamiento de los actores, y el capital social como un activo crítico para organizar respuestas coordinadas, ocupar el territorio e implementar alternativas de acción.

Los pequeños productores andinos han adaptado sus SP a los cambios ambientales y sociales ocurridos en múltiples escalas espacio-temporales. En las nuevas condiciones, la capacidad adaptativa dependerá de la diversificación, del capital social, de las condiciones medioambientales y sociales, de la disponibilidad de conocimiento, información y tecnología, y de las políticas implementadas. Asimismo, la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos (sobre sistemas socio-ecológicos ver: Berkes et ál. 2003, Chapin III et ál. 2009) será crucial en las condiciones climáticas más extremas y de mayor variabilidad. Es por ello que el acceso a múltiples zonas de producción (y la organización social que lo hace posible) seguirá siendo parte constitutiva de la adaptabilidad de los SP andinos. En este sentido, la potencialidad del control vertical de pisos ecológicos depende del: i) grado de cohesión de la organización social, ii) conocimiento de las condiciones eco-climáticas para llevar a cabo la producción; iii) nivel de participación del Estado con políticas de promoción y defensa de la pequeña agricultura, programas de extensión agraria, tecnología, crédito y fortalecimiento de la institucionalidad local.

Las características familiares y comunitarias que resultan en un conjunto de arreglos institucionales con alto valor adaptativo son: legitimidad, equidad en derechos y obligaciones, capacidades de monitorear y controlar el funcionamiento del sistema de forma efectiva, y autonomía (Perreault et ál. 1998, Trawick 2001). Estas características están íntimamente vinculadas a las condiciones ambientales y los recursos sobre los que los arreglos institucionales operarán, así como al contexto institucional externo (Perreault et ál. 1998). Es decir, la capacidad organizativa de un grupo de usuarios enfrenta límites importantes para generar trayectorias efectivas de desarrollo con valor adaptativo cuando el marco de políticas macro sectoriales no es el apropiado, o cuando existen barreras de acceso a otros recursos clave como tierra productiva, crédito, insumos, extensión agrícola, tecnología, conocimiento, capital social, entre otros (para el caso del agua en Ecuador, Perú y Bolivia ver, entre otros: Bustamante 2010, Vos 2010).

La rapidez e intensidad sin precedentes del actual CC, la endémica pobreza en los Andes y la limitada participación del Estado en el desarrollo rural andino, actuando independientemente y sinérgicamente, merman la capacidad adaptativa de los pequeños productores andinos, degradan los ecosistemas, y generan mecanismos de retroalimentación que contribuyen a la desestabilización de los SP; lo que en conjunto compromete la reproducción social andina. En este sentido, la seguridad alimentaria de los pequeños productores será particularmente vulnerable al CC en el corto plazo, mientras que sus posibilidades de adaptación serán más limitadas.

Los procesos de modernización de la agricultura que promueven el monocultivo, y la homogenización y disminución de la diversidad comprometen la capacidad adaptativa de la pequeña agricultura andina (Earls 2006). Asimismo, el manejo de múltiples zonas de producción ha sido menguado por cambios en los sistemas



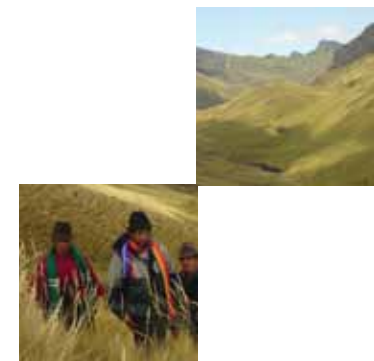
de tenencia de la tierra, que promueven la propiedad privada de parcelas individuales, y por procesos de marginación de las comunidades campesinas a zonas menos productivas del páramo (Hentschel y Waters 2002). En consecuencia, la vulnerabilidad aumenta para comunidades con menor acceso a distintas zonas de producción, y para hogares privados de recursos comunales, redes sociales o los activos necesarios para mantener o mejorar productivamente, resultando en una mayor sensibilidad a cambios sociales y ambientales. Frente a esta situación, comunidades y familias articulan y crean espacios mayores de organización que les permiten incluir a otros grupos y acceder a espacios políticos mayores (Carroll y Bebbington 2000) como estrategias para acceder a los recursos en un contexto social y territorial más amplio (Bebbington 2000, Young y Lipton 2006).

Las condiciones y procesos estructurales abren oportunidades diferenciadas de adaptación. En general, en áreas marginales para la producción, intervenciones enfocadas en el capital social no son suficientes para alcanzar desarrollo; por lo que se debe repensar el rol del Estado mediante políticas públicas expresamente orientadas a reactivar regiones tradicionalmente marginadas, superar la pobreza y mejorar la capacidad productiva e infraestructura básica (Bebbington 1998, Cancino Borge et ál. 2011). En otros casos, el capital social es la única forma de superar barreras de acceso a tierra o mano de obra escasas, ilustrando su polivalencia en procesos de conflicto y cooperación, y la dependencia de la capacidad adaptativa de los pequeños productores a la asimetría inherente a la mayoría de relaciones sociales asociadas con acceso a y manejo de recursos.

La migración y el CC podrían retroalimentarse, potenciando sus efectos negativos en los SP andinos. El CC incrementa la impredecibilidad de la producción agrícola, la que podría estimular la migración. Asimismo, la migración por la creciente demanda de mano de obra en actividades fuera de la finca o agroindustriales, y la expansión de mercados urbanos disminuyen las capacidades productivas y adaptativas de las unidades domésticas y comunidades.

La adaptación de los SP andinos requiere que se prioricen las políticas de adaptación en los países de la región Andina; lo que vincula los SP con los niveles nacional y global de la adaptación y la mitigación. Los efectos del CC afectarán más a los países y población más pobre, evidenciando que el CC agudiza la necesidad de modelos económicos inclusivos y equitativos que promuevan el desarrollo de las zonas rurales. Asimismo, la adaptación con énfasis en las poblaciones más vulnerables (i.e., pobres, mujeres, niños, y ancianos) es crucial. Son necesarios programas que: i) incrementen la adaptabilidad humana a las condiciones de los Andes; ii) reduzcan la vulnerabilidad de los SP; y iii) expandan la resiliencia de los SP. La adaptabilidad humana se incrementa mejorando las condiciones de las viviendas y ampliando la cobertura de los servicios de salud. La vulnerabilidad se reduce disminuyendo la exposición y sensibilidad de los SP a los efectos del CC (e.g., heladas, sequías, inundaciones) y fortaleciendo la capacidad adaptativa de los pequeños productores andinos (e.g., fortalecimiento de capacidades, educación, extensión agraria). Una manera de reducir la sensibilidad de los SP andinos a los cambios en los regímenes de precipitación es mediante pequeña y

mediana infraestructura para almacenar agua a ser usada en la época de estío. Los pastores andinos son altamente sensibles a los efectos de eventos climáticos extremos en la disponibilidad de pastos. Esta sensibilidad podría reducirse con programas de manejo de pasturas andinas, con sistemas de irrigación, silo y ensilaje. Asimismo, es necesaria la investigación aplicada para desarrollar variedades de pastos resistentes a las condiciones andinas. La resiliencia de los SP se expande promoviendo la diversidad productiva, biológica y cultural. Es preciso también fortalecer los mecanismos e instituciones que hacen resiliente los SP, asegurando los derechos de propiedad sobre la tierra y el agua. Asimismo, estos programas tienen que estar directamente vinculados con los esfuerzos por mejorar las condiciones de vida de estas poblaciones en general, y con los programas de alivio de la pobreza en particular; los que redundarán en una mejor capacidad adaptativa de los pequeños productores andinos.





Acciones de adaptación promovidas por la cooperación internacional en los países andinos como respuesta a los impactos esperados del cambio climático

MACARENA BUSTAMANTE¹
MA. TERESA BECERRA²
FRANCISCO CUESTA³
VERÓNICA GÁLMEZ⁴

¹ Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos - CONDESAN
✉ macarena.bustamante@condesan.org

² Secretaría General de la Comunidad Andina - SGCAN

³ Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos - CONDESAN

⁴ HELVETAS Swiss Intercooperation

RESUMEN

La adaptación se constituye en uno de los elementos sustantivos de los discursos contemporáneos acerca de las políticas, los impactos, los costos y las oportunidades asociadas al cambio ambiental global. Ello se ve reflejado en las múltiples acciones de adaptación al cambio climático que se implementan globalmente, a distintas escalas. La región Andina no es ajena a ello. En este estudio se realiza un análisis de las acciones de adaptación promovidas por la cooperación internacional en los cinco países andinos (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela), como respuesta a los impactos esperados del cambio climático sobre los recursos hídricos, la biodiversidad y los sistemas productivos en los Andes Tropicales. Se han identificado 217 acciones de adaptación implementadas durante los últimos 17 años, a partir de la entrada en vigor de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).

La mayoría de las acciones han sido ejecutadas a escala local, con un ligero énfasis hacia los recursos hídricos. Asimismo, la mayoría están dirigidas hacia el fortalecimiento de capacidades, y se observa una influencia muy grande de los principales hitos de las negociaciones internacionales en el número de acciones implementadas en la región. Las agencias de cooperación y el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) son las principales fuentes de financiamiento de acciones de adaptación en los Andes Tropicales, aunque montos de inversión reportados sugieren que la brecha de financiamiento en la región es aún muy grande. Finalmente, consultas con actores de los cinco países evidencian la necesidad de definir estrategias y programas que aseguren el aprendizaje continuo

a partir de esquemas de manejo adaptativo. El monitoreo de la efectividad de las acciones y su ajuste continuo —a través de la colaboración entre actores a distintas escalas, integrando nuevas fuentes de conocimiento y fortaleciendo el marco político institucional— pueden contribuir a que las acciones de adaptación implementadas por la cooperación internacional en la región sean más efectivas en reducir la vulnerabilidad de los pobladores andinos y fomenten un proceso de aprendizaje entre múltiples actores. Los principales retos en la región incluyen superar las deficiencias de la planificación tradicional del desarrollo, mejorar la sostenibilidad de las inversiones, y potenciar la réplica y escalabilidad de las acciones de adaptación.

INTRODUCCIÓN

La adaptación, entendida como las acciones y ajustes llevados a cabo por individuos, grupos o sociedades como respuesta a cambios ambientales, en particular climáticos, (Nelson et ál. 2007, IPCC 2007), no es algo nuevo, ni es resultado de una nueva realidad empírica o construcción teórica (Adger et ál. 2009). En los países andinos, la alta variabilidad diaria e interanual del clima —sobre todo a partir de las oscilaciones del ENSO (Vuille 2008)— ha servido de estímulo para la innovación social y tecnológica, la cual se aprecia en diferentes mecanismos locales de respuesta enmarcados en un conjunto de factores sociales, económicos, políticos y ambientales característicos de los Andes. Esto es particularmente evidente en los sistemas de riego y producción agrícola, así como en diversos mecanismos e instituciones orientadas a regular el acceso al agua (e.g., Llosa



Larrabure et ál. 2009, PRATEC 2011, Doornbos 2009a, Valdivia et ál. 2000). Estos son claros ejemplos de cómo las sociedades humanas han adaptado de forma endógena –activa o pasivamente (Shea et ál. 2002)– sus prácticas sociales, en un contexto de incertidumbre y variabilidad climática.

Este estudio se basa en el concepto de adaptación al cambio climático del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés; 2007), que se refiere a los ajustes en los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos proyectados o a sus efectos, que pueden mitigar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. La adaptación al cambio climático puede ser clasificada según su tipo, dependiendo si se trata de una acción autónoma o planificada. Se dice que la adaptación es autónoma cuando no constituye una respuesta consciente a estímulos climáticos, pero que es provocada por cambios ecológicos en sistemas naturales y por cambios de bienestar o de mercado en sistemas humanos. Por su parte, será planificada si hace parte del resultado de una decisión política deliberada, basada en el reconocimiento consciente de que las condiciones han cambiado o están a punto de cambiar, y que se requiere de acción para volver a mantener o conseguir un estado deseado (IPCC 2007). El estudio considera ambos tipos de acciones, aunque con un énfasis mayor en aquellas planificadas, dadas las fuentes consultadas. En la práctica, sin embargo, la distinción entre acciones autónomas y planificadas resulta difusa, reflejando un rango continuo de acciones (McGray et ál. 2007) en función del perfil y énfasis de financistas e implementadores.

Durante los últimos 20 años, la adaptación se ha convertido en una de las partes sustantivas de los discursos contemporáneos sobre las políticas, impactos, costos y el conjunto de riesgos u oportunidades asociadas al cambio ambiental global. La adaptación entró en el debate político a partir de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (Naciones Unidas 1992); aunque en principio el énfasis de la convención refleja la visión de los actores de la época, consistente en promover acciones de mitigación como alternativa prioritaria para estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero, a fin de evitar la interferencia en el sistema climático global y permitir la adaptación natural de ecosistemas y de las sociedades. A pesar de ello, la CMNUCC en su Artículo 4 enumera los compromisos asumidos por las partes respecto a la formulación e implementación de medidas apropiadas de adaptación, la importancia de incorporarlas en sus planes y políticas sectoriales a fin de minimizar su impacto en la economía, la salud pública, el medio ambiente, entre otros, y el aporte a través de fondos de cooperación para cubrir los costos de adaptación en aquellos países en desarrollo y más vulnerables. A partir de los Acuerdos de Marrakech (2001) el tema de adaptación adquiere mayor fuerza en la política internacional, como mecanismo complementario para afrontar los efectos y costos del cambio climático, apelando a la justicia social y equidad, y alineándose progresivamente con las propuestas de desarrollo de los países más vulnerables (Schipper 2006). La cooperación internacional –en la medida que se han alcanzado acuerdos en las negociaciones internacionales sobre cambio climático– ha promovido acciones de adaptación en países en vías de desarrollo, incluidos

aquellos de la región andina, moldeando, en gran medida, la agenda pública y de discusión en la región.

El debate internacional sobre cambio climático ha observado un crecimiento de la atención hacia la adaptación, tanto en la práctica como en las políticas (Adger et ál. 2009, Schipper 2006, Ayers y Dodman 2010, Agrifor Consult 2009). Esta tendencia se refleja en los resultados de este estudio, donde se evidencia el interés de los actores —y la creciente movilización de recursos financieros, humanos y políticos— con el fin de reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y sociales frente a los impactos esperados del cambio climático. La mayoría de acciones en la región se orientan hacia el fortalecimiento de capacidades, y hay cierto nivel de avance respecto a la implementación de medidas locales de adaptación y la integración del enfoque de adaptación en las políticas de desarrollo en varias escalas. En menor medida, ha habido aportes al análisis de vulnerabilidad y aportes al conocimiento, basados en la generación y uso de escenarios climáticos. En su conjunto, sin embargo, los procesos de sistematización de experiencias y la aplicación de mecanismos de monitoreo para evaluar su efectividad son marginales.

Hasta el momento, han sido pocas las iniciativas que analizan el avance de las acciones de adaptación al cambio climático en los países andinos. Estudios como los de Dumas y Kakabadse (2008), McGray et ál. (2007) o AgriforConsult (2009) representan algunos esfuerzos por compilar experiencias existentes e identificar prioridades de trabajo como respuesta al cambio climático. El aprendizaje a partir de las experiencias que han desarrollado acciones como respuesta a los efectos del cambio climático, es un insumo necesario en los procesos para promover buenas prácticas e incorporar tecnologías apropiadas, así como para contribuir al desarrollo de marcos políticos acordes a los contextos específicos y capacidades existentes (Larsen et ál. 2011). En ese contexto, es necesario continuar con los esfuerzos por crear mecanismos que permitan el intercambio y sistematización continua de experiencias en la región, que contribuyan al desarrollo de metodologías, la validación de enfoques y el análisis de vacíos de conocimiento asociados a los procesos de toma de decisión orientados a disminuir la vulnerabilidad frente al cambio climático. Esto es particularmente importante en el marco de manejo adaptativo. El término adaptativo se refiere a situaciones en las que la mejor acción para un sistema dado no puede ser definida a priori, y necesita del establecimiento de re-evaluaciones secuenciales del estado del sistema y sus relaciones dinámicas para modificar las acciones implementadas a fin de alcanzar los cambios deseados en el estado del sistema (Walters y Hilborn 1978). Aunque el conocimiento sobre enfoques, metodologías y marcos institucionales adecuados para implementar medidas ante el cambio climático está todavía en desarrollo –y es sujeto de amplios debates técnicos y políticos–, existe un interés creciente por parte de los Estados y de la sociedad civil en capitalizar los aprendizajes sobre las medidas de adaptación más efectivas y equitativas, así como sobre los aspectos que limitan la implementación exitosa de estas acciones.

El objetivo de este artículo es realizar una síntesis de las acciones de adaptación al cambio climático promovidas por la cooperación internacional en los cinco

países del área de estudio de Panorama Andino (ver Cuesta et ál., capítulo 2, en esta publicación). Los resultados se basan en los insumos generados por el estudio Evaluación del Estado de la Acción en Respuesta al Cambio Climático en los Andes Tropicales (Gálmez y Santamaría 2010a), que recopiló las acciones de adaptación ejecutadas en la región, entendidas éstas como los proyectos, programas e iniciativas, promovidas por la cooperación internacional. Las primeras secciones del documento evalúan el avance del tema en los cinco países, considerando las escalas de implementación, cobertura y ejes temáticos (Sección 3), así como la evolución del tema durante la última década, considerando las etapas de adaptación de la CMNUCC (Sección 4). La sección 5 analiza las fuentes de financiamiento disponibles y sus flujos de inversión en la región. La sección 6 identifica las principales tendencias en cada uno de los ejes temáticos priorizados en Panorama Andino: agua, sistemas productivos y biodiversidad. Finalmente, la sección 7 concluye con un conjunto de reflexiones bajo el enfoque de manejo adaptativo, fruto de un diálogo con numerosos actores que promueven acciones de adaptación en la región, como un aporte para la identificación de mecanismos institucionales, sociales, económicos y de financiamiento que faciliten la implementación y efectividad de acciones de adaptación al cambio climático en los cinco países de los Andes Tropicales.

MÉTODOS

El estudio abarcó los cinco países andinos que son parte de los Andes Tropicales: Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, y consideró aquellas acciones implementadas y en marcha dentro del periodo de 17 años, desde enero de 1994 (año en que entro en vigencia la convención) hasta junio del 2010. Se definen acciones de adaptación como los proyectos, programas e iniciativas (i.e. conjunto de proyectos y programas articulados entre sí, generalmente con énfasis multifocal) financiadas por la cooperación internacional y que, desde la perspectiva del implementador (i.e. aquel actor que ejecuta y facilita la ejecución) toman en cuenta alguna de las etapas del proceso de adaptación, tal como fue caracterizado por la Decisión 11/CP.1 de la CMNUCC (Naciones Unidas 1992): (i) identificación y evaluación de la vulnerabilidad ambiental y social, (ii) desarrollo de capacidades de adaptación, y (iii) diseño e implementación de medidas de adaptación.

El análisis de acciones de adaptación al cambio climático en la región se desarrolló con base en el proceso de recopilación de experiencias con actores de la región, liderado por INTERCOOPERATION en el marco de Panorama Andino entre octubre del 2009 y junio del 2010 (Gálmez y Santamaría 2010a, 2010b). La información sobre las acciones de adaptación se compiló utilizando los siguientes métodos:

(1) Revisión de literatura publicada en revistas indexadas, y reportes técnicos de proyectos, programas e iniciativas de adaptación y mitigación. El estudio no incluyó procesos de verificación en campo, pero fue complementado con entrevistas a actores claves en los cinco países.

(2) Cuestionario electrónico dirigido a diferentes actores vinculados a la temática del cambio climático en los cinco países. El cuestionario fue enviado a 285 contactos de diversas organizaciones, e incluyó preguntas sobre los siguientes temas: (i) información general sobre las acciones de adaptación desarrolladas para disminuir la vulnerabilidad al cambio climático, incluyendo amenazas e impactos climáticos a los que las acciones hacen frente (ii) alcance de las acciones desarrolladas (e.g., ámbito y sector de influencia), (iii) dificultades en el diseño e implementación de las acciones de adaptación, (iv) sostenibilidad de las acciones, y (vii) esfuerzos de monitoreo desarrollados para evaluar la efectividad de las acciones. La recolección de información procuró un balance entre fuentes de los cinco países, partiendo de bases de datos de las instituciones filiales de los autores de este capítulo. Sin embargo, cabe señalar las limitaciones de acceso a fuentes en el caso de Venezuela. La falta de proximidad a dichas fuentes podría haber minimizado en algún grado su aporte comparativo a la región.

(3) Foro electrónico, como herramienta metodológica participativa para discutir con actores de la región andina los resultados de la encuesta y las lecciones aprendidas sobre la implementación de acciones de adaptación al cambio climático. El foro se llevó a cabo entre el 3 y el 28 de mayo del 2010 con la participación de 95 personas de 66 instituciones inscritas (Bolivia 9%, Colombia 19%, Ecuador 16%, Perú 46%, Venezuela 1%, e instituciones/universidades de otros países 8%). El foro promovió la discusión en torno a: i) cómo las acciones de adaptación implementadas en estos 17 años reducen la vulnerabilidad de los pobladores andinos (en particular, aquellos rurales), ii) cuáles son las principales dificultades en la formulación, implementación y sostenibilidad de las acciones de adaptación, y iii) qué factores contribuyen a la efectividad de las acciones y los procesos de desarrollo local. Los comentarios y aportes de los participantes del Foro Electrónico (Panorama Andino 2010) se encuentran disponibles en <http://www.infoandina.org/panoramacc>.

El análisis de las acciones de adaptación recopiladas consideró: (i) la escala de implementación (i.e. regional, nacional, sub-nacional, local), (ii) la cobertura geográfica, (iii) los ejes temáticos (recursos hídricos, biodiversidad, sistemas productivos, gestión de riesgos y otros), (iv) las etapas del proceso de adaptación considerando las categorías de la CMNUCC (Naciones Unidas 1992), (v) las características del financiamiento, considerando fuentes de financiamiento y montos de inversión reportados (que se limitan a un total de 55 acciones ejecutadas y en ejecución a escala regional y subregional), y (vi) las principales tendencias de las acciones de adaptación en la región por eje temático. Finalmente, se utilizó el esquema de Schreiber et ál. (2004) para incorporar los principales resultados de la discusión del foro electrónico y ofrecer recomendaciones específicas a los actores.

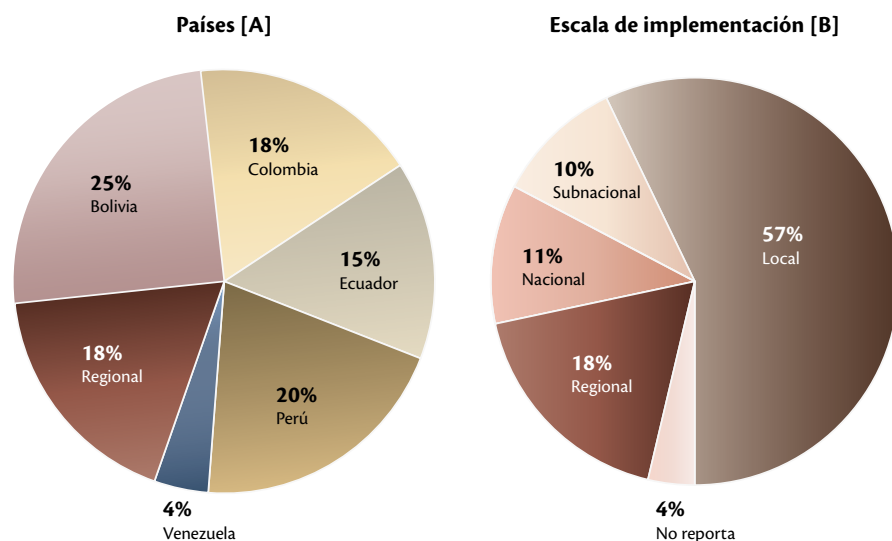
RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN PROMOVIDAS POR LA COOPERACIÓN

ESCALA DE IMPLEMENTACIÓN

Como resultado de los procesos de recopilación de información, se sistematizó un total de 217 acciones como respuestas de adaptación al cambio climático, reportadas por actores en los cinco países andinos durante el periodo de 1994-2010. Estas acciones incluyen aquellas concluidas, en ejecución o en proceso de formulación y negociación. El 18% –equivalente a un total de 39 acciones– se llevan a cabo a nivel regional, involucrando dos o más países (Ver Recuadro 1). El resto de acciones (n=179) se ejecutan a nivel nacional, donde Bolivia (n=54) y Perú (n=44) presentan el mayor número de acciones con el 25% y 20% respectivamente, seguidos por Colombia (n=38), Ecuador (n=33) y Venezuela (n=9) (Figura 1a). Los datos reportados para Venezuela evidencian una

FIGURA 1. Distribución porcentual de acciones de adaptación entre los años 1994-2010 reportadas en los Andes Tropicales según a) países y b) escala de implementación (n=217)



menor presencia de la cooperación en ese país. Esto puede estar influenciado por factores económicos históricos, tales como su nivel de desarrollo e ingreso per cápita, así como por sus posiciones políticas, que han definido a Venezuela como un país de baja prioridad para la cooperación internacional. Al contrario, el mayor número de acciones por parte de la cooperación en Bolivia es consistente con los patrones de inversión de la cooperación en la región, donde en la última década Bolivia ha sido depositario del doble de fondos de cooperación internacional (USD 1.139 millones) que el promedio de los otros países de la CAN (USD 565 millones), y 17 veces más respecto a Venezuela (USD 66 millones; Devenish y Gianella 2012).

La mayoría de acciones reportadas en la región andina (i.e. 57%; n=124) se ejecutan a escala local; varias de ellas enfocadas en unidades territoriales de cuencas o subcuencas (Figura 1b), tendencia consistente con lo reportado por McGray et ál. (2007) a nivel global. Por otro lado, en los cinco países se desarrollan con mucho menor frecuencia acciones a escala nacional (n=24) y sub-nacional (n=22). Existe un conjunto reducido de acciones que no reportan su escala de implementación (n=8) (Figura 1.B). Una práctica común de varios programas en la región es el desarrollo de esfuerzos demostrativos –o pilotos– que permitan la experimentación y aprendizaje metodológico, para que a futuro puedan ser replicados o trasladados a escalas más amplias de intervención (e.g., sub-nacional y nacional). Esta posibilidad depende de la capacidad de las organizaciones implementadoras y agencias de cooperación para evaluar y sistematizar las lecciones aprendidas de las acciones ejecutadas a escala local. Así mismo, dentro de la escala local se reportan varios proyectos que se encuentran articulados a programas globales –sean estos de monitoreo, capacitación o implementación de medidas de adaptación– con sitios de intervención locales en diversas regiones. Ejemplo de estas acciones son el proyecto ALARM para evaluar los riesgos medioambientales para la biodiversidad a gran escala, la red GLORIA que realiza estudios comparativos de impacto del cambio climático en la biodiversidad de altamontaña, o la implementación del kit instructivo PRO-Vention dirigido a capacitadores locales para reducir los riesgos de desastres.

COBERTURA GEOGRÁFICA

En cuanto a la distribución geográfica de las acciones, los resultados muestran que las iniciativas reportadas cubren gran parte de las regiones, departamentos y provincias de los cinco países andinos. No obstante, existen regiones específicas dentro de cada uno de los países que reportan una mayor concentración de acciones de adaptación (Tabla 1; Figura 2). Por ejemplo, en el caso de Bolivia, ocho de los nueve departamentos presentan por los menos una acción de adaptación; sin embargo, la mayoría de ellas se concentra en los departamentos de La Paz, Santa Cruz y Cochabamba (69%), mientras que en los otros cinco departamentos el porcentaje de iniciativas es menor al 7%. En el caso de Colombia, la mayor cantidad de acciones se concentran en cuatro departamentos: Cundinamarca, Boyacá, Valle del Cauca y Cauca (41%). En Ecuador se cuenta con al menos una

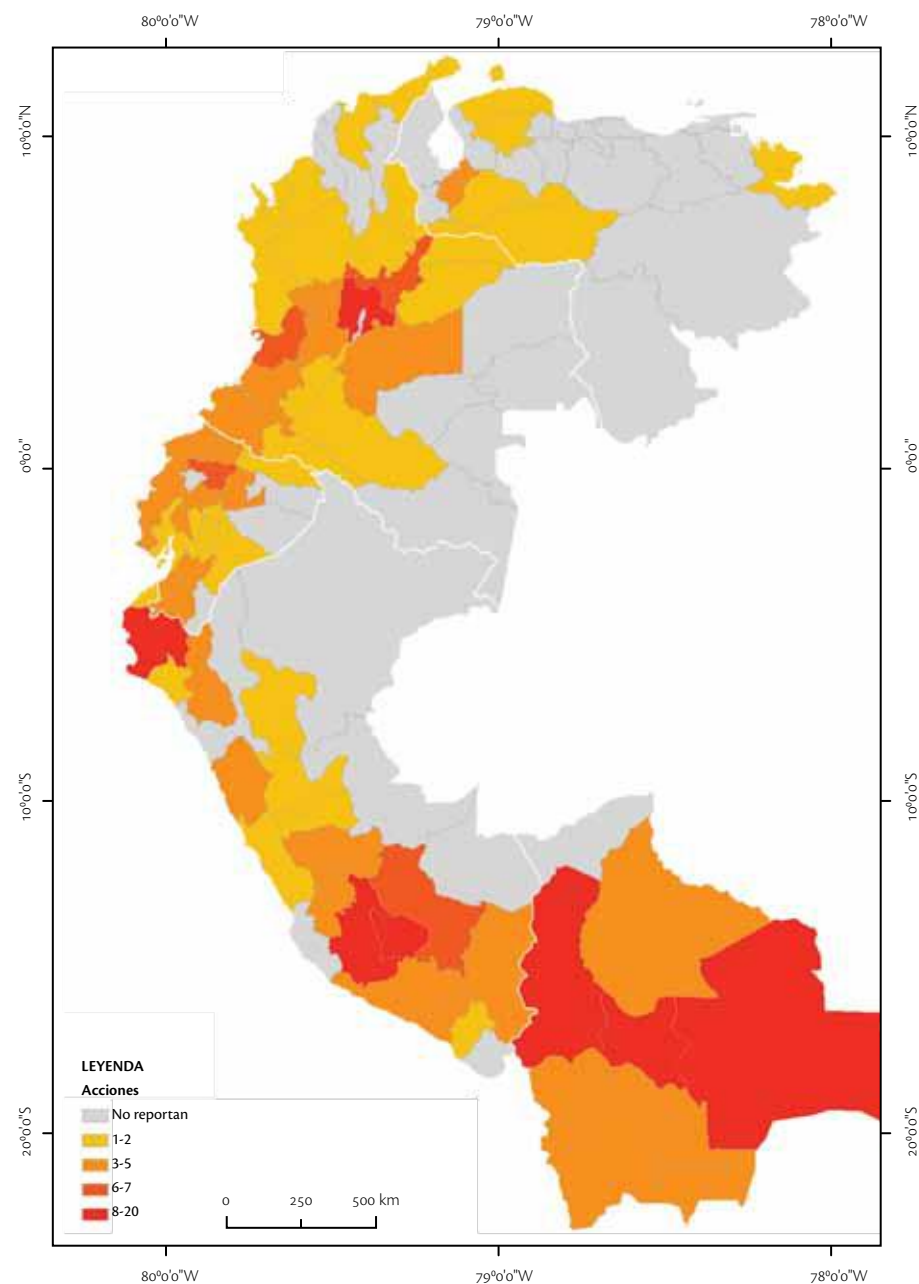
TABLA 1. **Acciones reportadas en los países según primera división territorial**

| País | Primera división territorial | Acciones (n) | Porcentaje sobre el total de acciones nacionales |
|------------------|------------------------------|--------------|--|
| Bolivia | 1 La Paz | 20 | 29% |
| | 2 Santa Cruz | 16 | 23% |
| | 3 Cochabamba | 12 | 17% |
| | 4 Chuquisaca | 5 | 7% |
| | 5 Potosí | 5 | 7% |
| Colombia | 1 Cundinamarca | 10 | 14% |
| | 2 Boyacá | 7 | 10% |
| | 3 Valle del Cauca | 6 | 9% |
| | 4 Cauca | 5 | 7% |
| | 5 Quindío | 5 | 7% |
| Ecuador | 1 Pichincha | 6 | 11% |
| | 2 Esmeraldas | 5 | 9% |
| | 3 Napo | 5 | 9% |
| | 4 Cotopaxi | 4 | 7% |
| | 5 Los Ríos | 4 | 7% |
| Perú | 1 Piura | 9 | 14% |
| | 2 Apurímac | 8 | 13% |
| | 3 Ayacucho | 8 | 13% |
| | 4 Cusco | 7 | 11% |
| | 5 Ancash y Junín | 5 | 8% |
| Venezuela | Mérida | 3 | 38% |

acción de adaptación en el 83% del total de provincias del país; aunque el 52% se ejecutan en seis de las 23 provincias continentales. En Perú, el 50% de las acciones se concentra en unos pocos departamentos: Piura, Apurímac, Ayacucho y Cusco, consistente con lo reportado en la II comunicación nacional del Perú (2010). Finalmente, en Venezuela el estado de Mérida presenta la mayor cantidad de acciones de adaptación registradas en el país (38%).

En general, se observa que los departamentos o provincias que acumulan más del 10% de acciones dentro de sus países son áreas con gran influencia política y/o económica, con una alta densidad poblacional y, en ciertos casos, zonas altoandinas, que albergan poblaciones rurales con índices altos de pobreza y marginalidad (e.g., La Paz-El Alto, Cusco-Apurímac, Pichincha-Cotopaxi). Por otra parte, se identifica un limitado número de acciones de adaptación al cambio climático en las regiones, provincias y departamentos orientales, con densidades poblacionales muy bajas. Esto sugiere que las acciones identificadas no necesariamente responden a un proceso de priorización geográfica en base a estudios y análisis de vulnerabilidad a diferentes escalas. Por ejemplo, tomando como referencia datos de la II Comunicación Nacional (2010), en Colombia, departamentos como César, La Guajira, Córdoba, Magdalena –y en menor medida Tolima– que se caracterizan por altos niveles de exposición y vulnerabilidad socioambiental, reciben poca atención (solo el 4% de acciones reportadas) frente a aquellos departamentos con centros poblados densos, relacionados al eje cafetalero y con inversiones hidroeléctricas, tales como Cundinamarca o el Valle del Cauca. Al parecer, las decisiones de la cooperación internacional sobre localidades a intervenir, responden a las prioridades geográficas específicas de las agencias de cooperación para el desarrollo en la región, persistiendo localidades altamente vulnerables sin intervención de adaptación planificada. En el caso del Perú cabe mencionar que tal generalización —la priorización de áreas geográficas de intervención por parte de la cooperación internacional en zonas densamente pobladas y con alta influencia política o económica— es menos marcada, considerando que numerosas acciones se desarrollan en departamentos como Apurímac o Ayacucho, con una predominante población rural, vulnerable y un contexto de bajo dinamismo económico. En el caso de Perú existe una historia de “áreas tradicionales” donde la cooperación ha trabajado durante más de 30 años (i.e. Cusco y Apurímac - COSUDE y cooperación alemana). Por otro lado, a escalas más detalladas, se evidencia que existen municipios al interior de cada departamento que concentran una alta proporción de las acciones de adaptación implementadas durante este tiempo. En cierta medida las regiones “elegibles” por la cooperación, frecuentemente se ven influenciadas por la disponibilidad de información existente (incluidas políticas y/o planes de acción) y la presencia de grupos de trabajo organizados, como criterios para la selección de áreas de trabajo. Por ejemplo, mientras más información existe, menor es la necesidad de invertir tiempo y recursos en estudios de diagnóstico que retrasen la acción. Esto se ejemplifica en los casos de la región de Piura, que cuenta con gran cantidad de información respecto a ENSO versus Huancavelica donde existe mínima información climática generada.

FIGURA 2. Distribución de las acciones de adaptación reportadas, según primera división político-administrativa en los países de los Andes Tropicales



RECUADRO 1:

Acciones de adaptación al cambio climático con enfoque regional

En los cinco países andinos que forman parte de los Andes Tropicales, existe un total de 39 acciones con enfoque regional; es decir, aquellas ejecutadas de forma coordinada en al menos dos países de la región. El 59% de las acciones se ejecutan en cuatro y cinco países de la región (n=23), 26% en tres países (n=10), y 15% en dos (n=6). Entre las principales limitaciones que tienen las acciones ejecutadas, resalta el poco tiempo de implementación que la mayoría de ellas tienen —el 73% iniciaron a partir del 2006—.

Las acciones en marcha han concentrado su aporte en enfoques y metodologías para analizar el impacto del cambio climático en las cuencas hidrográficas y los ecosistemas, procurando incorporar este análisis en el desarrollo de estrategias de adaptación dirigidas a reducir la vulnerabilidad en la región. A pesar de ello, las diferencias de enfoques y metodologías utilizadas por los diversos actores en los países, derivan en la implementación de acciones poco comparables entre sí y, por lo tanto, limitan un proceso colectivo de aprendizaje en diferentes escenarios sociales, económicos y de gobernanza de los recursos naturales en los Andes. La falta de marcos conceptuales y analíticos, que faciliten la comparación de diferentes contextos sobre la vulnerabilidad de los sistemas humanos y la capacidad de resiliencia de los sistemas naturales, ha limitado el desarrollo de metodologías para el diseño de acciones de adaptación, orientadas a disminuir la vulnerabilidad social y ecosistémica. El desarrollo de metodologías robustas que permitan generar procesos de implementación con un enfoque adaptativo, aplicables a realidades andinas heterogéneas, es una prioridad y un reto de las acciones con alcance regional.

A pesar de la complejidad institucional que conlleva trabajar a escala regional, las acciones de adaptación implementadas en la región han procurado incluir un enfoque participativo en el diseño e implementación de estrategias, planes y actividades, procurando la articulación entre diferentes actores del Estado y de la sociedad civil, con el propósito de promover la cooperación entre los países. Los organismos intergubernamentales han jugado un rol clave en ello a través de la canalización de recursos y asistencia técnica (ver Maldonado et ál., capítulo 8, en esta publicación). Énfasis particular se ha dado a la gestión

de recursos hídricos y riesgos, pero también durante los últimos cinco años al análisis de la vulnerabilidad ecosistémica y los impactos sobre los pobladores locales que usan y dependen del flujo de servicios ecosistémicos que se derivan de estos.

En el caso específico de las acciones transfronterizas de adaptación, el hecho de trabajar con un enfoque de cuenca binacional implica un esfuerzo consciente y planificado para promover plataformas de diálogo, asumiendo la importancia de actuar coordinadamente en un territorio común. Estos casos ejemplifican la repercusión de las acciones que se llevan a cabo a un lado de la cuenca (y de las fronteras) sobre el otro, y sus impactos pueden ser exacerbados aún más debido al cambio climático. Ello conlleva un constante intercambio de experiencias para consensuar y sortear las barreras político-administrativas presentes por la vigencia de al menos dos –y a veces más– regímenes de derecho territorial.

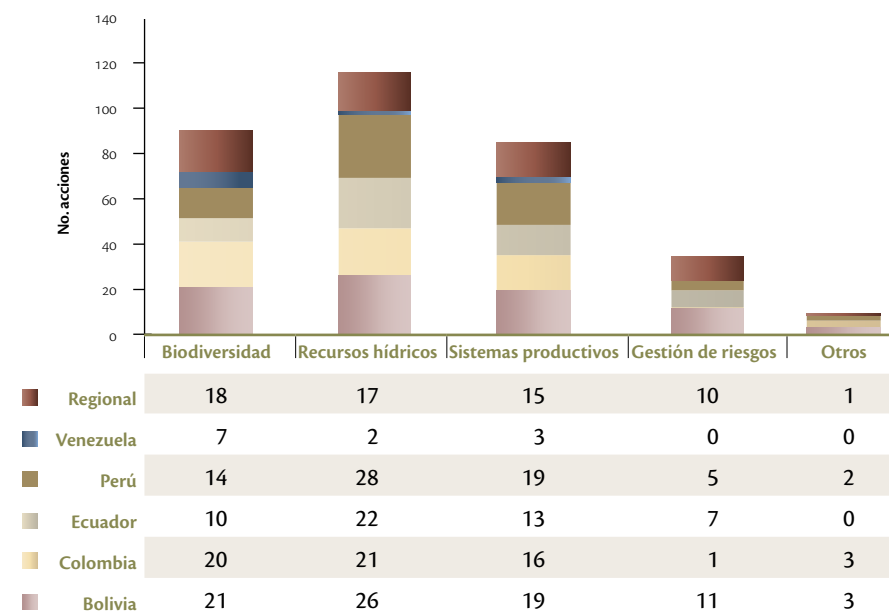
EJES TEMÁTICOS

De las 217 acciones identificadas en los cinco países de la región, la mayoría de acciones se orientan hacia los recursos hídricos (n = 116; 53%). Las acciones de adaptación vinculadas a la temática hídrica tratan de anticiparse a una potencial reducción de la oferta, y a los impactos sobre la gestión del agua que puedan exacerbar conflictos de uso, afectando la producción agrícola y la seguridad alimentaria. Acorde a lo reportado por los actores, el 56% de acciones (n = 123) fueron formuladas considerando la identificación de amenazas climáticas en el área de influencia. La mayoría de estas acciones consideran los periodos prolongados de escasez de lluvia (n = 36), la presencia de eventos extremos como inundaciones (n = 20) o sequías (n = 17), las lluvias extremas y los cambios estacionales (n = 7), como las principales amenazas; todas relacionadas con la problemática hídrica. Ello se complementa con las acciones que refieren al retroceso acelerado de los glaciares como una amenaza gradual (n = 15). En menor medida se han identificado acciones que hacen frente a amenazas tales como la desertificación (n = 10), incendios forestales (n = 7), el aumento de temperatura (n = 2), o heladas (n = 4).

Por su parte, las acciones relacionadas al eje temático de biodiversidad (n = 90) y sistemas productivos (n = 85) reportan un número similar de acciones entre sí. Cabe señalar que algunas de las acciones cubren más de un eje temático (razón por la cual la sumatoria total excede el total de acciones reportadas; Tabla 2). La distribución de acciones de adaptación entre países por ejes temáticos, presenta una tendencia similar, siendo recursos hídricos el eje prioritario en casi todos. En particular, en Perú y Bolivia se reportó un número mayor de iniciativas

relacionadas con la problemática hídrica (Figura 3). Tan solo a nivel regional y en Venezuela, biodiversidad concentra un mayor número de acciones de adaptación que los otros ejes temáticos.

FIGURA 3. Acciones de adaptación reportadas por la cooperación en los países de los Andes Tropicales, según eje temático (n=217)



También se identificó un total de 30 acciones de adaptación que atienden la temática de reducción de riesgos y minimización de pérdidas por desastres de origen natural, relacionadas mayoritariamente a las variaciones y efectos del Fenómeno del Niño (ENSO); estas representan el 13,8% de las acciones reportadas (n = 30; Figura 3). En gran medida, estas acciones se concentran en la escala regional (n = 10), y a escala nacional en Bolivia (n = 11) y Ecuador (n = 7). La gestión de riesgos se basa en el supuesto de que los cambios climáticos modificarán la frecuencia y magnitud de los desastres naturales (IPCC 2007, McGray et ál. 2007), que dadas las condiciones estructurales en la región (e.g., pobreza) pueden afectar en mayor proporción a las poblaciones más vulnerables. Tomando como referencia reportes del Banco Mundial, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú son considerados países de alta vulnerabilidad a desastres naturales, considerando potenciales pérdidas del 50% o más del Producto Interno Bruto (Dilley 2005). Sin embargo, existen vacíos conceptuales y prácticos entre los enfoques de adaptación al cambio climático y de reducción de riesgos frente a desastres naturales (Schipper y Pelling 2006, Thomalla et ál. 2006). A nivel de los cinco países, es necesario asumir el reto de articular de manera más consistente los

esfuerzos de adaptación al cambio climático, dentro de las propias agendas de planificación y desarrollo de los Estados andinos a diferentes escalas (gobierno central, gobiernos seccionales). Por último, hay unas pocas acciones de adaptación orientadas a otros temas (n=9), tal como estimaciones económicas de los costos de adaptación.

Aunque la mayoría de las acciones reportadas tienen un enfoque monotemático, existe un número importante de acciones en la región que forman parte de proyectos multifocales, equivalente al 30% de las acciones reportadas (n=64; Tabla 2). El énfasis de este tipo de acciones incluye tanto a recursos hídricos como a sistemas productivos (10,1%), temas que se insertan íntegramente en las agendas de desarrollo rural promovidas por varias agencias de cooperación que intervienen en los Andes. Otro porcentaje similar de acciones incluye estrategias integrales que incorporan también la conservación de la biodiversidad de forma simultánea (10,6%). Considerando la complejidad y multi-dimensionalidad de los efectos del cambio climático, es importante el desarrollo de acciones que consideren varias perspectivas de los posibles impactos, y fortalezcan las capacidades adaptativas de los actores nacionales y locales (Ver Recuadro 2).

El perfil de los implementadores, sean estas comunidades, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales, influye sobre el énfasis que se otorgue a los ejes temáticos y estrategias empleadas. Por ejemplo, las acciones ejecutadas por comunidades tienden a focalizar sus esfuerzos en respuestas basadas en el conocimiento tradicional, mientras que las organizaciones gubernamentales enfatizan el acceso y aplicación de nuevas tecnologías (e.g., técnicas de riego más eficiente, o el fortalecimiento de cadenas productivas). La integración de ambas fuentes de conocimiento es necesaria para el diseño de estrategias de

adaptación integrales que potencien las capacidades de todos los actores frente a los impactos del cambio climático, regeneren los paisajes andinos y recuperen sus valores culturales.

TABLA 2: **Acciones de adaptación en los cinco países de los Andes Tropicales, por eje temático**

| CATEGORÍAS/Ejes temáticos | Número | Porcentaje |
|---------------------------|------------|-------------|
| Monotemático | 114 | 53% |
| Biodiversidad (BD) | 44 | 20,3% |
| Recursos Hídricos (RH) | 46 | 21,2% |
| Sistemas Productivos (SP) | 24 | 11,1% |
| Multifocal | 64 | 30% |
| BD+RH | 16 | 7,4% |
| RH+SP | 22 | 10,1% |
| BD+SP | 3 | 1,4% |
| BD+RH+SP | 23 | 10,6% |
| Otras temáticas | 39 | 18% |
| Riesgos | 30 | 13,8% |
| Otros | 9 | 4,2% |
| TOTAL | 217 | 100% |



Innovación agraria, conocimiento tradicional y gestión de cuencas en los Andes Tropicales

La singularidad de los Andes Tropicales —asociada a su historia geológica, dinámicas de ocupación y variabilidad climática— ha permitido el desarrollo de sistemas naturales y paisajes naturales construidos a partir de un conjunto de adaptaciones evolutivas fuertemente dominadas por las gradientes climáticas (Fjeldså 1995, Killeen y Solórzano 2008). A través de siglos de ocupación, los habitantes andinos lograron adaptarse a (y transformar) las condiciones del medio de estos espacios, generando complejas técnicas de producción agrícola, utilización de agua, aprovechamiento forestal, sistemas pastoriles, entre otros (Cuesta et ál. 2009b). A pesar de ello, el conjunto de particularidades hace de los ambientes andinos sistemas altamente frágiles y muy susceptibles a procesos de alteración por los efectos del calentamiento global (Young 2009, Young y Lipton 2006).

Ante las amenazas del cambio climático en los Andes Tropicales, en la región se han desarrollado diversas iniciativas a escala local que articulan innovaciones agrarias y actividades de gestión del recurso hídrico para hacer frente al cambio climático. Muchas de ellas involucran el fortalecimiento y recuperación de los conocimientos tradicionales andinos sobre manejo del territorio y sus recursos, tendencia que se acentúa en Perú (n=10) y Bolivia (n=7). Estas se basan, por ejemplo, en la diversificación de las actividades a través de la implementación de chacras y parcelas en distintos pisos ecológicos, la siembra de numerosas variedades de semillas y cultivos, y la recuperación del saber campesino acerca de las modalidades de siembra y labores del cultivo. Además, se promueve el mantenimiento de sistemas de almacenamiento de agua basados en saberes y técnicas ancestrales a través de la cosecha de agua (e.g., *kochas*, *ckochas* o *qochas*; *amunas*), los cuales se remiten a épocas preincaicas e implican el conjunto de infraestructuras ancestrales, organización social, sistemas jerárquicos, rituales y estructura de manejo del territorio (Robles 2008, 2010, Alencastre 2009, Mujica 1997). Por último, este tipo de proyectos impulsan también la observación del clima a través de indicadores basados en el conocimiento de los pobladores, a fin de guiar la realización de labores agrícolas tales como siembra o cosecha.

Sin embargo, existen esfuerzos complementarios —en la mayoría de casos, paralelos— que apuestan a innovaciones tecnológicas para el manejo de los recursos hídricos y para la reducción de la vulnerabilidad frente a sequías o disminución de caudales. Estos incluyen, por ejemplo, la implementación de tecnologías para adaptarse a la reducción de agua disponible, la construcción de microreservorios para almacenamiento de agua, el mejoramiento de sistemas de producción de las familias campesinas (e.g., manejo de plagas, nuevos cultivos), el impulso de cadenas de generación de valor incorporando subproductos con menor consumo de agua, el desarrollo de sistemas de riego más eficientes (e.g., tecnificado por goteo o aspersión), y esquemas de planificación integrados.

Un ejemplo de este tipo de acciones es el proyecto “Medidas de adaptación al cambio climático en el centro poblado de Huashao, Provincia de Yungay”. La provincia de Yungay en Perú tiene vocación agraria, por lo que el agua es un elemento fundamental. Debido a la variación del ciclo hidrológico, la mala gestión del agua, la creciente escasez, y la intensificación de conflictos de acceso y uso, la comunidad a través del proyecto se ha propuesto la elaboración de un reglamento para la administración del agua (a fin de mejorar su eficiencia y acceso); la implementación de parcelas demostrativas de riego tecnificado por goteo y aspersión (con botellas descartables); la mejora de los sistemas agrícolas a través del manejo de plagas con abonos orgánicos, la elaboración de fertilizantes caseros y la diversificación de cultivos (introduciendo nuevos y más rentables); la recuperación/fortalecimiento del conocimiento a través de la capacitación sobre variabilidad climática, manejo hídrico, prácticas agrícolas; y el fortalecimiento de las juntas de usuarios y comités de regantes, articulándolos a procesos locales mayores.

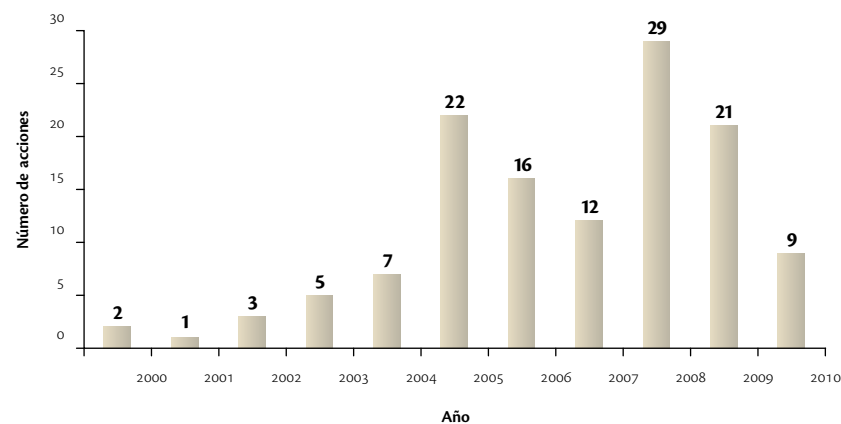
El desarrollo de proyectos que combinan innovaciones agrarias en la región, el conocimiento ancestral y la gestión de cuencas representan una interesante forma de integrar las necesidades de las comunidades locales para la gestión de cambios climáticos. Sin embargo, los implementadores tienen un peso específico muy grande sobre el énfasis que a cada uno de estos proyectos se imprime, y aún son pocos los que logran equiparar el peso del saber tradicional con las innovaciones tecnológicas, armonizando el conocimiento tradicional y científico.

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN EN LA REGIÓN

Al realizar un análisis de la evolución temporal del número de acciones reportadas de acuerdo con el año de inicio de su implementación, se observa un sustantivo incremento del número de acciones a partir del 2005 —con un total de 22 acciones—, y un repunte aún mayor en el 2008 —con 29 adicionales— (Figura 4). Este análisis se limita a un total de 127 acciones —concluidas o vigentes— que reportaron su año de inicio durante la última década. Cabe mencionar que la información recopilada para el 2010 se limita al primer semestre del año, por lo que se advierte una posible subestimación de datos.

Tomando en consideración las etapas del proceso de adaptación establecidas en la CMNUCC (Decisión 11/CP.1), la categoría de fortalecimiento de capacidades es la que mayor peso ha tenido en la región a lo largo de la última década (49%). Ello se refleja en los temas transversales desarrollados por las acciones en los cinco países, que incluyen la promoción de estrategias de sensibilización, como campañas de educación (n = 56) y comunicación (n = 61), así como el apoyo en la generación de conocimiento a través del uso de escenarios climáticos (n = 67), el desarrollo de sistemas de información (n = 49), y el fortalecimiento de redes de trabajo interinstitucional (n = 47). Las acciones reportadas demuestran que el énfasis en esta etapa —fortalecimiento de capacidades— fue incluso mayor en los primeros años (periodo 2000-2004), donde representó el 40% de las acciones en ejecución. A partir del 2005, el peso relativo de fortalecimiento de capacidades

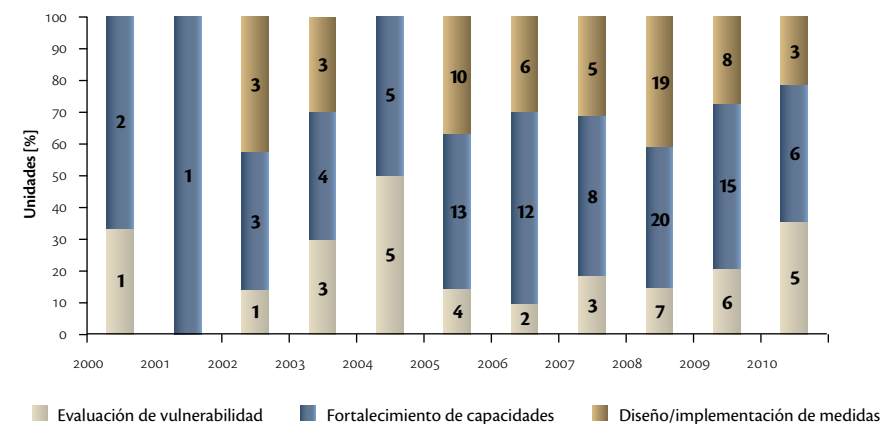
FIGURA 4. Acciones de adaptación por año de implementación en los cinco países de los Andes Tropicales (n=127)



disminuyó debido al incremento total de acciones, aunque en términos absolutos llegó a su pico en el 2008 (n = 20; Figura 5). Cabe mencionar que un total de 37 acciones no reportan su ámbito de acción respecto a las etapas del proceso de adaptación sugeridas por la CMNUCC.

En segundo lugar destacan las acciones ligadas al diseño e implementación de medidas de adaptación (31%). Estas se relacionan, por ejemplo, con el impulso de procesos de incidencia política (n = 69) y planificación territorial (n = 10) que se han apoyado en la región, particularmente en ecosistemas vulnerables, áreas protegidas, corredores biológicos, o apoyando su inclusión en planes de desarrollo regionales. Durante los años 2005 y 2008, las iniciativas de adaptación hacen más explícita su orientación hacia enfrentar los impactos del cambio climático, diseñando e implementando medidas de adaptación. Considerando la evolución de las acciones de adaptación en los cinco países, hay una coincidencia importante respecto a los giros del debate global sobre adaptación y cambio climático de la última década, surgidos a través de los acuerdos de Marrakesh (2001), la publicación de los informes del IPCC y la COP-13 de Bali (2007) —así como el relativo fracaso de la COP-15 de Coopenhague (2009) respecto a compromisos de mitigación—, los cuales han incidido sobre la trayectoria y frecuencia de las acciones implementadas en los cinco países de la región (ver Maldonado et ál., capítulo 8, en esta publicación). Es de esperar que los acuerdos y compromisos alcanzados en la COP-16 de Cancún (2010), respecto a aportes adicionales de los países industrializados para financiar medidas de adaptación y mitigación, se traduzcan en un incremento sustantivo de acciones implementadas y montos invertidos en la región en la próxima década.

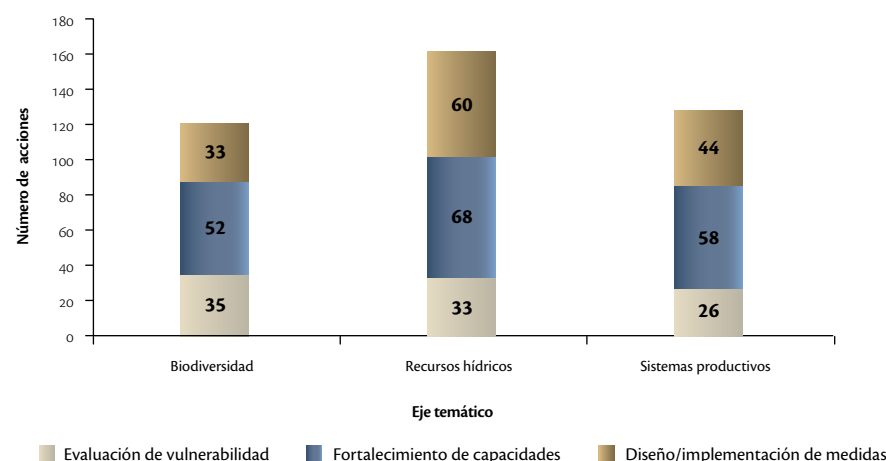
FIGURA 5. Distribución porcentual de las acciones reportadas entre 2000 y 2010 en los países de los Andes Tropicales, según etapas del proceso de adaptación (n=127)



Respecto a las acciones que contribuyen con la identificación y evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático (20%), se observa una tendencia creciente y continua (excepto en el año 2009) en los cinco países. En particular los años 2004, 2008 y 2010 resaltan por su contribución cuantitativa. En los últimos años se observa un leve cambio de enfoque de las acciones de adaptación, priorizándose los sistemas humanos y su vulnerabilidad a las diferentes amenazas climáticas. Esto es particularmente notable en Perú, Bolivia y Ecuador; sin embargo, las acciones de adaptación en Colombia parecen mantener un énfasis en el enfoque ecosistémico. A nivel regional, ello puede tener implicaciones al momento de diseñar un programa regional Andino para la adaptación al cambio climático; las diferencias de enfoque existentes entre los países deberán ser tomadas en debida consideración.

Por último, desagregando la información por los ejes temáticos de la Iniciativa Panorama Andino, la predominancia de acciones orientadas al fortalecimiento de capacidades se mantiene en todos ellos (Figura 6). Sin embargo, esta etapa tiene un peso relativo mayor en aquellas acciones asociadas a sistemas productivos (n = 58; 68%) que en aquellas asociadas a recursos hídricos (n = 68; 59%) o biodiversidad (n = 52; 58%). De forma complementaria al fortalecimiento de capacidades, muchas acciones en los ejes de recursos hídricos y sistemas productivos también apuntan al diseño e implementación de medidas de adaptación específicas (n = 68 y n = 58 respectivamente) mientras que las acciones relacionadas con la identificación y evaluación de vulnerabilidad tienen mayor presencia en el eje de biodiversidad (n = 35).

FIGURA 6. **Acciones de adaptación en los cinco países de los Andes Tropicales según su contribución a las etapas del proceso de adaptación y eje temático¹ (n=217)**



¹ Hay acciones orientadas a dos o más ejes temáticos, por lo que la sumatoria de acciones por categoría es superior al total de acciones identificadas.

FINANCIAMIENTO PARA LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN EN LA REGIÓN

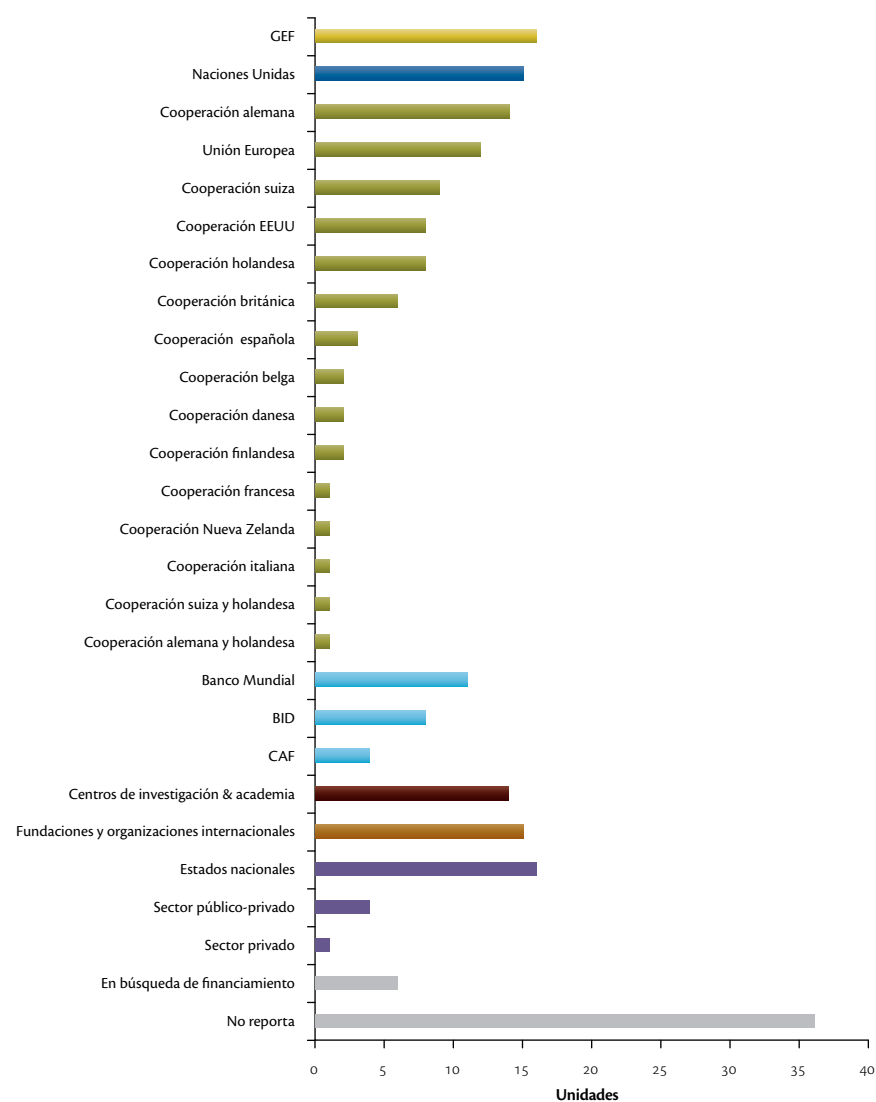
El financiamiento de la adaptación es un tema crítico para el diseño e implementación de medidas pertinentes en la región. En general, los mecanismos de financiamiento disponibles a escala global, así como los flujos financieros, son limitados e insuficientes (McGray et ál. 2007), especialmente si se considera los costos de adaptación asociados al cambio climático y la forma asimétrica en que ricos y pobres son afectados (Stern 2007, Adger et ál. 2003, Tol 2002, McGray et ál. 2007). En la región es vital movilizar recursos para la implementación de acciones de adaptación —y facilitar el acceso a los actores nacionales y locales a tales recursos—, a fin de reducir la vulnerabilidad de los sistemas sociales y naturales en los cinco países andinos.

La temática de vulnerabilidad y adaptación ha sido enfatizada a partir de las COP12 y 13 del 2006 y 2007. Estas decisiones han sido apoyadas por esfuerzos de donantes tales como OECD, USAID, DFID y el Programa Danés de Cambio Climático (Danida) quienes han integrado en sus políticas de cooperación los riesgos del cambio climático y las oportunidades de la adaptación en los programas de desarrollo (Mertz et ál. 2009). El compromiso, alcanzado en la COP-16 de Cancún por parte de los países industrializados, de aportar USD 30 billones hasta 2012 y un total de USD100 billones en el largo plazo (Tanner y Allouche 2011), ha generado expectativas entre los países en vías de desarrollo, a pesar de que los mecanismos —tales como el Fondo Verde— aún deben ser diseñados. El entendimiento de las fuentes de financiamiento disponibles, así como sus esquemas y prioridades de inversión en la región, son el punto de partida para lograr mayores beneficios y promover mayor transparencia sobre flujos financieros entre sectores y actores involucrados.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

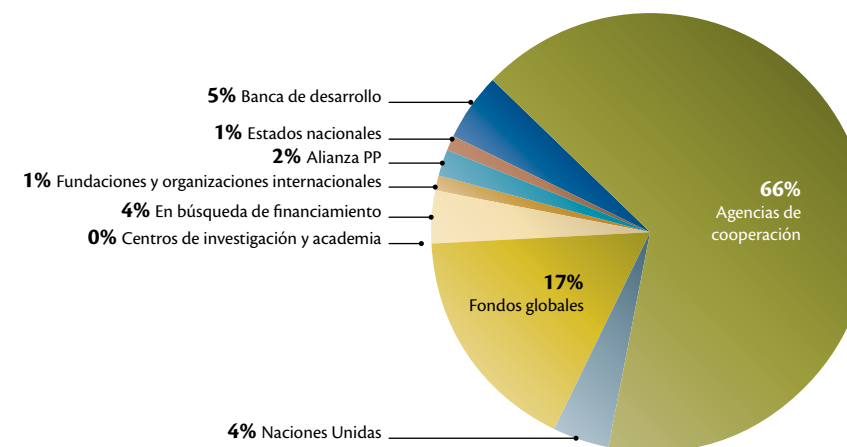
El Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF por sus siglas en inglés), las agencias de cooperación internacional y el sistema de Naciones Unidas son las principales fuentes de financiamiento en los cinco países andinos, tomando en cuenta el número de acciones de adaptación (Figura 7) y sus montos de inversión reportados (Figura 8). Entre todas las acciones reportadas, tan solo tres corresponden a fondos globales climáticos, en particular al Fondo Especial de Cambio Climático administrado por GEF.

FIGURA 7. Principales fuentes de financiamiento de acciones de adaptación en los cinco países de los Andes Tropicales (n=217)



■ Fondos globales ■ Agencias de cooperación ■ Investigación ■ Fondos nacionales
■ Naciones Unidas ■ Banca de desarrollo ■ ONG internacional ■ No reporta

FIGURA 8. Inversión reportada en acciones de adaptación en los cinco países de los Andes Tropicales, por sector de la cooperación internacional (n=55)



Cada fuente tiene un enfoque o énfasis particular al momento de financiar acciones (i.e. proyectos) de adaptación en la región. El GEF ha financiado principalmente acciones orientadas a la gestión y protección de los recursos hídricos, con una inversión promedio por acción (i.e. proyecto) de USD 4 millones². El conjunto de agencias de las Naciones Unidas, lideradas en particular por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo —PNUD—, ha focalizado sus esfuerzos de financiamiento en proyectos multifocales (con énfasis en recursos hídricos y sistemas productivos) y reducción de riesgos, con inversiones medias por proyecto de USD 4,6 millones. Por su parte, la cooperación gubernamental, que incluye múltiples agencias de desarrollo de países de Europa y Estados Unidos y, por ende, una heterogeneidad muy amplia de intereses, ha financiado un total de 71 acciones, las cuales se orientan a la gestión de riesgos (n = 15), la gestión de recursos hídricos (n = 14), y la conservación de biodiversidad (n = 12). Cabe mencionar el peso de la cooperación alemana, que en la región se ha convertido en un aliado estratégico para la implementación de acciones de adaptación, en términos tanto de número de acciones (n = 14) como de montos totales de inversión reportados (USD 61 millones); su énfasis está en proyectos multifocales, particularmente recursos hídricos y sistemas productivos, con presupuestos que alcanzan hasta los USD 28 millones. En base a los montos reportados (n = 55), la Unión Europea, la Cooperación Suiza y la Cooperación Española son los siguientes contribuyentes en la región, con USD 22,8, 8,8, y 7,3 millones respectivamente.

² Los datos financieros se limitan a 55 acciones (ejecutadas o en ejecución) que reportaron sus presupuestos y fuentes de financiamiento.

La banca de desarrollo (i.e. BID, BM, CAF) financia un número importante de acciones (n = 23; equivalente al 11% del total de acciones). Sin embargo, su impacto está limitado por montos relativamente bajos, equivalentes al 5% de la inversión total reportada. Esto es particularmente cierto en el caso del Banco Mundial, quien ha financiado un total de 11 acciones con presupuestos que oscilan entre los USD 30.200 a USD 200.000. En agregados, ello significa una inversión total de USD 2,2 millones (y en promedio de USD 203 mil). Por su parte, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) reporta una inversión que asciende a USD 7,4 millones —45% correspondiente a préstamos no reembolsables—, con un ligero énfasis en el eje de sistemas productivos. Cabe mencionar que el 55% de los fondos reportados corresponde a préstamos reembolsables condicionados a garantías de los Estados.

Por otro lado, sectores como organismos internacionales no gubernamentales y centros de investigación, reportan un total de 15 y 14 acciones de adaptación respectivamente, pero en su gran mayoría no reportan sus presupuestos. Esto explica su baja participación en la inversión total reportada, y sugiere montos medios pequeños (de USD 153 mil y 40 mil respectivamente).

Cabe mencionar la presencia de fondos nacionales, incluidos aquellos del Estado, así como los de socios público-privados. En el caso de fondos estatales no ha sido posible verificar si se trata de fondos de cooperación internacional administrados por entidades gubernamentales, o si corresponden al presupuesto nacional. En todo caso, estos representan el 1% del total de la inversión reportada para la región en este estudio. Respecto a alianzas público-privadas (Alianza PP), se evidencia su baja participación en acciones de adaptación en la región (2% de la inversión reportada), siendo el sector privado la fuente de apoyo financiero de menor peso en los cinco países de los Andes Tropicales.

INVERSIÓN REPORTADA POR LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL

En cuanto a la inversión reportada en los cinco países por parte de la cooperación internacional para acciones de adaptación, los montos tienen un amplio rango de financiamiento que fluctúa desde los USD 32.000 hasta USD 28 millones (mediana = USD 700 mil). La mayoría de acciones tienen montos asignados entre USD 32 mil y USD 1 millón (n = 28; que representan el 51% del total de acciones que reportan sus presupuestos). Un segundo grupo importante corresponde a acciones que tienen financiamiento entre USD 2 y USD 5 millones (n = 17; 31%). Finalmente, un tercero, con presupuestos superiores a USD 5 millones (n = 10; 18%; Tabla 3). Los datos reportados se limitan a un total de 55 iniciativas en la región, ejecutadas durante el período 2003-2014 (i.e. 25% del total de la muestra), de las cuales 27 se encuentran actualmente en ejecución. En el caso de proyectos multifocales, que trabajan diversos ejes temáticos e integran de forma explícita o no medidas para contrarrestar efectos del cambio climático, la totalidad de sus fondos ha sido incluida en el análisis, debido a la complejidad que implica desagregar sus actividades (y reconociendo la posibilidad de sobreestimar los montos promedio reportados).

TABLA 3: Rangos de financiamiento de las acciones de adaptación en los cinco países de los Andes Tropicales en el período 2003-2014

| De (US\$) | Hasta (US\$) | Acciones (n) | Porcentaje (%) |
|------------|---------------|--------------|----------------|
| 32,000 | 250.000 | 15 | 27% |
| 200,001 | 1 millón | 13 | 24% |
| 1'000,001 | 2 millones | 10 | 18% |
| 2'000,001 | 5 millones | 7 | 13% |
| 5'000,001 | 10 millones | 6 | 11% |
| 10'000,001 | 28,4 millones | 7 | 13% |
| Total | | 55 | 100% |

De las 55 acciones de la cooperación que reportan sus presupuestos, la inversión total en acciones de adaptación financiadas por la cooperación internacional asciende a US\$ 182 millones, incluyendo aquellas implementadas a escalas regionales y subregionales (i.e. nacional, sub-nacional, y local). Los montos de inversión promedio ascienden a US\$ 3,2 millones (mediana = USD 700.000), con un periodo de ejecución que tiene una duración promedio de 3 años y medio. Los montos de inversión reportados por la cooperación son bajos si se los relaciona con las metas y objetivos planteados, así como con los costos estimados de adaptación publicados por diversos estudios (CMNUCC 2007, Stern 2007, Parry et ál. 2009). Por ejemplo, el Banco Mundial (2009) estima que el costo de adaptarse entre 2010-2050 es de USD 75 a 100 billones por año en los países en desarrollo (i.e. 0,2% del Producto Interno Bruto de los países en vías de desarrollo), lo que comparado con los fondos disponibles para hacer frente al cambio climático (~ US\$ 10 billones al año) representa una gran brecha de financiamiento para los países en desarrollo (Banco Mundial 2010).

De acuerdo a la información financiera reportada, durante el periodo 2003-2010 (n = 28), los proyectos tuvieron una duración media de 2,6 años (mín = 1, máx = 6), aunque los más frecuentes tuvieron una duración de apenas 1 año (n = 8). Estos proyectos tenían un presupuesto promedio de USD 1,3 millones, y el 50% de ellos se inició durante el periodo 2003-2006. Por su parte, las acciones vigentes (n = 27), tienen un periodo de duración de entre 2 a 10 años, con una duración media de 4,5 años y un presupuesto promedio cuatro veces más grande que los concluidos (USD 5,4 millones). Esto refleja parcialmente el cambio de énfasis global de la cooperación hacia la adaptación, al desarrollar proyectos de mayor alcance y duración. Dado que no todos los proyectos reportan sus presupuestos, estos datos deben ser tomados con cautela, permitiendo solamente sugerir tendencias o hipótesis a ser comprobadas a futuro.

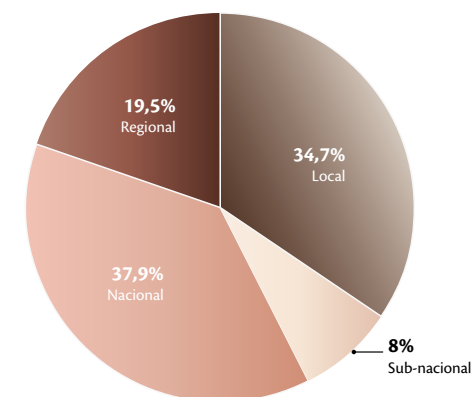
Tomando en consideración la escala de implementación, la cooperación internacional ha realizado la mayor parte de su inversión a escalas nacional y local

(Tabla 4; Figura 9). Varios de los proyectos a escala nacional incluyen acciones en el ámbito local, en múltiples sitios de intervención (> 3 sitios), que, por su alcance y nivel de articulación, han sido considerados dentro de la escala nacional. Basándonos en los datos reportados por la sub-muestra (n=55), los proyectos a escala nacional tienen presupuestos promedio de USD 8,6 millones, y una duración promedio de 5,4 años. Por su parte, el proyecto medio a escala local tiene montos de inversión de aproximadamente USD 1,9 millones, y se ejecuta en periodos de 3 años. Finalmente, las acciones a escala regional —que representan el 19,5% de la inversión reportada en los cinco países— tienen presupuestos promedio de USD 4,4 millones, con una duración promedio de 3 años y medio, mientras que el presupuesto promedio de las sub-nacionales es de USD 2,4 millones, y 2,6 años de duración promedio.

TABLA 4. **Inversión reportada por la cooperación en acciones de adaptación en los cinco países de los Andes Tropicales entre 2003 y 2014, por escala de implementación**

| Escala | N | Duración promedio (años) | Sumatoria (USD) | Promedio (USD) | Desviación Estándar | Mín | Máx |
|--------------|----|--------------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------|------------|
| Regional | 8 | 3,5 | 35.710.576 | 4.463.822 | 5.905.729 | 437.711 | 17.360.000 |
| Nacional | 8 | 5,4 | 69.245.299 | 8.655.662 | 12.180.597 | 382.500 | 28.420.000 |
| Sub-nacional | 6 | 2,6 | 14.547.417 | 2.424.570 | 3.011.202 | 32.000 | 7.370.000 |
| Local | 33 | 3,1 | 63.411.834 | 1.921.571 | 4.905.529 | 60.000 | 28.000.000 |
| TOTAL | 55 | 3,5 | 182'915.126 | 3.325.730 | 6.674.535 | 32.000 | 28.420.000 |

FIGURA 9. **Distribución porcentual de la inversión de la cooperación en acciones de adaptación en los cinco países de los Andes Tropicales entre 2003-2014, por escala de implementación (n=55)**



Respecto a los ejes temáticos —y considerando solo los datos reportados por los 55 proyectos en la región—, se observa la preferencia de la cooperación por invertir en acciones de adaptación multifocales. La cooperación internacional ha realizado inversiones importantes en proyectos que integran recursos hídricos y sistemas productivos, lo que corresponde al 34% de la inversión total del periodo 2003-2014 (Figura 10, Tabla 5). Estos proyectos tienen un tamaño promedio de USD 12,2 millones, con periodos de ejecución de 5 años y medio. Sin embargo, se advierten diferencias importantes en los rangos de los montos financiados entre proyectos, que fluctúan entre USD 121.000 hasta USD 28,4 millones. También se observa la tendencia a invertir en proyectos integrales que abordan las tres temáticas, correspondiente al 26% de los fondos reportados. A pesar de que su alcance temático es mayor, sus montos de inversión promedio son de USD 6,8 millones.

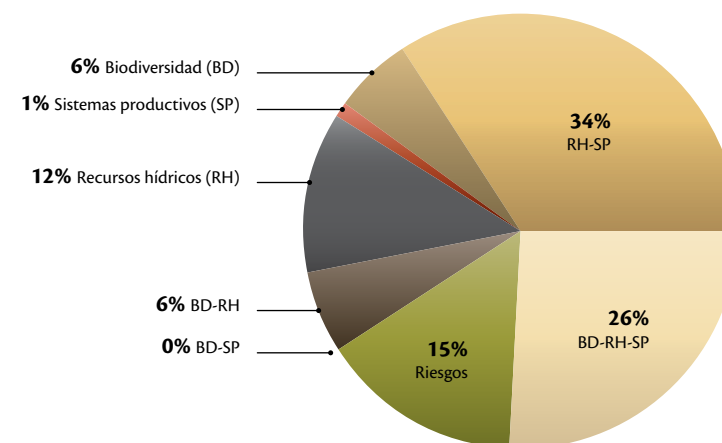
Comparativamente entre los tres ejes temáticos que analiza Panorama Andino, recursos hídricos es el tema que mayor inversión reporta en los cinco países. Estos proyectos tienen presupuestos promedio de USD 2,2 millones, más del doble que las acciones de biodiversidad, y casi cuatro veces superior a los proyectos enfocados en sistemas productivos. Basándonos en los valores reportados en este

TABLA 5. **Inversión reportada por la cooperación en adaptación en los cinco países de los Andes Tropicales durante el periodo 2003-2014, por ejes temáticos**

| EJES TEMÁTICOS | Acciones (n) | Duración promedio (años) | Sumatoria (USD) | Promedio (USD) | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
|-----------------------|--------------|--------------------------|--------------------|------------------|---------------------|---------------|-------------------|
| Biodiversidad | 10 | 2,6 | 10.043.420 | 1.004.342 | 2.242.257 | 32.000 | 7.370.000 |
| Recursos hídricos | 10 | 3,2 | 22.240.175 | 2.224.018 | 2.570.141 | 60.000 | 7.490.000 |
| Sistemas productivos | 4 | 2,5 | 2.566.000 | 641.500 | 472.281 | 200.000 | 1.311.000 |
| BD-RH | 6 | 3,8 | 11.158.789 | 1.859.798 | 1.368.896 | 235.000 | 4.200.000 |
| RH-SP | 5 | 5,5 | 61.133.356 | 12.226.671 | 14.626.937 | 121.000 | 28.420.000 |
| BD-SP | 1 | | 540.000 | 540.000 | - | 540.000 | 540.000 |
| Integrales (BD-RH-SP) | 7 | 4,7 | 47.942.137 | 6.848.877 | 9.616.207 | 382.500 | 28.000.000 |
| Gestión del riesgo | 12 | 3,0 | 27.291.250 | 2.274.271 | 4.940.769 | 62.034 | 17.360.000 |
| TOTAL | 55 | 3,5 | 182.915.126 | 3.325.730 | 6.674.535 | 32.000 | 28.420.000 |

estudio, podemos decir que las fuentes de cooperación internacional consultadas han puesto menor atención a la adaptación de sistemas productivos. Esto podría deberse a una sub-representación en el número de acciones reportadas para este eje temático respecto a los otros dos, debido a una mayor afinidad institucional en la fase de recopilación de información con los actores vinculados al manejo de recursos naturales y la conservación de la biodiversidad. Finalmente, las acciones orientadas a reducir los riesgos asociados a variaciones climáticas y desastres naturales captan cerca del 15% de la inversión reportada en la última década en los cinco países (n = 12). Estas acciones se alinean a las políticas, planes y estrategias nacionales oficializadas por los gobiernos nacionales.

FIGURA 10. **Distribución porcentual de la inversión de la cooperación entre 2003-2014 en acciones adaptación en cinco países de los Andes Tropicales, por ejes temáticos (n=55)**



PRINCIPALES TENDENCIAS DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN EN LA REGIÓN

En los cinco países andinos, las acciones de adaptación presentan tendencias claras respecto a los enfoques predominantes en cada uno de los ejes temáticos priorizados en Panorama Andino: biodiversidad, recursos hídricos y sistemas productivos. A continuación, se presentan las tendencias temáticas de las acciones reportadas en el cuestionario por los actores, y discutidas también en el foro electrónico.

RECURSOS HÍDRICOS

Las acciones relacionadas con el eje temático de recursos hídricos se orientan tanto a identificar el grado de exposición y sensibilidad de los sistemas andinos, como a fortalecer la capacidad adaptativa para moderar los potenciales daños y tolerar los efectos del cambio climático. Se registra una amplia diversidad de enfoques y estrategias, que van desde la estimación de impactos hasta la implementación de prácticas de manejo y políticas a distintas escalas.

Implicaciones del retroceso glaciar. Uno de los temas que ha concentrado la atención en los países de los Andes Tropicales, ha sido el análisis del retroceso glaciar y sus impactos respecto a la disponibilidad de agua sobre poblaciones rurales y urbanas. Existe un énfasis aún mayor en países como Bolivia y Perú, probablemente debido a las implicaciones sociales del retroceso glaciar en la generación de energía y sobre las dinámicas productivas de la puna —especialmente xerofítica—, donde las poblaciones rurales han desarrollado sistemas

extensivos y rotativos de pastoreo que dependen de los flujos hídricos provenientes de los glaciares (cf. Postigo et ál.2008). Se han promovido redes y sistemas de monitoreo (e.g., GREAT ICE-IRD) que analizan las dinámicas glaciológica e hidrológica de los Andes Tropicales, considerando las fluctuaciones climáticas actuales y pasadas. En menor medida, se han desarrollado acciones de monitoreo hídrico en ecosistemas altoandinos, como páramos y bosques andinos. Estas acciones son aún incipientes, y persisten grandes vacíos de conocimiento sobre los procesos hidrológicos y su vínculo con cambios de cobertura y uso de la tierra. Lamentablemente, ambos sistemas de monitoreo están desarticulados entre sí, lo que impide entender a los glaciares y los ecosistemas altoandinos como sistemas integrados, y su co-importancia en la generación y/o regulación hídrica. Finalmente, los modelos actuales de circulación global (GCMs) no son capaces de proyectar cambios confiables en los regímenes de precipitación y variaciones en los ciclos hidrológicos a nivel regional ni local, siendo ésta una limitante para el uso de estas proyecciones como guía para la definición de políticas nacionales (Magrin et ál. 2007, Buytaert et ál. 2010).

Manejo integral de cuencas. En los Andes Tropicales hay varias experiencias de manejo integral de cuencas, por medio de las cuales se ha procurado fortalecer la gestión hídrica a fin de mantener la provisión de los servicios hidrológicos. El enfoque de las iniciativas de manejo integral de cuencas incluye una visión territorial, donde los pobladores son gestores de los recursos naturales —en la cual existe una dimensión cultural que se valora— e implica un marco de planificación, evaluación, tratamiento y manejo de los recursos hídricos. Para ello, la elaboración e implementación de planes de manejo integrados a nivel de micro-cuenca es una herramienta común promovida por acciones de la cooperación. En muchos de estos, se distingue una preocupación concreta por la disminución en la provisión y regulación hídrica, derivada de la competencia con otros usos (e.g.,



minería); frente a esto, los planes promueven medidas de manejo integrado tanto en la agricultura como en la ganadería. Así mismo, hay una tendencia —aunque no mayoritaria— por desarrollar mecanismos de defensa de las poblaciones locales frente a eventos extremos, especialmente ante inundaciones, que está muy ligada a la gestión de riesgos, y que forma parte de políticas y planes a distintas escalas, a fin de fortalecer la capacidad adaptativa para moderar los potenciales daños y tolerar los efectos del cambio climático.

Gobernanza del agua. Un importante peso en la región tienen las acciones en torno a la gobernanza del agua, ligadas a los complejos sistemas de acceso y distribución que forman parte de la historia de las sociedades andinas. En particular, las juntas de agua y los comités de regantes, son instituciones locales con un gran poder de organización, convocatoria y movilización, sobre las cuales la cooperación —en algunos casos en asocio con organizaciones gubernamentales— ha pretendido sentar las bases para la adaptación planificada de la gestión del agua, a través de la elaboración y/o fortalecimiento de reglamentos de administración y acceso a escalas locales. A otras escalas, este tipo de acciones procuran facilitar procesos de diálogo y de consenso entre los actores relevantes para la adecuada toma de decisiones, y fortaleciendo la capacidad adaptativa de actores —e.g., gobiernos seccionales, organizaciones públicas, sector privado, regantes— frente a la variabilidad y riesgos climáticos. Aunque la participación comunitaria forma parte del discurso de estas acciones, muchos de estos procesos —y las nuevas arquitecturas institucionales que estas diseñan— también han sido críticamente analizados, por implementar mecanismos e inversiones que pueden excluir a los pobladores locales del control y acceso (cf. Boelens 2010).

Prácticas: (re)forestación, saberes tradicionales, e infraestructura de almacenamiento. A fin de garantizar la provisión de servicios hidrológicos frente a los potenciales impactos del cambio climático en los Andes Tropicales, los proyectos en la región impulsan un conjunto de prácticas orientadas a incrementar la resiliencia ecosistémica. Entre ellas, las prácticas más comunes son la forestación y reforestación como medida para proteger las fuentes de agua. Generalmente estas involucran cercados para evitar la influencia del ganado y la contaminación de las fuentes. Las acciones de adaptación reportadas para la región han evitado (en la mayoría de los casos) el uso de especies exóticas (particularmente pino y eucalipto) para forestación y reforestación, que han demostrado efectos negativos —especialmente en páramo— sobre la calidad del suelo, la modificación de funciones hidromecánicas (e.g., infiltración), y la alta demanda de agua, afectando el balance hídrico de la cuenca (Buytaert et ál. 2007, Farley y Kelly 2004). Sin embargo, se alerta también del nivel de desconocimiento sobre los posibles beneficios, para la generación hídrica, de la forestación con especies arbustivas “nativas” de ecosistemas altoandinos —haciendo mención especial a la especie *Polylepis racemosa*, introducida en Ecuador desde los Andes peruanos— ya que estas no se sustentan en bases empíricas, y podría provocar la disminución del balance hídrico de las cuencas. Complementariamente, en la región también se promueve la declaratoria de áreas de conservación para regeneración natural de páramos y bosques, bajo distintos esquemas y mecanismos, tanto formales como

informales, que en ciertos casos incluyen la compra de predios. Este conjunto de acciones no son nuevas prácticas para el manejo y conservación, pero en el contexto de cambio climático se los promueve como estrategia para incrementar la resiliencia ecosistémica. En la misma línea, aunque mucho menos frecuentes, se identifican esfuerzos de restauración de páramos, praderas, pastizales y bosques naturales para promover la retención de agua.

Concebidos los Andes Tropicales como un paisaje cultural, fruto de la interacción del ser humano y la naturaleza durante milenios de ocupación, otra tendencia muy fuerte en la región es la recuperación de la sabiduría, la cosmovisión, las prácticas tradicionales de pasturas, el riego y la diversificación en los sistemas productivos. Esto incluye la implementación de técnicas ancestrales tales como cercos de piedra, abonamiento de pasturas, ampliación de pequeños canales de riego para pasturas naturales, cosecha de agua lluvia en pozos semi-subterráneos y pequeñas represas —e.g., *kochas*, *amunas*, *gotañas*—, y observación del clima. En ciertos casos, la recuperación del saber tradicional está acompañada de innovaciones tecnológicas (e.g., instalación de colectores pluviales, riego suplementario; ver Recuadro 2). Sin embargo, numerosas acciones de adaptación apuestan principalmente por el factor tecnológico —con un alto grado de desarticulación con prácticas ambientales y culturales— y el desarrollo de infraestructura para almacenamiento de agua como son los tanques de almacenamiento de agua en zonas altas del sistema de distribución, las plantas de tratamiento, embalses y el establecimiento de sistemas de captación y distribución de nuevas fuentes de agua.

CONTROL DE DEMANDA DE AGUA

Otra tendencia frecuente dentro de la agenda de la cooperación en los Andes son los esfuerzos por controlar y reducir la demanda de agua, tanto urbana como rural. En el primer caso, administradores de empresas de agua potable y cooperantes, recurren frecuentemente a campañas mediáticas de concientización y sensibilización dirigidas a los usuarios para prevenir el desperdicio y disminuir el consumo. A pesar de que trabajar desde el lado de la demanda de agua en el contexto de adaptación al cambio climático es relevante y necesario, es difícil asegurar que el desarrollo de estrategias mediáticas es una respuesta efectiva (más allá de motivar la alerta ciudadana). Adicionalmente, se evidencian acciones que procuran mejoras en las redes de distribución, la instalación de medidores de agua para desmotivar el consumo desmedido, y el establecimiento de sistemas de reciclaje de agua. En el ámbito rural, se procura mejorar las prácticas agropecuarias de uso del agua a través de irrigación tecnificada y el mejoramiento de canales, a fin de corregir sistemas ineficientes.

POLÍTICAS

Por último, en el eje temático de recursos hídricos hay un énfasis mucho mayor que en biodiversidad respecto a la elaboración de políticas para la gestión

integrada, enmarcadas en la planificación nacional y sub-nacional del desarrollo, y vinculadas, en particular, a los sectores de agricultura e hidroelectricidad. Dado el impulso reciente que han dado los gobiernos de la región a la extracción minera, este es un sector que deberá ser incorporado en la agenda de implementadores y cooperantes, para minimizar impactos en el acceso y disponibilidad del agua a nivel de cuencas. En concordancia con ello, la cooperación ha apoyado el establecimiento de fondos nacionales y sub-nacionales para la conservación del agua, y en ciertos casos ha impulsado el fortalecimiento de vínculos entre científicos y hacedores de políticas, a fin de acercar la práctica y la ciencia, idealmente con una orientación de manejo adaptativo activo.

SISTEMAS PRODUCTIVOS

Las acciones del eje sistemas productivos se orientan hacia el fortalecimiento de las capacidades adaptativas de los actores —sobre todo locales—, tanto en el desarrollo de capacidades técnicas (e.g., sistemas de información, estrategias de evaluación y monitoreo), como en el desarrollo de medidas innovadoras de adaptación a nivel local en el sector agropecuario.

Modelamientos y escenarios climáticos. A escalas nacionales y sub-nacionales se han llevado a cabo estudios de modelamiento climático, de patrones de cambios en cultivos y sus impactos sobre los sistemas productivos, la seguridad alimentaria y condiciones de vida de pobladores rurales. Sin embargo, en su mayoría, estos ejercicios no han sido desarrollados por instituciones gubernamentales de los países, sino por universidades nacionales u organismos institucionales (e.g., FAO, CIAT). La identificación de los impactos de las variaciones climáticas en los sistemas productivos se ha enfocado en cultivos prioritarios, basados en caracterizaciones agroclimáticas, la fenología y productividad de cultivos. Se han generado líneas base y propuesto sistemas de monitoreo para enfrentar los riesgos asociados al cambio climático a través de alianzas a nivel local y regional. En cierta medida, el desarrollo de estos sistemas ha alimentado el diseño e implementación de planes de adaptación para los principales cultivos agrícolas en los distintos países.

En la región también se observa un conjunto de esfuerzos orientados a la generación y uso de escenarios climáticos para realizar proyecciones futuras y modelar impactos, generalmente a escalas macro (i.e. global, regional), pero con grandes niveles de incertidumbre (ver Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación). La utilización de escenarios de cambio climático —tendencia consistente para los tres ejes temáticos como tema transversal, pero cuya importancia relativa en sistemas productivos es mayor— tiene como fin clarificar tendencias y riesgos climáticos futuros, desarrollar un entendimiento común sobre la vulnerabilidad futura frente al cambio climático, y expandir el rango de opciones de adaptación. Los escenarios climáticos más comunes en las acciones identificadas y analizadas son el A2 y A1B. Así mismo, se ha priorizado la elaboración de mapas de amenaza y riesgo climático para la región y en cada uno de los países

andinos, y la generación de información climática para reducir el riesgo agrícola, mejorando los sistemas de alerta temprana en línea con los enfoques más tradicionales como el de gestión de riesgos. A escala local, se identifican estudios de variación de épocas de siembra de cultivos prioritarios para la seguridad alimentaria frente al cambio climático.

Políticas, estrategias y medidas de adaptación a múltiples escalas. Al igual que en recursos hídricos, en este eje temático hay un énfasis muy grande en el diseño de políticas, la planificación y la gestión de inversiones en el sector agrícola, tendencia que se observa tanto a escala regional como nacional. Ello se ve reflejado en numerosas acciones que han apostado por el fortalecimiento de capacidades para que los efectos climáticos sean sistemáticamente considerados en la formulación de políticas, programas de capacitación y concientización relacionados con la problemática de la agricultura y el cambio climático en los Andes; así como la promoción de mecanismos para el intercambio de aprendizaje en la región, tomando en cuenta el uso de métodos participativos para la incidencia en políticas públicas. Hay un énfasis muy importante en la formulación e implementación de estrategias locales de adaptación al cambio climático en sistemas productivos campesinos, aunque es difícil establecer su nivel de ejecución y alcance. En este sentido, existe un conjunto de medidas desarrolladas a escalas nacionales y sub-nacionales, orientadas a minimizar los impactos del cambio climático en el sector agrario, como son el mejoramiento de los Sistemas Nacionales de Innovación Agrícola, la articulación de los actores de las cadenas productivas con los gobiernos locales para la innovación tecnológica, y el establecimiento de seguros agrarios ante los impactos de eventos extremos, especialmente aquellos ligados al Fenómeno del Niño, que puedan provocar un aumento en intensidad y frecuencia de fenómenos climáticos extremos.

Prácticas productivas. Los esfuerzos de incidencia política nacional han sido acompañados, a escala local, por el desarrollo de programas de asistencia técnica, innovación tecnológica, y en menor medida, esquemas de (micro)créditos. Los proyectos de la cooperación han promovido la incorporación de sistemas de riego y tecnologías agroecológicas de adaptación al cambio climático, para fortalecer tanto la seguridad alimentaria como la oferta para el mercado, incluyendo en la parcela nuevos cultivos frutales y vegetales. Por otro lado, hay una corriente paralela que promueve el empleo del conocimiento ancestral para paliar las sequías e inundaciones (e.g., camellones), el desarrollo de alternativas de producción —como agroforestería sustentable y actividades agroecológicas orientadas a mejorar la seguridad alimentaria de las familias campesinas—, la diversificación (y adaptación) de cultivos nativos (e.g., papas), y sistemas de alimentos locales para incrementar la resiliencia de sistemas campesinos.

BIODIVERSIDAD

Las acciones recopiladas para el eje de biodiversidad—en su mayoría— corresponden a estudios sobre los efectos esperados del cambio climático en la

biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas andinos. Bajo esta categoría recaen las iniciativas que, además de plantear la evaluación de los impactos del cambio climático, consideran medidas y estrategias para hacer frente a los mismos a través de la gestión del territorio o la promoción de procesos de restauración de ecosistemas degradados.

Modelamientos y escenarios climáticos. En el eje temático de biodiversidad, uno de los temas que ha recibido mayor atención en los Andes Tropicales ha sido el desarrollo de acciones empíricas y/o de modelamiento de los posibles impactos a nivel local del cambio climático en la biodiversidad. Esto incluye evaluar las respuestas de ecosistemas, comunidades y poblaciones bajo diferentes escenarios climáticos (e.g., posibles desplazamientos de los límites), identificar áreas más vulnerables a cambios globales, y predecir pérdidas en la biodiversidad y sus efectos en la integridad y funcionalidad ecosistémica. Las evaluaciones abarcan ecosistemas como el páramo (Carchi-Ecuador, Mérida-Colombia, Nariño-Colombia), los humedales de altura (Altiplano boliviano; Cordillera oriental colombiana), la selva montana y la sabana tropical (Venezuela). Sin embargo, muchos de los ejercicios de modelamiento reportados para los Andes, carecen de datos empíricos y/o experimentales que permitan calibrar los ejercicios realizados (Báez et ál. 2011). Los estudios empíricos deben ser complementados con aproximaciones experimentales que permitan distinguir los efectos individuales de los factores ambientales, los cuales actúan normalmente de manera simultánea en la naturaleza. Galmez y Santamaría (2010b) reportan solamente una acción que aporta al conocimiento desde la experimentación, y demuestra el estado incipiente de la temática. La necesidad de impulsar la investigación experimental en la región andina es prioritaria para construir modelos de predicción frente a cambios ambientales futuros. Igualmente, existen pocos ejercicios de monitoreo que permiten mejorar el conocimiento sobre la biodiversidad andina y entender procesos ecosistémicos claves. En este ámbito, algunas de las acciones reportadas son el seguimiento de la evolución de poblaciones acuáticas en ecosistemas de altura como indicadores del cambio climático, el monitoreo de cumbres de montaña, y la evaluación de los impactos del cambio climático en los páramos. En este sentido, uno de los temas importantes al que hacen mención las acciones reportadas, es la construcción de programas o esquemas de monitoreo para estudiar los posibles impactos del cambio climático sobre la biodiversidad de los Andes Tropicales, y así alimentar –con bases más sólidas– la toma de decisiones.

Cambios de uso de la tierra y manejo del territorio. En el contexto de cambio climático y cambios de uso de la tierra (CUTT), la estructura del paisaje (e.g., patrones de fragmentación y conectividad de parches de hábitat remanentes) juega un papel crítico por su influencia en la capacidad de dispersión de las especies, la pérdida potencial de hábitat y el mantenimiento de funciones ecosistémicas (Opdam 2004, Travis 2003). Por ello, la cooperación internacional ha impulsado estudios orientados a reconstruir los patrones de uso de la tierra en los Andes, y generar escenarios futuros que permitan dimensionar los efectos combinados de ambos factores. Como consecuencia, existen varias acciones orientadas a la gestión y manejo del territorio. Estas acciones incluyen la conservación, el aumento

de la cobertura natural, y procesos de restauración ecológica que mejoren la resiliencia de los ecosistemas andinos, así como herramientas de planificación y gestión del territorio a distintas escalas. A escala local, destaca la elaboración de planes de manejo del suelo, bosques, páramos o áreas protegidas. A escala regional, sobresalen estrategias de adaptación que identifican opciones de política para enfrentar los impactos del cambio climático y cambios de uso del suelo. En menor medida, se menciona el diseño de corredores verticales de conservación, que permitan la migración y el mantenimiento de los gradientes ambientales para facilitar los flujos y procesos ecosistémicos.

REFLEXIONES FINALES BAJO UN ENFOQUE DE MANEJO ADAPTATIVO

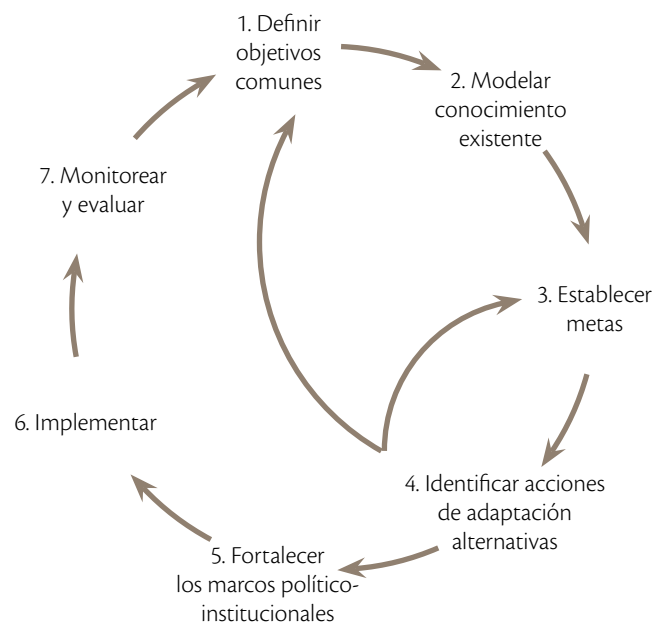
Las acciones para adaptarse y ser resilientes ante el cambio climático requieren del ajuste continuo de medidas por parte de gobiernos, individuos y ciudadanos a través de la acción colectiva (Tompkins y Adger 2004). El manejo adaptativo surge como una estrategia alternativa para la gestión de recursos naturales, que implica un proceso continuo de aprendizaje del sistema y sus respuestas a determinadas acciones (ver Thompson 2006, Tompkins y Adger 2004, Kelly y Adger 2000, Maciver y Dallmeir 2000). Para ello, es necesario reconocer la importancia del diseño —y re-diseño permanente— de medidas, la consulta y participación de actores claves, y la incorporación del conocimiento existente —modelando y analizando sus incertidumbres— (Walters 1986, Schreiber et ál. 2004). Además, este puede ser un proceso pasivo de aprendizaje basado en experiencias previas, pero idealmente debería procurarse procesos planeados para capitalizar los aprendizajes (Shea et ál. 2002). Los actores involucrados en las acciones de adaptación en la región manifiestan —a través del conjunto de acciones reportadas, entrevistas y participación en el foro electrónico— una gran expectativa por generar aprendizajes a partir de las acciones locales de adaptación promovidas desde numerosas iniciativas de la sociedad civil. El aprendizaje a partir de las experiencias existentes y de los diversos enfoques aplicados, ofrece oportunidades para comprender las diferentes etapas que involucran la adaptación al cambio climático.

Al aplicar un enfoque de manejo adaptativo, los mejores resultados se pueden alcanzar a través de un conjunto de pasos estructurados. El siguiente esquema –basado en Schreiber et ál. (2004)– propone los elementos claves del proceso de adaptación que conllevan a un manejo adaptativo en los cinco países de los Andes Tropicales (Figura 11); estos son: (1) una amplia colaboración y equidad en las relaciones de poder entre los actores involucrados para definir objetivos comunes, (2) modelar el conocimiento existente, evidenciando las fuentes de incertidumbre, (3) definir metas que respondan a los objetivos planteados con base en el conocimiento existente, (4) simular el efecto de diferentes opciones de manejo, incorporando el nivel de incertidumbre en el proceso de tomar

decisiones, (5) fortalecer el marco político-institucional para la implementación de medidas de manejo, (6) implementar medidas de adaptación seleccionadas, y por último (7) evaluar y monitorear los resultados de manejo en relación con objetivos específicos iniciales. El proceso de identificación y definición de objetivos de manejo (Pasos 1,2 3 y 4) es fundamental para los programas de manejo adaptativo, y es un proceso iterativo que se reajusta continuamente. Ello debe ser complementado por el fortalecimiento de los marcos políticos-institucionales, la implementación de las acciones, y el proceso de evaluación y monitoreo (Pasos 5, 6 y 7).

Dada su complejidad, los altos costos, y su continuidad en el largo plazo, la aplicación de este proceso en la práctica, muchas veces, se ha limitado a la ejecución de unos pocos elementos del ciclo, sin una revisión permanente de los objetivos, metas, medidas y políticas, basadas en evaluaciones y sistemas de monitoreo (Walters 1997, 2007, AEDA 2008). Sin embargo, la reducción de la vulnerabilidad en la región requiere de esfuerzos coordinados de los actores en un conjunto de temáticas claves que coinciden con el marco conceptual propuesto. Bajo este esquema, presentamos una serie de recomendaciones basadas en la discusión de

FIGURA 11. Esquema del proceso de adaptación bajo un enfoque de manejo adaptativo



Fuente: Schreiber et ál. (2004)

resultados y los aportes de los participantes del Foro Electrónico Panorama Andino 2010, que pueden contribuir a que las acciones de adaptación implementadas por la cooperación internacional en la región sean más efectivas, adaptadas al nuevo conocimiento y a las metas propuestas, y fomenten un proceso de aprendizaje entre múltiples actores.

Cabe mencionar que durante el proceso de recopilación de acciones de adaptación y los resultados de este estudio, se han evidenciado las dificultades para acceder a información —en particular financiera— sobre las acciones de adaptación al cambio climático impulsadas por la cooperación. La falta de información, en el marco de promover aprendizajes en la región, dificulta la comprensión de los procesos de colaboración entre actores en los cinco países de la región. En este sentido, los aprendizajes comunes entre actores deben partir de un flujo de información más dinámico, en donde el rol de los organismos regionales (e.g., CAN, CEPAL), junto con los programas nacionales de cambio climático de los países andinos (ver Maldonado et ál., capítulo 8, en esta publicación), pueden aportar en la sistematización de experiencias valiosas, así como en la articulación y definición de prioridades regionales.

DEFINIR OBJETIVOS COMUNES A TRAVÉS DE LA PARTICIPACIÓN DE ACTORES DEL ENTORNO INSTITUCIONAL

Entendiendo a la adaptación como un proceso —en la mayoría de casos a escala local— donde las instituciones influyen sobre las condiciones de vulnerabilidad y toman decisiones (Hallegate et ál. 2011, Agrawal 2008, Adger et ál. 2009), es necesario que las acciones de adaptación se desarrollen a partir de objetivos definidos y propuestos por la diversidad de actores. Este es un paso clave para promover acciones de adaptación en la región, estableciendo vínculos entre tomadores de decisión, investigadores y pobladores locales. La colaboración entre actores es esencial para asegurar la delimitación realista de los problemas, y la identificación de restricciones en posibles acciones, a pesar de las dificultades que implica promover la participación social, dada la compleja interacción de factores políticos, sociales y ecológicos (Schreiber et ál. 2004, Walters 1997, McLain y Lee 1996). En las acciones reportadas para los cinco países andinos, se percibe que el contexto local y su arquitectura institucional determinan, en gran medida, las posibilidades de éxito de las actividades planteadas, y que la concertación temprana de decisiones es clave para el éxito de la acción. Adicionalmente, la capacidad institucional de organizaciones locales es importante para mejorar el acceso a otros capitales, movilizandolos recursos humanos y técnicos, accediendo a recursos financieros e información, gestionando apoyos políticos y renegociando continuamente las relaciones con actores externos, incluido el Estado (Bebbington 1997, Perrault 2003, Bebbington y Perrault 1999), lo que puede traducirse en la inclusión de sus prioridades en el marco de planes de planificación territorial y de desarrollo.

MODELAR E INTEGRAR EL CONOCIMIENTO EXISTENTE, IDENTIFICANDO VACÍOS E INCERTIDUMBRE

La falta de información climática con predicciones confiables y los altos niveles de incertidumbre dificultan implementar estrategias más conscientes de a qué es necesario adaptarse, y por ende, proponer y diseñar medidas eficientes y equitativas de adaptación. En ese contexto, es necesario promover un proceso continuo de generación de conocimiento, que incluya investigación aplicada, enfocada en comprender los determinantes para la adopción de medidas de adaptación por parte de los pobladores locales, y para retroalimentar las metas y acciones de adaptación planteadas. Los procesos de generación de información que se están desarrollando en la región aportan —aunque de manera insuficiente— en la comprensión sobre el cambio climático, y es necesario fortalecer no solo su desarrollo sino su inclusión dentro de los procesos de toma de decisiones.

Algunas de las acciones reportadas en este estudio están orientadas al fortalecimiento de redes de trabajo, a pesar de que no se han identificado mecanismos específicos que fomenten el trabajo interinstitucional entre múltiples actores en el diseño e implementación de acciones en los cinco países andinos. Las redes de trabajo son instrumentos útiles para promover la cooperación y evitar la duplicación de esfuerzos. Las alianzas institucionales —como elemento para incrementar la capacidad adaptiva de las sociedades— son cruciales para facilitar la adaptación y pueden fortalecer procesos institucionales informales (Agrawal 2008). En este sentido, plataformas globales y grupos de trabajo promovidos desde la cooperación internacional son herramientas clave para fomentar el intercambio y la gestión de conocimientos a nivel de la región andina. (e.g., Donor Working Group on Environment, Energy, Climate Change and Disaster Risk Reduction promovido por USAID, Climate Change and Environment Network de COSUDE, Adaptation Learning Mechanism, entre otras). El fortalecimiento de capacidades y trabajo coordinado con los institutos nacionales de investigación cobra fuerza para la generación de escenarios de cambio climático localizados y análisis de vulnerabilidad más robustos. Teniendo en cuenta que las necesidades de información pueden ser diferentes dependiendo de los sectores o regiones consideradas, debe contemplarse un trabajo complementario entre los sectores público y privado (Hallegatte et ál. 2011). Además de ampliar el conocimiento, es necesario resolver las limitaciones de los mecanismos y medios comúnmente utilizados para dar a conocer la información existente, en particular a los pobladores locales, considerando que el cambio climático hace aún más compleja su realidad y exacerba problemas estructurales (ver Postigo et ál., capítulo 6, en esta publicación). Mejorar el conocimiento y su difusión es importante para permitir que las acciones diseñadas respondan de mejor forma a los factores de riesgo, exposición y sensibilidad, que afectan diferenciadamente distintas sub-regiones y comunidades.

Además de la evidencia científica y el reconocimiento de los esfuerzos necesarios para su fortalecimiento y adecuada difusión, es importante reconocer la

relevancia y validez del conocimiento tradicional para la definición de estrategias de adaptación al cambio climático y de reducción de riesgos frente a desastres, a escala local (Torres y Gómez 2009, Berman y Kofinas 2004). Las recomendaciones del foro electrónico sugieren que los procesos de diseño e implementación de acciones de adaptación al cambio climático deben incorporar el conocimiento local como una alternativa para fortalecer las acciones de adaptación, completándose con medidas, estrategias y tecnologías externas. Especialmente en el ámbito rural andino, la adaptación al cambio climático es una temática propicia —aunque implica una tarea compleja— para generar un diálogo de saberes entre el conocimiento tradicional y las prácticas ancestrales locales, y el conocimiento técnico-científico, como base para construir nuevos conocimientos y prácticas (Doornbos 2009a, 2009b).

ESTABLECER METAS EN BASE A LOS RECURSOS Y CONOCIMIENTOS DISPONIBLES A DIFERENTES ESCALAS

La escala de trabajo es un factor determinante en la definición de las metas de adaptación, si se tiene en cuenta que las decisiones de adaptación pueden ser diversas y contradictorias entre escalas micro y macro y sectores (Adger et ál. 2009). Cada escala —desde la familia, comunidad, provincia, país, región, etc.— requiere de metodologías apropiadas que permitan elegir entre diferentes opciones de manejo y diferentes estrategias de intervención, evaluando hipótesis en horizontes de tiempo específicos y bajo niveles de incertidumbre (Schreiber et ál. 2004). En el marco de vulnerabilidad al cambio climático, las interacciones entre varios tipos de exposiciones, sensibilidades y capacidades adaptativas a lo largo del tiempo, implican una dimensión dinámica e inherentemente diferencial a las condiciones geográficas y de escala; es decir, que varía dependiendo de la unidad de análisis. Este es un desafío adicional para la definición de metas, evaluación de su cumplimiento, y una gran limitación en el proceso de réplica y escalabilidad.

Dentro de las metas establecidas en los Andes Tropicales, se han priorizado los temas de desarrollo de capacidades en la gestión de los recursos hídricos y sistemas productivos; seguramente, como consecuencia de una mayor demanda para llevar a cabo medidas concretas en campo, fruto de la percepción colectiva sobre los impactos del cambio climático en la provisión y abastecimiento de agua (Murtinho 2010). En cuanto a biodiversidad, la definición de metas de adaptación es menos evidente, lo que puede estar influenciado por la incertidumbre sobre los efectos potenciales del cambio climático en los sistemas naturales, y la necesidad o expectativa de mejorar el conocimiento a través de la investigación y el monitoreo (Báez et ál. 2011). En gran medida, las metas planteadas responden más a la coyuntura regional y global, que a una estrategia planificada, informada, medible y verificable por parte de los Estados y cooperantes. Conforme se avance en la sistematización de experiencias, generación de conocimiento y

movilización de recursos —financieros y técnicos— en la región, se esperaría que las metas establecidas por cada eje temático evolucionen hacia una propuesta más estratégica, que se relacione con los objetivos concertados entre los actores, y sea verificable y ajustada a escalas específicas. Adicionalmente, el conjunto de objetivos y metas podría ser mejorado, incluyendo explícitamente límites aceptables de incertidumbre respecto al cumplimiento de metas y medición de sus indicadores (AEDA 2008).

IDENTIFICAR MEDIDAS DE ADAPTACIÓN E IMPLEMENTARLAS

La gran variedad de alternativas de manejo para hacer frente al cambio climático y reducir la vulnerabilidad, obliga a que las medidas sean identificadas, evaluadas y, a la luz de su contribución a los objetivos planteados, sean redefinidas. A pesar de que, en muchos casos, los manejadores y tomadores de decisión son renuentes a incorporar mecanismos de evaluación en los procesos de manejo, las diferentes opciones de acciones y estrategias implementadas ayudan a comprobar hipótesis sobre cuál es el manejo más efectivo (Schreiber et ál. 2004). Esto implica que a lo largo del tiempo, se debe reconsiderar la aplicación de ciertas medidas frente a otras. Al registrar casos de éxito y fallas de diferentes acciones de adaptación, las instituciones pueden identificar medidas y políticas eficientes, efectivas y equitativas, permitiendo desarrollar políticas y medidas de adaptación más robustas bajo el enfoque de manejo adaptativo (Preston et ál. 2009).

Adicionalmente, la implementación de estrategias robustas de adaptación involucra que los tomadores de decisión examinen el desempeño de sus estrategias sobre la base de futuros plausibles, que incluyen niveles de incertidumbre respecto al clima futuro y otros factores económicos, políticos y culturales, así como nueva información disponible (Adger et ál. 2009). Una parte del nivel de incertidumbre puede reducirse a través de la generación de conocimiento; sin embargo, existe un componente que es inherente a la variabilidad climática y ambiental (Schreiber et ál. 2004). La incertidumbre debe ser incorporada —y no ignorada— dentro de los procesos de toma de decisiones para evitar, por ejemplo, que los modelos —que incluyen un nivel de incertidumbre alto— sean asumidos por los tomadores de decisión como predicciones certeras, y que, en función de ello, se implementen estrategias de adaptación sin consideración de su contexto específico.

Por último, las recomendaciones del foro electrónico sugieren definir estrategias y programas que aseguren la sostenibilidad de las inversiones y resultados obtenidos por parte de los proyectos piloto en implementación. Esto incluye, vincular de mejor manera la inversión de la cooperación con la inversión de los Estados; la integración de ambas fuentes de financiamiento será clave para reducir la brecha de inversión en la región y, en ciertos casos, promover nuevos mecanismos de financiamiento.

FORTALECER EL MARCO POLÍTICO-INSTITUCIONAL ARTICULANDO ACCIONES DE ADAPTACIÓN CON LAS HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

Tradicionalmente la interdependencia de los procesos de desarrollo y de adaptación no ha sido considerada, y se subestima el hecho de que la vulnerabilidad no es solo provocada por los impactos del cambio climático, sino que es también determinada por otros factores estructurales como salud, educación, pobreza, marginalización, y otras circunstancias socio-ambientales (Klein y Persson 2008). Por ello, la articulación de las acciones de adaptación con las herramientas de planificación y desarrollo a distintos niveles, es un factor crítico en la región.

En general, en la región aún se observa una institucionalidad sin un enfoque apropiado para el desarrollo de estructuras que respondan a nuevos desafíos como el cambio climático. A juicio de los participantes del foro, las principales deficiencias de la planificación tradicional respecto a acciones de adaptación se relacionan con: (i) el largo horizonte temporal que implica el cambio climático, (ii) la diversidad de impactos potenciales y su nivel de incertidumbre, y (iii) la complejidad de la interacción entre determinantes sociales, económicos, políticos y ambientales, que limitan el desarrollo de medidas de adaptación efectivas. Estos retos deben ser asumidos por los cinco países de la región, a fin de maximizar beneficios colaterales de la adaptación al cambio climático y el desarrollo. Se debe propiciar el establecimiento de una continuidad en los procesos de planificación e implementación de las acciones, insertándose dentro de las herramientas de gestión a distintas escalas. Por ejemplo, a escala local, la articulación de las acciones de adaptación con los planes de desarrollo o planes de vida de las comunidades rurales en los Andes resulta clave para generar mayor apropiación entre la población.

El papel de los Estados de proveer un marco regulatorio apropiado que oriente a los diferentes sectores a planificar y movilizarse para responder al cambio climático es fundamental (Giddens 2008, Hallegate 2011). Se debe promover la inclusión de la temática en otros sectores fuera del ambiental (e.g., recursos hídricos, seguridad alimentaria, forestal, minero), precisando que el cambio climático supone retos y oportunidades para el logro de los objetivos de desarrollo específicos para cada sector. La transversalización del tema en políticas nacionales y sub-nacionales, no debe implicar el debilitamiento de la autoridad ambiental en los países de la región; al contrario, esta debe comprometer su liderazgo para insertar la temática en la agenda de múltiples sectores.

MONITOREO, EVALUACIÓN Y ESCALABILIDAD DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN

Los esfuerzos de adaptación en la región deben ser evaluados en términos de su efectividad y equidad, más allá de su mera implementación. Para ello, las acciones deben contar con una línea base como punto de referencia, considerando que ésta sea flexible para permitir ajustes del escenario inicial por lo menos cada 3 a 5 años, y tomando en cuenta: (i) las tendencias del CCUT en áreas de referencia definidas, como un factor preponderante de degradación ambiental en los Andes, (ii) el impacto de cambios en el entorno económico de la acción implementada, (iii) el impacto de los instrumentos normativos o programas gubernamentales (sobre todo en el ámbito nacional o regional), y (iv) otros factores presentados durante la implementación de las acciones. Se recomienda la definición de indicadores medibles y verificables que permitan el cumplimiento de metas u objetivos para la evaluación de los impactos de la adaptación. El proceso de evaluación y monitoreo debe ser parte de un proceso de fortalecimiento de capacidades, propiciando la apropiación de las actividades de monitoreo por parte de los actores locales.


Sin embargo, el monitoreo efectivo de acciones de adaptación implica superar un conjunto de retos y limitaciones vinculados a: (i) diferentes temporalidades en cuanto a la medición de los efectos de la adaptación y la corta duración de los proyectos, aspecto clave si se considera que la vida de un proyecto de la cooperación no supera normalmente los cuatro años mientras que los impactos de las iniciativas de adaptación se evidencian en el mediano y largo plazo, (ii) carencia de una métrica universal para medir la adaptación, (iii) compleja relación entre las acciones más “tradicionales” de la cooperación para el desarrollo y las acciones de adaptación, (iv) enfoque intersectorial del proceso de adaptación y la compleja arquitectura institucional que implica su implementación, incluidos los numerosos instrumentos de desarrollo (e.g., planes locales, regionales de desarrollo) con los cuales se relacionan, (v) dinamismo y flexibilidad para adecuar información generada durante el proceso de implementación, e (vi) incertidumbre asociada con la variabilidad climática y el cambio climático (Frankel-Reed 2008, Prowse 2009, CMNUCC 2010).

En este contexto, uno de los resultados más importantes del monitoreo, además de favorecer procesos de manejo adaptativo, es brindar posibilidades de réplica o escalabilidad de las acciones. Los resultados de este estudio evidencian el interés por parte de financiadores e implementadores en promover actividades piloto que permitan la experimentación y el aprendizaje, y que puedan ser replicadas o trasladarse a escalas más amplias de acción, creando un escenario simultáneo de preparación y aprendizaje en las diferentes escalas. Más allá del estado incipiente en la implementación y sistematización de experiencias sobre adaptación en múltiples escalas, el hecho de que la efectividad de las medidas de adaptación dependa en gran medida del contexto local, condiciona la factibilidad de réplica y escalabilidad de las mismas. Basado en los aportes de los participantes del foro

electrónico, los principales factores que favorecen la réplica o escalabilidad de las acciones en marcha son:

- Contar con experiencias sistematizadas (y lecciones aprendidas) del proceso de adaptación, basados en una apertura al diálogo intersectorial e intercultural.
- Contar con un sistema de evaluación y monitoreo de impactos que incluya indicadores adecuados para la medición del progreso hacia la adaptación y mitigación.
- Promover medidas locales que sean internalizadas por las comunidades a través de fomentar y fortalecer el empoderamiento de las mismas.
- Articular el conocimiento local y el conocimiento científico, promoviendo la participación y liderazgo comunitario, e integrando la ciencia en la política.





Marco institucional y normativo en los países de la subregión andina para abordar el tema de cambio climático en el marco de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático

GABRIELA MALDONADO¹
MARÍA TERESA BECERRA²
FRANCISCO CUESTA³

¹Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos - CONDESAN ✉ gabriela.maldonado@condesan.org

²Secretaría General de la Comunidad Andina - SGCAN

³Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos - CONDESAN

RESUMEN

Los Países de la Comunidad Andina progresivamente han incluido el tema de cambio climático en sus agendas nacionales y regionales. En la década de los noventa, y acompañados por el apoyo técnico y financiero de organismos multilaterales y de cooperación, en los cuatro países surgen los primeros esfuerzos de fortalecimiento institucional enfocados en la autoridad ambiental de cada país, e inicia la preparación de estrategias, planes y proyectos, en respuesta a los compromisos adquiridos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y las Conferencias de las Partes (COP), así como el Protocolo de Kioto, con un énfasis en los temas de mitigación.

La evolución del marco político e institucional sobre cambio climático en los cuatro países presenta procesos de re-organización de la institucionalidad pública, generación de información, e implementación de instrumentos de política, que incorporan progresivamente los temas de adaptación y acciones autónomas, en respuesta a las prioridades y contextos nacionales. El estudio evidencia esfuerzos recientes de los Estados por incorporar al cambio climático en políticas agregadas, sentando las bases para una articulación del tema a contextos más relevantes de integración y planificación. Persiste, sin embargo, la necesidad de incorporar criterios de transversalidad e intersectorialidad en la gestión pública del cambio climático, que partan de un reconocimiento de la trascendencia del fenómeno para las actividades socioeconómicas de los países, y que operativice acciones de forma coordinada.

La evolución del tema en la agenda pública de los cuatro países trasciende a los organismos intergubernamentales, haciendo que la mitigación y adaptación al

cambio climático se incorporen como asuntos de importancia en las agendas de cooperación entre países, para la consolidación de posiciones conjuntas y la implementación de acciones mancomunadas. En este sentido, los países andinos han establecido durante la última década mecanismos legales e institucionales especiales para fortalecer la cooperación regional en este tema.

INTRODUCCIÓN

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) es un acuerdo multilateral internacional sobre medio ambiente, cuyo período de suscripción se remite a la firma de los Estados en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, Brasil en 1992. La Convención entró en vigencia en marzo de 1994, luego de la ratificación de 50 de los 192 Estados que actualmente la han ratificado.

En el marco de la CMNUCC, los Estados se plantearon como objetivo lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente que permita a los ecosistemas adaptarse naturalmente a la variabilidad climática provocada por las emisiones de GEI, y asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible (Naciones Unidas 1992).



Considerando el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, la Convención prevé compromisos generales aplicables a todos los países suscriptores; y disposiciones particulares para los países desarrollados y las economías en transición, así como para los países en vías de desarrollo.

La Convención *per se* no establece límites de emisiones de GEI y tampoco cuenta con mecanismos jurídicos que garanticen su cumplimiento; sin embargo, el tratado abre la posibilidad de generar instrumentos más específicos para controlar el nivel de emisiones. Es así que las Partes acordaron la negociación del Protocolo de Kioto —al amparo de la Convención— que establece compromisos cuantificados y diferenciados de reducción de emisiones; el mismo que se dispusiera para la firma de los Estados en 1998 y que entró en vigor en el 2005.

Los acuerdos alcanzados en la Convención para la provisión de recursos financieros a fin de facilitar el cumplimiento de las obligaciones adquiridas por los países en desarrollo, estipularon inicialmente el financiamiento por parte de los países desarrollados a través de proyectos de reducción de emisiones de GEI (o de aumento de la capacidad de los sumideros), y proyectos de transferencia tecnológica. Se acordó que los recursos aportados por los países desarrollados serían adicionales a los que se aportan como ayudas al desarrollo, y se estableció como ente responsable de manejar estos recursos financieros al Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF por sus siglas en inglés).

En mayor o menor medida, los gobiernos de todos los países de América Latina han hecho esfuerzos durante la última década para reforzar sus políticas ambientales a través de diversas iniciativas legales, técnicas, institucionales y económicas. En los últimos años se evidenció en América Latina la incorporación de nuevas funciones dentro de la institucionalidad pública, como respuesta a la necesidad de fortalecer el sistema de conservación y manejo sustentable de su patrimonio natural, para dar así cumplimiento a distintos compromisos internacionales, incluida la CMNUCC (Rodríguez Becerra y Mace 2009).

Los Países Miembro de la Comunidad Andina (CAN) suscribieron la CMNUCC, y ratificaron el Protocolo de Kioto, de forma individual. En respuesta a los compromisos internacionales adquiridos en este contexto —y a pesar de ser aportantes mínimos de GEI—, los cuatro países han incluido progresivamente la temática dentro de sus agendas nacionales y regionales, en sus planes nacionales de desarrollo, y han logrado avances importantes en cuanto al fortalecimiento institucional y la preparación de instrumentos de política, de acuerdo a sus características y contextos nacionales.

Este documento describe los avances de los Países Miembros de la CAN en respuesta a los compromisos adquiridos de conformidad con la CMNUCC, con particular atención a su institucionalidad y las políticas nacionales explícitas sobre cambio climático. Los objetivos, principios, criterios y orientaciones de las políticas públicas nacionales sobre cambio climático planteadas por los Estados impulsan procesos y formas de gestión del tema en cada país (Rodríguez Becerra y

Espinoza 2002). Estas políticas, al ser expresadas mediante estrategias, planes y proyectos, se constituyen en las agendas de trabajo a escala nacional en respuesta al cambio climático. La información presentada en este documento busca, por lo tanto, contribuir a un mejor entendimiento de los procesos en marcha a escala nacional, en los países de la subregión andina, así como su apoyo a la gestión pública, y la promoción y articulación de las acciones de la sociedad civil con los planes, políticas y estrategias planteadas por los Estados.

MÉTODOS

El estudio abarcó los cuatro Países Miembros de la CAN: Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. El trabajo se enfocó en la revisión de información, y consultas con expertos y funcionarios de los cuatro países (i.e. subregión andina), sobre los marcos normativos e institucionales vigentes durante el período comprendido entre 1994 —fecha de ratificación de la CMNUCC— y el año 2010.

La búsqueda se focalizó en las instituciones del Poder Ejecutivo responsables del tema de cambio climático a escala nacional, e incluyó la revisión de documentos de política, estrategias y planes de trabajo emitidos por los países, así como las comunicaciones nacionales presentadas por cada país ante la CMNUCC. Adicionalmente, se revisaron documentos y estudios de síntesis sobre el estado de la problemática de cambio climático en Latinoamérica y la región andina. Con base en la información recopilada, se identificaron los principales hitos que marcan la evolución de la institucionalidad al abordar la temática del cambio climático en los cuatro países, así como los instrumentos relacionados con el tema, que guían la política a nivel nacional. Adicionalmente, el estudio consideró los avances regionales en el marco de la Comunidad Andina y otras organizaciones intergubernamentales, a través de las cuales los países andinos coordinan sus acciones y políticas sectoriales.

El estudio no incluye información sobre recursos financieros y humanos asignados por los Estados para dar viabilidad o sostenibilidad a la institucionalidad y políticas sobre cambio climático, ni leyes y arreglos institucionales sectoriales a escala nacional, en los cuales se ha incorporado de manera directa o indirecta el tema; por ejemplo, políticas nacionales en materia de agricultura, energía, recursos naturales renovables (e.g., agua), entre otros. Tampoco aborda la normatividad existente a escala local, ni la capacidad institucional de los gobiernos seccionales para abordar la problemática del cambio climático.

RESULTADOS

PRINCIPALES HITOS DE LAS NEGOCIACIONES INTERNACIONALES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

El desarrollo de estudios y evidencias científicas sobre los efectos de los GEI emitidos por actividades humanas sobre el sistema global de clima, propició la creación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en 1988. El primer reporte del IPCC, generado en 1990, articuló el estado del arte sobre el cambio climático en cuanto a la evidencia climática, los impactos ambientales y socioeconómicos, y las estrategias de respuesta. Esto sirvió de base para la creación del Comité Intergubernamental de Negociación (CIN), el cual presentó el proyecto de texto de la CMNUCC que entró en vigor en 1994. A partir de 1995, cada año los gobiernos de los países signatarios participan de los procesos de negociación en lo que se denomina la Conferencia de las Partes (COP por sus siglas en inglés), a partir de la cual se puede identificar un conjunto de hitos en el marco de la CMNUCC (Tabla 1). Durante la Primera Conferencia de las Partes (COP 1), realizada en Alemania en 1995, se inició el proceso de implementación de la Convención. En aras de lograr objetivos cuantitativos que contribuyan con la disminución de GEI, durante esta reunión se decide iniciar el proceso de negociación para la expedición de un Protocolo que defina compromisos explícitos para las Partes.

En 1997, durante la COP 3 realizada en Kioto (Japón), se acordó el protocolo bajo el cual los países miembros asumieron compromisos puntuales para la disminución de GEI, y cuya entrada en vigor dependería de la ratificación de 55 Estados Parte, la mitad de ellos pertenecientes al Anexo I¹. Sobre la base del Protocolo de Kioto, las negociaciones se enfocaron en mecanismos para su implementación, con prioridad en el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL).

Complementariamente, en el 2001, bajo los Acuerdos de Marrakech (COP 7), se definió un marco más amplio de acción para el fortalecimiento de capacidades, sujeto a la aplicación de la Convención, y la participación efectiva de todas las Partes en el proceso del Protocolo de Kioto. Los Acuerdos de Marrakech enfatizan sobre el tema de adaptación en las políticas internacionales sobre cambio climático que, hasta ese entonces, estaban casi exclusivamente enfocadas en mecanismos de mitigación. Se establece un claro vínculo entre la adaptación y los contextos de desarrollo de los países, que se traduce en la creación de tres fondos de

¹ Las Partes Anexo I, incluye los países industrializados miembros de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD) hasta 1992, y a aquellos países con economías en transición (países de Europa Central o del Este y antiguas repúblicas soviéticas). Estos países adquirieron compromisos cuantitativos respecto a la disminución del nivel de emisiones de GEI.

asistencia para la adaptación en los países en desarrollo² (Ayers y Dodman 2010). A partir de estos acuerdos, la relevancia de la adaptación como una política efectiva de respuesta al cambio climático se incrementa, y se cataliza la creación de proyectos y programas de adaptación en los países en desarrollo (Schipper 2006). Con los avances obtenidos en la COP 10, realizada en Buenos Aires en el 2004, se acordó el Programa de Trabajo de Buenos Aires con el objetivo de fortalecer las medidas de adaptación. El programa incluye disposiciones para mejorar el conocimiento, analizar la vulnerabilidad y apoyar financieramente la adaptación en países en desarrollo, fortaleciendo las disposiciones para la implementación de la Convención definidas en el marco de los Acuerdos de Marrakech.

Teniendo en cuenta la entrada en vigor del Protocolo de Kioto en el 2004, durante la COP 11 celebrada en Montreal (2005) se resuelve entablar un diálogo —sin perjuicio de cualquier negociación, compromiso, proceso, marco o mandato futuros en relación con la Convención— con el fin de intercambiar experiencias y analizar los enfoques estratégicos para una cooperación a largo plazo, destinada a hacer frente al cambio climático. Es así como se desarrolló la primera sesión de las Partes en el marco del Protocolo de Kioto, en la que se decidió confirmar y hacer plenamente efectivas todas las medidas adoptadas de conformidad con la Decisión 17/COP.7 sobre modalidades y procedimientos del MDL.

El Plan de Acción de Bali acordado en la COP 13 marca el inicio de la última fase de negociaciones en el marco de la CMNUCC, en la medida que plantea iniciar un proceso global que permita la aplicación plena, eficaz y sostenida de la Convención, mediante una cooperación a largo plazo que se prolongue más allá de 2012; establece además la necesidad de plantear incentivos y políticas para la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y degradación en los bosques de los países en desarrollo (REDD). Con esta motivación, en Bali se acordó la puesta en funcionamiento del Fondo de Adaptación para apoyar a los países en desarrollo particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático (e.g., Estados Isla No Anexo 1).

En el 2009, durante la COP 15 celebrada en Copenhague, se suscribe el Acuerdo de Copenhague entre 25 de los 190 países representados en la Convención. El Acuerdo destaca la necesidad de reducciones significativas en las emisiones globales de GEI, a fin de mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de 2°C, y se propone tomar medidas para cumplir este objetivo. Este acuerdo establece además, nuevos compromisos financieros de los países desarrollados para el apoyo a iniciativas de mitigación impulsadas por los países en vías de desarrollo, especialmente aquellas enfocadas en REDD, adaptación, desarrollo y transferencia de tecnología, y el fortalecimiento de capacidades para la aplicación de la Convención. Al no contar con el consenso de la Convención, el Acuerdo de Copenhague no es adoptado como decisión; a esto se sumó la impugnación

² Los fondos son: el Fondo Especial para los Cambios Climáticos, el Fondo para los Países Menos Desarrollados, y el Fondo de Adaptación bajo el Protocolo de Kioto, todos administrados por GEF como canalizador de los aportes de los países desarrollados.

de sus resultados, por parte de varios países en desarrollo entre los que figuran Ecuador y Bolivia (Honty 2010).

Las posiciones encontradas de los países en desarrollo y los países desarrollados en cuanto a la definición de un nuevo acuerdo climático que establezca nuevos compromisos de reducción de emisiones, han dificultado las últimas negociaciones en el marco de la CMNUCC. Sobresale sin embargo, como uno de los principales resultados de la COP 17 celebrada en Durbán en 2011, la creación de la denominada Plataforma de Durbán, encargada de desarrollar hasta el 2015 un nuevo instrumento con fuerza legal, que establecerá compromisos de reducción de emisiones a partir del 2020, tanto para los países desarrollados como para los países en desarrollo. Otros temas importantes en los cuales se alcanzó decisiones en la COP 17 incluyen el lanzamiento del Fondo Verde Climático, como la entidad operacional del mecanismo financiero de la convención, y avances en la definición de salvaguardas y niveles de referencia para el mecanismo REDD.

CRONOLOGÍA DE LAS NEGOCIACIONES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO DESDE LA CUMBRE DE LA TIERRA EN RÍO DE JANEIRO EN 1992, EN EL CONTEXTO DE LA CMNUCC

| Año | Evento | Resultados principales |
|------|---|--|
| 1992 | Proyecto de texto de la Convención sobre Cambio Climático. Primera Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. | Luego de cinco períodos de sesiones, el Comité Intergubernamental de Negociación (CIN) presentó el proyecto de texto de la Convención. |
| 1994 | Entrada en vigor del CMNUCC. | La Convención entra en vigor con la ratificación de 50 países. |
| 1995 | COP 1 CMNUCC (Berlín, Alemania) | Mandato de Berlín: Evaluación de acuerdos para la negociación de un Protocolo que defina compromisos cuantitativos. |
| 1996 | COP 2 CMNUCC (Ginebra, Suiza) | Inicio de la negociación del Protocolo, de acuerdo con el Mandato de Berlín. |
| 1997 | COP 3 CMNUCC (Kioto, Japón) | Se pone a consideración la propuesta del Protocolo. |
| 1998 | COP 4 CMNUCC (Buenos Aires, Argentina) | Plan de Acción de Buenos Aires: se prevé un mecanismo financiero que apoye a los países en desarrollo. Protocolo de Kioto abierto a la firma y ratificación de las partes de la CMNUCC. |
| 1999 | COP 5 CMNUCC (Bonn, Alemania) | Mecanismos de implementación del Plan de Acción de Buenos Aires. Decisiones sobre el fortalecimiento de capacidades, y desarrollo/ transferencia de tecnología para países en desarrollo. |

| Año | Evento | Resultados principales |
|------|---|--|
| 2000 | COP 6 CMNUCC (La Haya, Holanda - Bonn, Alemania) | Acuerdos de Bonn: mayor compromiso sobre transferencias financieras entre países desarrollados y países en desarrollo; y una arquitectura más flexible en materia de comercio internacional de emisiones. |
| 2001 | COP 7 CMNUCC (Marrakech - Marruecos) | Acuerdos de Marrakech: se define un marco guía para el fomento de capacidades para la aplicación de la Convención y la participación efectiva en el proceso del Protocolo de Kioto. Creación de tres nuevos fondos de asistencia para la adaptación en países en desarrollo. |
| 2002 | COP 8 CMNUCC (Nueva Delhi - India) | Declaración de Nueva Delhi: disponen acciones para asegurar que los retos que impone el cambio climático se afronten en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. |
| 2003 | COP 9 CMNUCC (Milán - Italia) | Seguimiento a acciones sobre mecanismos financieros, comunicaciones nacionales e inventarios de GEI. Publicación de buenas prácticas en uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. |
| 2004 | COP 10 CMNUCC (Buenos Aires - Argentina) | Programa de Trabajo de Buenos Aires sobre medidas de adaptación y de respuesta. Protocolo de Kioto entra en vigor con la ratificación de la Federación Rusa. |

| Año | Evento | Resultados principales |
|------|--------------------------------------|--|
| 2005 | COP 11 CMNUCC (Montreal - Canadá) | Intercambio de experiencias y análisis de los enfoques para una cooperación a largo plazo. 1ra Reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto Primera sesión de las Partes en el Protocolo de Kioto sobre modalidades y procedimientos del MDL. Coalición de Naciones de la Selva Tropical presenta propuesta REDD. |
| 2006 | COP 12 CMNUCC (Nairobi - Kenia) | Orientaciones al Fondo Especial para el Cambio Climático en financiamiento de actividades, programas y medidas complementarias a las financiadas por el GEF y otros fondos bilaterales y multilaterales. 2da Reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto |
| 2007 | COP 13 CMNUCC (Bali- Indonesia) | Plan de Acción de Bali: para iniciar un proceso global que permita la aplicación plena, eficaz y sostenida de la Convención mediante una cooperación a largo plazo. 3ra Reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto Funcionamiento del Fondo de Adaptación para apoyar a los países en desarrollo. Planteamiento de la necesidad de incentivos y políticas para el desarrollo de acciones REDD. |
| 2008 | COP 14 CMNUCC (Poznan - Polonia) | Seguimiento a Grupo de Trabajo Especial sobre la cooperación a largo plazo de acuerdo con el Plan de Acción de Bali, 4ta reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto Disposiciones para el Fondo de Adaptación. |

| Año | Evento | Resultados principales |
|------|---|---|
| 2009 | COP 15 CMNUCC (Copenhague, Dinamarca) 5ta Reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto | Prórroga del mandato del Grupo de Trabajo Especial sobre la cooperación a largo plazo, y el Grupo de Trabajo Especial sobre los nuevos compromisos de las Partes del Anexo I. Acuerdo de Copenhague: suscrito por 25 países. Destaca la necesidad de fuertes reducciones de las emisiones mundiales. Compromisos financieros de apoyo a iniciativas REDD+, adaptación, tecnología, fortalecimiento de capacidades. |
| 2010 | COP 16 CMNUCC (Cancún, México) 6ta Reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto | Acuerdos de Cancún sobre compromisos post-2012: creación de un mecanismo que facilitará el acceso a tecnologías verdes para países en desarrollo. Adopción de mecanismos para implementar iniciativas REDD+. |
| 2011 | COP 17 CMNUCC (Durbán, Sudáfrica) 7ma Reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto. | Creación de la Plataforma de Durbán para el desarrollo de un nuevo instrumento legal para la reducción de emisiones. Lanzamiento de Fondo Verde Climático. |

DESCRIPCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA TEMÁTICA DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PAÍSES DE LA SUBREGIÓN ANDINA

Los Países Miembros de la Comunidad Andina han realizado diferentes acciones de fortalecimiento institucional y desarrollo de políticas públicas para abordar el tema de cambio climático en el marco de la CMNUCC y el Protocolo de Kioto (Tabla 2). Actualmente estos esfuerzos se han plasmado en un conjunto de marcos institucionales y normativos que crean un ámbito de trabajo tendiente a la gestión integral e intersectorial del cambio climático a escala nacional y subregional.

En las secciones siguientes, se presenta una descripción de los principales avances de los cuatro países en cuanto a su evolución institucional, creación de instrumentos normativos y la presentación de las comunicaciones nacionales ante la CMNUCC.

PRINCIPALES MECANISMOS E INSTRUMENTOS DE POLÍTICA DESARROLLADOS EN LOS 4 PAÍSES DE LA SUBREGIÓN EN RESPUESTA A LA CMNUCC

| Año | Bolivia | Colombia | Ecuador | Perú |
|------|---|--|---|--|
| 1993 | | | <ul style="list-style-type: none"> • Ratificación de la CMNUCC (Decreto Ejecutivo No. 2148 y Resolución Legislativa de 22 de agosto de 1994). • Inicio del Proceso del Cambio Climático en Ecuador (PCCE) | <ul style="list-style-type: none"> • Ratificación de la CMNUCC (Ley No. 26185). • Creación de la Comisión Nacional sobre Cambio Climático (CNCC) (Resolución Suprema N° 359-93-RE) |
| 1994 | <ul style="list-style-type: none"> • Ratificación de la CMNUCC (Ley N° 1576) | <ul style="list-style-type: none"> • Ratificación de la CMNUCC (Ley 164) • Inicio actividad Punto focal Ministerio de Medio Ambiente | | |
| 1995 | <ul style="list-style-type: none"> • Creación del Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC). | | | |
| 1996 | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Creación de la Unidad de Cambio Climático y Calidad del Aire del CONAM. |
| 1999 | <ul style="list-style-type: none"> • Ratificación del Protocolo de Kioto (Ley 1988) • Creación del Consejo Interinstitucional del Cambio Climático (CICC) (Decreto Supremo No. 25558) | | <ul style="list-style-type: none"> • Conformación oficial del Comité Nacional del Clima (CNC) (Decreto Ejecutivo No.1101). • Ratificación del Protocolo de Kioto (Resolución Legislativa 6 de octubre de 1999). | |
| 2000 | <ul style="list-style-type: none"> • Presentación de Primera Comunicación Nacional ante la CMNUCC | <ul style="list-style-type: none"> • Ratificación del Protocolo de Kioto (Ley 629) • Elaboración de la Estrategia para el MDL. | <ul style="list-style-type: none"> • Creación Unidad de Cambio Climático del MAE . • Presentación de la Primera Comunicación Nacional ante la CMNUCC | |
| 2001 | | <ul style="list-style-type: none"> • Presentación de Primera Comunicación Nacional ante la CMNUCC. | <ul style="list-style-type: none"> • Aprobación del Plan de Acción del Comité Nacional del Clima. • Creación del CORDELIM | <ul style="list-style-type: none"> • Presentación de Primera Comunicación Nacional ante la CMNUCC. |

| Año | Bolivia | Colombia | Ecuador | Perú |
|------|---|--|--|---|
| 2002 | <ul style="list-style-type: none"> • Aprobación de la Estrategia Nacional de Implementación de la CMNUCC. • Aprobación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático • Creación de la Oficina de Desarrollo Limpio (Resolución Administrativa 20/02) | <ul style="list-style-type: none"> • Aprobación de Lineamientos de Política de Cambio Climático. • Aprobación de Incentivos tributarios para la reducción de emisiones de GEI (Ley 788) • Creación de la Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático. | | <ul style="list-style-type: none"> • Ratificación del Protocolo de Kioto (Ley N° 27824). • Presentación de Procedimiento de Evaluación Proyectos MDL. |
| 2003 | | <ul style="list-style-type: none"> • Aprobación de la Estrategia Nacional para la venta de servicios ambientales de mitigación (CONPES 3242). | | <ul style="list-style-type: none"> • Aprobación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático ENCC (Decreto Supremo 086-2003-PC). |
| 2004 | <ul style="list-style-type: none"> • Presentación del Plan de Acción Quinquenal del Programa Nacional de Cambio Climático. | <ul style="list-style-type: none"> • Aprobación del Procedimiento para la aprobación nacional de proyectos MDL (Resolución Ministerial 0453). • Creación del Comité Técnico Intersectorial de Mitigación del Cambio Climático (Resolución 0454). | | |
| 2005 | | <ul style="list-style-type: none"> • Creación del Grupo de Mitigación del Cambio Climático (Resolución Ministerial No. 0340). • Designación de IDEAM como institución coordinadora de elaboración Comunicaciones Nacionales ante la CMNUCC y asesora técnica en las negociaciones internacionales (Decreto 291). | <ul style="list-style-type: none"> • Presentación del Procedimiento para aprobación de proyectos MDL. | |
| 2006 | <ul style="list-style-type: none"> • Aprobación de Estrategia de Mitigación al Cambio Climático. • Aprobación del Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático. | | | |

| Año | Bolivia | Colombia | Ecuador | Perú |
|------|---|---|---|---|
| 2007 | | <ul style="list-style-type: none"> Aprobación del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010 que incluye problemática de cambio climático. | <ul style="list-style-type: none"> Lanzamiento de la Iniciativa Yasuní – ITT. | |
| 2008 | | | <ul style="list-style-type: none"> Creación del Programa Socio Bosque. Creación de la Dirección Nacional de Cambio Climático, Producción y Consumo Sustentable del MAE. | <ul style="list-style-type: none"> Creación del MINAM – Dirección General de Cambio Climático (Decreto Legislativo N° 1013). Designación del MINAM como punto focal y AND para MDL (Decreto Supremo N° 095-2002). |
| 2009 | <ul style="list-style-type: none"> Presentación de Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC. Presentación de la Estrategia Nacional de Educación y Comunicación. Creación del Ministerio del Agua y Medio Ambiente – Viceministerio de Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y Gestión del Desarrollo Forestal (Decreto Supremo N° 29894). | | <ul style="list-style-type: none"> MAE adquiere facultades para la formulación y ejecución de la ENCC (Decreto Ejecutivo 1815). Creación de Subsecretaría de Cambio Climático del MAE (Decreto Ejecutivo N° 104). | <ul style="list-style-type: none"> Reforma a la constitución y funciones de la Comisión Nacional de Cambio Climático (inicio de funcionamiento de sus grupos de trabajo) Presentación de la Guía Metodológica para la Elaboración de Estrategias Regionales. Aprobación de Política Nacional del Ambiente (Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM). |
| 2010 | <ul style="list-style-type: none"> Primera Conferencia Mundial de los Pueblos sobre Cambio Climático y Derechos de la Madre Tierra. | <ul style="list-style-type: none"> Presentación de Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC. Presentación de Estrategia Nacional de educación, formación y sensibilización de públicos sobre cambio climático. | <ul style="list-style-type: none"> Aprobación del Plan Nacional del Buen Vivir 2010-2013 que incluye problemática de cambio climático (Resolución N° CNP-001-2009) | <ul style="list-style-type: none"> Aprobación de Plan de Acción de Adaptación y Mitigación frente al Cambio Climático (Resolución Ministerial 238-2010-MINAM). Presentación de la Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC. Creación del Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (Decreto Supremo N° 008-2010-MINAM). |
| 2011 | | <ul style="list-style-type: none"> Creación de Sistema Nacional de Cambio Climático (CONPES 3700) Ratificación de Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 (Ley 1450) que incluye metas específicas para gestión del cambio climático. | <ul style="list-style-type: none"> Presentación de Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC. | |

Con la ratificación de la CMNUCC entre 1993 y 1994, y posterior ratificación del Protocolo de Kioto entre 1999 y 2002, los cuatro países incorporaron en sus políticas públicas y estructuras institucionales el tema cambio climático; se conformaron instancias nacionales para abordar temas de mitigación, y se iniciaron procesos de gestión de recursos para la elaboración de las primeras comunicaciones nacionales, los Inventarios Nacionales de Emisiones de GEI, estudios de vulnerabilidad sectoriales, entre otras acciones relacionadas.

En Bolivia particularmente, el primer hito de importancia relacionado con la evolución institucional y normativa es la creación en 1995, del Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC), dentro de la Secretaría Nacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. El PNCC dio inicio a los primeros estudios para analizar posibles acciones de mitigación a nivel nacional y generar escenarios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para los sectores forestal, agrícola, ganadero y de recursos hídricos.

Posteriormente en 1999, con el fin de fortalecer el trabajo interinstitucional en el tema, se creó el Consejo Interinstitucional del Cambio Climático del Gobierno de Bolivia (CICC), con la función principal de articular las iniciativas de la sociedad civil y el gobierno en relación al cambio climático (CICC - PNCC 2000).

A partir de la aprobación de la nueva Constitución del Estado Plurinacional de Bolivia, en el año 2009, se creó el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), y dentro del mismo el Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad y Cambios Climáticos, el cual asumió la responsabilidad del desarrollo y ejecución del PNCC (Presidencia de la República de Bolivia 2009). En este contexto, se asignó al MMAyA la responsabilidad de implementar políticas relativas al cambio climático y, fundamentalmente, a la adaptación, impulsando el Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático.

El marco institucional actual para la gestión del cambio climático en Bolivia presenta un doble liderazgo a cargo del Ministerio de Relaciones Exteriores y Cultos, que se encarga de todo el contexto de la posición política internacional del Estado Plurinacional de Bolivia, y del MMAyA, a través del Vice-ministerio de Ambiente, Biodiversidad y Cambio Climático, con la función técnica de coordinar, articular, orientar y canalizar esfuerzos para que el país identifique e implemente medidas de adaptación y opciones de mitigación relacionadas con el cambio climático.

Colombia inició sus actividades en respuesta a los compromisos adquiridos ante la CMNUCC designando su punto focal nacional al interior del Ministerio del Ambiente. En el marco del Sistema Nacional Ambiental (SINA), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) asumió responsabilidades técnicas para el tema, y coordinó la elaboración de la Primera Comunicación

Nacional ante la Convención. En el 2002 se creó la Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático dentro del MAVDT, con el fin de promover e impulsar la ejecución de actividades de mitigación mediante proyectos de alta calidad, para la reducción y captura de gases de efecto invernadero, que puedan ser transados en el mercado mundial de CO₂ (IDEAM 2010). En el 2005, se creó el Grupo de Mitigación de Cambio Climático, dependiente del Vice-ministerio de Ambiente, con el objetivo de consolidar una estructura institucional eficiente, clara y transparente que facilite la presentación de proyectos MDL.

La arquitectura actual para la gestión del cambio climático en Colombia resulta del proceso de estructuración del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible impulsado en el 2012, a partir del cual se crea la Dirección del Cambio Climático para asumir el liderazgo del tema a nivel nacional. De acuerdo con la Segunda Comunicación Nacional, el tema ha sido incluido además en diferentes entidades del Gobierno Nacional, creándose instancias especializadas como la Dirección de Gestión de Riesgos del Ministerio del Interior y de Justicia, y la Red Interinstitucional de Cambio Climático y Seguridad Alimentaria, liderada por el Ministerio de Agricultura. En este contexto, como mecanismo de coordinación intersectorial se creó un Sistema Nacional de Cambio Climático como entidad de coordinación, conformada por altas autoridades de los ministerios públicos y grupos interdisciplinarios de trabajo especializados en distintas temáticas (CONPES 3700/2011).

Adicionalmente, Colombia ha logrado la articulación de los Institutos de Investigación asociadas al Sistema Nacional Ambiental (SINA), que están desarrollando proyectos en los diferentes temas relacionados con el cambio climático.

En este marco se destaca particularmente el IDEAM, que dentro de la subdirección de estudios ambientales soporta el Grupo de Cambio Global, que constituye un importante apoyo técnico para la generación de información y toma de decisiones.

En el caso de Ecuador, en 1993 se dio inicio al denominado Proceso del Cambio Climático en Ecuador (PCCE), liderado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que contribuyó a la conformación provisional del Comité Nacional del Clima (CNC) en el año de 1999, instancia adscrita al Consejo Nacional de Desarrollo Sostenible³ de la Presidencia de la República. El Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE) creó la Unidad de Cambio Climático en el año 2000, cuyos objetivos fueron: 1) apoyar al CNC, 2) impulsar el mercado de carbono y el MDL, y 3) dar tratamiento al tema forestal en el contexto de cambio climático. Posteriormente, la Unidad de Cambio Climático se convirtió en la Autoridad

³ El Consejo Nacional de Desarrollo Sostenible fue creado de conformidad al Art. 7, inciso segundo de la Ley de Gestión Ambiental, publicada en el Registro Oficial No. 245 del 30 de julio del 1999. Su función principal fue asesorar al Presidente de la República en el desarrollo de políticas y planes de desarrollo sustentable para el Ecuador. Aunque no ha sido oficialmente eliminado, este organismo se encuentra desactivado por el momento y sus funciones han sido asumidas por la Secretaría Nacional de Planificación (SENPLADES).

Nacional Designada para MDL. Al mismo tiempo, se creó la Corporación para la Promoción del Mecanismo de Desarrollo Limpio (CORDELIM), encargada de la disseminación de información, actividades de capacitación, tutoría y asistencia técnica de proyectos MDL (CORDELIM 2007).

En noviembre del 2008, a través del Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos del MAE, se reemplazó la Unidad de Cambio Climático por la Dirección Nacional de Cambio Climático, Producción y Consumo Sustentable (DNCCPCS), con la misión de “prevenir y actuar sobre el deterioro y degradación ambiental promoviendo una producción más limpia y el consumo ambientalmente responsable” (MAE 2008).

A la luz de estos cambios, y con la finalidad de otorgar mayor preeminencia y relevancia al tema, en el 2009 se sustituye la DNCCPCS por la Subsecretaría de Cambio Climático, la cual es actualmente la encargada de liderar las acciones del país en mitigación y adaptación para hacer frente al cambio climático. Dicha Subsecretaría cuenta con una Dirección Nacional de Adaptación y una Dirección Nacional de Mitigación. La primera de ellas encargada del diseño, coordinación y seguimiento de políticas y proyectos de adaptación al cambio climático. La Dirección de Mitigación está encargada principalmente del análisis, aprobación, apoyo técnico y seguimiento a proyectos MDL, la actualización de inventarios de GEI y la elaboración de las comunicaciones nacionales ante la CMNUCC.

Complementariamente, a partir del 2010 existe en Ecuador el Comité Intersectorial de Cambio Climático, conformado por varios ministerios y secretarías de Estado, el cual está facultado para coordinar, dictar y facilitar la ejecución integral de políticas; comulación de normas; promover y solicitar la preparación de investigaciones, estudios y acciones para promover la mitigación y adaptación al cambio climático; así como lo relacionado con el trabajo de grupos interinstitucionales, las actividades de generación de capacidades, comunicación y educación, y la consecución de recursos de cooperación internacional.

Perú creó en 1993, y a partir de la ratificación de la CMNUCC, la Comisión Nacional sobre los Cambios Climáticos (CNCC), bajo la presidencia institucional del Ministerio de Relaciones Exteriores. La CNCC tuvo por objetivo coordinar la implementación de la CMNUCC con los actores de los sectores público y privado a los que concernía la materia, así como del Protocolo de Montreal sobre sustancias que agotan la capa de ozono (MINAM 2010).

En 1996, el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)⁴, como organismo coordinador de la gestión ambiental, presidió la CNCC y fue designado como Punto Focal para el Perú de la CMNUCC y Autoridad Nacional Designada para el MDL (CONAM 2001). De acuerdo con el Reglamento de Organización y Funciones del

⁴ La máxima autoridad ambiental desde 1994 y hasta mayo del año 2008 fue el CONAM; a partir de este año, se crea el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) como ente rector del sector ambiental nacional

CONAM, la Unidad de Cambio Climático y Calidad del Aire fue la encargada de ejecutar las acciones relacionadas al tema de cambio climático, enfocadas principalmente en los siguientes aspectos: 1) diseño e implementación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, 2) coordinación de la elaboración de la Primera Comunicación Nacional, y 3) coordinación del proceso de aprobación de los proyectos MDL (SGCAN/PNUMA/AECI 2008).

Actualmente las actividades relacionadas con la temática están lideradas por el Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM) a través de la Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos, del Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales. Como autoridad rectora, el MINAM trabaja en coordinación con instituciones adscritas como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), del Instituto Geofísico del Perú (IGP), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), y el Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNANP). La CNCC, presidida actualmente por el MINAM, tiene la responsabilidad principal de promover la actualización e implementación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, con actores públicos y privados del país.

DESARROLLO DE INSTRUMENTOS DE POLÍTICA

En los cuatro países se han desarrollado planes, estrategias y programas con el objetivo de orientar las acciones nacionales en temas de adaptación, mitigación al cambio climático, y promover la coordinación interinstitucional. La inclusión del tema de cambio climático en los Planes Nacionales de Desarrollo de los 4 países establece un marco amplio de planificación para la gestión del tema a escala nacional.

En el caso de Bolivia, el PNCC inició en 1996 el proceso de formulación del Plan Nacional de Acción sobre el Cambio Climático, y elaboración de la Estrategia Nacional de Implementación (ENI) de la CMNUCC. Específicamente, el Plan Nacional de Acción sobre el Cambio Climático planteó acciones orientadoras para trabajar medidas de mitigación en los sectores energéticos y no energéticos. Este plan orientó el trabajo del PNCC hasta el 2004, cuando se aprobó el Plan de Acción Quinquenal del PNCC, el cual propone la consolidación de una respuesta nacional coordinada ante el cambio climático “para lograr mejorar la capacidad adaptativa de la sociedad boliviana en función de sus proyectos de educación e investigación científica, adaptación, reducción y/o absorción de GEI, a través de convocatorias públicas a la sociedad civil” (MPD 2004).

En línea con el Plan de Acción Quinquenal, en el año 2007, el PNCC lanzó el Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático (MNACC), con el objetivo de reducir la vulnerabilidad al cambio climático, promover la adaptación planificada en el marco de los distintos programas sectoriales, y reducir riesgos a los impactos del cambio climático en los distintos sectores identificados como vulnerables.

A través de un proceso participativo, el PNCC construyó en el 2009 la Estrategia Nacional de Educación para el Cambio Climático, cuyo objetivo es “desarrollar y promocionar procesos de difusión, sensibilización, educación y concientización; con acciones planificadas de adaptación y mitigación al cambio climático”, y como instrumento responsable de fortalecer el carácter transectorial de la temática dentro del Sistema Educativo Plurinacional de Bolivia (MMAYA 2009a).

En razón de algunos cambios institucionales a nivel nacional, en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) del 2006 se definieron acciones específicas vinculadas con la gestión del cambio climático a escala nacional, con un alcance estratégico de 10 años. Este plan involucra un componente de recursos ambientales, en el cual se priorizan acciones para la mitigación del cambio climático a través de programas de reducción y absorción de gases de efecto invernadero. Se promueven además opciones de adaptación al cambio climático que garanticen la seguridad alimentaria, los recursos hídricos y la salud.

Colombia por su parte, a través del Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), y de conformidad con los compromisos adquiridos con la ratificación del Protocolo de Kioto y las oportunidades que ofrecía el MDL, en el año 2000 desarrolló el Estudio de Estrategia Nacional para la Implementación de los Mecanismos de Desarrollo Limpio, con el objetivo de evaluar el potencial del país frente al nuevo mercado y desarrollar estrategias para su promoción. Con esta base, en el año 2002, el MAVDT y el Departamento Nacional de Planeación elaboraron los Lineamientos de Política de Cambio Climático, que definen las principales estrategias para la mitigación y adaptación al fenómeno, en el marco de la CMNUCC, del Protocolo de Kioto y de la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.

En el año 2003, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) emitió el CONPES⁵ 3242: Estrategia Nacional para la Venta de Servicios Ambientales de Mitigación, la cual abrió el camino para promover la incursión de Colombia en el mercado internacional de reducciones verificadas de emisiones de CO₂. Esta herramienta facultó al MAVDT en la formulación de un plan de capacitación dirigido a Ministerios, Autoridades Ambientales Regionales, empresas, gremios de la producción y centros de investigación sobre las oportunidades y limitaciones del mercado de este servicio ambiental. El impacto esperado de esta política en el desarrollo del país es la generación de oportunidades de negocio en los mercados internacionales, la promoción de la inversión extranjera, la difusión de tecnologías y el mejoramiento de la calidad ambiental (CONPES 2003).

En consolidación de los esfuerzos realizados a nivel político, en el 2011, el DNP emite el CONPES 3700 con el fin de articular las acciones y políticas del país para hacer frente al cambio climático. Esta política busca “generar espacios para que

⁵ CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social. Documento de política emitido por la máxima autoridad nacional de planeación.

los sectores y los territorios integren dicha problemática (de cambio climático) dentro de sus procesos de planificación, articular a todos los actores para hacer un uso adecuado de los recursos, disminuir la exposición y sensibilidad al riesgo, aumentar la capacidad de respuesta y preparar al país para que se encamine hacia la senda del desarrollo sostenible, generando competitividad y eficiencia” (CONPES 3700/2011).

En temas de educación y sensibilización, amerita destacar el trabajo realizado en el marco de la Segunda Comunicación Nacional para la elaboración de la Estrategia Nacional de Educación, Formación y Sensibilización de públicos sobre cambio climático, que se oficializó en el 2010. Esta Estrategia busca orientar acciones para llevar el conocimiento científico, generado en relación al tema, a la población colombiana.

Colombia ha integrado la problemática de cambio climático en sus planes nacionales de desarrollo a partir del 2002, estableciendo al inicio metas relacionadas a la incursión del país en el mercado de carbono (Plan Nacional de Desarrollo 2002-2006). Actualmente el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 establece las bases para la implementación de medidas de adaptación y una estrategia colombiana de desarrollo baja en carbono.

El primer instrumento de política desarrollado en el Ecuador es el Plan de Acción del CNC aprobado en el 2001, el cual orienta la formulación de lineamientos, políticas y estrategias sobre cambio climático, la priorización de sectores para el establecimiento de programas a corto y mediano plazo, el impulso de incentivos para la introducción de nuevas tecnologías, el establecimiento de programas de información y educación, el fomento a la investigación enfocada en reducir los niveles de incertidumbre, y el establecimiento de un mercado de tecnologías limpias, entre otros temas (MAE 2001b).

Teniendo en cuenta la inclusión del tema en la Constitución Política del Ecuador aprobada en el 2008, el gobierno nacional declara a la adaptación y mitigación del cambio climático como política de Estado a través del Decreto Ejecutivo No. 1815 del 2009. La problemática de cambio climático es incluida en el Plan Nacional del Buen Vivir 2010-2013, en el que se establecen metas cuantificables para la reducción de la deforestación, el incremento de fuentes de energía alternativa promoviendo un cambio de la matriz energética, y la reducción de la vulnerabilidad frente a los eventos hidro-meteorológicos extremos.

En el 2011, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) entró en su fase de aprobación final. Este instrumento, que se convertirá en el núcleo de trabajo sobre el tema, abarca Programas Nacionales de Adaptación y Mitigación, y contempla algunos ejes transversales como financiamiento, participación social, políticas sectoriales, fortalecimiento de capacidades y negociaciones internacionales.

En el caso de Perú, la CNCC, bajo la dirección del CONAM, inició en 2001 el proceso de elaboración de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC),

la misma que fue aprobada en octubre de 2003. Esta estrategia constituyó el instrumento orientador de las estrategias, planes y proyectos de desarrollo nacional, regional y local.

Posteriormente a la creación del MINAM, la Política Nacional del Ambiente aprobada en el 2009 establece Lineamientos de Política sobre Cambio Climático, los cuales se encuentran alojados en el numeral 9 del eje de Política 1 - Conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica. Estos lineamientos contemplan el incentivar la aplicación de medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático, el establecimiento de sistemas de monitoreo, el desarrollo de proyectos que contribuyan con la mitigación de los efectos del cambio climático, y la promoción del uso de tecnologías adecuadas.

Con el fin de articular las acciones de las estrategias regionales de cambio climático en el marco de la ENCC, el MINAM publica la Guía Metodológica para la Elaboración de Estrategias Regionales, en la cual se promueve una efectiva interacción con los niveles institucionales de gestión ambiental para el abordaje del tema de cambio climático. También se propone mejorar la consolidación de la información por parte de la autoridad ambiental al momento del reporte nacional (MINAM 2009).

En línea con la Política Nacional del Ambiente, en el 2010 el MINAM aprobó el Plan de Acción de Adaptación y Mitigación frente al Cambio Climático, que considera, bajo la forma de 68 proyectos en distinto estado de formulación, acciones de respuesta a las necesidades de mitigación y adaptación al cambio climático por parte de las regiones y sectores del país. Este documento ofrece herramientas a corto, mediano y largo plazo, para que los tomadores de decisión en los tres niveles de gobierno puedan implementar acciones concretas orientadas a la adaptación y mitigación al cambio climático en su región o distrito.

COMUNICACIONES NACIONALES ANTE LA CMNUCC

En cumplimiento del compromiso internacional adquirido ante la CMNUCC los cuatro países han presentado su 1ra y 2da comunicaciones nacionales.

Bolivia presentó en el año 2000 su Primera Comunicación Nacional sustentada en estudios sobre inventarios GEI, impactos del cambio climático en los sistemas productivos, recursos hídricos, salud y bosques, y estudios de mitigación enfocados principalmente al sector energético. En el año 2009 presentó la Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC, en la que se presentan las nuevas circunstancias nacionales, los inventarios de GEI 2002 y 2004, y se analizan detalladamente los impactos potenciales asociados con distintos escenarios climáticos sobre salud, agricultura, infraestructura y economía. Esta comunicación documenta el avance del país en la implementación del Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático, las acciones para el fortalecimiento de capacidades, la difusión y concientización sobre el cambio climático y la propuesta de

la Estrategia de Educación. La Segunda Comunicación presenta además la posición del Estado Boliviano respecto al proceso de negociación internacional. El documento plantea el concepto de una “deuda climática”⁶ por parte de los países desarrollados con la Humanidad. Respecto a REDD, Bolivia demanda que este mecanismo asegure un proceso transparente y soberano, además de un mayor control nacional y local sobre estas actividades, mientras que en relación al MDL, la comunicación reclama mayor equidad (MMAYA 2009b).

Colombia presentó en 2001 la Primera Comunicación Nacional ante la CMNUCC. En este documento se elaboró el primer Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, se identificaron los ecosistemas más vulnerables al cambio climático y se plantearon las primeras medidas de adaptación (IDEAM 2001). En diciembre del 2010, el gobierno colombiano presentó su Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC. Este documento contiene una descripción de las circunstancias nacionales, actualiza el inventario de gases de efecto invernadero y analiza los factores que contribuyen con las emisiones a nivel nacional. Adicionalmente, la Segunda Comunicación profundiza el análisis de vulnerabilidad nacional en diferentes sectores, propone un marco para la implementación de medidas de adaptación e identifica los principales desafíos para la coordinación interinstitucional y las necesidades técnicas-financieras para enfrentar los efectos del cambio climático (IDEAM 2010).

De acuerdo con sus funciones, el CNC de Ecuador, bajo la coordinación del Ministerio del Ambiente y con la participación de varios organismos nacionales públicos y privados, se encargó de la elaboración de la Primera Comunicación Nacional, la cual fue presentada en el año 2000 ante la CMNUCC (CNC - MAE 2001). Este documento presenta los primeros estudios sobre vulnerabilidad y adaptación, y una primera evaluación sobre las posibilidades de mitigación en los sectores energético, agrícola y forestal. En enero del 2011, el MAE culminó el proceso de elaboración de la Segunda Comunicación Nacional, en la cual presenta las nuevas circunstancias nacionales en cuanto a aspectos geográficos, ambientales, económicos y políticos; presenta además la evolución de las emisiones GEI en Ecuador, así como avances en la implementación de proyectos de adaptación al cambio climático, fortaleciendo los mecanismos de gestión de información para la toma de decisiones y el monitoreo de vulnerabilidad ecosistémica y socioambiental. Para cada componente de esta Segunda Comunicación Nacional, se identificaron barreras, vacíos y necesidades, entre los que sobresalen la disponibilidad de información, la necesidad de fortalecer capacidades para la mitigación y la adaptación, y la necesidad de identificar fuentes de financiamiento nacional e internacional.

⁶ El concepto de Deuda Climática fue presentado por Bolivia y apoyado por varios países del Grupo de Países Menos Adelantados (PMA). Involucra las emisiones históricas de GEI por parte de los países desarrollados (deuda de emisiones), y el detrimento del nivel de vida de la población de los países en desarrollo (deuda de adaptación).

Perú presentó en el 2001 la Primera Comunicación Nacional elaborada bajo la coordinación del CONAM, en la cual se incluye una descripción de las circunstancias nacionales, un inventario de emisiones GEI, análisis de la vulnerabilidad del país frente al cambio climático, políticas, programas y medidas relacionadas con el cambio climático, y la identificación de limitaciones de adaptación de las poblaciones más vulnerables (CONAM 2001). En septiembre de 2010, Perú presentó su Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC, elaborada bajo el liderazgo del MINAM. Esta comunicación presenta las circunstancias nacionales, actualiza el inventario de GEI y los avances nacionales en temas de mitigación y adaptación. Complementariamente, la publicación analiza los esfuerzos realizados para integrar el tema dentro de las políticas públicas, así como las prioridades para fortalecer la investigación a nivel nacional.

AVANCES REGIONALES EN EL MARCO DE ORGANISMOS INTERGUBERNAMENTALES.

Reconociendo la importancia de una gestión mancomunada de los problemas ambientales, los organismos intergubernamentales creados en Latinoamérica para la coordinación de políticas sectoriales han incorporado estos temas en sus estatutos legales y estructura institucional (SEMARNAT/PNUMA 2006). La creciente preocupación sobre la incidencia del cambio climático y la necesidad de intensificar la cooperación regional para abordar los aspectos transfronterizos de este fenómeno, han animado a los países andinos a establecer mecanismos legales e institucionales especiales para fortalecer la cooperación regional, con miras a reducir los riesgos y responder a estos de una forma coordinada (SEMARNAT/PNUMA 2006). Los cuatro países de la subregión participan activamente de estos procesos de integración para la consecución de objetivos comunes. Es así que, durante la última década, se han concertado acciones y políticas a nivel regional latinoamericano y subregional andino en el marco de diversos organismos intergubernamentales. Estos esfuerzos han estado sobretodo enfocados a la definición de prioridades y posiciones políticas conjuntas, la canalización de asistencia técnica y financiera para el desarrollo de iniciativas transfronterizas, y el fortalecimiento de capacidades para la implementación de políticas y acciones a escala nacional.

Las secciones siguientes presentan una breve descripción de los avances en materia de cooperación regional para el abordaje del cambio climático, en el marco de los principales organismos intergubernamentales en los que participan los cuatro países de la subregión.

El Comité Andino de Autoridades Ambientales (CAAAM) aprobó, en el 2002, los “Lineamientos para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible en la Comunidad Andina” en respuesta a los mandatos de los Presidentes de concertar políticas comunitarias de gestión ambiental y desarrollo sostenible. A partir de estos lineamientos, el CAAAM establece una estrategia para hacer seguimiento a la Cumbre de Johannesburgo, lo que se refleja en el documento de Seguimiento de la Cumbre de Johannesburgo (SGCAN 2003). En este documento los países se proponen el objetivo de lograr avances concretos al año 2005, en tres temas priorizados a nivel subregional: cambio climático, biodiversidad, y agua y saneamiento. Sobre esta base, desde el 2003 se han realizado propuestas de trabajo para avanzar en una Estrategia Andina de Cambio Climático (EACC) construida sobre un enfoque ecosistémico y geográfico.

Tomando como punto de partida este interés, la Secretaría General de la Comunidad Andina (SGCAN) desarrolló estudios para identificar temas comunes que sirvan de base para una agenda de trabajo regional y, posteriormente, para la Estrategia Regional. Estos insumos permitieron plantear dentro de la Agenda Ambiental Andina 2006-2010 los objetivos y líneas de acción prioritarias en el tema de cambio climático (Tabla 3).

TABLA 3. **Objetivos y líneas de acción del eje Cambio Climático de la Agenda Ambiental Andina 2006 – 2010**

Objetivos

- Formular y estructurar la EACC y su Plan de Acción, que serán el fundamento para la coordinación subregional en los temas prioritarios de los países, de la CMNUCC y del Protocolo de Kioto.
- Generar capacidades para evaluar los efectos del cambio climático en temas/sectores prioritarios regionales, como los glaciares y páramos andinos.
- Concertar posiciones conjuntas ante los foros internacionales de negociación en cambio climático.

Líneas de acción

- Estrategia Andina de Cambio Climático
- Vulnerabilidad, Adaptación y Mitigación
- Desastres Naturales asociados al cambio climático
- Mecanismo de Desarrollo Limpio
- Energía renovable y eficiencia energética

En el 2008 se realizó una propuesta de Plan de Acción en coordinación con las Oficinas de Cambio Climático de los Países Andinos (SGCAN 2009), en la que se establece un conjunto de lineamientos y acciones comunes para afrontar los retos

que impone el cambio climático, que permitan fortalecer los esfuerzos desarrollados a nivel nacional y consolidar el posicionamiento de la subregión a nivel internacional.

En la XVII reunión del CAAAM en 2009, se recomendó avanzar en el proceso de construcción de la Estrategia Andina de Cambio Climático —en coordinación con las instancias gubernamentales de cambio climático de cada país y con base en el plan de acción— de manera que se logre una coordinación como complemento a lo avanzado a nivel nacional, y se fortalezcan los espacios de diálogo que existen para el desarrollo de una agenda de temas comunes.

Los cancilleres de la CAN, en el marco de la Agenda Estratégica Andina aprobada en febrero de 2010, definieron en el Punto 6 sobre Medio Ambiente la necesidad de desarrollar e implementar planes de trabajo sobre cambio climático, así como desarrollar las capacidades comunitarias y nacionales para enfrentar los efectos del cambio climático mediante acciones concretas.

ORGANIZACIÓN DE ESTADOS AMERICANOS (OEA)

La Organización de Estados Americanos (OEA) apoya, por un lado, programas de adaptación que incluyen gestión de riesgos, y por otro, actividades de mitigación. Los esfuerzos de la OEA en el área de adaptación al cambio climático están dirigidos a mejorar la cooperación regional y el fortalecimiento de capacidades técnicas para la reducción, preparación y respuesta al cambio climático. El Departamento de Desarrollo Sostenible de la OEA (DDS), a través de su Dirección de Manejo de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático (RIESGO-MACC), apoya a los Estados miembros de la OEA en su propósito prioritario de adaptarse y manejar los riesgos asociados a peligros naturales, entre los que sobresale el cambio climático. Este departamento trabaja en la generación de recomendaciones técnicas y políticas que guíen el desarrollo de políticas y acciones de planificación para el manejo de riesgos de los Estados miembro. Así mismo, el Departamento apoya la implementación del Plan Estratégico Interamericano para Política y Reducción de la Vulnerabilidad, Respuesta y Manejo del Riesgo de Desastres (IASP), y la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de la Organización de las Naciones Unidas (ONU/EIRD), a través de tres actividades: a) proyectos para el desarrollo de prácticas, conocimiento e información; b) intercambio de información y conocimientos a través de la Red Interamericana de Mitigación de Desastres (RIMD); y c) asesoramiento de políticas y aspectos técnicos.

Las acciones de mitigación del cambio climático que impulsa el Departamento de Desarrollo Sostenible de la OEA están enfocadas en asistir a los Estados Miembro en su transición hacia la utilización de fuentes sostenibles de energía, a través de la Iniciativa de Energía Renovable de las Américas (REIA), creada en 1992 por un consorcio de los Estados Unidos, América Latina y el Caribe. Esto incluye la promoción de políticas de energía diversificadas, el financiamiento

de programas con énfasis en tecnologías de energía renovable, y el fortalecimiento de capacidades para la aplicación de sistemas de producción de energía limpia. En el 2008, se lanza además la Sociedad para Energía Sostenible de las Américas (SEPA), que promueve el uso de una diversidad de tecnologías y prácticas para incrementar la eficiencia en la seguridad y sostenibilidad energética de los países miembro.

ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DE COOPERACIÓN AMAZÓNICA (OTCA)

A través de su Secretaría Permanente, la OTCA realiza esfuerzos y acciones para la preservación del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales del territorio amazónico. La VII Reunión de Cancilleres de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica, celebrada en el 2002, aprobó el Plan Estratégico como un instrumento que oriente el trabajo de la organización en el período 2004-2012. Este plan prevé la intervención de la OTCA en el tema de manejo de recursos naturales y cambio climático, a través de tres herramientas: 1) diálogo político para la concertación de posiciones en las negociaciones de la CMNUCC, 2) programas regionales entre los que sobresale el Proyecto para el manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos transfronterizos de la cuenca del río Amazonas, considerando la variabilidad climática y el cambio climático, y 3) apoyo a iniciativas de carácter regional y nacional, cuyo objetivo sea la sostenibilidad de los ecosistemas (OTCA 2004).

PARLAMENTO LATINOAMERICANO (PARLATINO)

La Comisión de Medio Ambiente y Turismo del Parlamento Latinoamericano resolvió, en su XII Reunión celebrada en agosto del 2009, incluir en su agenda de trabajo, con carácter permanente, el tema de cambio climático en el marco de la CMNUCC y el Protocolo de Kioto. En este sentido, la Mesa Directiva del Parlamento Latinoamericano —conformada por representantes electos de los países miembro— recomendó a todos los Jefes de Estado de los países miembro la inclusión de parlamentarios en la delegación de negociadores que representan a cada país.

Complementariamente, en el 2010 se conforma un grupo de trabajo especial para la elaboración de un proyecto de Ley Marco sobre el Cambio Climático, para ser debatido en los diferentes parlamentos de América Latina. Este proyecto de ley demanda la creación de un Programa Nacional de Mitigación, Adaptación y Gestión de la Vulnerabilidad asociada al cambio climático, con el objetivo de promover, coordinar y desarrollar estudios y acciones para la gestión de riesgos asociados a los impactos del cambio climático. El proyecto de ley establece, además, la definición de políticas para el cumplimiento de los compromisos de reducción de emisiones (UCI 2010). El texto del proyecto de Ley está siendo revisado en el seno de PARLATINO. Las Leyes Marco dictadas por el PARLATINO no son instrumentos obligatorios para los países; su función es establecer criterios normativos. Sin

embargo, existe un compromiso explícito del organismo para apoyar la inclusión de estos criterios en los países miembro (PARLATINO 2010).

Por su lado, la Comisión de Energía y Minas del Parlamento Latinoamericano, en su declaración AO/2010/05 emitida en diciembre del 2010, se compromete en la formulación y presentación de una Estrategia Latinoamericana para el uso, desarrollo e implementación de las energías renovables, que promueva el establecimiento de marcos jurídicos y regulatorios nacionales para el uso de fuentes renovables de energía, así como el intercambio de tecnologías entre los países miembro.

Como tema relacionado, la Asamblea Parlamentaria Euro-Latinoamericana (Euro-lat), en la que participan miembros del Parlamento Latinoamericano y del Parlamento Europeo, propone la creación de un mercado mundial integrado para el comercio de emisiones de carbono. Se considera que un paso importante en este sentido es la creación de un régimen de comercio de derechos de emisión de la UE y América Latina que incluya a los Estados Unidos de América (Eurolat 2010).

FORO DE MINISTROS DE MEDIO AMBIENTE DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

El Foro cuenta con la participación de las más altas autoridades ambientales de los países de América Latina y el Caribe, además del apoyo de un Comité Técnico Interagencial (CTI) de instituciones internacionales tales como el BID, PNUMA, CEPAL, Banco Mundial, entre las principales. El CTI apoya las decisiones y líneas de políticas ambientales planteadas por el Foro, a las que decide darles seguimiento. El tratamiento de la temática de cambio climático en esta plataforma se consolida en el año 2000, durante la 12va reunión del Foro en Bridgetown, Barbados. En esta reunión, los Ministros se comprometieron a impulsar la implementación de la CMNUCC y la entrada en vigor del Protocolo de Kioto. Con este fin, se estableció un grupo intergubernamental de trabajo específico sobre cambio climático, liderado por Argentina y Bolivia.

A partir de esta reunión, el tema ha sido incluido como una de las principales líneas temáticas anuales de los Planes de Acción Regional del Foro. La propuesta de Plan de Acción Regional 2010-2011 establece, como una de las actividades, el desarrollo de una Estrategia Regional para el fortalecimiento de capacidades de la región para la adaptación y mitigación del cambio climático (PNUMA 2010a). El tema se ha mantenido presente en las subsiguientes reuniones del Foro, convirtiéndose éste en una plataforma para discutir y establecer posiciones comunes en torno a temas de interés en la región como son el MDL, los cambios de uso de la tierra, la prevención de la emisión de gases o secuestro de carbono. Adicionalmente, y gracias al apoyo del CTI, el Foro ha canalizado el apoyo técnico y financiero de la cooperación internacional para la gestión del cambio climático en los países miembro (PNUMA 2010b).

ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA (OLADE)

La OLADE trabaja para promover el incremento en el uso de energías renovables y limpias, y de otras alternativas energéticas eficientes, en los países de América Latina, desarrollando programas específicos a nivel nacional y subregional. La Dirección Técnica de OLADE, a través de la Coordinación de Fuentes Renovables de Energía y Medio Ambiente, impulsa acciones entre las que sobresalen el desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, la prevención y mitigación de impactos ambientales en los sectores de hidrocarburos y electricidad, y la transferencia de conocimiento y trabajo en redes para el desarrollo de fuentes renovables de energía.

La OLADE apoya desde el 2009, junto con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), el establecimiento del Observatorio de Energía Renovable para América Latina y el Caribe (Noboa 2011). El propósito de este proyecto es promover la energía renovable en algunos países Latinoamericanos, entre los que se encuentran Colombia y Ecuador, a través del desarrollo de una base de información que incluya datos actualizados sobre las diferentes tecnologías energéticas disponibles para cada país, el estado del arte de cada una de éstas y de los diferentes mecanismos de financiamiento disponibles.

UNIÓN DE NACIONES SURAMERICANAS (UNASUR)

El Tratado Constitutivo de la UNASUR firmado en mayo del 2008, plantea como uno de los objetivos específicos del bloque, la protección de la biodiversidad, los recursos hídricos y los ecosistemas, así como la cooperación en la prevención de catástrofes y en la lucha contra las causas y los efectos del cambio climático (UNASUR 2008). La Declaración Presidencial de Quito, producto de la III Reunión Ordinaria de Jefes de Estado llevada a cabo en agosto del 2009, hace un llamado a enfrentar los desafíos que impone el fenómeno del cambio climático y sus efectos, resaltando el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, y con énfasis en las capacidades nacionales. La declaración subraya la necesidad de que los países desarrollados cumplan con los compromisos adquiridos ante la CMNUCC, relacionados con el financiamiento, la transferencia tecnológica y la creación de capacidades en los países en desarrollo más vulnerables a los efectos adversos del cambio climático, sin condicionamientos (UNASUR 2009).

Con miras a la COP 16 de la CMNUCC, en noviembre del 2010 se incluye el tema de cambio climático en la agenda de la Reunión Preparatoria de la IV Cumbre Presidencial de la UNASUR. Como resultado, la Declaración de Georgetown de Jefes de Estado exhorta a los países desarrollados para lograr compromisos políticos firmes de efectiva reducción de emisiones para el segundo periodo de compromisos del Protocolo de Kioto. En esta declaración los países miembro de

la UNASUR se comprometen a estudiar mecanismos voluntarios de mitigación y financiamiento en el marco de la CMNUCC, entre los que se resalta el concepto de “Emisiones Netas Evitadas”⁷ (UNASUR 2010).

DISCUSIÓN

PRINCIPALES TENDENCIAS IDENTIFICADAS EN LA EVOLUCIÓN DEL TEMA DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGENDA POLÍTICA DE LOS CUATRO PAÍSES DE LA SUBREGIÓN.

Los avances de las negociaciones en el marco de la CMNUCC implican que los países signatarios deben invertir en el desarrollo de fortalezas institucionales para cumplir con las obligaciones adquiridas. En los cuatro países de la CAN, se aprecia una evolución importante de la institucionalidad asociada a la temática de cambio climático, a partir de la ratificación de la Convención y el Protocolo de Kioto por parte de cada Estado, y de acuerdo con los hitos que marcan a la CMNUCC y el interés propio de los países por avanzar en el desarrollo de políticas y acciones que apoyen su implementación. Se evidencian procesos constructivos de marcos para la toma de decisiones y gestión, plasmados en el desarrollo e implementación de planes, programas y proyectos inicialmente para la mitigación, y más recientemente también para la adaptación al cambio climático. Esta evolución ha estado acompañada por recursos financieros y asistencia técnica del GEF, la banca multilateral y los aportes directos de algunos países desarrollados, dirigidos específicamente a apoyar el cumplimiento de las obligaciones adquiridas ante la Convención.

Específicamente, los esfuerzos de los países se han visto traducidos en el fortalecimiento de los puntos focales técnicos y políticos, el establecimiento de oficinas de cambio climático, la creación y mejoramiento de Programas Nacionales de cambio climático, la preparación y presentación de la 1ra y 2da Comunicaciones Nacionales, el fortalecimiento y la promoción del MDL, la construcción de Estrategias Nacionales para la adaptación y mitigación del cambio climático, la ejecución de acciones específicas enmarcadas en dichas estrategias, y el establecimiento de mecanismos de coordinación a nivel nacional entre los diferentes sectores gubernamentales, la sociedad civil y el sector privado (Ayers y Huq 2009).

⁷ El concepto de Emisiones Netas Evitadas fue presentado por el gobierno ecuatoriano durante la COP 16 de la CMNUCC. Hace referencia a las emisiones que pudiendo ser realizadas no son emitidas, permitiendo que exista un balance neto positivo de emisiones reducidas, a ser compensado.

Los cuatro países orientaron sus primeros esfuerzos al fortalecimiento de sus puntos focales para la elaboración e implementación de políticas públicas explícitas sobre cambio climático, enfocadas en temas de mitigación, disminución de las emisiones de GEI y promoción de mecanismos como el MDL (Bucher et ál. 2000). Con la ratificación del Protocolo de Kioto por parte de los cuatro países, se inició un proceso de creación de oficinas nacionales para promover el MDL, y el cumplimiento de los requerimientos necesarios para acceder al mercado de carbono. Para el tratamiento de este tema, los cuatro países han adoptado un modelo institucional en el que se crea más de una instancia, encargándole a las Autoridades Nacionales Designadas las funciones de regulación, y conformando en algunos casos instancias adicionales de promoción del mecanismo.

El desarrollo de las primeras comunicaciones nacionales durante esta primera etapa de gestión del cambio climático evidencia avances importantes en la institucionalización, sistematización y análisis de información existente, junto con la promoción de la investigación científica para el desarrollo de inventarios de GEI y escenarios de cambio climático, así como la identificación de prioridades de trabajo a nivel nacional para la elaboración e implementación de planes de acción y estrategias de mitigación.

A partir de estos primeros esfuerzos, se genera en los países un proceso de fortalecimiento de las autoridades ambientales para la gestión del cambio climático, que incluye la reestructuración institucional con el objetivo de mejorar la planificación, el liderazgo y la gestión. En la arquitectura institucional actual para abordar el tema se distinguen patrones similares en los cuatro países. Sobresale el modelo de manejo centralizado a través de Direcciones u Oficinas de Cambio Climático alojadas en las agencias ambientales principales de cada país, con un número variable de dependencias. Adicionalmente, y dada la importancia de fortalecer una planificación en los Estados que incluya una visión a largo plazo y que provea herramientas para fortalecer la articulación del tema en otros procesos de coordinación intersectorial, los cuatro países han definido estructuras interinstitucionales que involucran diferentes instancias del Gobierno, y que tienen como objetivo orientar de manera coordinada las políticas y acciones nacionales relacionadas con el cambio climático, tanto en los temas técnicos como políticos. Un elemento clave en este contexto es el involucramiento de los organismos de planificación en la evolución institucional, denotando la relevancia del tema en la definición de la política pública, que se evidencia en la incorporación de la problemática del cambio climático en los Planes de Desarrollo de los cuatro países.

La adaptación al cambio climático es un tema que desde los Acuerdos de Marrakech (2001) y Buenos Aires (2004), y posteriormente en el Plan de Acción de Bali (2007), cobró mayor importancia para los cuatro países de la subregión, quienes participaron activamente en las negociaciones sobre temas como el fondo de adaptación, transferencia de tecnologías, promoción de la investigación, entre otros. Aunque la adaptación al cambio climático tuvo inicialmente un trato menos prioritario que lo relacionado con mitigación, progresivamente ha ganado espacio en las agendas públicas de los cuatro países, creándose incluso

dependencias específicas dentro de las estructuras institucionales, como es el caso de Ecuador, o mecanismos nacionales para la adaptación, como en Bolivia. En este contexto, los países de la subregión ampliaron el enfoque de la formulación y expedición de políticas o estrategias de cambio climático, involucrando acciones puntuales para fortalecer la investigación científica y las capacidades nacionales de instituciones técnicas y políticas. Se buscó mejorar el conocimiento de la vulnerabilidad actual y futura, y generar bases para la implementación de medidas de adaptación.

Entre el 2009 y 2011, los cuatro países presentan sus segundas comunicaciones nacionales ante la CMNUCC, en las cuales se documentan los esfuerzos hacia la formulación y expedición de políticas, planes, estrategias y proyectos de cambio climático con un enfoque más amplio, que involucra iniciativas tanto de mitigación como de adaptación; los reportes incluyen, además, la identificación de barreras, vacíos y necesidades en cuanto al marco institucional, fortalecimiento de capacidades y transferencia de tecnología, investigación, financiamiento y concientización; en algunos documentos se mencionan recomendaciones puntuales para cada uno de estos aspectos, que deben ser tomadas en cuenta para fortalecer la gestión del cambio climático en los próximos años.

Adicionalmente, en el desarrollo de sus instrumentos, los cuatro países han involucrado activamente programas de educación y sensibilización pública sobre el cambio climático y sus efectos. En algunos casos, ello ha conducido a la elaboración de estrategias nacionales de educación y comunicación, como es el caso de Colombia y Bolivia.

A pesar de que, en un inicio, las políticas públicas sobre cambio climático en los cuatro países presentan procesos similares, asociados a las obligaciones

contraídas ante la Convención y el apoyo técnico y financiero de organismos de cooperación, las particularidades propias de cada país han desembocado recientemente en una serie de estrategias y acciones alineadas cada vez más con las políticas y planes de desarrollo nacionales, y que se presentan como alternativas a los limitados resultados de los instrumentos internacionales (e.g., MDL). Es así que los países de la subregión andina están trabajando en el fortalecimiento de la participación del Estado en las toma de decisiones e implementación de acciones, en un esfuerzo por ser genuinos conductores de la formulación de sus propias políticas. Esto se refleja en la creciente asignación de recursos técnicos y financieros para la gestión de medidas de mitigación y adaptación, y los esfuerzos nacionales para incidir en las prioridades de apoyo del sistema internacional de cooperación y ayuda al desarrollo. De igual manera, se evidencia el liderazgo de varias instituciones públicas para la presentación de posiciones y propuestas nacionales en los espacios de negociación internacional, en los que se destacan las negociaciones en el marco del Fondo de Adaptación y los mecanismos REDD, y otras propuestas nacionales complementarias como es el caso de la Iniciativa Yasuni- ITT en Ecuador y la propuesta de Emisiones Netas Derivadas que se han posicionado internacionalmente como alternativas a los mecanismos de mitigación establecidos en la Convención. Así mismo, la creación del Consejo Plurinacional de Cambio Climático en Bolivia para fomentar la participación social y la Declaración de Tiquipaya, como resultado de la Conferencia Mundial de los Pueblos sobre Cambio Climático y los Derechos de la Madre Tierra, permite abordar el tema desde un nuevo enfoque. En el marco de REDD + , también sobresalen el Programa Socio Bosque, que se ejecuta en Ecuador, y el Programa Nacional de Conservación de Bosques del Perú, como proyectos importantes de conservación enfocados en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que incluyen criterios específicos para la reducción de la pobreza.



LOS RETOS FRENTE A LAS NECESIDADES DE ADAPTACIÓN

Los países de la Comunidad Andina son altamente vulnerables al cambio climático, debido a la fragilidad de sus ecosistemas, a la fuerte dependencia de las poblaciones humanas de los bienes y servicios ecosistémicos que genera la biodiversidad, y a los altos índices de pobreza y marginalidad. Por lo tanto, la adaptación al cambio climático es un tema que reviste una gran importancia y determina ciertos arreglos institucionales que han estado estrechamente vinculados a la gestión del riesgo y planificación del desarrollo (SGCAN/ PNUMA/AECI 2008). La gestión intersectorial de riesgos ha sido incorporada a las políticas públicas de los cuatro países, mucho antes de que se evidenciara el problema del cambio climático. Es por eso que existen algunas políticas públicas en la historia de los países de la subregión, como las políticas de reforestación, conservación, prácticas agrícolas, energía, entre las principales, que con algunos ajustes conceptuales podrían calzar en el paradigma de la adaptación al cambio climático.

Durante la década 2000-2010, la subregión ha avanzado en generar conocimiento sobre el cambio climático y sus posibles impactos en el bienestar de la población mundial (MEA 2005) a través de estudios elaborados por el IPCC, así como en las comunicaciones nacionales. Esto evidencia la necesidad de profundizar el conocimiento de la vulnerabilidad, la promoción de medidas explícitas de adaptación, y la construcción de estrategias de respuesta a los potenciales efectos del cambio climático, particularmente en aquellos países, regiones y localidades consideradas como las más vulnerables. En este contexto, las iniciativas de los países de la región en materia de adaptación todavía están en sus etapas iniciales; un tratamiento adecuado de esta temática requiere evaluar, profundizar y fortalecer estas iniciativas, así como articular los procesos promovidos desde distintos sectores de la sociedad a contextos más relevantes de integración y planificación. Esto implica incorporar criterios de transversalidad e intersectorialidad en la gestión, el desarrollo de acciones sobre la base de información actualizada, y la internalización de los costos de implementación en los presupuestos públicos, entre otros aspectos.

Una de las principales responsabilidades del sector público está relacionada con la producción y disseminación de información acerca del cambio climático, sus impactos y como adaptarse a ellos, a fin de incidir positivamente en los procesos de construcción de políticas públicas y acciones de respuesta (Hallegatte et ál. 2011). En este sentido, las responsabilidades asumidas para el fortalecimiento de la investigación científica y tecnológica, implican grandes desafíos para el sector público de los países de la Comunidad Andina. Los esfuerzos por presentar las comunicaciones nacionales han aportado en alguna medida en la organización y análisis de la información existente, la reducción de la incertidumbre, y la identificación de necesidades de investigación y trabajo a escala nacional. Es evidente, sin embargo, la necesidad de dotar con mayores capacidades y recursos a las instituciones meteorológicas y Puntos Focales Técnicos nacionales, para fortalecer su rol en la coordinación de la investigación y la gestión de información que facilite la toma de decisiones.

EL ROL DE LOS ESTADOS DE LA SUBREGIÓN EN LA GESTIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El cumplimiento de los principales compromisos adquiridos para la gestión del cambio climático por los “Países No Anexo I”, como son los países de la Comunidad Andina, implica importantes desafíos para todos los Estados. Estos desafíos incluyen la creación de un marco normativo e institucional que permita generar información confiable para la toma de decisiones (e.g., inventarios de GEI, sistemas de monitoreo, escenarios climáticos, análisis de vulnerabilidad), definir estrategias consensuadas con actores públicos y privados, incidir en la planificación del Estado a largo plazo, y asegurar medidas eficaces de respuesta a los impactos climáticos en la población.

El nuevo contexto global y regional también requiere fortalecer las políticas y estrategias que han desarrollado los países para combatir el fenómeno de cambio climático y adaptarse a él. Esto implica una intervención gubernamental más indirecta y compleja, basada en la combinación de diferentes instrumentos, herramientas, medidas y acciones, que facilite y dé apoyo a procesos de adaptación autónomos en otros sectores de la sociedad, los cuales pueden tener un rol importante en la disminución de la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, la implementación de medidas de adaptación y la orientación de los mismos hacia una economía más baja en emisiones de carbono. Esta intervención del Estado debe garantizar bienes públicos esenciales para que las poblaciones se adapten a los cambios ambientales globales. De acuerdo con Giddens (2008), el Estado debe tomar un rol protagónico de liderazgo en la formulación e implementación de políticas que estimulen en los sectores sociales y económicos la movilización de acciones para reducir los efectos del cambio climático, pero con una responsabilidad de monitorear y, de ser necesario, dar forma a estas acciones. En este contexto, el estudio de la vulnerabilidad y la definición de políticas de adaptación son una prioridad creciente para los países, así como la gestión de problemas estrechamente vinculados al cambio climático, como la deforestación y los cambios de uso de la tierra.

NECESIDAD DE ARTICULACIÓN INTERSECTORIAL

Sin duda, los países de la subregión a través de sus Puntos Focales, han generado instrumentos normativos y de planificación que contienen lineamientos importantes para la gestión del cambio climático a escala nacional. Es esencial, sin embargo, promover una articulación del tema en las políticas públicas sectoriales y agregadas para evitar que las iniciativas impulsadas resulten en enclaves sin conexión e integración al resto del sistema socioeconómico, y que no sean sustentables en el largo plazo. El tratamiento del tema en los Planes de Desarrollo de los cuatro países evidencia una intención explícita de los Estados de elevar el tema a los máximos niveles de planificación. Los esfuerzos adicionales que los

países deban hacer para lograr una adecuada inclusión del tema de manera transversal, demandan recursos financieros y humanos para que toda la estructura sociopolítica asimile la trascendencia del fenómeno de cambio climático y haga operativas las acciones que se identifiquen como prioritarias a nivel nacional.

EL ROL DE LOS ORGANISMOS INTERGUBERNAMENTALES

Es importante reconocer el papel que han jugado los organismos intergubernamentales de la región en el fortalecimiento de las capacidades nacionales, la canalización de recursos de la cooperación internacional, y la promoción de acciones conjuntas para destacar ciertos puntos de interés común. En este marco, es importante resaltar la necesidad de fortalecer los procesos de trabajo conjunto a nivel técnico, promoviendo el intercambio de experiencias, la capitalización de lecciones aprendidas y la construcción de propuestas técnicas de interés regional.

Actualmente el desarrollo de proyectos binacionales, o que involucran varios países de la región, constituyen una experiencia para aprender sobre las reales posibilidades de colaboración y cooperación regional, el abordaje de temas de interés común, y la identificación de oportunidades para avanzar en el fortalecimiento de los procesos de cooperación para responder a los desafíos que impone la agenda internacional de cambio climático.

NECESIDADES DE ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

En razón de ampliar y profundizar el presente estudio, es recomendable identificar y analizar el rol de los gobiernos locales en la adaptación y mitigación de los impactos del cambio climático en la subregión andina, tomando en cuenta las oportunidades y limitaciones que ofrecen los procesos de descentralización de la gestión ambiental que han impulsado los países andinos en las últimas décadas. La descentralización es una forma de hacer más eficaz y eficiente la gestión ambiental al acercar los procesos de toma de decisiones al ciudadano y a los territorios en los cuales se generan los problemas ambientales (Rodríguez Becerra y Espinoza 2002). A pesar de que los procesos de descentralización ambiental han presentado dificultades y han caminado a ritmo lento en los cuatro países de la subregión, existen actualmente iniciativas de algunos gobiernos subnacionales para emprender acciones de respuesta al cambio climático dentro de su ámbito geográfico. Algunos de ellos incluso han avanzado en hacer explícitas sus acciones al elaborar estrategias locales de adaptación y mitigación, y adelantar medidas a través de proyectos de inversión pública. Es indispensable analizar estas iniciativas a fin de extraer las buenas prácticas y lecciones aprendidas, y determinar sus niveles de articulación con los marcos institucionales nacionales establecidos para el abordar el tema. Este análisis permitiría entender mejor las

dificultades de los procesos impulsados a nivel local, y los alcances y características que deben ser considerados para la descentralización de la gestión del cambio climático.

Otra necesidad importante que permite complementar este estudio es el análisis de la participación de actores clave en los procesos de identificación, implementación y evaluación de las políticas públicas para tratar el tema de cambio climático en la subregión andina. Es claro que la viabilidad y aplicabilidad de estrategias de políticas requiere de la implementación de mecanismos de participación y consulta a actores clave que garanticen la validación de la misma y faciliten su implementación. La identificación de estos actores, la determinación de los roles y funciones, así como los “momentos” de su intervención, permitiría entender la implementación o fractura de las políticas de cambio climático que se impulsan en los países. En este mismo sentido sería recomendable evaluar los impactos reales del diseño, estructuración e implementación de las políticas públicas, principalmente como una institucionalidad sistémica y compleja que responda a los contextos tanto internos como externos, y que responda a los escenarios de incertidumbre que plantea el cambio climático.

Finalmente, el entendimiento de los principales mecanismos de inversión pública que sustentan los procesos de implementación de las políticas de cambio climático en la subregión andina es un tema importante a ser investigado y analizado. Los gobiernos, a fin de garantizar la orientación y fomentar una adecuada aplicación de las políticas públicas, deben acompañarlas de recursos financieros para su implementación. En general para los países sudamericanos, especialmente para los de la región andina, no se cuenta con una cifra oficial sobre el gasto público para la adaptación al cambio climático (Baca et ál. 2009). La evolución de la temática en los países de la región andina sugiere que los gobiernos están realizando importantes esfuerzos para financiar los proyectos relacionados con el cambio climático, que se complementan con el apoyo significativo de la cooperación internacional. Los esfuerzos por estimar los costos e inversión necesaria para la gestión del cambio climático en los cuatro países se enfrentan a dificultades vinculadas sobre todo a los niveles de incertidumbre sobre los efectos del cambio climático y los contextos socio-económicos nacionales, los cuales hacen que los sectores priorizados para impulsar acciones de adaptación varíen entre países, y dentro de un mismo país para diferentes regiones. Adicionalmente, existe una heterogeneidad de las aproximaciones metodológicas para estimar los costos e inversiones para la adaptación al cambio climático, que consideran distintos sectores y flujos financieros.





Adaptación al cambio climático en los Andes Tropicales —Discusión y conclusiones—

MANUEL PERALVO¹
MACARENA BUSTAMANTE¹
FRANCISCO CUESTA¹
MARÍA TERESA BECERRA²

¹ Iniciativa de Estudios Ambientales Andinos – CONDESAN

✉ manuel.peralvo@condesan.org

² Área de Medio Ambiente, Secretaría General de la Comunidad Andina

INTRODUCCIÓN

En términos generales, la vulnerabilidad de un sistema social o ambiental se la describe en términos del potencial de experimentar pérdidas o daños asociados a eventos o variaciones en un conjunto de condiciones, los cuales se relacionan a factores tanto socioeconómicos como biofísicos, y afectan la probabilidad de que tales eventos o condiciones ocurran. La vulnerabilidad está directamente relacionada con la habilidad de un sistema o sus componentes para hacer frente al nuevo contexto de eventos o condiciones. Por lo tanto, la vulnerabilidad puede ser entendida como un estado dinámico influenciado tanto por condiciones biofísicas como socioeconómicas (Adger et ál. 2003, Smit y Wandel 2006).

La literatura relacionada al cambio climático conceptualiza la vulnerabilidad como la relación, por un lado, al grado de exposición y sensibilidad, y por otro, con la capacidad adaptativa de los sistemas sociales y ecológicos (Smit y Pilifisova 2001). La capacidad adaptativa refleja la capacidad de los individuos, sistemas y sociedades para anticiparse, adaptarse y hacer frente a las fuentes de tensión y estrés relacionadas tanto a factores climáticos como sociales, económicos o políticos (Berkes et ál. 2003, Smit y Wandel 2006). A diferencia de los otros dos atributos –exposición y sensibilidad–, la capacidad adaptativa tiene una relación inversa con la vulnerabilidad; a mayor capacidad adaptativa se espera que la vulnerabilidad frente al cambio climático sea menor (Smit y Pilifisova 2001). Así, muchas de las acciones impulsadas para enfrentar el cambio climático promueven el fortalecimiento de la capacidad adaptativa como mecanismo para incrementar la resiliencia social y ecológica (e.g., Marshall et ál. 2010, Brooks y Adger 2005). Además, la capacidad adaptativa está en función de las características geográficas, históricas, sociales e institucionales asociadas a los actores que responden a los impactos del cambio climático, así como de las escalas político-temporales de estas características (Smit y Pilifisova 2001, Young y Lipton 2006, Adger y Vincent 2005).

Este capítulo presenta los principales resultados y conclusiones de los estudios específicos realizados para cada eje temático de este Panorama Andino de Cambio Climático. Se ha priorizado el desarrollo de aquellos temas transversales que nos ayudan a responder de manera sintética las siguientes preguntas: (1) ¿Cómo se configura la vulnerabilidad en la región andina?, (2) ¿Cuáles son las respuestas adaptativas promovidas desde los actores externos?, (3) ¿Cuáles son las limitaciones de información y los vacíos de conocimiento? y, (4) ¿Cuáles son las principales conclusiones que ayuden a construir una agenda de investigación en marco del manejo adaptativo?

IMPACTOS DIFERENCIADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ANDES TROPICALES

Los Andes Tropicales son una de las regiones identificadas como altamente sensibles y expuestas a los efectos del calentamiento global. Las series climáticas de tiempo del último siglo reportan un incremento promedio de la temperatura de 0.7°C en las últimas siete décadas (1939 – 2006; Vuille et ál. 2008), y a escalas subcontinentales se proyecta un incremento en la temperatura de 3 +/- 1,5 °C para fines del siglo actual (Urrutia y Vuille 2009, Vuille et ál. 2008). En los Andes, los modelos climáticos de circulación global (GCMs por su siglas en inglés) sugieren cambios fuertes en las condiciones climáticas actuales a lo largo de la Cordillera, con mayores cambios en las partes más altas, donde la contracción de las condiciones climáticas serían mayores y la exposición a los impactos se incrementaría (Williams et ál. 2007, Williams et ál. 2008).

Debido a esto, se espera que muchas de las condiciones climáticas locales cambien, ocasionando que algunos nichos climáticos exclusivos de la Cordillera desaparezcan o se desplacen, dando paso a la conformación de climas o nichos climáticos nuevos, no solo respecto al clima del siglo XX sino al menos al último millón de años (Williams et ál. 2007). Además, debido a los efectos sobre el gradiente adiabático, se espera una amplificación del efecto en las regiones de mayor altura (Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación). Estos resultados son consistentes con lo documentado en los estudios generados en esta publicación, donde se resalta que en los Andes Tropicales se esperan impactos diferenciados, a nivel de especies, ecosistemas, funciones hidrológicas (tales como provisión y regulación hídrica) y cultivos, como consecuencia de diferentes grados de exposición y sensibilidad de los sistemas andinos a las alteraciones climáticas proyectadas (Cuesta et ál., capítulo 5, Postigo et ál., capítulo 6, De Bièvre et ál. capítulo 4, en esta publicación). Adicionalmente, se espera que estos cambios en el régimen de clima interactúen con impactos asociados a cambios de cobertura y uso de la tierra (e.g., pérdida de capacidad de regulación de los páramos por efectos del arado) generando impactos amplificados sobre la integridad de los sistemas sociales y ambientales.

El promedio de las proyecciones de los GCMs acoplados a un modelo regional de balance hídrico, proyectan un incremento moderado en la precipitación total (De Bièvre et ál. capítulo 4, en esta publicación). Sin embargo, este cambio podría compensarse con un incremento en la evapotranspiración debido a una tendencia a un incremento en la temperatura del aire. Las proyecciones de los GCMs proyectan cambios diferenciados en el clima entre regiones de la cordillera. De acuerdo con las tendencias de precipitación modeladas, se espera un incremento de disponibilidad de agua en los Andes del Ecuador, Colombia y en el altiplano Boliviano. Por el contrario, en el norte de la sierra peruana, varias zonas sufrirían una disminución de la disponibilidad de agua entre el 10% al 20% de acuerdo al escenario A2B, periodo 2050. No obstante, el promedio oculta los rangos máximos y mínimos en las proyecciones, cuya variación es importante, y que definen un margen amplio dentro del cual deberían diseñarse e implementarse las acciones de adaptación. Ello implica que estas proyecciones tienen un gran nivel de incertidumbre a causa de las limitaciones de información disponible en los países andinos, y a causa de las limitaciones propias de los GCMs, especialmente al ser aplicados a escalas locales.

Respecto a los cambios en la estacionalidad, los resultados de los GCMs proyectan, en promedio, un ligero aumento de la estacionalidad a nivel regional. Sin embargo los patrones geográficos de esta tendencia son muy variables, evidenciando una consistencia muy baja entre los modelos utilizados (Buytaert y Ramírez-Villegas, capítulo 3, en esta publicación). Al contrario, la evidencia sobre el incremento reportado en la temperatura y la evapotranspiración así como en las proyecciones de los GCMs son más consistentes. Este incremento tendría un efecto negativo sobre la disponibilidad de agua en los Andes debido a que mayores temperaturas y estacionalidad incrementan la tasa de evapotranspiración lo que afecta en el balance hídrico (e.g., regulación y provisión de caudal) (Vuille et ál. 2003).

El aumento en la evapotranspiración puede provocar cambios en la composición de las comunidades vegetales de los ecosistemas andinos. Por ejemplo, se puede esperar que aquellas especies con mayor capacidad adaptativa ante condiciones de estrés hídrico puedan colonizar hábitats cambiantes. Estas nuevas condiciones pueden generar una mayor dominancia de especies leñosas en detrimento de las especies herbáceas, propiciando un mayor consumo de agua de la vegetación y quizá un incremento en la evapotranspiración. Esto podría incidir en cambios en la oferta hídrica generada por los ecosistemas altoandinos de forma similar a lo observado con los efectos de la forestación con pinos en el páramo (Buytaert et ál. 2007, Buytaert et ál. 2006a).

En los Andes Tropicales, se espera que los ecosistemas y especies que ocurren en las partes altas (> 3000 m elevación) de la cordillera sean los que sufran mayores impactos con contracciones proyectadas de su nicho climático, incluso superiores al 80%. En contraste, muchos de los organismos y ecosistemas de alturas medias (e.g., bosques montanos, incluidos los xéricos del Sur de Bolivia) podrían verse favorecidos debido a una expansión considerable de su nicho climático (Cuesta et ál., capítulo 2, en esta publicación). Este tipo de respuestas se debe a que la gran mayoría de las especies y ecosistemas en los Andes presentan distribuciones elongadas en la dirección N-S cubriendo un rango de elevación promedio de 1000 metros y delimitadas de este a oeste generalmente por los valles áridos o semiáridos que bisecan la cordillera (Jørgensen y Ulloa-Ulloa 1994, Jørgensen et ál. 1995). Considerando que por las condiciones ecológicas y su historia de especiación reciente durante el Pleistoceno (Simpson y Toddzia 1990, Van Der Hammen 1974), las especies y ecosistemas andinos generalmente ocupan nichos climáticos restringidos (Sklenář et ál. 2005), estos efectos tienen gran importancia para la biodiversidad de los Andes Tropicales.

Otro aspecto de consideración es la velocidad del cambio observado y esperado. El meta-análisis realizado por (Chen et ál. 2011) reporta un desplazamiento de los nichos climáticos hacia elevaciones mayores a una tasa promedio de 12,2 metros por década ($SE \pm 1,8$; $n = 1367$ especies), y hacia latitudes superiores a una tasa promedio de 17,6 metros por década ($SE \pm 2,9$), velocidades de cambio dos o tres veces mayores a las reportadas previamente (Root et ál. 2005). No obstante, existen diferencias importantes en las tasas de cambio entre diferentes organismos, sugiriendo que su tasa de desplazamiento está determinada por múltiples factores intrínsecos de las especies y de los modificadores externos del cambio, como los patrones de uso de la tierra.

Se espera que el cambio climático afecte de forma heterogénea las áreas de aptitud climática de los cultivos en los Andes. Los incrementos de la temperatura y variabilidad de la precipitación, así como el aumento en la intensidad y frecuencia de fenómenos climáticos extremos (e.g., ENSO, heladas, sequías), pueden cambiar la aptitud climática de los cultivos en la región, requiriendo ajustes tanto en su manejo como en las dinámicas socioeconómicas asociadas a los sistemas de producción. Postigo et ál. (capítulo 6, en esta publicación) identifican cambios apreciables en la aptitud climática de 25 cultivos andinos y subandinos de

importancia económica y para la seguridad alimentaria de los pobladores. Las áreas aptas para cultivo se contraerán, expandirán o desplazarán. Geográficamente, las áreas donde existiría mayor pérdida de aptitud climática están ubicadas en los extremos de latitud del área de estudio y en el extremo inferior de altitud, en las zonas de piedemonte de los países andinos. Esto sugiere un patrón general de desplazamiento vertical ascendente en los cultivos seleccionados con una pérdida de aptitud para los cultivos de mayor altura y una expansión para los cultivos de tierras bajas.

De forma asociada, se observan tres patrones diferenciados —pero relacionados entre sí— de impacto. Por un lado, los impactos esperados sobre cultivos de altura (e.g., quinoa, camote, papa) son heterogéneos, incluyendo áreas de pérdida y ganancia de aptitud climática. Estos patrones de impacto son cruciales puesto que estos cultivos constituyen la base de la seguridad alimenticia de un número importante de pequeños productores andinos. Por otro lado, se espera que la expansión de las zonas de aptitud de cultivos de tierras bajas (e.g., arroz, banana) pueda, bajo ciertas condiciones, expresarse en oportunidades para intensificar los sistemas productivos andinos. Finalmente, se observa que para algunos cultivos la pérdida de aptitud climática se daría en áreas donde predominan las poblaciones pobres de la región andina. Esto genera insumos base para evaluar si los impactos potenciales del cambio climático van a ser sentidos de forma desproporcionada por pobladores andinos que actualmente ya enfrentan un contexto social y económico difícil, y cuáles son las condiciones necesarias para que puedan aprovechar potenciales oportunidades generadas por el cambio climático.

MECANISMOS QUE INTERACTÚAN CON LOS IMPACTOS DEL CC Y LA CAPACIDAD DE RESPUESTA

La vulnerabilidad de los sistemas sociales en los Andes y su capacidad adaptativa frente al cambio climático no pueden entenderse de forma aislada a los impactos generados por otros procesos sociales y ambientales que interactúan a múltiples escalas espaciales y temporales. Un argumento importante de esta sistematización del conocimiento es que la capacidad adaptativa frente al cambio climático de distintos grupos humanos en los Andes se encuentra moldeada por la interacción histórica con procesos de cambio sociales y ambientales de distinta duración. Otra conclusión importante es que las respuestas adaptativas normalmente se articulan para afrontar condiciones de riesgo o impactos generados por varias fuentes. Considerando la diversidad de la región andina, la capacidad adaptativa de los pequeños agricultores de la puna es radicalmente diferente —y se construye a partir de diferentes determinantes— que la de aquellas comunidades cuyos modos de vida se encuentran altamente diversificados y ligados, por ejemplo, a espacios periurbanos de ciudades como la Paz, Quito o Bogotá. Esto

genera la necesidad de integrar al estudio de la capacidad adaptativa la interdependencia entre actores, la distribución de recursos necesarios para que estos actores articulen respuestas, y los arreglos institucionales que median el acceso y uso de dichos recursos (Adger 2006). Además, en el complejo y diverso escenario andino, también es necesario considerar las barreras físicas, ecológicas, socioeconómicas e institucionales que pueden limitar la capacidad de adaptación de los pobladores andinos.

El cambio climático es una dimensión adicional en un conjunto interrelacionado de procesos sociales y ambientales que incluyen la intensificación de los vínculos urbano – rurales mediante articulaciones de mercado y mano de obra (incluyendo los procesos de migración), el cambio de regímenes institucionales y las relaciones sociales que estructuran el acceso a la tierra y la producción agropecuaria, la expansión, persistencia o disminución de condiciones de pobreza, entre otros. La interacción y mediación con los efectos del CC se da normalmente de formas no lineales y contingentes a los contextos locales. Esto dificulta la generación de modelos generales que permitan establecer expectativas sobre los efectos de distintos regímenes de impacto asociados al cambio climático bajo distintas condiciones. Por ejemplo, la migración interna y externa desde zonas rurales puede emerger como respuesta a condiciones de limitación acentuada de acceso a tierra productiva, carencia de servicios públicos como salud y educación, disminución de los términos de intercambio de la producción agropecuaria y existencia de oportunidades de empleo en los lugares de destino (Hentschel y Waters 2002). Tanto en cuanto las condiciones de acceso a recursos naturales críticos (i.e. tierra, agua) son un factor dentro del contexto de toma de decisiones de migración, el cambio climático podría intensificar o aminorar los factores de empuje a la migración.

De igual forma, la migración define distintos mecanismos de retroalimentación que modifican las condiciones de respuesta a los posibles efectos futuros del cambio climático. Por un lado, se ha argumentado que la migración erosiona mecanismos adaptativos basados en relaciones sociales que las familias en áreas rurales utilizan para superar barreras de acceso a recursos clave. Estos mecanismos normalmente se sustentan en la capacidad de comunidades y familias de organizar respuestas coordinadas para movilizar trabajo, articular acciones frente a impactos extra-locales existentes o latentes, entre otros. Por otro lado, también se observa que la migración entendida en un contexto de diversificación de actividades y reducción de riesgos puede generar un contexto mejorado de acceso a recursos. Existe evidencia de que no son, típicamente, ni los más pobres ni los más vulnerables quienes migran, sino aquellos individuos que tienen acceso a redes sociales migratorias y una base de recursos financieros quienes incorporan a la migración dentro de sus estrategias, sea de forma permanente o cíclica (Gray 2009). Además, si bien la inversión de remesas de procesos migratorios ha creado patrones de gasto suntuario en algunos casos, también se han observado procesos de inversión productiva y mejoramiento de acceso a educación (Bebbington 1999). En este contexto, las implicaciones adaptativas frente al cambio climático de procesos migratorios se definen por procesos y condiciones de acceso a

activos, así como de contexto, que están más allá de los regímenes de cambio ambiental al que se enfrentan los pobladores locales.

Otra interacción importante ocurre entre el cambio climático y distintos regímenes de uso de la tierra. Por definición, los regímenes de uso de la tierra generan resultados de distinta índole. Por un lado, generan bienes y servicios que sustentan a la población mundial, por ejemplo, mediante la producción de alimentos; por otro lado, los regímenes de uso de la tierra generan impactos sociales y ambientales negativos asociados a prácticas no sustentables (e.g., sobreutilización de suelos que conduce a la erosión; Foley et ál. 2005). La vulnerabilidad asociada a los regímenes de uso de la tierra emerge en parte de la distribución de costos y beneficios a lo largo de la cadena de producción y comercialización, con impactos ocurriendo desde lo local (e.g., exposición a pesticidas) hasta lo global (e.g., emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la agricultura).

En los Andes, además, existen interacciones fuertes entre procesos de articulación al mercado, diversificación de modos de vida rurales y arreglos institucionales de acceso a la tierra. Una tendencia general es la individualización del acceso y uso de la tierra en contextos de intensificación de la producción para el mercado, en detrimento de arreglos institucionales comunitarios. Esto tendría un efecto negativo sobre la capacidad adaptativa de los sistemas productivos, puesto que los arreglos institucionales que organizaban la distribución espacial de áreas de barbecho largo y establecían reglas de acceso a tierras de cultivo y pastoreo de forma comunitaria permitían la recuperación de la fertilidad del suelo, minimizar incidencia de pestes, entre otros (Zimmerer 2002). En contraste, existe evidencia de procesos de articulación al mercado que han generado reinversión en productividad, mejoramiento de condiciones de acceso a salud y educación y trayectorias de movilidad fuera de ciclos de pobreza (Bebbington 1997, Bebbington 2000). Como ocurre con la migración, los efectos de los cambios en regímenes de uso de la tierra sobre la capacidad adaptativa frente al cambio climático dependen de los efectos sobre arreglos institucionales de acceso existentes. Por ejemplo, se deberán observar las sinergias y compromisos entre los beneficios derivados de un manejo flexible e individualizado de la tierra y los costos en relación a seguridad alimentaria, exposición a riesgos (e.g., fluctuaciones de precios), mantenimiento de la fertilidad del suelo, entre otros.

La incorporación de interacciones en el análisis de procesos de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático añade una dimensión de complejidad a un ámbito de análisis y acción que ya presenta alta heterogeneidad. Sin embargo, este aumento de complejidad no implica necesariamente una disminución en la capacidad de conceptualizar e implementar respuestas efectivas frente a los efectos del cambio climático a distintas escalas. Por un lado, el reconocimiento de interacciones entre procesos con orígenes y dinámicas distintas abre espacios y oportunidades para trabajar sobre la vulnerabilidad utilizando enfoques múltiples. Muchos de los esfuerzos futuros para minimizar la vulnerabilidad frente al cambio climático deberán enfocarse en las sinergias entre mejoramiento de las condiciones de vida y la generación de sistemas de producción sustentables que

construyan sobre el contexto institucional local. Por otro lado, enfoques basados en interacciones deberían permitir identificar barreras estructurales que impiden respuestas locales adecuadas a procesos de cambio social o ambiental. En los Andes, estas barreras continúan vinculadas con procesos que generan condiciones asimétricas e inequitativas de acceso a recursos clave para los habitantes rurales de la región.

En gran medida, la eficacia de las acciones de adaptación están influenciadas por el contexto político e institucional en las que se implementan, así como por la capacidad de los individuos para acceder y movilizar sus recursos con el objetivo de poner en práctica acciones de adaptación (Marshall et ál. 2010). Las instituciones son procesos predominantemente endógenos asociados a las normas y estructuras sociales existentes, capaces de evolucionar, normalmente, de forma progresiva (Ellis 2000). Estas pueden potenciar o socavar la capacidad de adaptación de una sociedad y de sus individuos ante cambios ambientales, sociales y políticos (Jones y Boyd 2011, Tompkins y Adger 2004). Diferentes arreglos institucionales pueden ofrecer oportunidades para mejorar la gestión de los recursos comunes en escenarios sociales y ecológicos complejos. En este sentido, potenciar instituciones flexibles, más participativas, y capaces de incluir continuamente el conocimiento existente y reconocer la incertidumbre asociada a ello, es el ideal para afrontar condiciones cambiantes e impactos diferenciados en diferentes regiones de los Andes. Esta es la base para incorporar el manejo adaptativo a la práctica y gestión de los sistemas andinos, y promover su resiliencia ante cambios ambientales, económicos y sociopolíticos, no solo climáticos.

Además, las instituciones son instancias por medio de las cuales se derivan procesos de toma de decisiones que median el acceso y uso de capitales (incluidos el físico, humano, social y natural), y facilitan el ejercicio de capacidades y elecciones individuales y colectivas. De esta forma, las instituciones se convierten en los procesos sobre los cuales se define el uso del territorio y sobre los cuales se ha configurado históricamente el paisaje andino. Ello no significa que este sea estático, así como tampoco lo son las instituciones sobre las cuales estos se han construido. Los complejos y asimétricos procesos de integración al mercado de las comunidades rurales andinas, sus vínculos y procesos migratorios urbano-rurales que en ciertos casos incluso son transnacionales, y la erosión o fortalecimiento de las bases y su capital social forman también parte de la heterogeneidad que gobierna el paisaje andino. Por lo tanto, la capacidad de movilización de recursos, tanto tangibles como intangibles, en el marco de un contexto institucional local es crítico a la hora de desarrollar estrategias e implementar acciones de adaptación en los sistemas sociales y ecológicos, apropiadas para el contexto andino. Por ejemplo, las estrategias desarrolladas, tanto en los sistemas productivos andinos como en la gestión y manejo del agua, revelan la integración de tecnologías y conocimientos basados en avances técnicos modernos y tradicionales.

Un tema trascendente es la articulación de acciones de adaptación en múltiples escalas, donde frecuentemente numerosas instituciones operan bajo diferentes esquemas de gobernanza y cuentan con diferentes tipos de capacidad adaptativa.

La diversidad y complejidad institucional andina obliga a tomar este tema con especial cuidado. Por ejemplo, en los Andes es indispensable reconocer el altísimo valor de organización de comunidades rurales —muchas de las cuales giran en torno a los sistemas de riego creados, configurados y constituidos a través de la construcción y mantenimiento de redes de canales—. A través de ello, muchas organizaciones locales han sido y son capaces de movilizar recursos propios y externos para promover acciones adaptativas en sus territorios (cf. Murtinho 2010). Sin embargo, esto no significa que las respuestas a nivel comunitario garanticen el bienestar de todos sus miembros por igual, o que estas respuestas no enfrenten barreras importantes enmarcadas en procesos que operan a escalas mayores. En este contexto, una discusión que tiene una relevancia renovada se relaciona al rol del Estado a través de la formulación e implementación de políticas públicas para fortalecer no solamente las capacidades adaptativas propias, sino de todos los pobladores, y cuáles son los determinantes más críticos de la efectividad de estas acciones en el contexto andino.

RESPUESTAS ADAPTATIVAS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ANDES TROPICALES

Con la ratificación del Protocolo de Kioto en el año 2004, los países de la subregión andina iniciaron la creación de oficinas nacionales para promover el MDL, y el cumplimiento de los requerimientos necesarios para acceder al mercado de carbono. Como Maldonado et ál. (capítulo 8, en esta publicación) documentan, en los cuatro países de la CAN se aprecia una evolución importante de la institucionalidad a escala nacional asociada a la temática de cambio climático, de acuerdo con los hitos que marcaron a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) y el interés propio de los estados por avanzar en el desarrollo de planes, estrategias y programas que apoyen su implementación. Esta evolución ha estado acompañada por recursos financieros, así como por la asistencia técnica de la cooperación (incluido el GEF), la banca multilateral y los aportes directos de algunos países desarrollados, dirigidos específicamente a apoyar el cumplimiento de las obligaciones adquiridas ante la Convención.

En los primeros años de la Convención, las políticas públicas y acciones sobre cambio climático en los países de la subregión —al igual que los demás países latinoamericanos— se enfocaron en temas de mitigación, disminución de las emisiones de GEI y promoción de mecanismos como el MDL (Bucher et ál. 2000). Los primeros esfuerzos a nivel nacional se orientaron hacia el fortalecimiento de la institucionalidad y el desarrollo de las primeras comunicaciones nacionales. En éstas, se registran avances en la institucionalización, sistematización y análisis de información existente, junto con la promoción de la investigación científica

para el desarrollo de inventarios de GEI y escenarios de cambio climático, así como la identificación de prioridades de trabajo a nivel nacional para la elaboración e implementación de planes de acción y estrategias de cambio climático.

Por otro lado, los temas de adaptación al cambio climático empiezan a cobrar importancia en la primera década del dos mil, con los acuerdos de Marrakech, que marcaron un hito importante en el desarrollo del tema. Posteriormente, los Acuerdos de Buenos Aires del 2004 y el Plan de Acción de Bali del 2007 dieron mayor relevancia al tema. En la subregión, este progreso en la adaptación del cambio climático es evidenciado en el fortalecimiento de la institucionalidad nacional para el manejo del tema y el incremento progresivo de proyectos de cooperación relacionados con la temática.

La institucionalidad nacional de los países de la subregión andina ha sido sujeto de varias modificaciones con el objetivo de mejorar la planificación, el liderazgo y la gestión. En la arquitectura institucional actual, las autoridades ambientales alojan las instancias encargadas de coordinar la política sobre cambio climático, las cuales trabajan en el marco de sistemas nacionales más amplios. Los cuatro países han definido estructuras interinstitucionales que involucran diferentes instancias del Gobierno y que tienen como objetivo orientar las políticas y acciones nacionales relacionadas con el cambio climático, tanto en los temas técnicos como políticos. Un elemento clave en este contexto es el involucramiento de los organismos de planificación en la evolución institucional, denotando la relevancia del tema en la definición de la política pública, lo cual se evidencia en la incorporación de la problemática del cambio climático en los Planes de Desarrollo de los cuatro países.

Complementariamente, tal como lo demuestra la revisión de literatura en cada eje temático y las acciones reportadas por la cooperación, existe una gran variedad de respuestas adaptativas en los Andes Tropicales (Bustamante et ál. capítulo 7, en esta publicación). Estas incluyen respuestas endógenas o exógenas, planificadas o autónomas, con énfasis distintos de acuerdo a los actores que las promueven. En el caso de las acciones promovidas por la cooperación internacional, la mayoría han sido ejecutadas a escala local, están dirigidas hacia el fortalecimiento de capacidades, y tienen un ligero énfasis hacia los recursos hídricos. La evaluación de la vulnerabilidad no aparece como el principal eje de trabajo de la cooperación internacional, sin embargo, esta debería ser la base de procesos de fortalecimiento de capacidades e implementación de medidas de adaptación. Tampoco se observa un vínculo directo con las estrategias y planes nacionales de adaptación, el cual podría potenciar el impacto de los recursos invertidos.

Muchas de las acciones y estrategias implementadas en la región se relacionan con inversiones relacionadas a mejorar progresivamente los capitales físico, humano y natural, lo cual incluye inversiones en infraestructura (e.g., almacenamiento y regulación hídrica), procesos de capacitación y sensibilización pública, y la implementación de distintos esquemas de incentivos o mecanismos de reducción de riesgo. Asimismo, y con diferencias entre países y en el nivel de

institucionalidad de la información generada, los países andinos han procurado avanzar en la investigación del clima y en la integración del cambio climático dentro de políticas gubernamentales intersectoriales relevantes. Como iniciativas más incipientes —promovidas más desde la sociedad civil que implementadas por los Estados per se— se han promovido procesos de aprendizajes comunes y la implementación de esquemas de manejo adaptativo como mecanismos efectivos de retroalimentación entre la ciencia y la política, a fin de mejorar la comprensión sobre procesos de generación de impactos (tales como los sociales y económicos) que interactúan con aquellos asociados al cambio climático.

A escala nacional, los esfuerzos de la cooperación han favorecido procesos de fortalecimiento de las autoridades ambientales para la gestión del cambio climático y el avance en el desarrollo de actividades de investigación, el mejoramiento del conocimiento de la vulnerabilidad actual y futura, y la generación de bases y experiencias piloto para la implementación de medidas de adaptación. Adicionalmente, se ha observado un incremento en la asignación de recursos institucionales, humanos y financieros por parte del Estado para el diseño y ejecución de medidas de adaptación y mitigación. También se ha observado una mayor injerencia de los gobiernos en la canalización y orientación del apoyo multilateral y bilateral para la gestión del tema a escala nacional. En el desarrollo de sus instrumentos, los cuatro países han involucrado activamente programas de educación y sensibilización pública sobre el cambio climático y sus efectos. En algunos casos, ello ha conducido a la elaboración de estrategias nacionales de educación y comunicación, como es el caso de Colombia y Bolivia. La tendencia a favorecer enfoques integrados de trabajo en la temática es evidente ante la existencia de marcos institucionales que promueven la coordinación intersectorial y los esfuerzos de la cooperación en enfocar acciones en sectores particulares (e.g., recursos hídricos, sistemas productivos) como una estrategia para focalizar las acciones y capitalizar experiencia. Sin embargo, esto requiere un mayor trabajo de fortalecimiento institucional, desarrollo de políticas e involucramiento del sector privado.

La información recopilada en este Panorama Andino de Cambio Climático con actores de la región sugiere que las necesidades de financiamiento de los países andinos para impulsar acciones de adaptación en el contexto de cambio climático superan la disponibilidad de fondos provistos desde la cooperación internacional. Adicionalmente, existe cierto grado de concentración de sus fondos hacia ciertos ejes temáticos y áreas geográficas. Ello deriva en un desfase mayor entre las necesidades a distintas escalas y las inversiones ejecutadas. En este escenario, es necesario considerar y fortalecer mecanismos que puedan, desde las estrategias y prioridades nacionales identificadas, direccionar las agendas de trabajo de la cooperación como una respuesta estratégica promovida desde los países andinos, que permita complementar los recursos técnicos y financieros disponibles desde ambas fuentes.

CERTEZAS PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático implica un gran nivel de incertidumbre, tanto para científicos como para tomadores de decisión. En la ciencia, la incertidumbre se propaga hacia escalas mayores, y los modelos, aunque útiles para generar escenarios potenciales, no pueden ser interpretados como verdades. Desde la política, ello implica que tomadores de decisión que operan a múltiples escalas y en múltiples sectores deben incorporar rangos de incertidumbre dentro de los procesos de toma de decisiones que el cambio climático afecta.

Sin embargo, más allá de la incertidumbre sobre la magnitud y en ciertos casos dirección de los impactos esperados, a lo largo de Panorama Andino también se ha identificado un conjunto de certezas que pueden impulsar acciones futuras en los países andinos. Algunas de estas certezas están relacionadas con procesos estructurantes que configuran la vulnerabilidad de los sistemas sociales y ecológicos en los Andes Tropicales. Tal como se mencionó anteriormente, condiciones tales como pobreza, la falta de capacidades para movilizar recursos —no solo económicos sino también humanos, técnicos, y políticos—, vínculos débiles con otros actores sean estos internos o externos, recientes procesos de erosión social, o procesos históricos de marginalidad, no solo incrementan la vulnerabilidad de ciertos sectores y grupos humanos, sino que se convierten en obstáculos serios para promover e implementar medidas adaptativas que sean efectivas. Tales contextos resultan familiares a la realidad andina, que además enfrenta no solo las amenazas del cambio climático sino también los cambios globales que modifican la demanda de productos agrícolas, incentivan los procesos urbanos, y en muchos casos, polarizan aún más las relaciones sociales.

Por lo tanto, en ese contexto, el cambio climático interactúa, y muchas veces exacerba, procesos sociales y ecológicos en marcha, en especial, los efectos negativos de cambios de uso de la tierra. La deforestación y degradación de ecosistemas andinos generan amenazas importantes para la conservación de la biodiversidad, afectando los servicios hidrológicos, particularmente de regulación, que estos proveen. Siendo el acceso al agua no solo un tema socialmente sensible para los países andinos, sino reconocido por muchos de ellos como un derecho, la planificación del territorio (e.g., a través de enfoques de manejo integral de cuencas) ha ganado reconocimiento como una estrategia clave para el recurso hídrico.

Adicionalmente, se reconoce que las estrategias de manejo del territorio no pueden basarse exclusivamente en la protección. El paisaje andino es un mosaico diverso de usos que resulta de los compromisos espaciales (i.e. *trade-offs*) que los pobladores locales y extra-locales han asumido en el marco de sus estrategias y modos de vida. Desde una perspectiva temática más amplia y que incluya el manejo de cuencas, el manejo vertical de territorio puede ofrecer alternativas para balancear distintos intereses y necesidades de los pobladores andinos. El

manejo vertical ha sido la base de ocupación y uso del territorio desde una visión tanto productiva como de acceso a fuentes de agua, así como de minimización de riesgos, y también permite incorporar estrategias de manejo que atiendan y protejan gradientes de elevación asociados a la biodiversidad andina. Retomar este enfoque como una alternativa para promover un mosaico de usos que provea múltiples beneficios a la sociedad —desde seguridad alimentaria hasta fuentes de agua, recreación y culturales— ofrece un marco conceptual adaptado desde la realidad andina.

Finalmente, la generación de información, el rediseño de arquitecturas institucionales y el diseño de políticas públicas deben ser incorporados bajo enfoques acordes al contexto de incertidumbre al cuales estos se asocian. Esto requiere generar procesos de manejo adaptativo como un enfoque conceptual válido y deseable. Es necesario diseñar mecanismos que permitan sortear las limitaciones asociadas a su práctica. Esto incluye la comprobación de hipótesis y supuestos asociados al diseño de políticas a través de evaluaciones sistémicas y la generación de información y conocimiento científico relevante para política que sean incorporados en los procesos de toma de decisiones. Adicionalmente, se necesita crear y fortalecer plataformas de diálogo intersectorial, que integren a múltiples actores para validar, legitimar y consolidar aprendizajes comunes. Aunque el manejo adaptativo genera varios desafíos prácticos para todos los actores sociales, es la forma más inteligente de afrontar un entorno complejo con consecuencias inciertas.

LIMITACIONES DE CONOCIMIENTO Y VACÍOS DE INFORMACIÓN

La revisión del estado del conocimiento llevada a cabo como parte de los ejes temáticos de este Panorama Andino de Cambio Climático, así como algunos meta-análisis llevados recientemente en la región (Heller y Zavaleta 2009, Hole et ál. 2011), identifican limitaciones en nuestro conocimiento sobre los sistemas ambientales y sociales en los Andes Tropicales, los cuales pueden ser estructurados en tres grandes temas: (1) falta de información ecológica básica, (2) estudios de impacto basados en enfoques de modelamiento bajo grandes supuestos, y (3) falta de comprensión de la interacción entre factores biofísicos, sociales, económicos, e institucionales que estructuran la vulnerabilidad a distintas escalas espaciales. Esto evidencia la necesidad de fortalecer los procesos de generación y gestión de información que contribuyan a contar con conocimientos que permitan procesos de análisis y discusión informados desde diferentes ópticas e intereses. Adicionalmente, esta base de información debería permitir realizar lecturas transversales de casos locales, contribuyendo así a consolidar visiones nacionales y regionales robustas sobre los efectos y posibles respuestas frente al cambio climático.

A continuación se discuten los principales vacíos de conocimiento que podrían constituirse en temas prioritarios de investigación en los próximos años para los Andes.

A. FALTA DE ESTUDIOS EMPÍRICOS Y EXPERIMENTALES SOBRE PROCESOS ECOSISTÉMICOS

Los estudios desarrollados en el marco de esta publicación coinciden en que aún cuando la investigación sobre los ecosistemas y la diversidad biológica de los Andes ha experimentado un proceso sostenido de expansión, persisten vacíos de conocimiento significativos en términos de procesos ecosistémicos como el ciclo hidrológico y la dinámica del carbono (Gibbon et ál. 2010, Girardin et ál. 2010, Malhi 2010), los grupos de especies sobre los cuales se han generado estudios (Báez et ál. 2011), las características intrínsecas ecológicas y evolutivas que determinan la capacidad adaptativa de las especies, y las regiones y localidades analizadas.

Por otro lado, los estudios empíricos que, por ejemplo, abordan los factores ambientales y las interacciones ecológicas que afectan las funciones básicas de organismos, deben ser complementados con aproximaciones experimentales que permitan distinguir los efectos individuales de los factores ambientales que normalmente actúan de manera simultánea en la naturaleza (Báez et ál. 2011). Por ejemplo, no es posible conocer si incrementos en la temperatura llevarán a la colonización de especies leñosas en zonas de páramo, sin evaluar independientemente los efectos negativos de la alta radiación UV en el establecimiento de plántulas de especies leñosas en páramos (Bader et ál. 2007a). En este sentido, es necesario igualmente estudiar procesos o mecanismos de retroalimentación negativos que podrían atenuar los posibles efectos esperados en los cambios de la aptitud climática de los cultivos o en los procesos de regulación del ciclo hidrológico.

La información empírica y experimental es básica para construir modelos de predicción frente a cambios ambientales futuros (Dirnböck et ál. 2003, Pauli et ál. 2007). Los datos autoecológicos resultantes de estudios en campo y laboratorio son parámetros críticos que determinan la confiabilidad de los ejercicios de modelamiento (Thuiller et ál. 2008). La frase “basura entra, basura sale”, usualmente utilizada entre modeladores, indica que la calidad de los datos ingresados en los análisis determinará, junto con la calidad del modelo, la validez de los resultados. En el caso de los Andes Tropicales, existen pocos estudios ecológicos empíricos o experimentales para las especies más comunes, que permitirían modelar sus respuestas en ambientes futuros (Feeley y Silman 2010b).

En este sentido, algunos temas prioritarios incluyen: a) la relación entre la diversidad de especies y formas de vida y la diversidad funcional (diversidad de grupos

funcionales o gremios; ver Korner 2005, Smith y Young 1987). Aunque se cuenta con algún conocimiento sobre la existencia de grupos funcionales “respuesta” en términos de conjuntos de especies con estrategias adaptativas similares frente a factores ambientales limitantes (e.g., Azocar y Rada 2006, Sklenář et ál. 2010), se sabe muy poco sobre los grupos funcionales que tienen efectos similares sobre el funcionamiento del ecosistema; b) el análisis del grado de redundancia funcional existente, así como el papel que la diversidad dentro de cada grupo funcional juega desde el punto de vista de la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas frente a disturbios ambientales y antrópicos; c) la identificación de especies clave para el funcionamiento y dinámica del ecosistema, y el análisis del papel que las interacciones entre especies (e.g., facilitación, dispersión, polinización, herbivoría) juegan en el mantenimiento de la diversidad y la productividad del ecosistema (ver Sklenář 2009, Ramsay y Oxley 2001).

Respecto a la funcionalidad del ecosistema, y la provisión de servicios críticos tales como la regulación hídrica o el almacenamiento de carbono, existen importantes asimetrías en la comprensión de los procesos entre los distintos ecosistemas de los Andes Tropicales. Por ejemplo, existe una mayor comprensión de cómo funciona hidrológicamente el páramo y los bosques montanos siempreverdes (Bruijnzeel 2011, Jarvis y Mulligan 2011, Nadkarni 2002) en comparación con los ecosistemas de puna, en particular la puna xerofítica, o de los bosques montanos deciduos y semideciduos. En particular existen conocimientos incipientes sobre cómo los gradientes climáticos de precipitación, humedad ambiental y temperatura controlan la productividad del sistema y el funcionamiento hidrológico.

Otro vacío importante de conocimiento está asociado a los vínculos entre biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos hidrológicos (Tobón 2009). En general, los enfoques predominantes para cuantificar y caracterizar los servicios ecosistémicos se basan en análisis estáticos de un solo servicio, ignorando las dinámicas sistémicas, incertidumbres e interacciones presentes (Nicholson et ál. 2009). Incluso a nivel conceptual existen pocos esfuerzos para integrar y entender los diferentes mecanismos por los cuales la diversidad funcional altera las propiedades ecosistémicas y sus servicios (Díaz et ál. 2007). En particular, la mayor parte de la literatura disponible se ha realizado en países como Costa Rica y Panamá a través de programas de monitoreo establecidos para bosques montanos pluvi-estacionales (e.g., Hölscher et ál. 2004, Cavelier et ál. 1996), cuyos resultados deben ser interpretados reconociendo las diferencias de diferentes ambientes y biomas presentes en los Andes Tropicales.

Malhi et ál. (2010) proponen que nuestro entendimiento sobre la ecología de los ecosistemas y su funcionamiento podría incrementar considerablemente al integrar en los estudios diseños que incluyan las gradientes ambientales presentes en los sistemas tropicales (i.e. gradientes de humedad u otras variables ambientales). En particular, el uso de gradientes altitudinales podría constituirse en una herramienta clave para estudiar los efectos de la temperatura en la biodiversidad, la ecología, las funciones ecosistémicas y los sistemas productivos. Por lo tanto, el establecimiento de transectos altitudinales en los Andes puede ser visto como

un proceso complementario con experimentos en condiciones controladas, los cuales permiten generar conocimientos sobre las respuestas de los organismos o de los ecosistemas en períodos cortos de tiempo a cambios locales en el clima. Sin embargo, respuestas de largo plazo (adaptación, aclimatación, recambio en la comunidad) solo pueden ser generadas por estudios de larga duración en gradientes altitudinales (Grabherr et ál. 2000, Pauli et ál. 2005).

En este marco el fortalecimiento de iniciativas como el monitoreo del impacto del cambio climático sobre la biodiversidad de alta montaña (Red Gloria-Andes) y el monitoreo glaciar e hidrológico, necesita mayor institucionalización, de manera que dichas iniciativas favorezcan a futuro la generación de información útil para la toma de decisiones por parte de los Estados. De manera complementaria, en los países andinos también existe la necesidad de fortalecer los procesos de gestión de información para la toma de decisiones relacionadas con la respuesta al cambio climático.

B. ESTUDIOS DE IMPACTO BASADOS EN ENFOQUES DE MODELAMIENTO CON SUPUESTOS GRANDES

La mayoría de los estudios de impacto del cambio climático en los Andes se basan en la utilización de ejercicios de modelamiento a través del empleo de sobres climáticos (Feeley y Silman 2010b, 2010a, Jetz et ál. 2007, Ramírez-Villegas et ál. 2011) que consideran que las relaciones entre las especies y los factores climáticos son estáticas. De igual forma, estos ejercicios no incluyen respuestas idiosincráticas de las especies, las cuales están determinadas por la historia de vida y la capacidad adaptativa de las especies, ni tampoco la capacidad de dispersión y colonización de las especies, que son las variables determinantes para analizar la posibilidad de que las especies puedan seguir a su nicho climático (Broennimann et ál. 2006, Marmion et ál. 2009, Thuiller et ál. 2008).

Por otro lado, los ejercicios de modelamiento, tanto a nivel de especies como de funciones ecosistémicas, no incorporan a las dinámicas de cambios de cobertura de la tierra como una variable dinámica que retroalimenta y amplifica los posibles efectos del cambio climático sobre los ecosistemas andinos. En muchos lugares de los Andes Tropicales, matrices extensas de pastizales y cultivos interrumpen la conectividad vertical de los ecosistemas, por lo cual disminuyen las probabilidades de dispersión de las especies, interrumpen flujos energéticos y alteran los ciclos de nutrientes, la capacidad de regulación hídrica y el almacenamiento de carbono. En el contexto de cambio climático y cambio de uso de la tierra, la estructura del paisaje (i.e., patrones de fragmentación y conectividad de parches de hábitat remanentes) juega un papel crítico por su influencia en la capacidad de dispersión de las especies y en incrementar la resiliencia de los ecosistemas (Opdam y Wascher 2004, Travis 2003). En respuesta a estas barreras de dispersión, el mantenimiento de ecosistemas funcionales requerirá el diseño

de corredores verticales que permitan la migración, además el mantenimiento de los gradientes ambientales que facilitan los flujos y procesos ecosistémicos. En el diseño de estos corredores, es necesario considerar áreas que puedan ser restauradas para crear paisajes viables entre 50 y 100 años.

En este contexto, los principales vacíos de conocimiento, que se constituyen en prioridades de investigación para mejorar ejercicios de modelamiento, son los siguientes:

- Información sobre los umbrales de dispersión y migración potencial de las especies (Thuiller et ál. 2008). Esta información es clave para el desarrollo de modelos de impacto que incorporen criterios autoecológicos.
- Desarrollo de modelos acoplados que integren escenarios de cambio de cobertura y uso de la tierra (CCUT) con cambio climático, para comprender y evaluar mejor el impacto de la fragmentación en poblaciones sometidas a estrés climático y en parches de ecosistemas, con el fin de analizar unidades dinámicas mínimas.
- Estudiar el rol de la diversidad genética de las poblaciones y cómo esta diversidad puede apoyar procesos de adaptación de poblaciones a escalas locales (Jump y Peñuelas 2005).
- Entender el impacto de CUT sobre la funcionalidad ecosistémica, particularmente en los servicios hidrológicos y en los flujos de carbono.

C. FALTA DE COMPRENSIÓN DE LA INTERACCIÓN ENTRE FACTORES BIOFÍSICOS Y SOCIALES, ECONÓMICOS, INSTITUCIONALES.

Tal como sucede con las necesidades de conocimiento relacionadas a los impactos del cambio climático sobre procesos y servicios ecosistémicos, se reconocen vacíos importantes sobre la interacción entre sistemas sociales y ambientales en los Andes, y su relevancia para la capacidad adaptativa de los pobladores andinos. Pese a que la atención del mundo científico hacia el estudio de factores que generan vulnerabilidad en los Andes se ha incrementado en las últimas décadas, persisten algunos temas donde es necesario intensificar y replicar la generación de conocimiento en distintos contextos presentes en la región. De igual manera, existen también vacíos en cuanto a la existencia de plataformas institucionalizadas de monitoreo de procesos sociales y ambientales, que permitan caracterizar de mejor manera procesos de adaptación en el tiempo.

Un tema prioritario que necesita mayor trabajo es la caracterización de la relación entre instituciones, capital social y capacidad adaptativa. Es necesario entender de mejor manera qué características familiares y comunitarias generan contextos

institucionales locales con alto valor adaptativo. Es especialmente importante entender cómo emergen procesos de coordinación de esfuerzos a nivel local orientados a solucionar problemas de gobernanza de recursos. De igual manera, es necesario evaluar procesos y mecanismos que estructuran acceso a recursos críticos como tierra y agua, a distintas escalas y para distintos grupos de actores. Es imprescindible utilizar perspectivas diacrónicas puesto que procesos y mecanismos pueden tener raíces en interacciones históricas de las comunidades con actores extra – locales (e.g., el estado, ONGs) que pusieron en marcha trayectorias específicas de organización social (o falta de la misma) con relevancia para la capacidad de respuesta futura de las comunidades frente al CC.

Es necesario analizar la importancia del contexto institucional local y extra-local en relación a la base de recursos utilizada por los regímenes ambientales a los cuales están expuestos los pobladores andinos. La heterogeneidad ambiental de la región Andina se traduce en una distribución heterogénea de acceso a recursos clave como suelo productivo y agua, y en condiciones de vida a menudo complicadas por falta de acceso a servicios básicos y por políticas macro-sectoriales no favorables a pequeños productores, entre otros factores (Stadel 2008, Kay 2006). Poblaciones con acceso a una base de recursos exigua, en condiciones ambientales de alto riesgo (e.g., sequías, heladas) probablemente tendrán mayores problemas para articular respuestas efectivas a los efectos del CC u otros eventos de cambio. En este contexto, se vuelve necesario entender cuáles son los límites de respuestas institucionales locales frente al CC, para poder identificar los roles de actores extra-locales tanto del sector público como de la sociedad civil.

Finalmente, se argumenta que es necesario profundizar el conocimiento sobre los contextos de toma de decisión de los pequeños productores en los Andes, para conceptualizar de mejor manera opciones de intervención que promuevan la capacidad adaptativa. Modelos formales (e.g., modelos de maximización /

minimización de ingresos, riesgos, etc.) proveen un punto de partida organizar la información e identificar patrones generales. Sin embargo la complejidad social, económica y ambiental a la que se enfrentan los productores andinos requiere utilizar múltiples enfoques analíticos ajustados a distintos componentes del entorno de toma de decisiones (Young y Lipton 2006). Algunos temas y enfoques de investigación prioritarios por su relevancia a la capacidad adaptativa de las poblaciones locales frente a cambios sociales y ambientales incluyen:

- Estudios comparativos basados en métodos cuantitativos (e.g., encuestas) que caractericen las barreras principales que enfrentan las familia para la adopción de trayectorias de adaptación específicas bajo distintos contextos sociales y ambientales.
- Análisis de vínculos entre percepciones locales sobre cambio social o ambiental y estrategias de respuesta.
- Caracterización del aporte de distintos servicios ecosistémicos para el bienestar de familias con distintos portafolios de estrategias de vida (e.g., pastores vs. agricultores).
- Caracterización de factores económicos, políticos e institucionales que explican la persistencia (o falta de la misma) de prácticas de gestión del paisaje y de producción agropecuaria que promueven el mantenimiento de la agro-biodiversidad.
- Estudios comparativos sobre mecanismos que generan decisiones de migración interna o externa entre familias de una misma comunidad o entre comunidades que experimentan distintos contextos sociales y ambientales.



Glosario de términos

Adaptación: definida como las acciones y ajustes llevadas a cabo por individuos, grupos o sociedades como respuesta a cambios ambientales, políticos, económicos o institucionales. Nos referimos a adaptación **autónoma** cuando esta no constituye una respuesta consciente a estímulos climáticos, y **planificada** cuando esta es el resultado de una decisión de política deliberada, basada en el reconocimiento consciente de que las condiciones han cambiado o están a punto de cambiar, y que se requiere de acción para volver a mantener o conseguir un estado deseado.

Aptitud climática.- Referida a un cultivo, es la relación entre las condiciones climáticas de un sitio determinado en relación a los requerimientos biológicos del cultivo en distintas etapas de su desarrollo.

Capacidad adaptativa: refleja la capacidad de los individuos, sistemas y sociedades para anticiparse, adaptarse y hacer frente a las fuentes de tensión y estrés relacionadas tanto a factores climáticos como sociales, económicos o político.

Capacidad de dispersión: se refiere a la capacidad intrínseca de las especies de desplazarse en el espacio geográfico para colonizar áreas que reúnen características similares a las de su nicho o distribución actual. La capacidad de dispersión está determinada por atributos evolutivos y ecológicos de cada especie.

Capital Social.- Incluye normas, valores y redes sociales que facilitan mecanismos de acción colectiva en beneficio de los participantes. Incluye distintos tipos de relaciones posibles (e.g. reciprocidad, intercambio, confianza), las estrategias y mecanismos de individuos y organizaciones para crear y mantener esas relaciones y el papel que juegan redes sociales a distintos niveles en los resultados obtenidos.

Desagregación: Debido a la necesidad de incrementar la escala de resolución de los GCMs para generar coberturas que puedan ser aplicadas a escalas subcontinentales o regionales, la comunidad científica ha desarrollado varias aproximaciones metodológicas para disminuir el tamaño del pixel de los GCMs e incrementar su resolución, conocidas como desagregación (o “downscaling” en inglés).

Desplazamiento de los sobres climáticos: Se refiere a los desplazamientos de las condiciones climáticas actuales en el espacio geográfico por efectos del cambio climático. Generalmente en el contexto de los paisajes de montaña, los desplazamientos están asociados a cambios en la gradiente altitudinal.

Disponibilidad de agua: representa la oferta hídrica disponible considerando los ingresos o entradas de agua al sistema (precipitación) y las pérdidas (evapotranspiración); cambios en el estado de los ecosistemas ligados a cambios de cobertura y uso de la tierra pueden exacerban la falta de disponibilidad de agua especialmente en épocas de sequía.

Fragmentación: La fragmentación de hábitat se refiere a un proceso de cambios ambientales que tiene implicaciones en la evolución y conservación de las especies y sus hábitats. Como su nombre implica, describe la aparición de discontinuidades (fragmentación) en el medio ambiente de un organismo (hábitat), generalmente vinculadas a procesos de cambios de cobertura y uso de la tierra.

Incertidumbre: se entiende como la falta de certeza sobre el orden o magnitud de un evento futuro. En el contexto de la modelación se asocia a al menos dos tipos de fuente: la falta de información de calidad, y al uso de modelos inapropiados a la región andina.

Instituciones.- Reglas formales e informales, convenciones sociales, y códigos de comportamiento que estructuran y delimitan las interacciones humanas dentro de una sociedad o grupo social.

Línea del bosque: Se refiere al límite o borde del hábitat en el que los árboles son capaces de crecer. Más allá de este límite, los árboles no pueden establecerse y desarrollarse debido a condiciones ambientales limitantes tales como alta radiación, temperatura ambiental y/o del suelo muy bajas que determina un balance de carbono negativo.

Manejo adaptativo: es una estrategia alternativa para la gestión de recursos naturales, que implica un proceso continuo de aprendizaje del sistema y el ajuste continuo de medidas por parte de gobiernos e individuos basada en la consulta y participación de actores claves, la incorporación de nuevo conocimiento, y la evaluación del cumplimiento de metas.

Marco normativo: Conjunto de textos legales sobre los que se apoya la política pública. Incluye: disposiciones reglamentarias, instrumentos normativos, legislación.

Modelamiento del nicho climático: Alternativamente conocido como modelamiento de la distribución de especies se refiere al proceso de emplear algoritmos computacionales para predecir la distribución de una especie en el espacio geográfico a partir de una representación matemática de su distribución conocida en el espacio ambiental. El espacio ambiental es generalmente representado por variables climáticas tales como temperatura y precipitación.

Modelos Generales de Circulación Global (GCMs): definidos como modelos numéricos que representan procesos físicos en la atmósfera, océanos, criósfera y la superficie de la tierra. Actualmente son reconocidos por el IPCC como las herramientas disponibles más avanzadas para simular las respuestas del sistema climático global al incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero.

Modelos climáticos regionales (RCMs): Estos modelos han sido desarrollados debido a que los GCMs, producto de su resolución global (ca. 50 km), no tienen la capacidad de representar los procesos físicos locales climáticos en los Andes como la lluvia orográfica. Estos modelos operan a una resolución típica de 50 km o menos, y pueden capturar la variabilidad espacio-temporal del clima en mucho mayor detalle que los GCMs. Potencialmente, los RCMs pueden proveer de simulaciones más ajustadas sobre el clima actual y los cambios futuros. Por lo tanto, son útiles como herramientas para mejorar los análisis de impacto en los sistemas ambientales y sociales en los Andes.

Modos de vida: Los modos de vida integran activos (físicos, naturales, humanos, financieros y capital social), estrategias o actividades, y el acceso a los mismos mediado por instituciones y relaciones sociales, que en conjunto definen niveles de bienestar alcanzados por individuos o familias.

Nicho climático: El concepto de nicho se define como el conjunto de condiciones bióticas y abióticas con las cuales una especie es capaz de mantener estable su población. En particular, el nicho climático se refiere a la respuesta de una especie a las condiciones ambientales locales definidas por la precipitación y la temperatura y las interrelaciones de estas dos.

Pequeños Productores Agropecuarios: Productores involucrados en prácticas agropecuarias intensivas, permanentes y diversificadas en fincas relativamente pequeñas, donde la familia es generalmente la unidad principal de toma de decisiones, el destino de la producción es mixto (consumo y mercado), y el acceso a la tierra es individual aunque la familia puede pertenecer a distintas formas de asociación (e.g. comunidades). Incluye productores que practican ganadería extensiva de rebaño mixto de alpacas, llamas y ovejas.

Política Pública: Conjunto de decisiones de los Estados, a través de las cuales manifiestan sus prioridades y propósitos en el ejercicio de su autoridad, y que son el resultado de un proceso de construcción y respuesta a demandas de intervención pública.

Resiliencia: se refiere a la capacidad de un sistema –social o ecológico– para absorber las perturbaciones y mantener las funciones esenciales y estructuras, al mismo tiempo que es capaz de auto-organizarse, aprender y adaptarse.

Suficiencia de agua: considera la disponibilidad de agua como la demanda de agua proveniente de múltiples usos (consumo humano, riego, energético) y la institucionalidad que media su acceso a través de reglas de uso y sistemas de infraestructura.

Sistemas Productivos: Conjunto de unidades de producción agropecuaria que comparten tecnología, patrones generales en términos de su base de recursos y las prácticas utilizadas para manejarlos con el fin de satisfacer objetivos definidos.

Vulnerabilidad: de un sistema social o ambiental se describe el potencial de experimentar pérdidas o daños asociados a eventos o variaciones en un conjunto de condiciones, los cuales se relacionan a factores tanto socioeconómicos como biofísicos.

Zonas de Producción: Conjunto específico de recursos productivos manejados comunalmente en los cuales los cultivos crecen en distintas formas. El concepto sintetiza interacciones y mutuas transformaciones entre naturaleza y sociedad utilizando conocimientos sobre las características ambientales de distintos pisos ecológicos y manteniendo la organización social necesaria para su manejo.



Literatura citada

- Adger, W. N. 2003. Social capital, collective action, and adaptation to climate change. *Economic Geography* **79**:387-404.
- Adger, W.N, Hughes T., Folke C., Carpenter S., Rockström J. 2005. Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters. *Science* **309**: 1036-1039
- Adger, W. N. 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change* **16**:268-281.
- Adger, W. N. y Vincent, K. 2005. Uncertainty in adaptive capacity. *Geosciences* **337**: 399-410.
- Adger, W. N., Huq, S., Brown, K., Conway, D. y Hulme, M. 2003. Adaptation to climate change in the developing world. *Progress in Development Studies* **3**:179-195.
- Adger, W., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D., Naess, L., Wolf, J. y Wreford, A. 2009. Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change* **93**: 335-354.
- AEDA. 2008. Adaptive management for CMAs: Effective NRM is more about how we learn than what we know. *Applied Environmental Decision Analysis/AEDA*. Disponible en www.aeda.edu.au/docs/info_sheets/3.5_AdaptiveManagementForCMAs.pdf > (Consultado: 25/08/2011).

- Agrawal, A. 2008. The Role of Local Institutions in Adaptation to Climate Change. Department of Social Dimensions of Climate Change. The World Bank, Washington D. C.
- Agrawal, A. 2010. Local institutions and adaptation to climate change. Pp 173-197 en R. Mearns y A. Norton (eds). Social Dimensions of Climate Change: Equity and Vulnerability in a Warming World. The World Bank, Washington, D. C.
- Agrifor Consult. 2009. Cambio climático en América Latina. Unión Europea, Bruselas.
- Alber, E. 1999. ¿Migración o Movilidad en Huayopampa? Nuevos Temas y Tendencias en la discusión sobre la Comunidad Campesina en los Andes. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- Alberti, G., y Mayer, E. 1974. Reciprocidad e intercambio en los andes peruanos. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- Alencastre, A. 2009. Las amunas: Recarga del Acuífero en Los Andes. La gestión social del Agua en Tupicocha, Huarochirí, Lima Provincias. Pp 307-334 en J. E. Llosa Larrabure y O. Pajares Toro (eds). Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas. Reflexión, denuncia y propuesta desde los Andes. Red Ambiental Peruana, Lima.
- Allen, M. R. y Ingram, W. J. 2002. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature* **419**: 224-232.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome.
- Alley, R.B., J. Marotzke, W.D. Nordhaus, J.T. Overpeck, D.M. Peteet, R.A. Pielke, Jr., R.T. Pierrehumbert, P.B. Rhines, T.F. Stocker, L.D. Talley, and J.M. Wallace, 2003: Abrupt climate change. *Science* **299**: 2005-2010.
- Álvarez, S. 2006. The Use and Traditional Knowledge of Prehispanic Hydraulic Systems amongst Indigenous and Non-Indigenous Populations of the Ecuadorian Coast. Pp 53-63 en F. Jacobsen y J. MacNeish (eds). From where life flows: The local knowledge and politics of water in the Andes. Tapir Academic Press, Trondheim.
- Angulo, A. 2008. Conservation Needs of *Batrachophrynus* and *Telmatobius* Frogs of the Andes of Peru. *Conservation and Society* **6**: 328-333.
- Angulo, L. 2006. Cambio climático, patrones de riesgos de desastres y escenarios futuros. Retos para el desarrollo regional y local en la cuenca del río Piura. *Tecnología y Sociedad* **ç**: 69-100. Lima: Soluciones Prácticas.
- Araujo, H. 2009. Estrategias de adaptación ante el cambio climático en las comunidades campesinas de la parte alta de la cuenca del río Suches. *Tecnología y Sociedad* **16** (8): 65-82.
- Araújo, M. B. y M. New. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution* **22**: 42-47.
- Araújo, M. B., Cabeza, M., Thuiller, W., Hannah, L. y Williams, P. H. 2004. Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biology* **10**: 1618-1626.
- Arctander, P. y Fjeldså, J. 1997. Andean Tapaculos of the Genus *Scytalopus* (Rhinocryptidae): A study of speciation using DNA sequence data. Pp 205-225 en V. Loeschcke, J. Tomiuk y S. K. Jian (eds). Conservation Genetics. Birkhauser Verlag, Basel.
- Arnillas, C., Tovar, C. Cuesta, F. y Buytaert, W. 2011. Análisis de los potenciales impactos del cambio climático sobre la biodiversidad en los Andes tropicales. Programa Panorama Andino. CONDESAN, Secretaría General de la Comunidad Andina. Quito, Ecuador. Disponible en www.condesan.org/portal/panorama/cambio-climatico/impactos-biodiversidad
- Assies, W. 2003. David versus Goliath in Cochabamba: Water Rights, Neoliberalism, and the Revival of Social Protest in Bolivia. *Latin American Perspectives* **30** (14): 14-36
- Ataroff, M. y Sarmiento, L. 2003. Diversidad en Los Andes de Venezuela. I Mapa de Unidades Ecológicas del Estado Mérida. CD-ROM, Ediciones Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAIE), Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Aubron, C. 2006. Productores andinos de queso artesanal y liberalización del mercado de los lácteos en el Perú. *Debate Agrario*:119-139.
- Ayers, J. M. y Huq, S. 2009. Supporting Adaptation to Climate Change: What role for Official Development Assistance? DSA Annual Conference 2008 'Development's Invisible Hands: Development Futures in a Changing Climate.' Westminster, London.
- Ayers, J., D. Dodman. 2010. Climate change adaptation and development I: the state of the debate. *Progress in Development Studies* **10**:161-168.
- Azocar, A. y Rada, F. 2006. Ecofisiología de plantas de páramo. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas. Universidad de los Andes. Editorial Litorama, Mérida.
- Baca, E., Mansilla, H. y Caro, C. 2009. Cambio Climático y Presupuesto Público en el Perú: Estudio Línea de base sobre políticas públicas y asignación presupuestal en adaptación al cambio climático. Oxfam GB, Lima, Perú.
- Bachelet, D. y Neilson, R. P. 2000. Biome redistribution under climate change. Pp 18-44 en L. A. Joyce y R. Birdsey (eds). The impact of climate change on America's forests: a technical document supporting the 2000 USDA Forest Service RPA Assessment. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins.
- Bader, M. Y., Rietkerk, M. y Bregt, A. K. 2007a. Vegetation structure and temperature regimes of tropical Alpine treelines. *Artic, Antarctic, and Alpine Research* **39**:353-364.
- Bader, M. Y., van Geloof, I. y Rietkerk, M. 2007b. High solar radiation hinders tree regeneration above the alpine treeline in northern Ecuador. *Plant Ecology* **191**:33-45.
- Báez, S., Cuesta, F., Cáceres, Y., Arnillas, C. A. y Vásquez, R. 2011. Síntesis del conocimiento de los efectos del Cambio Climático en la biodiversidad de los Andes del Norte y Centro. Programa Panorama Andino. CONDESAN, Secretaría General de la Comunidad Andina, Quito. Disponible en www.condesan.org/portal/panorama/cambio-climatico/conocimiento-biodiversidad
- Báez, S., Ospina Peralta, P. y Ramón Valarezo, G. 2004. Una breve historia del espacio ecuatoriano. CAMAREN-IEE, Quito.

- Baillie, J. E. M., Hilton-Taylor, C. y Stuart, S. N. 2004. A Global Species Assessment. IUCN, Cambridge.
- Bakewell, P. 1984. Mining in Colonial Spanish America. Pp 105-151 en L. Bethell (ed). The Cambridge History of Latin America. Cambridge University Press, Cambridge.
- Balslev, H., Forero, E. y Luteyn, J. 1988. Distribution patterns of Ecuadorian plant species. *Taxon* **37**:567-577.
- Banco Mundial. 2009. The Economics of Climate Change. World Bank, Washington D. C.
- Banco Mundial. 2010. Informe sobre el desarrollo mundial: Desarrollo y Cambio Climático. Banco Mundial, Washington D. C.
- Barthlott, W. A., Kier, G., Küper, W., Kreft, H., Mutke, J., Rafiqpoor, M.D. y Sommer, J.H. 2007. Geographic pattern of Vascular plant diversity at Continental to Global scales. *Erdkunde* **61**:305-316.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. y Palutikof, J. (eds.), 2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva.
- Bebbington, A. (ed). 2007b. Minería, movimientos sociales y respuestas campesinas: Una ecología política de transformaciones territoriales. IEP, CEPES, Lima.
- Bebbington, A. 1990. Farmer Knowledge, Institutional Resources and Sustainable Agricultural Strategies: A Case Study from the Eastern Slopes of the Peruvian Andes. *Bulletin of Latin American Research* **9**:203-228.
- Bebbington, A. 1993. Sustainable Livelihood Development in the Andes: Local Institutions and Regional Resource Use in Ecuador. *Development Policy Review* **11**:5-30.
- Bebbington A. 1997. Reinventing NGOs and Rethinking Alternatives in the Andes. *Annals of the American Academy of Political and Social Science* **554**: 117-135.
- Bebbington, A. 1997. Social capital and rural intensification: local organizations and islands of sustainability in the rural Andes. *Geographical Journal* **163**:189-197.
- Bebbington, A. 1998. Sustaining the Andes? Social Capital and Policies for Rural Regeneration in Bolivia. *Mountain Research and Development* **18**:173-181.
- Bebbington, A. 1999. Capitals and capabilities: A framework for analyzing peasant viability, rural livelihoods and poverty. *World Development* **27**:2021-2044.
- Bebbington, A. 2000. Reencountering development: Livelihood transitions and place transformations in the Andes. *Annals of the Association of American Geographers* **90**:495-520.
- Bebbington, A. 2001. Globalized Andes? Livelihoods, Landscapes and Development. *Cultural Geographies* **8**:414-436.
- Bebbington, A. 2007a. Elementos para una ecología política de los movimientos sociales y el desarrollo territorial en zonas mineras. Pp 23-46 en A. Bebbington, editor. Minería, movimientos sociales y respuestas campesinas. IEP, CEPES, Lima.
- Bebbington, A. y Bury, J. T. 2009. Institutional challenges for mining y sustainability in Peru. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **106**:17296-17301.
- Bebbington, A. y Perreault, T. 1999. Social capital, development, and access to resources in highland Ecuador. *Economic Geography* **75**:395-418.
- Bebbington, A. y Williams, M. 2008. Water and Mining Conflicts in Peru. *Mountain Research and Development* **28**:190-195.
- Bebbington A, Humphreys Bebbington D, Bury J, Lingán J, Muñoz JP, Scurrah M. 2008. Mining and Social Movements: Struggles Over Livelihood and Rural Territorial Development in the Andes. *World Development* **36**: 2888-2905.
- Bebbington, A., Connarty, M., Coxshall, W., O'Shaughnessy, O. y Williams, M. 2007. Mining and Development in Peru: With Special Reference to the Rio Blanco Project, Piura. Peru Support Group, London.
- Bebbington, A., Ramon, G., Carrasco, H., Torres, V. H., Peralvo, L. y Trujillo, J. 1992. Actores de una década ganada: Tribus, comunidades y campesinos en la modernidad. COMUNIDEC. Quito, Ecuador.
- Bendix, J., Behling, H., Peters, T., Richter, M. y Beck, E. 2010. Functional biodiversity and climate change along an altitudinal gradient in a tropical mountain rainforest. Pp 239-268 en T. Tschardtke, C. E. Veldkamp, H. Faust, E. Guhardja, A. Bidin (Eds). *Tropical Rainforests and Agroforests under Global Change*. Springer, Berlin.
- Benzing, D. H. 1998. Vulnerabilities of tropical forests to climate change: the significance of resident epiphytes. *Climate Change* **39**:519-540.
- Berkes, F., Colding, J. y Folke, C. 2003. Navigating social-ecological systems : building resilience for complexity and change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. ; New York.
- Berman, M. y Kofinas, G. 2004. Hunting for models: Grounded and rational choice approaches to analyzing climate change effects on subsistence hunting in an Arctic community. *Ecological Economics* **49**:31-46
- Beven, K. J. 2001. Rainfall-runoff modelling. The primer. John Wiley and sons, Chichester.
- Black, R. 1993. Migration, Return, and Agricultural-Development in the Serra-Do-Alvao, Northern Portugal. *Economic Development and Cultural Change* **41**:563-585.
- Boelens, R. 2008a. Water rights arenas in the Andes: Upscaling the defence networks to localize water control. *Water Alternatives* **1**:48-65
- Boelens, R. 2008b. The Rules of the Game and the Game of the Rules: Normalization and Resistance in Andean Water Control. Wageningen: Wageningen University.
- Boelens, R. 2010. Water rights and rule-making justice as fruits of social struggle in the Ecuadorian Andes. Pp 243-264 en K. Berry y E. Mollard (eds). *Social participation in water governance and management: Critical and global perspectives*. Earthscan, Londres.
- Boelens, R. y Dávila, G. (eds). 1998. Searching for Equity. Conceptions of justice and equity in peasant irrigation. Van Gorcum, Assen.
- Boelens, R. y Hoogendam, P. (eds). 2002. Water Rights and Empowerment. Assen: Van Gorcum.

- Boelens, R. y Zwarteveen, M. 2005. 'Special Law' in Liquid Relations: Contested Water Rights and Legal Complexity. In Roth, Boelens and Zwarteveen eds. Londres: Rutgers University Press.
- Boelens, R., Getches, D., Guevara Gil, D. A. (eds). 2006. Agua y Derecho: Políticas Hídricas, Derechos Consuetudinarios e Identidades Locales, Lima: IEP ediciones.
- Borchsenius, F. 1997. Patterns of plant species endemism in Ecuador. *Biodiversity and Conservation* **6**:379-399.
- Bosello, F. y Zhang, J. 2005. Assessing Climate Change Impacts: Agriculture. *Fondazione Eni Enrico Mattei*.
- Boulanger, J. P., Martinez, F. y Segura, E. C. 2007. Projection of future climate change conditions using IPCC simulations, neural networks and Bayesian statistics. Part 2: Precipitation mean state and seasonal cycle in South America. *Climate Dynamics* **28** (2-3):255-271.
- Bradley, B. A. y Mustard, J. F. 2006. Characterizing The Landscape Dynamics Of An Invasive Plant Y Risk Of Invasion Using Remote Sensing. *Ecological Applications* **16**:1132-1147.
- Bradley, R. S., Keimig, F. T., Diaz, H. F. y Hardy, D. R. 2009. Recent changes in freezing level heights in the tropics with implications for the deglaciation of high mountain regions. *Geophysical Research Letters* **36**, L17701.
- Bradley, R. S., Vuille, M., Diaz, H. F. y Vergara, W. 2006. Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science* **312** (5781):1755-1756.
- Bravo, L. 2009. Cuantificación del riesgo y de la vulnerabilidad de la población venezolana a eventos de lluvia extrema. Disponible en <http://www.cesma.usb.ve/reportes/2009-05pdf> (consultado en marzo de 2010).
- Bray, W. 2000. Ancient food for thought. *Nature* **408**:145-146.
- Bridge, G. 2004a. Mapping the bonanza: geographies of mining investment in an era of neoliberal reform. *The Professional Geographer* **56**: 406-421.
- Bridge, G. 2004b. Contested terrain: mining y the environment. *Annual Review of Environment y Resources* **29**:205.
- Broennimann, O., Thuiller, W., Hughes, G., Midgley, G. F., Alkemade, J. M. R. y Guisan, A. 2006. Do geographic distribution, niche property and life form explain plants' vulnerability to global change? *Global Change Biology* **12**:1079-1093.
- Brooks, N. 2003. Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich (Working Paper No. 38).
- Brooks, N. y Adger, W. N. 2005. Assessing and enhancing adaptive capacity. Pp 165-181 en B. Lim Spanger-Siegfried, E. Burton, I. Malone, E. and Huq, S. (eds.) *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Brooks TM, Mittermeier RA, da Fonseca GAB, Gerlach J, Hoffmann M, Lamoreux JF, Mittermeier CG, Pilgrim JD, Rodrigues ASL. 2006. Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science* **313**: 58-61.
- Browman, D. 1974. Pastoral Nomadism in the Andes. *Current Anthropology* **15**:188-196
- Brugnach, M., Dewulf, A. R. P. J., Pahl-Wostl, C. y Taillieu, T. 2008. Toward a relational concept of uncertainty: about knowing too little, knowing too differently, and accepting not to know. *Ecology and Society* **13**, art. No. 30.
- 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. y Hamilton, L. S. 2000. Decision Time for Cloud Forests. IHP Humid Tropics Programme Series No. 13. UNESCO Division of Water Sciences, Paris.
- Bruijnzeel, L. A., Mulligan, M. y Scatena F. N. 2011. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes* **25**: 465-498.
- Brush, S. B. 1976. Man's use of an Andean Ecosystem. *Human Ecology* **4**:147-166.
- Brush, S. B., Carney, H. J. y Humán, Z. 1981. Dynamics of Andean potato agriculture. *Economic Botany* **35**:70-88.
- Bubb, P., May, I., Miles, L. y Sayer J. 2004. *Cloud forest Agenda*. UNEP-WCMC. Cambridge, UK.
- Bucher, E., Bouille, D., Rodriguez Becerra, M. y Navajas, H. 2000. Biodiversidad, Cambio Climático y Degradación de los Suelos: Necesidades y Prioridades para el Desarrollo de Capacidades en América Latina y el Caribe. PNUD - FMAM. Iniciativa para el Desarrollo de Capacidad.
- Bury, J. 2005. Mining mountains: neoliberalism, land tenure, livelihoods, and the new Peruvian mining industry in Cajamarca. *Environment and Planning A* **37**:221-239.
- Bush, M. B., Silman, M. R., McMichael, C. y Saatchi, S. 2009. Fire, climate change and biodiversity in Amazonia: a Late-Holocene perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **363**:1795-1802.
- Bustamante, M. R., Ron, S. R. y Coloma, L. A. 2005. Cambios en la diversidad en site comunidades de Anuros en los Andes de Ecuador. *Biotropica* **37**:180-189.
- Bustamante, R. (ed). 2010. *Lo colectivo y el agua: entre los derechos y las prácticas*. IEP/ Concertación, Lima.
- Buytaert, W., Celleri, R. y 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., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J. y Hofstede, R. 2006a. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* **79**:53-72.
- Buytaert, W., Célleri, R., Willems, P., De Bièvre, B., Wyseure, G., 2006b. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology* **329**:413-421.
- Buytaert, W., Cuesta-Camacho, F. y Tobon, C. 2010b. Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography* **20**(1):19-33
- Buytaert, W., Iñiguez, V. y De Bievre, B. 2007. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean paramo. *Forest Ecology and Management* **25**:22-30.

- Buytaert, W., Tovar C. y De Bievre, B. 2011. Análisis de los potenciales impactos del cambio climático sobre el balance hídrico de los Andes tropicales. Programa Panorama Andino. CONDESAN, Secretaría General de la Comunidad Andina. Quito, Ecuador. Disponible en www.condesan.org/portal/panorama/balance-hidrico/
- Buytaert, W., Vuille, M., Dewulf, A., Urrutia, R., Karmalkar, A. y Celleri, R. 2010a. Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: implications for water resources management. *Hydrology and Earth System Sciences* 14(7):1247-1258.
- Camino, A. 1982. Tiempo y espacio en la estrategia de subsistencia andina: un caso en las vertientes orientales sud-peruanas. Pp 12-38 en L. Millones y H. Tomoeda (eds). *El Hombre y su Ambiente en los Andes Centrales*. National Museum of Ethnology, Suita, Osaka.
- Campana, F. 2008. Explotación campesina y formas de agricultura de contrato: la producción del maíz. Pp 85-127 en B. Rubio, F. Campana y F. Larrea (eds). *Formas de explotación y condiciones de reproducción de las economías campesinas*. Ediciones Tierra, Quito, Ecuador.
- Cañadas, L. 1993. Agroecosistemas andinos en el Ecuador. Pp 87-96 en Centro Internacional de la Papa (ed). *El agroecosistema andino: problemas, limitaciones, perspectivas*. Centro Internacional de la Papa, Lima.
- Cancino Borge, I., Mendoza Nava, A. y Postigo, J. C. 2011. Encarando el cambio climático en el Perú. Las opciones de política. CIES, Lima.
- Cano, C. G. 1999. La nueva agricultura. Una contribución al proceso de paz en Colombia. Fundación Social/ IICA/ TM, Bogotá.
- Cardozo Gonzales, A. 2007. La ganadería de leche en el altiplano boliviano. Rolando Diez de Medina, La Paz, Bolivia.
- Carey, M. 2005. Living and dying with Glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Perú. *Global and Planetary Change* 47:122-124.
- Carey, M. 2010. In the shadow of melting glaciers: Climate change and Andean Society. Oxford University Press, Oxford.
- Carney, D. 2003. Sustainable Livelihoods Approaches: Progress and Possibilities for Change. DFID, London.
- Carriquiry, M. y Baquero, I. 2007. Efectos del cambio climático en la agricultura colombiana: Implicancias para las políticas públicas. Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (Procisur), Montevideo, Uruguay.
- Carroll, T. F. y Bebbington, A. 2000. Peasant federations and rural development policies in the Andes. *Policy Sciences* 33:435-457.
- Carvalho, L. M. V., Jones, C., Silva, A. E., Liebmann, B. y Silva Dias, P. L. 2011. The South American Monsoon System and the 1970s climate transition. *International Journal of Climatology* 31:1248-1256.
- Cavelier, J., Solis, D. y Jaramillo, M. A. 1996. Fog interception in montane forests across the Central Cordillera of Panamá. *Journal of Tropical Ecology* 12: 357-369.
- Cavieres, L. A. y Piper, F. 2004. Determinantes ecofisiológicos del límite altitudinal de los árboles. Pp 221-234 en Cabrera HM, ed. *Fisiología Ecológica en Plantas*. Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.
- Céleri, R. y Feyen, J. 2009. The hydrology of tropical andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development* 29:350-355.
- Céleri, R., Willems, P., Buytaert, W. y Feyen, J. 2007. Space-time variability of rainfall in the Paute river basin of South Ecuador. *Hydrological Processes* 21:3316-3327.
- Challinor, A. J., Osborne, T., Shaffrey, L., Weller, H., Morse, A., Wheeler, T. y Vidale, P. L. 2009. Methods and Resources for Climate Impacts Research. *Bulletin of the American Meteorological Society* 90:836-848.
- Chant, S. 1998. Households, gender and rural-urban migration: reflections on linkages and considerations for policy. *Environment and Urbanization* 10:5-22.
- Chapin III, F. S., Kofinas, G. P. y Folke, C. (eds). 2009. Principles of ecosystem stewardship: resilience-based natural resource management in a changing world. Springer Verlag, New York.
- Chapin, F. S., Lovcraft, A. L., Zavaleta, E. F., Nelson, J., Robards, M. D., Kofinas, G. P., Trainor, S. F., Peterson, G. D., Huntington, H. P. y Naylor, R. L. 2006. Policy strategies to address sustainability of Alaskan boreal forests in response to a directionally changing climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103:16637-16643.
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B. y Thomas, C. D. 2011. Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science* 333:1024-1026.
- Chevallier, P., Pouyaud, B. y Suarez, W. 2004. Climate Change Impact on the Water Resources from the Mountains in Peru. Pp 1-13 en OECD Global Forum on Sustainable Development: Development and Climate Change. Paris.
- Chila, G. y Delgadillo, Ó. 2010. La lucha contra la sequía: desarrollo del riego para la seguridad hídrica y alimentaria en Sacabamba, Bolivia. Pp 261-281 en J. Vos (ed). *Riego campesino en los Andes: seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Ecuador, Perú y Bolivia*. IEP/ Concertación, Lima.
- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R. K., Kwon, W. T., Laprise, R., Magaña-Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A. y Whetton, P. 2007. Regional Climate Projections. Pp 847-940 en S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor y H. L. Miller (eds). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Churchill, S. P., Balslev, H., Forero, E. y Luteyn, L. (eds). 1995. Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests. *Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium*. The New York Botanical Garden Press, New York.
- CICC - PNCC 2000. Primera Comunicación Nacional de Bolivia. Consejo Interinstitucional del Cambio Climático - Programa Nacional de Cambios

- Climáticos. Ministry of Sustainable Development and Planning, Vice-Ministry of Environment, Natural Resources and Forestry Development, Bolivia.
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network) y Columbia University. 2006. *Where the poor are: An atlas of poverty*. Columbia University, Palisades, New York.
- Cigarán, M. y García, J. 2006. Cambio climático en el Perú: variable a considerar para el desarrollo sostenible. *Soluciones Prácticas-ITDG. Tecnología y Sociedad* (7):56-68.
- CMNUCC. 2007. *Investment and Financial Flows to address climate change*. Disponible en http://unfccc.int/files/cooperation_and_support/financial_mechanism/application/pdf/background_paper.pdf (consultado en octubre de 2011).
- CMNUCC. 2010. *Synthesis report on efforts undertaken to monitor and evaluate the implementation of adaptation projects, policies and programmes and the costs and effectiveness of completed projects, policies and programmes, and views on lessons learned, good practices, gaps and needs (FCCC/SBSTA/2010/5)*.
- CNC – MAE. 2001. *Comunicación Nacional República del Ecuador. Proyecto ECU/99/G31 Cambios Climáticos. Comité Nacional sobre el Clima*. Quito, Ecuador.
- Collier, R. 2008. *The impact of climate change on pests of horticultural crops*. Warwick HRI.
- Collins, J. 1987. *Labor Scarcity and Ecological Change*. Pp 19-37 en M. M. Horowitz, P. D. Little y E. Nyerges (eds). *Lands at Risk in the Third World: Local-Level Perspectives*. Westview Press, Boulder, CO.
- CONAM. 2001. *Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Consejo Nacional de Ambiente de Perú*. 1ª ed.
- CONPES. 2003. *Documento CONPES 3242: Estrategia institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático*. Dirección Nacional de Planeación. Disponible en http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/CONPES/Conpes_Econ%20C3%B3micos/tabid/70/Default.aspx (consultado 17/9/2011).
- Conway, D. y Cohen, J. H. 1998. *Consequences of migration and remittances for Mexican transnational communities*. *Economic Geography* 74:26-44.
- CORDELIM. 2007. *Enfoque de la Promoción de MDL en Ecuador. Presentación oficial para el V Taller Regional Latinoamericano sobre el MDL. Corporación para la Promoción del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Ecuador*. 20 de Abril 2007. Asunción.
- Cotlear, D. 1989. *Desarrollo campesino en los Andes : cambio tecnolôogico y transformaciôn social en las comunidades de la sierra del Perâu*. Instituto de Estudios Peruanos, Lima, Peru.
- Crabtree, J. 2002. *The impact of neo-liberal economics on peruvian peasant agriculture in the 1990s*. *Journal of Peasant Studies* 29:131 - 161.
- Crespo, C. y Fernández, O. 2004. *Estado, movimientos sociales y recursos hídricos. Presión social y negociación luego de la guerra del agua en Cochabamba*. Cochabamba: Programa Conflictos y Colaboracion, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba.
- Croke, B., Merritt, W. y Jakeman, A. 2004. *A dynamic model for predicting hydrologic response to land cover changes in gauged and ungauged catchments*. *Journal of Hydrology* 291:115-131.
- Cuesta, F., Becerra, M. T. y Saravia. M. 2009b. *“Panorama Andino: Vulnerabilidad, Adaptación y mitigación de los efectos del Cambio Climático en los Andes Tropicales”*. Manuscrito sin publicar. CONDESAN, Secretaría General de la Comunidad Andina, Intercooperation, Quito.
- Cuesta, F., Peralvo, M. y Valarezo, N. 2009a. *Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a los efectos del cambio climático. Serie Investigación y Sistematización #5. Programa Regional Ecobona Intercooperation*. Quito.
- Cuesta, F., Peralvo, M., Ganzenmüller, A., Sáenz, M., Novoa, J., Riofrío, M. G. y Beltrán, K. 2006. *Identificación de vacíos y prioridades de conservación para la biodiversidad terrestre en el Ecuador Continental. Reporte Técnico.: Fundación EcoCiencia, The Nature Conservancy, Conservación Internacional y Ministerio del Ambiente del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- da Rocha, R. P., Morales, C. A., Cuadra, S. V. y Ambrizzi, T. 2009. *Precipitation diurnal cycle and summer climatology assessment over South America: An evaluation of Regional Climate Model version 3 simulations*. *Journal of Geophysical Research* 114, D10108.
- Damonte Valencia, G. 2008. *Industrias extractivas, agricultura y uso de recursos naturales: el caso de la gran minería en el Perú*. Pp 19-77 en G. Damonte, B. Fulcrand y Gómez, R. (eds). *Perú: El problema agrario en debate*. SEPIA XII. SEPIA, Lima.
- Dangles, O., Carpio, C., Barragan, A. R., Zeddarn, J. y Silvain, J. 2008. *Temperature as a key driver of ecological sorting among invasive pest species in the Tropical Andes*. *Ecological Applications* 18:1795-1809.
- Daniels, L. D. y Veblen, T. T. 2004. *Spatiotemporal influences of climate on altitudinal treeline in northern Patagonia*. *Ecology* 85:1284-1296.
- De Haan, S. y Juarez, H. 2010. *Land use and potato genetic resources in Huancaavelica, Central Peru*. *Journal of Land Use Sciences* 5(3):179-195.
- Debouck, D. G. y Libreros Ferla, D. 1995. *Neotropical montane forests: a fragile home of genetic resources of wild relatives of new world crops*. Pp 561-577 en S. Churchill, H. Balslev, E. Forero y L. Luteyn (eds). 1995. *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests. Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium*. The New York Botanical Garden Press, New York.
- del Callejo, I. 2010. *El riego campesino: Dinámicas en la seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Bolivia*. Pp 207-242 en Vos, J. (ed). *Riego campesino en los Andes: seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Ecuador, Perú y Bolivia*. IEP/ Concertación, Lima.
- Dell, M. 2010. *The persistent effects of Peru’s mining Mita*. *Econometrica* 78:1863-1903.
- Denevan, W. 2001. *Cultivated landscapes of native Amazonia and the Andes*. Oxford Geographical and Environmental Studies. Oxford University Press, Oxford.

- Denevan, W. 2006. Una perspectiva histórica sobre el descubrimiento de Campos Elevados (Camellones) prehispánicos en Sud America. Pp 17-23 en F. Valdéz (ed). *Agricultura Ancestral Camellones y Albarradas: Contexto Social, usos y retos del pasado y del presente*. Abya Yala, Quito.
- Dessai, S. y Hulme, M. 2007. Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: A case study on water resources management in the East of England. *Global Environmental Change* **17**:59-72.
- Dessai, S., Hulme, M., Lempert, R. y Pielke Jr, R. 2009. Climate prediction: a limit to adaptation? Pp. 64-78 en W. N. Adger, I. Lorenzoni y K. O'Brien (eds). *Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C. y Martin, P. R. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**:6668-6672.
- Devenish, C. y Gianella, C. 2011. 20 años de Desarrollo Sostenible en los Andes: de Río 1992 al 2012 y hacia el futuro. CONDESAN/COSUDE, Lima.
- Diaz, H. F., Duncan, J. K. E. C. y Bradley, R. S. 2003. Variability of freezing levels, melting season indicators and snow cover for selected high elevation and continental regions in the last 50 years. *Climatic Change* **59**:33-52.
- Díaz, S., Lavorel, S., de Bello, F., Quétier, F., Grigulis, K. y Matthew Robson, T. 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *PNAS* **14**: 20684-20689.
- Dillehay, T. A. y Kolata, A. L. 2004. Long-term human response to uncertain environmental conditions in the Andes. *PNAS* **101**(12):4325-4330.
- Dilley, M., Chen, R., Deichmann, U., Lerner-Lam, A., Arnold, M., Agwe, J., Buys, P., Kjekstad, O., Lyon, B. y Yetman, G. 2005. *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. The World Bank, Washington DC.
- Dirnböck, T., Dullinger, S. y Grabherr, G. 2003. A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography* **30**: 401-417.
- Dixon, J., Gulliver, A. y Gibbon, D. 2001. *Farming Systems and Poverty: Improving Farmer's Livelihoods in a Changing World*. FAO and World Bank, Rome and Washington, D.C.
- Doornbos, B. 2009a. Medidas probadas en el uso y la gestión del agua: una contribución a la adaptación al cambio climático en los Andes. Serie Reflexiones y aprendizajes ASOCAM. Intercooperacion. Quito.
- Doornbos, B. 2009b. ¿Cómo promover la adaptación al cambio climático del recurso agua en zonas rurales? ASOCAM/Intercooperation: Quito.
- Dore, E. 2000. Environment y Society: Long-Term Trends in Latin American Mining. *Environment y History* **6**:1-29.
- Dulhoste, R. 2010. Respuestas ecofisiológica de plantas del límite arbóreo (Selva nublada-paramo) al estrés térmico, hídrico, y lumínico en los Andes venezolanos Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Dumas, J. y Kakabadse, Y. 2008. Cambio climático y pobreza en América Latina y el Caribe. Consulta regional. FFLA/IDRC/DFID. Quito.
- Durand, F. 2005. La Mano Invisible en el Estado. Efectos del neoliberalismo en el empresariado y en la política. Fundación Friedrich Ebert, Lima.
- Durand, J., Parrado, E. A. y Massey, D. S. 1996. Migradollars and development: A reconsideration of the Mexican case. *International Migration Review* **30**:423-444.
- Earls, J. 2006. La agricultura andina ante una globalización en desplome. CISEPA - PUCP, Lima.
- Earls, J. 2009. 'Organización social y tecnológica de la agricultura andina para la adaptación al cambio climático en cuencas hidrográficas'. Soluciones Prácticas-ITDG. *Tecnología y Sociedad*, **16**(8):13-32.
- Eguren, F. y Cancino, I. 1999. Agricultura y sociedad rural en el Perú. *Debate Agrario* **29**:1-47.
- Ellis, F. 2000. *Rural livelihoods and diversity in developing countries*. Oxford University Press, Oxford.
- Erickson, C. 1996. Investigación arqueológica del sistema agrícola de los camellones en la cuenca del Lago Titicaca del Perú. PIWA, La Paz.
- Erickson, C. 2000. An artificial landscape-scale fishery in the Bolivian Amazon. *Nature* **408**(9).
- Etter, A. y van Wyngaerden, W. 2000. Patterns of Landscape Transformation in Colombia, with Emphasis in the Andean Region. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* **29**:432-439.
- Etter, A. y Villa, L. A. 2000. Andean Forests y Farming Systems in part of the Eastern Cordillera (Colombia). *Mountain Research y Development* **20**:236-245.
- Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S. y Possingham, H. 2006. Regional patterns of agricultural land use y deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **114**:369-386.
- EUROLAT. 2010. Hacer frente conjuntamente a los retos del cambio climático: por una estrategia coordinada de la UE y América Latina y el Caribe en el marco de las negociaciones de la CMNUCC sobre la base de la resolución de la Comisión de Asuntos Sociales, Intercambios Humanos, Medio Ambiente, Educación y Cultura. AT\817703ES.doc. Asamblea Parlamentaria Euro-Latinoamericana.
- Falkenmark, M. y Wisstrand, C. 1992. Population and Water Resources: A Delicate Balance. *Population Bulletin*. Population Reference Bureau, Washington DC.
- Farley, K. A. 2010. Pathways to forest transition: local case studies from the Ecuadorian Andes. *Journal of Latin American Geography* **9**:7 + .
- Farley, K. A. y Kelly, E. F. 2004. Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status. *Forest Ecology y Management* **195**:281-290.
- Farrow, A., Larrea, C., Hymán, G. y Lema, G. 2005. Exploring the spatial variation of food poverty in Ecuador. *Food Policy* **30**:510-531.
- Feeley, K. J. y Silman, M. R. 2010a. Land-use and climate change effects on population size and extinction risk of Andean plants. *Global Change Biology* **16**:3215-3222.
- Feeley, K. J. y Silman, M. R. 2010b. Biotic attrition from tropical forests correcting for truncated temperature niches. *Global Change Biology* **16**:1830-1836.
- Fernández Cirelli, A. y du Mortier, C. 2005. Tecnologías solares para la desinfección

- y descontaminación del agua. Pp 11-26 en M.A. Blesa y J. Blanco Galvez (eds). *Solar Safe Water*, Buenos Aires.
- Field, L. 1991. Sistemas agrícolas campesino en la sierra norte. Centro Andino de Acción Popular (CAAP), Quito, Ecuador.
- Fischer, J. y Lindenmayer, D. B. 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography* **16**:265-280.
- Fisher, J. R. 1977. Silver mines and silver miners in colonial Peru, 1776-1824. University of Liverpool. Centre for Latin-American Studies, Liverpool.
- Fjeldså, J. 1995. Geographical patterns of neoendemic and older relict species of Andean forest birds: the significance of ecologically stable areas. Pages 89-102 in Churchill SPB, Henrik; Forero, Enrique; Luteyn, James L. (eds.). ed. *Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests*. Proceedings of a symposium, New York Botanical Garden, 21-26 June 1993. New York: New York Botanical Garden. Bronx, NY, USA.
- Fjeldså, J., Lambin, E. y Mertens, B. 1999. Correlation between Endemism and Local Ecoclimatic Stability Documented by Comparing Andean Bird Distributions and Remotely Sensed Land Surface Data. *Ecography* **22**:63-78.
- Foley, J., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N. y Snyder, P. K. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science* **309**(5734):570-574.
- Folke, C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* **16**: 253-267
- Fonseca, C. 1973. *Sistemas Económicos Andinos*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Fonseca, C. y Mayer, E. 1976. *Sistemas Agrarios y Ecología en la Cuenca del Rio Cañete*. Departamento de Ciencias Sociales, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Fonseca, C. y Mayer, E. 1988. *Comunidad y Producción en la Agricultura Andina*. Fomciencias, Lima.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* **55**:73-106.
- Fowler, H. J., Blenkinsop, S. y Tebaldi, C. 2007b. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in down-scaling techniques for hydrological modelling. *Int. J. Climatol.* **27**:1547-1578.
- Fowler, H. J., Ekström, M., Blenkinsop, S. y Smith, A. P. 2007a. Estimating change in extreme European precipitation using a multimodel ensemble. *Journal of Geophysical Research* **112**, D13104.
- Francou, B., Ribstein, P., Wagnon, P., Ramirez, E. y Pouyaud, B. 2005. Glaciers of the Tropical Andes: Indicators of Global Climate Change. In *Global Change and Mountain Regions*, edited by U. M. Huber. Springer, Netherlands.
- Frankel-Reed, J. 2008. Considerations for Developing Monitoring and Evaluation Approaches for Climate Change Adaptation. *Adapt Net Special Report*. Disponible en <http://www.globalcollab.org/mailling-lists/adaptnet/english/reports/2008/monitor-evaluate> (Consultado en octubre 2011).
- Gade, D. W. 1999. *Nature and Culture in the Andes*. Madison. University of Wisconsin Press.
- Gálmez, V. y Encinas, C. 2010. CRISTAL - Herramienta para la Identificación Comunitaria de Riesgos – Adaptación y Medios de Vida. Guía aplicativa para la incorporación del enfoque de cambio climático en proyectos y programas. MAE/PACC/Intercooperation. Quito.
- Gálmez, V. y Santa María, P. 2010a. Síntesis de la Evaluación del Estado de la Acción en Respuesta al Cambio Climático en los Andes Tropicales. *Panorama Andino*. Intercooperation/CONDESAN/SG CAN. Lima.
- Gálmez, V. y Santa María, P. 2010b. Base de datos de acciones de adaptación en los países de la Comunidad Andina y Venezuela ejecutados entre 1994 y 2010. Última actualización: Junio del 2010. Intercooperation/CONDESAN/SG CAN. Lima.
- García-Moreno, J., Arctander, P. y Fjeldså, J. 1999. Strong Diversification at the Treeline among Metallura Hummingbirds. *The Auk* **116**:702-711.
- Garreaud, R. 1999. Multiscale Analysis of the Summertime Precipitation over the Central Andes. *American Meteorological Society* **127**:901-921
- Garreaud, R. y Falvey, M. 2009. The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios. *International Journal of Climatology* **29**:543-554.
- Garreaud, R., Vuille, M. y Clement, A. C. 2003. The climate of the Altiplano: observed current conditions y mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **194**:5-22.
- Gelles, P. 2000. *Water and Power in Highland Perú: the cultural politics of irrigation and development*. Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey, London.
- Gentry, A. H. 1982. Neotropical Floristic Diversity: Phytogeographical Connections Between Central and South America, Pleistocene Climatic Fluctuations, or an Accident of the Andean Orogeny? *Annals of the Missouri Botanical Garden* **69**:557-593.
- Gentry, A. H. 1995. Patterns of diversity and floristic composition in neotropical montane forests. Pp 103-126 en H. Churchill S. P. B., E. Forero y J. L. Luteyn (eds). *Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium (1993, Bronx, N.Y., USA)*. Biodiversity and conservation of neotropical montane forests: Proceedings. New York Botanical Garden, Bronx, New York, USA.
- Gibbon, A., Silman, M., Malhi, Y., Fisher, J., Meir, P., Zimmermann, M., Dargie, G., Farfan, W. y Garcia, K. 2010. Ecosystem Carbon Storage Across the Grassland-Forest Transition in the High Andes of Manu National Park, Peru. *Ecosystems* **13**: 1097-1111.
- Giddens, A. 2008. *The Politics of Climate Change. National Responses to the Challenge of Global Warming*. Policy Network. Londres, United Kingdom.
- Giorgi, F. y Bi, X. 2005. Updated regional precipitation and temperature changes for the 21st century from ensembles of recent AOGCM simulations. *Geophysical Research Letters* **32**:L21715.

- Girardin, C. A. J., Malhi, Y., Aragão, L. E. O. C., Mamani, M., Huaraca Huasco, W., Durand, L., Feeley, K. J., Rapp, J., Silva-Espejo, J. E., Silman, M., Salinas, N. y Whittaker, R. J. 2010. Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. *Global Change Biology* **16**: 3176-3192.
- Glassman, A. y Handa, S. 2005. Addressing poverty y inequality in the Andean region: Social policy y programs. Pp 45-71 en A. Solimano (ed). Political crises, social conflict y economic development: the political economy of the Andean Region. Edward Elgar Pub, Cheltenham, UK.
- Gnecco, C. y Mora, S. 1997. Late Pleistocene/early Holocene tropical forest occupations at San Isidro and Pena Roja, Colombia. *Antiquity* **71**:683-690.
- Golte, J. 1980. La racionalidad de la organizacion andina. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- Golte, J. 1992. Los problemas con las "Comunidades". *Debate Agrario* **14**:18-22.
- Gondard, P. 2006. Campos elevados en llanura húmedas. Del modelado al paisaje Camellones, waru warus o pijales. Pp 25-53 en F. Valdéz (ed). Agricultura Ancestral Camellones y Albarradas: Contexto Social, usos y retos del pasado y del presente. Abya Yala, Quito.
- Gonzáles, J. y Aparicio, M. 2009. Aprendiendo a adaptarnos al cambio climático en los ámbitos locales. Una experiencia de adaptación a nivel local en las regiones de montaña de Bolivia. *Tecnología y Sociedad* **8**: 53-63. Soluciones Prácticas, Lima, Perú.
- Gordon, R. B., Bertram, M. y Graedel, T. E. 2006. Metal stocks y sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **103**:1209-1214.
- Gosling, W. D., Hanselman, J. A., Christopher, K., Valencia, B. G. y Mark, B. G. 2009. Long-term drivers of change in *Polylepis* woodland distribution in the central Andes. *Journal of Vegetation Science* **20**:1041-1052.
- Grabherr, G., Gottfried, M., Pauli, H. 2000. GLORIA: A Global Observation Research Initiative in Alpine Environments. *Mountain Research and Development* **20**: 190-191.
- Grace, J., Berninger, F. y Nagy, L. 2002. Impacts of climate change on the tree line. *Annals of Botany* **90**:537-544.
- Graham, C. H., Loiselle, B. A., Velásquez-Tibatá, J. y Cuesta, F. 2011. Forecasting how climate change will influence biological diversity. *Inter-American Institute for Global Change Research-Scientific Committee on Problems of the Environment (IAI-SCOPE)*. Island Press, Washington D.C.
- Gray, C. L. 2009. Environment, Land, and Rural Out-migration in the Southern Ecuadorian Andes. *World Development* **37**:457-468.
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J. G., et al. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* **319**:756-60
- Grötzbach, E. 1988. High mountains as human habitats. Pp 24-35 en N. Allan, G. Knapp y C. Stadel (eds). *Human Impact on Mountains*. Rowman and Littlefield Publishers, Totowa.
- Guevara Gil, A. y Boelens, R. 2010. Derechos colectivos al agua en los países andinos: una reflexión regional. Pp 23-50 en R. Bustamante (ed). *Lo colectivo y el agua: entre los derechos y las prácticas*. IEP/ Concertación, Lima.
- Guillet, D. 1978. The supra- household sphere of production in the Andean peasant economy. *Actes du XLII Congrès international des Américanistes: congrès du centenaire*, Paris.
- Guillet, D. 1981. Land Tenure, Ecological Zone, and Agricultural Regime in the Central Andes. *American Ethnologist* **8**(1):139-156.
- Gupta, A. K., Anderson, D. M., Pandey, D. N. y Singhvi, A. K. 2006. Adaptation and human migration, and evidence of agriculture coincident with changes in the Indian summer monsoon during the Holocene. *Current Science* **90**:1082-1090.
- Gutierrez, Z. 2006. Riego campesino y diseño compartido: gestión local e intervención en sistemas de riego en Bolivia. EP, Walir (Agua y Sociedad, Sección Walir, 5). Lima.
- Hallegatte, S., Lecocq, F., Franck y Perthuis, C. 2011. "Designing climate change adaptation policies: an economic framework," Policy Research Working Paper Series 5568, The World Bank. Washington, DC.
- Hamilton, S., Asturias de Barrios, L. y Tevalán, B. 2001. Gender y Commercial Agriculture in Ecuador y Guatemala. *Culture & Agriculture* **23**:1-12.
- Hannah, L., Midgley, G., Andelman, S., Araújo, M., Hughes, G., Martinez-Meyer, E., Pearson, R. y Williams, P. 2007. Protected area needs in a changing climate. *Frontiers in Ecology and the Environment* **5**:131-138.
- Hansen, D. M., Donlan, C. J., Griffiths, C. J. y Campbell, K. J. 2010. Ecological history and latent conservation potential: large and giant tortoises as a model for taxon substitutions. *Ecography* **33**:272-284.
- Harden, C. P. 1996. Interrelationships between land abandonment and land degradation: a case from the Ecuadorian Andes. *Mountain Research and Development* **16**:274-280.
- Harden, C. P. 2001. Soil erosion and sustainable mountain development: Experiments, observations and recommendations from the Ecuadorian Andes. *Mountain Research and Development* **21**:77-83.
- Harrison, P., Berry, P. M., Butt, N. y New, M. 2006. Modelling climate change impacts on species' distributions at the European scale: implications for conservation policy. *Environmental Science and Policy* **9**:116-128.
- Haylock, M. R., Peterson, T. C., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Anunciacao, Y. M. T., Baez, J., Barros, V. R., Berlato, M. A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V., Garcia, V. J., Grimm, A. M., Karoly, D., Marengo, J. A., Marino, A. M., Moncunill, D. F., Nechet, D., Quintana, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J. L., Trebejo, I. y Vincent, L. A. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate* **19**(8):1490-1512.
- Heemsbergen, D. A., Berg, M. P., Loreau, M., van Haj, J. R., Faber, J. H. y Verhoef, H. A. 2004. Biodiversity effects on soil processes explained by interspecific functional dissimilarity. *Science* **306**:1019-1020.
- Heindl, M. y Schuchmann, K. L. 1998. Biogeography, geographical variation and taxonomy of the Andean hummingbird genus *Metallura* (GOULD, 1847). *Journal of Ornithology* **139**:425-473.
- Heller, N. E. y Zavaleta, E. S. 2009. Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological*

- Conservation **142**:14-32.
- Heltberg, R., Siegel, P. B. y Jorgensen, S. L. 2009. Addressing human vulnerability to climate change: Toward a 'no-regrets' approach. *Global Environmental Change* **19**:89-99.
- Hentschel, J. y Waters, W. F. 2002. Rural Poverty in Ecuador: Assessing Local Realities for the Development of Anti-poverty Programs. *World Development* **30**(1):33-47.
- Hentschel, J. y Waters, W. F. 2002. Rural Poverty in Ecuador: Assessing Local Realities for the Development of Anti-poverty Programs. *World Development* **30**:33-47.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. y Jarvis, A. 2005b. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* **25**:1965-1978.
- Hijmans, R., Guarino, L., Jarvis, A., O'Brien, R., Mathur, P., Bussink, C., Cruz, M., Barrantes, I. y Rojas, E. 2005a. Manual. Diva-GIS version 5.2.
- Hillyer, R. y Silman, M. R. 2010. Changes in species interactions across a 2.5 km elevation gradient: effects on plant migration in response to climate change. *Global Change Biology* **16**:3205-3214.
- Hofstede, R. 1995. Effects of livestock farming and recommendations for management and conservation of paramo grasslands (Colombia). *Land Degradation & Rehabilitation* **6**:133.
- Hole, D. G., Young, K. R., Seimon, A., Gomez, C., Hoffmann, D., Schutze, K., Sanchez, S., Muchoney, D., Grau, R. y Edson, R. 2011. Adaptive Management for Biodiversity Conservation under Climate Change – a Tropical Andean Perspective. Pp 1-339 en S. K. Herzog, R. Martínez, P. M. Jørgensen, H. Tiessen (eds). *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI), Brasilia.
- Holling, C. S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review in Ecology and Systematics* **4**:1-23.
- Hölscher, D., Köhler, L., van Dijk, A. y Bruijnzeel, L. 2004. The importance of epiphytes to total rainfall interception by a tropical montane rain forest in Costa Rica. *Journal of Hydrology* **292**: 308–322.
- Holtmeier, F. K. y Broll, G. 2007. Treeline advance, driving processes and adverse factor. *Landscape Online* **1**:1-33.
- Honty, G. 2011. Cambio Climático: Negociaciones y Consecuencias para América Latina. CLAES - Centro Latino Americano de Ecología Social. Coscoroba Ediciones, Montevideo.
- Hooghiemstra H, Van der Hammen T. 2004. Quaternary Ice-Age dynamics in the Colombian Andes: developing an understanding of our legacy. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* **359**: 173-181.
- Hoorn C, et al. 2010. Amazonia Through Time: Andean Uplift, Climate Change, Landscape Evolution, and Biodiversity. *Science* **330**: 927-931.
- Hotimsky, S., Cobb, R. y Bond, A. 2006. Contracts or scripts. A critical review of the application of institutional theories to the study of environmental change. *Ecology and Society* **11**:41.
- Hudson, D. A. y Jones, R. G. 2002. Regional Climate Model Simulations of Present-day and Future Climates of Southern Africa. In: Hadley Centre technical note 39, MetOffice, Reading, UK.
- Hunter, M. L. 2007. Climate change and moving species : Furthering the debate on assisted colonization. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, ETATS-UNIS.
- IASC. 2008. Disaster risk reduction strategies and risk management practices: critical elements for adaptation to climate change. Inter - Agency Standing Committee (IASC), United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat (UNISDR), New York.
- IDEAM (ed). 2001. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Bogotá, Colombia.
- IDEAM (ed). 2010. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Inbar, M. y Llerena, C. A. 2000. Erosion Processes in High Mountain Agricultural Terraces in Peru. *Mountain Research and Development* **20**:72-79.
- Insel, N., Poulsen, C. J. y Ehlers, T. A. 2010. Influence of the Andes mountains on South American moisture transport, convection and precipitation. *Climate Dynamics* **35**:1477-1492.
- IPCC. 2000. Special Report on Emission Scenarios. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. University Press, Cambridge, Cambridge.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ishihara, H. y Pascual, U. 2009. Social capital in community level environmental governance: A critique. *Ecological Economics* **68**:1549-1562.
- Jacobsen, F. y MacNeish, J. (ed). 2006. From where live flows: The local knowledge and politics of water in the Andes. Tapir Academic Press, Trondheim.
- Jarvis, A. y Mulligan, M. 2011. The climate of cloud forests. *Hydrological Processes* **25**:327-343.
- Jarvis, A., Lane, A. y Hijmans, R. J. 2008. The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **126**:13-23.
- Jetz, W., Wilcove, D. S. y Dobson, A. P. 2007. Projected Impacts of Climate and Land-Use Change on the Global Diversity of Birds. *Public Library of Science - Biology* **5**:e157.
- Jokisch, B. 2002. Migration and Agricultural Change: The Case of Smallholder Agriculture in Highland Ecuador. *Human Ecology* **30**:523-550.
- Jones, L. y Boyd, E. 2011. Exploring social barriers to adaptation: insights from Western Nepal. *Global Environmental Change* **21**: 1262-1274.
- Jones, R. G., Noguer, M., Hassell, D., Hudson, D., Wilson, S., Jenkins, G. y Mitchell, J. 2004. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.

- Jordan, E., Ungerechts, L., Cáceres, B., Peñafiel, A. y Francou, B. 2005. Estimation by photogrammetry of the glacier recession on the Cotopaxi Volcano (Ecuador) between 1956 and 1997. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques* **50**(6):961.
- Jørgensen, P. M. y C. Ulloa-Ulloa. 1994. Seed plants of the High Andes of Ecuador: a checklist. AAU Reports no.34.
- Jorgensen, P. M. y Leon Yanez, S. (eds). 1999. Catalogue of the vascular plants of Ecuador. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- Jørgensen, P. M., Ulloa-Ulloa, C. y Madsen, J. E. 1995. A floristic analysis of the high Andes of Ecuador. Pp 221-237 en S. P. Churchill, H. Balslev, E. Forero y J. L. Luteyn (eds). *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest. Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium. The New York Botanical Garden, New York.*
- Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Cabrera, E., Chacon-Moreno, E., Ferreira, W., Peralvo, M., Saito, J. y Tovar, A. 2009. Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Peru y Venezuela. Secretaria General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN-Proyecto Paramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RumbOL SRL. Lima.
- Juen, I., Kaser, G. y Georges, C. 2007. Modelling observed and future runoff from a glacierized tropical catchment (Cordillera Blanca, Peru). *Global and Planetary Change* **59**(1-4):37-48.
- Jump, A. S. y Peñuelas, J. 2005. Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters* **8**:1010-1020.
- Jurasinski, G. y Kreyling, J. 2007. Upward shift of alpine plants increases floristic similarity of mountain summits. *Journal of Vegetation Science* **18**:711-718.
- Karmalkar, A. V., Bradley, R. S. y Diaz, H. F. 2008. Climate change scenario for Costa Rican montane forests. *Geophysical Research Letters* **35**(L11702).
- Kaser, G., Grosshauser, M. y Marzeion, B. 2010. Contribution potential of glaciers to water availability in different climate regimes. *PNAS* **107**:20223-20227.
- Kaser, G., Juén, I., Georges, C., Gomez, J. y Tamayo, W. 2003. The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Peru. *Journal of Hydrology* **282**(1-4):130-144.
- Kasperson, R., Dow, K., Archer, E., Cáceres, D., Downing, T., Elmquist, T., Eriksen, S., Folke, C., Han, G., Iyengar, K., Vogel, C., KA, W. y Ziervogel, G. 2005. Vulnerable Peoples and Places. Pp 143-164 en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds). *Ecosystems and human well-being, volume 1-Current state and trends: Findings of the condition and trends working group.* Island press, Washington DC.
- Kates, R. 2000. Cautionary tales: adaptation and the global poor. *Climatic Change* **45**:5-17.
- Kattan, G. H., Franco, P., Rojas, V. y Morales, G. 2004. Biological diversification in a complex region: a spatial analysis of faunistic diversity and biogeography of the Andes of Colombia. *Journal of Biogeography* **31**:1829-1839.
- Kay, C. 2006. Rural poverty and development strategies in Latin America. *Journal of Agrarian Change* **6**:455-508.
- Kelly, P. y Adger, W. 2000. Theory and practice in assessing vulnerability to Climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change* **47**:325-352.
- 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., Herzog, S. K., Fjeldså, J. y Bach, K. 2001. Species richness y endemism of plant y bird communities along two gradients of elevation, humidity y land use in the Bolivian Andes. *Diversity y Distributions* **7**:61-77.
- Killeen, T. J. y Solórzano, L. A. 2008. Conservation strategies to mitigate impacts from climate change in Amazonia. *Philosophical transactions of the Royal Society B* **363**:1881-1888.
- Killeen, T. J., Douglas, M., Consiglio, T., Jørgensen, P. M. y Mejia, J. 2007. Dry spots and wet spots in the Andean hotspot. *Journal of Biogeography* **34**:1357-1373.
- Klein, R. y Persson, A. 2008. Financing adaptation to climate change: Issues and priorities. European Climate Platform. ECP Report No. 8.
- Knapp, G. 1982. Prehistoric flood management on the Peruvian coast: reinterpreting the “sunken fields” of Chilca. *American Antiquity* **47**(1).
- Knapp, G. 1991. *Andean Ecology: Adaptive dynamics in Ecuador.* Westview Press, Boulder.
- Knapp, S. 2002. Assessing patterns of plant endemism in neotropical uplands. *The Botanical Review* **68**:22-37.
- Körner, C. 2005. The Green Cover of Mountains in a Changing Environment Pp 367-375 en U. M. Huber H. K. M. Bugmann y M. A. Reasoner (eds). *Global Change and Mountain Regions.* Springer, Dordrecht.
- Kroschel, J., Alcazar, J. y Poma, P. 2009. Potential of plastic barriers to control Andean potato weevil *Premnotrypes suturicallus* Kuschel. *Crop Protection* **28**:466-476.
- Kullman, L. 2007. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology. *Journal of Ecology* **95**:41-52.
- Kupfer, J. A. y Cairns, D. M. 1996. The suitability of montane ecotones as indicators of global climatic change. *Progress in Physical Geography* **20**:253-272.
- Kurz, W. A., Dymond, C. C., Stinson, G., Rampley, G. J., Neilson, E. T., Carroll, A. L., Ebata, T. y Safranyik, L. 2008. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature* **452**:987-990.
- La Marca, E., Lips, K. R., Lötters, S. et al. 2005. Catastrophic Population Declines and Extinctions in Neotropical Harlequin Frogs (*Bufo* spp.). *Biotropica* **37**:190-201.
- Lambin, E. F. y Meyfroidt, P. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **108**:3465-3472.

- Lampo, M., Rodríguez-Contreras, A., La Marca, E. y Daszak, P. 2006. A chytridiomycosis epidemic and a severe dry season precede the disappearance of *Atelopus* species from the Venezuelan Andes. *Herpetological Journal* **16**:395-402.
- Landis, D. A., Wratten, S. D. y Gurr, G. M. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* **45**:175-201.
- Langhammer PF, et al. 2007. Identification and Gap Analysis of Key Biodiversity Areas: Targets for Comprehensive Protected Area Systems. Gland, Switzerland.: IUCN, .
- Lara, A., Villalba, R., Wolodarsky-Franke, A., Aravena, J. C., Luckman, B. H. y Cuq, E. 2005. Spatial and temporal variation in *Nothofagus pumilio* growth at the tree line along its altitudinal range (35 40-55 S) in the Chilean Andes. *Journal of Biogeography* **32**:879-893.
- Larsen, R., Swartling, Å., Powell, N., Simonsson, L. y Osbeck, M. 2011. A Framework for Dialogue Between Local Climate Adaptation Professionals and Policy Makers. Lessons from Case Studies in Sweden, Canada and Indonesia. Stockholm Environment Institute. Kräftriket 2B 106 91, Estocolmo.
- Lasanta, T., García-Ruiz, J. M., Pérez-Rontomé, C. y Sancho-Marcén, C. 2000. Runoff and sediment yield in a semi-arid environment: the effect of land management after farmland abandonment. *Catena* **38**:265-278.
- Lauer, W., 1989. Climate and weather. Pp 7-53 en H. Lieth y M. J. A. Werger (eds). *Tropical Rain Forest Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam.
- Laurance, W. F., et al. 2011. Global warming, elevational ranges and the vulnerability of tropical biota. *Biological Conservation* **144**:548-557.
- Laurie, N., Andolina, R. y Radcliffe, S. 2002. The excluded 'Indigenous'? The implications of multi-ethnic politics for water reform in Bolivia. En Rachel Sieder (ed). *Multiculturalism in Latin America: Indigenous rights, diversity and democracy*. Institute of Latin American Studies, London.
- Lawler, J. J., Shafer, S. L., White, D., Kareiva, P., Maurer, E. P., Blaustein, A. R. y Bartlein, P. J. 2009. Projected climate-induced faunal change in the Western Hemisphere. *Ecology* **90**:588-597.
- Ledo, A., Montes, F. y Condes, S. 2009. Species dynamics in a montane cloud forest: Identifying factors involved in changes in tree diversity and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* **258**:S75-S84.
- Leverington, F., Lemos, K., Courrau, J., Pavese, H., Nolte, C., Marr, M., Coad, L., Burgess, N., Bomhard, B. y Hockings, M. 2010. Management effectiveness evaluation in protected areas – a global study. Biodiversity Indicators Partnership. The University of Queensland, Brisbane.
- Liberman, M. 1993. Ecosistemas de Bolivia. Pp 109-118 en Centro Internacional de la Papa (ed). *El agroecosistema andino: problemas, limitaciones, perspectivas*. Centro Internacional de la Papa, Lima.
- Lindenmayer, D. B. y Likens, G. E. 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology & Evolution* **24**:482-486.
- Lips, K. R., Diffendorfer, J., Mendelson, J. R., III Sears, M. W. 2008. Riding the Wave: Reconciling the Roles of Disease and Climate Change in Amphibian Declines. *PLoS Biol* **6**:e72.
- Liverman, D. 2004. Who Governs, at What Scale and at What Price? *Geography, Environmental Governance, and the Commodification of Nature*. *Annals of the Association of American Geographers* **94**:734-738.
- Llambí, L. 1990. Procesos de transformación de campesinado latinoamericano. Pp 45-88 en Bernal F, ed. *El campesino contemporáneo*. Bogotá, Colombia: CEREC/ Tercer Mundo.
- Llosa Larrabure, J. y Pajares, E. 2009. Estado de situación de las Políticas Públicas en adaptación al cambio climático y gestión del agua en los países de la subregión andina. Pp 23-90 en J. Llosa Larrabure, E. Pajares y O. Toro (eds). *Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas. Reflexión, denuncia y propuesta desde los Andes*. desco /Red Ambiental Peruana. Lima.
- Llosa Larrabure, J., Pajares, E. y Toro, O. (eds). 2009. Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas. Reflexión, denuncia y propuesta desde los Andes. DESCO/Red Ambiental Peruana. Lima.
- Lloyd, A. H. y Fastie, C. L. 2003. Recent changes in treeline forest distribution and structure in interior Alaska *Ecoscience* **10**:176-185.
- Lopez, M. F. 2004. Agricultural and Settlement Frontiers in the Tropical Andes: the Páramo Belt of Northern Ecuador, 1960-1990. Pp 1-157 en Institut für Geographie an der Universität Regensburg. Selbstverlag. Germany.
- Lovett, G. M., Burns, D. A., Driscoll, C. T., Jenkins, J. C., Mitchell, M. J., Rustad, L., Shanley, J. B., Likens, G. E. y Haeuber, R. 2007. Who needs environmental monitoring? *Frontiers in Ecology and the Environment* **5**:253-260.
- Lucero, J. A. 2001. Crisis and contention in Ecuador. *Journal of Democracy* **12**:59-73.
- Luteyn, J. 2002. Diversity, adaptation and endemism in neotropical Ericaceae: biogeographical patterns in the Vaccinieae. *The Botanical Review* **68**:55-87.
- Machaca, J., Camiloaga, F., Mejia, A., Ortega, W., Lizárraga, J., Ordonez, P. y Llosa, J. 2009. La cosecha de agua: una experiencia de adaptación al cambio climático en la macroregión sur (Arequipa, Moquegua y Puno). Pp 207-252 en J. Llosa, E. Pajares, O. Toro. (eds). *Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas. Reflexión, denuncia y propuesta desde los Andes*. Desco: Red Ambiental Peruana, Lima, Perú.
- Machado, C. A. 1991. *Apertura económica y economía campesina*. Siglo XXI. Bogotá, Colombia.
- Maciver, D. y Dallmeier, F. 2000. Adaptation to Climate Change and Variability: Adaptive Management. *Environmental Monitoring and Assessment* **61**:1-8.
- MacKinlay, H. 2007. La exposición de los jornaleros mestizos e indígenas a los agroquímicos y la contaminación ambiental en la rama del tabaco. *Debate Agrario* **42**: 141-174.

- MAE. 2001a. Vulnerabilidad adaptación y mitigación al cambio climático en el Ecuador. Ministerio del Ambiente. Quito, Ecuador.
- MAE. 2001b. Plan de Acción del Comité Nacional del Clima. Ministerio del Ambiente del Ecuador, Quito, Ecuador.
- MAE. 2008. Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos del Ministerio del Ambiente del Ecuador. Acuerdo Ministerial No. 175 del 19 de noviembre del 2008. Quito, Ecuador.
- Magrin, G., Gay García, D., Cruz Choque, J., Gimenez, A., Moreno, G., Nagy, C., Nobre, C. y Villamizar, A. 2007. Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution to the Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Malhi, Y. 2010. The carbon balance of tropical forest regions, 1990–2005. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **2**: 237-244.
- Malhi, Y., Silman, M., Salinas, N., Bush, M., Meir, P. y Saatchi, S. 2010. Introduction: Elevation gradients in the tropics: laboratories for ecosystem ecology and global change research. *Global Change Biology* **16**: 3171-3175.
- Malletta, H. 1999. La Política Agrícola en Transición. *Debate Agrario* **29**:113-137.
- Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A. M., Chandler, R. E., Kendon, E. J., Widmann, M., Brienen, S., Rust, H. W., Sauter, T., Themeßl, M., Venema, V. K. C., Chun, K. P., Goodess, C. M., Jones, R. G., Onof, C., Vrac, M. y Thiele-Eich, I. 2010. Precipitation downscaling under climate change. Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of Geophysics* In press.
- Marengo, J. A., Jones, R., Alves, L. M. y Valverde, M. C. 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology* **29**:2241-2255.
- Marengo, J. A., Liebmann, B., Grimm, A. M. V. Misra, Silva Dias, P. L., Cavalcanti, I. F. A., Carvalho, L. M. F., Berbery, E. H., Ambrizzi, T., Vera, C. S., Saou, A. C., Nogue-Paegle, J., Zipser, E., Seth, A. y Alves, L. M. 2010. Recent developments on the South American monsoon system. *International Journal of Climatology*, in press.
- Mark, B. G. y McKenzie, J. M. 2007. Tracing increasing tropical Andean glacier melt with stable isotopes in water, *Environmental Science and Technology*. **41**(20):6955-6960.
- Mark, B. G. y Seltzer, G. O. 2003. Tropical glacier meltwater contribution to stream discharge: a case study in the Cordillera Blanca, Peru. *Journal of Glaciology* **49**(165):271-281.
- Marmion, M., Parviainen, M., Luoto, M., Heikkinen, R. K. y Thuiller, W. 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions* **15**: 59-69.
- Marshall, N. A., Stokes, C. J., Howden, S. M. y Nelson, R. N. 2010. Enhancing Adaptive Capacity Pp 245-325 en C. J. Stokes y S. M. Howden (eds). *Adapting Agriculture to Climate Change - Preparing Australian Agriculture, Forestry and Fisheries for the Future*. CSIRO Publishing, Collingwood.
- Martínez, A. G. 2007. Análisis de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático y propuestas de adaptación en la ciudad de Huancayo – Junín: Recurso agua y género. Género y Medio Ambiente. Fondo Editorial del Seminario Permanente de Investigación Agraria, SEPIA. Lima, Perú.
- Martínez, R., Ruiz, D., Andrade, M., Blacutt, L., Pabón, D., Jaimes, E., León, G., Villacís, M., Montealegre, J. y Euscátegui, C. 2011. Synthesis of the Climate of the Tropical Andes. Pp 97-348 en Herzog, R. Martínez, P. Jørgensen y H. Tiessen (eds). 2011. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).
- Massey, D. S., Arango, J., Hugo, G., Kouaouci, A., Pellegrino, A. y Taylor, J. E. 1993. Theories of International Migration - A Review and Appraisal. *Population and Development Review* **19**:431-466.
- Mawdsley, J. R., O'Malley, R., Ojima, D. S. 2009. A Review of Climate-Change Adaptation Strategies for Wildlife Management and Biodiversity Conservation. *Conservation Biology* **23**: 1080-1089
- Mayer, E. 1985. Production zones. Pp 45-84 en S. Masuda, I. Shimada y C. Morris (eds). *Andean ecology and civilization: An interdisciplinary perspective on andean ecological complementarity*. University of Tokyo Press, Tokyo.
- Mayer, E. 2002. *The Articulated Peasant. Household Economies in the Andes*. Westview Press, Boulder.
- Mayer, E. y de la Cadena, M. 1989. *Cooperación y Conflicto en la Comunidad Andina. Zonas de Producción y Organización Social*. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- McGray, H., Hammill, A. y Bradley, R. 2007. *Weathering the Storm. Options for Framing Adaptation and Development*. World Resources Institute. Washington, DC., USA.
- McLachlan, J. S., Hellmann, J. J. y Schwartz, M. W. 2007. A Framework for Debate of Assisted Migration in an Era of Climate Change. *Conservation Biology* **21**:297-302.
- McLain, R. y Lee, R. 1996. Adaptive management: Promises and pitfalls *Environmental Management* **20**:437-448.
- McLeman, R. y Smit, B. 2006. Migration as an adaptation to climate change. *Climatic Change* **76**:31-53.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Meinzen-Dick, R. 2007. Beyond panaceas in water institutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **104**:15200-15205.
- Merino-Viteri, A., Coloma, L. A. y Armendáriz, A. 2005. Los *Telmatobius* de los Andes de Ecuador y su disminución poblacional. *Monografías de Herpetología* **7**:9-37.
- Mertz, O., Halsnæs, K., Olesen, J. y Rasmussen, K. 2009. Adaptation to climate change in developing countries. *Environmental Management* **43**:43-752.

- Meze-Hausken, E. 2000. Migration caused by climate change: how vulnerable are people in dry land areas? A case-study in Ethiopia. *Mitigation and Adaptation Strategies to Global Change* 5:379-406.
- MINAM. 2009. Política Nacional del Ambiente. Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM. Editorial Supergráfica E.I.R.L. Ministerio de Ambiente de Perú.
- MINAM. 2010. Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático. Ministerio de Ambiente de Perú.
- Mines, R. y Dejanvry, A. 1982. Migration to the United-States and Mexican Rural Development - A Case-Study. *American Journal of Agricultural Economics* 64:444-454.
- Mittermeier, R. A., Myers, N., Thomsen, J. B., Da Fonseca, G. A. B. y Olivieri, S. 1998. Biodiversity Hotspots and Major Tropical Wilderness Areas: Approaches to Setting Conservation Priorities. *Conservation Biology* 12:516-520.
- Mittermeier, R. A., Robles Gil, P., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C. G., Lamoreux, J. y Da Fonseca, G. A. (eds). 2004. Hotspots revisited. CEMEX, Agrupación Sierra Madre, Mexico City.
- MMAYA. 2009a. Estrategia Nacional de Educación y Comunicación para el Cambio Climático. Ministerio del Medio Ambiente y Agua de Bolivia.
- MMAYA. 2009b. Segunda Comunicación Nacional del Estado Plurinacional de Bolivia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Ministerio del Medio Ambiente y Agua de Bolivia.
- Molau, U. 2004. Mountain biodiversity patterns at low and high latitudes. *Ambio* 13:24-28.
- Molina-Montenegro, M., Briones, R. y Cavieres, L. 2009. Does global warming induce segregation among alien and native beetle species in a mountain-top? *Ecological Research* 24:31-36.
- Moncayo, S. H. L. 2008. La transformación indeseada. Pp 13-46 en H. Moncayo, É. Novoa, H. Mondragón, M. Flórez, P. Álvarez y A. Suárez (eds). *La cuestión agraria hoy*. Colombia: Tierra sin campesinos. Instituto Latinoamericano de Servicios Legales Alternativos (ILSA), Bogotá, Colombia.
- Morales, N., Frick, L. M., Rojas Pardo, A., Gallo Torricos, J. A. y Valdez Alvarez, G. 2009. Ganadería bovina de leche en el altiplano de La Paz. Situación actual y proyecciones. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA), La Paz, Bolivia.
- Morris, A. 1999. The agricultural base of the pre-Incan Andean civilizations. *Geographical Journal* 165:286-295.
- Mortreux, C. y Barnett, J. 2009. Climate change, migration and adaptation in Funafuti, Tuvalu. *Global Environmental Change* 19:105-112.
- Moscardi, E. R. (ed). 1994. El agro colombiano ante las transformaciones de la economía. IICA/ FUNDAGRO/ TM, Bogotá, Colombia.
- Mossbrucker, H. 1990. La economía campesina y el concepto "comunidad": un enfoque crítico. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- MPD. 2004. Plan de Acción Quinquenal del Programa Nacional de Cambios Climáticos. Ministerio de Planificación del Desarrollo de Bolivia. La Paz, Bolivia.
- Mujica, E. 1997. Los andenes de Puno en el contexto del proceso histórico de la cuenca norte del Titicaca. Ponencia presentada en el simposio Conservación y Abandono de Andenes Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina, mayo 8 de 1997. Disponible en <http://www.condesan.org/memoria/SOWA0297.pdf> (consultado en agosto de 2011).
- Murra, J. 1972. El "Control Vertical" de un Máximo de Pisos Ecológicos en la Economía de las Sociedades Andinas." Pp 429-476 en J. Murra (ed). *Visita de la Provincia de León de Huánuco en 1952*. Universidad nacional Hermilio Valdizán. Huanáuco, Perú.
- Murra, J. V. 1975. Formaciones Económicas y Políticas del Mundo Andino. Instituto de Estudios Peruanos, Lima, Perú.
- Murra, J. V. 1984. Andean societies. *Annual Review of Anthropology* 13:119-141.
- Murtinho, F. 2010. Understanding Adaptation to Climate Variability: Challenges and Opportunities of Community Based Water Management. ICARUS "Climate Vulnerability and Adaptation: Theory and Cases", University of Illinois. Disponible en: <http://www.icarus.info/wp-content/uploads/2010/06/Felipe-Murtinho.pdf>
- Murtinho, F. y Armijos, M. T. 2010. Síntesis del estado del conocimiento sobre los recursos hídricos en el contexto de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en los Andes Tropicales. Programa Panorama Andino. CONDESAN, Secretaría General de la Comunidad Andina. Quito, Ecuador. Disponible en www.condesan.org/portal/panorama/cambio-climatico/recursos-hidricos
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B. y Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- Naciones Unidas. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Documento oficial. FCCC/INFORMAL/84.
- Nadkarni, N. y Solano, R. 2002. Potential effects of climate change on canopy communities in a tropical cloud forest: an experimental approach. *Oecologia* 131: 580-586.
- Naito, K., Remy, F. y Williams, J. 2001. Review of legal and fiscal frameworks for exploration and mining. Mining Journal Books Ltd., London.
- Navarro, G. 2011. Clasificación de la vegetación de Bolivia. Centro de Ecología Difusión. Fundación Simón Patiño. Santa Cruz, Bolivia.
- Nelson, D., Adger, N. y Brown, K. 2007. Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework. *Annual Review of Environment and Resources* 32:395-419.
- Netting, R. M. 1993. *Smallholders, Householders: Farm Families and the Ecology of Intensive, Sustainable Agriculture*. Stanford University Press, Stanford.
- New, M., Hulme, M. y Jones, P. 1999. Representing twentieth-century space-time climate variability. part I: Development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate* 12:829-856.
- New, M., Lister, D., Hulme, M. y Makin, I. 2000. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research* 21:1-25.
- Nicholson, E., Mace, G., Armsworth, P., Atkinson, G., Buckle, S., Clements, T., Ewers, R., Fa, J., Gardner, T., Gibbons, J., Grenyer, R., Metcalfe, R.

- Mourato S., Muuls, M., Osborn, D., Reuman, D. Watson, C. y Milner-Gulland, E. J. 2009. Priority research areas for ecosystem services in a changing world. *Journal of Applied Ecology* 46: 1139-1144.
- Noboa, E. 2011. Presentación para el Segundo Encuentro Técnico del Observatorio de Energía Renovable para América Latina y el Caribe. OLAD.E Coordinación de Fuentes Renovables de Energía y Medio Ambiente.
- Nogués-Bravo, D., Araújo, M. B., Errea, M. P. y Martínez-Rica, J. P. 2007. Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century. *Global Environmental Change* 17:420-428.
- Nores, M. 2009. Are bird populations in tropical and subtropical forests of South America affected by climate change? *Climatic Change* 97:543-551.
- Nriagu, J. O. 1993. Legacy of mercury pollution. *Nature* 363:589-589.
- Opdam, P. y Wascher, D. 2004. Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation* 117:285-297.
- Opdam, P., Steingröver, E. y van Rooij, S. 2006. Ecological networks: A spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes. *Landscape and Urban Planning* 75:322-332.
- Oré, M. T. 2005. Agua: bien común y usos privados. Universidad Católica del Perú, ITDG, Wageningen University, Walir. Lima, Perú.
- Oré, M. T., Del Castillo, L., Van Orsel, S. y Vos, J. 2009. El agua ante nuevos desafíos. Actores e iniciativas en Ecuador, Perú y Bolivia. IEP; Oxfam Internacional (Agua y Sociedad 11). Lima, Perú.
- Orlove, B. S. 1977. Integration Through Production: The Use of Zonation in Espinar. *American Ethnologist* 4:84-101.
- Orlove, B. S. y Custred, G. 1980. The Alternative Model of Agrarian Society in the Andes: Households, Networks, and Corporate Groups. Pp 31-54 en B. S. Orlove, y G. Custred (eds). *Land and Power in Latin America. Agrarian Economies and Social Processes in the Andes*. Holmes & Meier, New York and London.
- Orlove, B. S. y Godoy, R. 1986. Sectoral fallowing systems in the Central Andes. *Journal of Ethnobiology* 6:169-204.
- Ostrom, E. 2008. Frameworks and theories of environmental change. *Global Environmental Change* 18:249-252.
- Ostrom, E. 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science* 325:419-422.
- OTCA. 2004. Plan Estratégico 2004-2012. Disponible en <http://www.otca.info/portal/>.
- Pahl-Wostl, C. 2007. Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resources Management* 21:49-62.
- Painter, M. 1984. Changing Relations of Production and Rural Underdevelopment. *Journal of Anthropological Research* 40:271-292.
- Painter, M. 1991. Upland - lowland production linkages and land degradation in Bolivia. Institute for Development Anthropology, Binghamton, NY.
- Pandey, N., Gupta, A. y Anderson, D. 2003. Rainwater harvesting as an adaptation to climate change. *Current Science* 85(1):46-59.
- Panorama Andino. 2010. "Foro electrónico: Evaluación del estado de la acción en respuesta al cambio climático". CONDESAN/SG CAN/Intercooperation. Disponible en <http://www.infoandina.org/panoramacc> (consultado en agosto de 2011).
- Paritsis, J. y Veblen, T. T. 2011. Dendroecological analysis of defoliator outbreaks on *Nothofagus pumilio* and their relation to climate variability in the Patagonian Andes. *Global Change Biology* 17:239-253.
- PARLATINO. 2010. Proyecto de Declaración de Buenos Aires en el año del bicentenario de la revolución de mayo de 1810. Reunión de la Comisión de Ambiente y Turismo del Parlamento Latinoamericano. Argentina.
- Parry, M., Arnell, N., Berry, P., Dodman, D., Fankhauser, S., Hope, C., Kovats, S., Nicholls, R., Satterthwaite, D., Tiffin, R. y Wheeler, T. 2009. Assessing the costs of adaptation to climate change: A review of the UNFCCC and other recent estimates. International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, Londres, UK.
- Pauchard, A., Kueffer, C., Dietz, H., Daehler C. C., Alexander, J., et al. 2009. Ain't no mountain high enough: plant invasions reaching new elevations. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7:479-486.
- Pauli, H., Gottfried, M., Hohenwallner, D., Reiter, K. y Grabherr, G. 2005. Ecological Climate Impact Research in High Mountain Environments: GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) - its Roots, Purpose and Long-term Perspectives. Pp 383-391 en U. M. Huber, H. K. M. Bugmann, M. A. Reasoner (eds). *Global Change and Mountain Regions*. Springer, Dordrecht.
- Pauli, H., Gottfried, M., Reiter, K., Klettner, C. y Grabherr, G. 2007. Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA* master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology* 13:147-156.
- Pearson, R. G. 2006. Climate change and the migration capacity of species. *Trends in Ecology & Evolution* 21:111-113.
- Pelling, M. y High, C. 2005. Understanding adaptation: What can social capital offer assessments of adaptive capacity? *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 15:308-319.
- Peñuelas, J. y Boada, M. 2003. A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology* 9:131-140.
- Peralvo, M., Postigo, J. C. y López, S. 2011. Adaptación en sistemas productivos andinos a los efectos del cambio climático: revisión y síntesis del estado del conocimiento. Programa Panorama Andino. CONDESAN, Secretaría General de la Comunidad Andina. Quito, Ecuador. Disponible en www.condesan.org/portal/panorama/cambio-climatico/sistemas-productivos
- Peralvo, M., Sierra, R., Young, K. y 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.
- Perez, C., Nicklin, C., Dangles, O., Vanek, S., Sherwood, S., Halloy, S., Garret, K. y Forbes, G. 2010. Climate change in the high Andes: Implications and adaptation strategies for small-scale farmers. *The International*

- Journal of Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability **6**:78-88.
- Perez-Crespo, C. 1991. Why do people migrate? Internal Migration and the Pattern of Capital Accumulation in Bolivia. Institute for Development Anthropology, Binghamton, NY.
- Perreault, T. 2003. Social Capital, Development, and Indigenous Politics in Ecuadorian Amazonia. *Geographical Review* **93**:328-349.
- Perreault, T. 2005. State restructuring and the scale politics of rural water governance in Bolivia. *Environment and Planning A* **37**(2):263-284.
- Perreault, T., Bebbington, A. y Carroll, T. 1998. Indigenous irrigation organizations and the formation of social capital in northern highland Ecuador. *Conference of Latin Americanist Geographers Yearbook* **24**:1-16.
- Pestalozzi, H. 2000. Sectoral Fallow Systems y the Management of Soil Fertility: The Rationality of Indigenous Knowledge in the High Andes of Bolivia. *Mountain Research y Development* **20**:64-71.
- Peterson, A. T., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Bartley, J., Buddemeier, R. W. y Navarro-Sigüenza, A. G. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling* **144**:21-30.
- Phillips, S., Anderson, R. y Schapire, R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**:231-259.
- PNUD. 2008. World Urbanization Prospects: The 2007 Revision Population Database. United Nations Population Division. Disponible en <http://esa.un.org/unup/index.asp?panel=1> (consultado en septiembre de 2011).
- PNUMA. 2010a. Plan de Acción Regional (PAR) 2010-2011 del Foro de Ministros de Medio Ambiente para América Latina y el Caribe. Reunión Preparatoria de Expertos de Alto Nivel. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 26-28 de abril de 2010.
- PNUMA. 2010b. Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Disponible en <http://www.pnuma.org/forodeministros>.
- Podwojewski, P., Poulenard, J., Zambrana, T. y Hofstede, R. 2002. Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the paramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). *Soil Use and Management* **18**:45-55.
- Portocarrero, C., Torres, J. y Gomez, A. 2008. Gestión del agua para enfrentar el cambio climático Propuesta de gestión del agua como medida importante de adaptación al cambio climático en Ancash. Soluciones Prácticas-ITDG, Lima.
- Postigo, J. C., Young, K. R. y Crews, K. A. 2008. Change and Continuity in a Pastoralist Community in the High Peruvian Andes. *Human Ecology* **36**:535-551.
- Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J. L. y Collinet, J. 2001. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of andisols from the Ecuadorian páramo: effect of tillage and burning. *Catena* **45**:185-207.
- Pounds, J. A., Bustamante, M., Coloma, L., Consuegra, M., Fogden, M., Foster, P., et al. 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* **439**:161-167.
- 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.
- Poveda, G. 2009. Evidence of climate and environmental change on water resources and malaria in Colombia. *Earth and Environmental Science* **6**:292054.
- Poveda, K., Gomez, M. I. y Martinez, E. 2008. Diversification practices: their effect on pest regulation and production. *Revista Colombiana de Entomología* **34**:131-144.
- PRATEC (eds). 2011. Adaptación al Cambio climático y Saber Andino. Proyecto Andino de Tecnologías Campesinas/PRATEC. Lima, Perú.
- Presidencia de la República de Bolivia. 2009. Decreto Supremo N° 29894. Estructura Organizativa del Poder Ejecutivo del Estado Plurinacional. Evo Morales 07-02-09. Bolivia.
- Preston, B., Westaway, R., Dessai, S. y Smith, T. 2009. Are we adapting to climate change? Research and methods for evaluating progress. Fourth Symposium on Policy and Socio-economic Research. AMS Annual Meeting, Phoenix, US.
- Prowse, M. 2009. Impact Evaluation and Interventions to Address Climate Change: A Scoping Study. Institute of Development Policy and Management, Universidad de Antwerp, Bélgica.
- Quintero, M. (ed). 2010. Servicios ambientales hidrológicos en la región andina. Estado del conocimiento, la acción y la política para asegurar su provisión mediante esquemas de pago por servicios ambientales. IEP/CONDESAN. Lima.
- Quiroz, R. A., Estrada, R. D., León-Velarde, C. U. y Zandstra, H. G. 1995. Facing the challenge of the Andean Zone: the role of modeling in developing sustainable management of natural resources. Pp 13-31 en J. Bouma, A. Kuyvenhoven, B. A. M. Bouman, J. C. Luyten, H. G. Zandstra (eds). *Eco-Regional approaches for sustainable land use y food production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Raleigh, C. y Jordan, L. 2010. Climate change and migration: Emerging patterns in the developing world. Pp 103-131 en R. Mearns y A. Norton (eds). *Social Dimensions of Climate Change: Equity and Vulnerability in a Warming World*. The World Bank, Washington, DC.
- Ramírez, E., Francou, B., Ribstein, P., Descloitres, M., Guerin, R., Mendoza, J., Gallaire, R., Pouyau, B. y Jordan, E. 2001. Small glaciers disappearing in the tropical Andes: a case study in Bolivia: Glaciar Chaclataya. *Journal of Glaciology* **47**(157):187-194.
- Ramírez-Villegas, J., Cuesta, F., Devenish, C., Peralvo, M., Jarvis, A. y Arnillas, C. 2011. The Impact of Climate Change on Andean Vascular Plant and Bird Species. CIAT, CONDESAN, Secretaría General de la Comunidad Andina. Cali, Colombia. Disponible en www.condesan.org/portal/panorama/cambio-climatico/aves-plantas
- Ramsay, P. M. y Oxley, E. R. B. 2001. An assessment of aboveground net primary productivity in Andean grasslands of Central Ecuador. *Mountain Research and Development* **21**: 161-167.

- Randolph-Bruns, B. y Meizen-Dick, R. (eds). 2000 *Negotiating Water Rights*. International Food Policy Research Institute, Londres.
- Rangel, J. O. 2000. La diversidad beta: tipos de vegetación. Pp 658-719 en J. O. Rangel Ch. (ed). *Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna*. Bogotá, Colombia.
- Raxworthy, C. J., Pearson, R. G., Rabibisoa, N., Rakotondrazafy, A. M., Ramamananjato, J. B., Raselimanana, A. P., Wu, S., Nussbaum, R. A. y Stone, D. A. 2008. Extinction vulnerability of tropical montane endemism from warming and upslope displacement: a preliminary appraisal for the highest massif in Madagascar. *Global Change Biology* **14**:1703-1720.
- Reardon, T., Berdegue, J., Escobar, G. 2001. Rural Nonfarm Employment and Incomes in Latin America: Overview and Policy Implications. *World Development* **29**: 395-409
- Reichart, J. S. 1981. The Migrant Syndrome - Seasonal United-States Wage Labor and Rural-Development in Central Mexico. *Human Organization* **40**:56-66.
- Resco de Dios, V., Fischer, C. y Colinas, C. 2007. Climate Change Effects on Mediterranean Forests and Preventive Measures. *New Forests* **33**:29-40.
- Rhoades, R. 2008. 'Disappearance of the glacier on mama Cotacachi: ethnecological research and climate change in the Ecuadorian Andes'. *Pirineos*. Vol. **163**:37-50.
- Rhoades, R. E. 1978. Intra-European Return Migration and Rural-Development - Lessons from Spanish Case. *Human Organization* **37**:136-147.
- Ribot, J. 2010. Vulnerability does not fall from the sky: Toward multiscale, pro-poor climate policy. Pp 47-74 en R. Mearns y A. Norton (eds). *Social dimensions of climate change. Equity and vulnerability in a warming world*. The World Bank, Washington, DC.
- Richardson, B. A., Richardson, M. J., Scatena, F. N. y 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.
- Robbins, P. 2004. *Political Ecology: A Critical Introduction*. Blackwell Publishing, Malden.
- Robles, R. 2008. Agricultura de riego y tradiciones en el valle del Colca. *Revista de Antropología* **6**:135-173.
- Robles, R. 2010. Sistemas de riego y ritualidad andina en el valle del Colca. *Revista Española de Antropología Americana* **40**:197-217.
- Rocha, R., del Callejo, I. y Vásquez, S. 2010. En busca de la seguridad hídrica: dinámica de los sistemas de riego campesinos en el valle de Punata. Pp 283-308 en J. Vos (ed). *Riego campesino en los Andes: seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Ecuador, Perú y Bolivia*. IEP/ Concertación. Lima, Perú.
- Rodder, D. 2009. 'Sleepless in Hawaii' - does anthropogenic climate change enhance ecological and socioeconomic impacts of the alien invasive *Eleutherodactylus coqui* Thomas 1966 (Anura: Eleutherodactylidae)? *North-Western Journal of Zoology* **5**:16-25.
- Rodrigues, A. S. L., Akcakaya, H. R., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T., et al. 2004. Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *BioScience* **54**:1092-1100.
- Rodríguez Becerra, M. y Mace, H. 2009. Cambio Climático: lo que está en juego. Foro Nacional Ambiental. Colombia.
- Rodríguez Quijano, P. 1993. Caracterización de sistemas de producción en la zona andina colombiana. Pp 75-86 en Centro Internacional de la Papa, ed. *El agroecosistema andino: problemas, limitaciones, perspectivas*. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú.
- Rodríguez-Becerra, M. y Espinoza, G. 2002. Gestión ambiental en América Latina y el Caribe: evolución, tendencias y principales prácticas. David Wilk, Editor. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Ron, S. R., Duellman, W. E., Coloma, L. A. y Bustamante, M. R. 2003. Population decline of the Jambato toad *Atelopus ignescens* (Anura: Bufonidae) in the Andes of Ecuador. *Journal of Herpetology* **37**:116-126.
- Root, T. L., MacMynowski, D. P., Mastrandrea, M. D. y Schneider, S. H. 2005. Human-modified temperatures induce species changes: Joint attribution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **102**: 7465-7469.
- Rosegrant, M., Ringler, C. y Zhu, T. 2009. Water for Agriculture: Maintaining Food Security under Growing Scarcity. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **34**:205-22.
- Roth, D., Boelens, R. y Zwarteveen, M. (eds). 2005 *Liquid Relations: Contested Water Rights and Legal Complexity*. Rutgers University Press. Londres, UK.
- Rubio, B. 2008. Una visión panorámica de las transformaciones agrarias en el Ecuador durante la fase neoliberal. Pp 23-33 en B. Rubio, F. Campana y F. Larrea (eds). *Formas de explotación y condiciones de reproducción de las economías campesinas*. Ediciones Tierra. Quito, Ecuador.
- Rubio, B., Campana, F. y Larrea, F. (eds). 2008. *Formas de explotación y condiciones de reproducción de las economías campesinas*. Ediciones Tierra. Quito, Ecuador.
- Ruf, T. 2000. Water disputes in the Ecuadorian context up to the third millennium: no State, no market, no common property: The transition of Santa Rosa (Tungurahua province). IASP 8th Conference. Bloomington, Indiana.
- Sala, O. E., Chapin III, S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, Y., Dirzo, R., et al. 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science* **287**:1770-1774.
- Sala, O. E., van Vuuren, D., Pereira, H. M., Lodge, D., Alder, G., Cumming, A. D., Wolters, V. y Xenopoulos, A. M. 2005. Biodiversity across Scenarios. Pp 375-406 en S. R. Carpenter, P. L. Pingali. E. M. Bennett, M. B. Zurek (eds). *The Millennium Ecosystem Assessment, vol. 2 Ecosystems and Human Well-being: Scenarios*. Island Press, Washington D.C.
- Salgado, A. C. y Prada, M. E. 2000. Campesinado y protesta social en Colombia 1980-1995. CINEP. Bogotá, Colombia.
- Santos Pereira, L., Cordery, I. y Lacovides, I. 2009. *Coping with water scarcity: addressing the challenges*. Springer. New York.

- Sanz-Elorza, M. D., González, E. D. y Sobrino, A. 2003. Changes in the High-mountain Vegetation of the Central Iberian Peninsula as a Probable Sign of Global Warming. *Annals of Botany* **92**:273-280.
- Sarmiento, L. 2000. Water Balance y Soil Loss Under Long Fallow Agriculture in the Venezuelan Andes. *Mountain Research y Development* **20**:246-253.
- Sarmiento, L., Monasterio, M. y Montilla, M. 1993. Ecological Bases, Sustainability, y Current Trends in Traditional Agriculture in the Venezuelan High Andes. *Mountain Research y Development* **13**:167-176.
- Sawyer, S. 2004. *Crude chronicles: indigenous politics, multinational oil, and neoliberalism in Ecuador*. Duke University Press Books, Durham.
- Schipper, L. 2006. Conceptual history of adaptation in the UNFCCC Process. *RECIEL* **15**(1):82-92.
- Schipper, L. y Pelling, M. 2006. Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. *Disasters* **30**:19-38.
- Schreiber, S., Bearlin, A., Nicol, S. y Todd, C. 2004. Adaptive management: a synthesis of current understanding and effective application. *Ecological Management and Restoration* **5**:177-182
- Schuchmann, K. L., Weller, A. A. y Heynen, I. 2001. Systematics and biogeography of the Andean genus *Eriocnemis* (Aves: Trochilidae). *Journal für Ornithologie* **142**(4):433-481.
- Scott, D. y Lemieux, C. 2007. Climate change and protected areas policy, planning and management in Canada's boreal forest. *The Forestry Chronicle* **83**:347-357.
- Seimon, T. A., Seimon, A., Daszak, P., Halloy, S. R. P., Schloegel, L. M., Aguilar, C. A., Sowell, P., Hyatt, A. D., Konecky, B. y Simmons J., E. 2007. Upward range extension of Andean anurans and chytridiomycosis to extreme elevations in response to tropical deglaciation. *Global Change Biology* **13**:288-299.
- Sekercioglu, C. H., Schneider, S. H., Fay, J. P. y Loarie, S. R. 2008. Climate Change, Elevational Range Shifts, and Bird Extinctions. *Conservation Biology* **22**:140-150
- SEMARNAT / PNUMA. 2006. Cambio climático en América Latina y el Caribe. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Seto, K., Sanchez-Rodriguez, R. y Fragkias, M. 2010. The New Geography of Contemporary Urbanization and the Environment. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **2010**. **35**:167-94.
- SGCAN. 2003. Seguimiento de la Cumbre de Johannesburgo en la Subregión Andina. SG/dt 208/Rev. 2. 20 de junio de 2003, 3.24.32. Secretaría General de la Comunidad Andina.
- SGCAN. 2009. Ayuda de memoria de los avances realizados en la implementación de la Agenda Ambiental Andina (Mayo 2007 – Diciembre 2008). SG/dt 430. 10 de febrero de 2009. B.2. Secretaría General de la Comunidad Andina.
- SGCAN/PNUMA/AECID. 2008. Cosa Sería este Clima. Panorama del Cambio Climático en la Comunidad Andina. Libélula Comunicación, Ambiente y Desarrollo S.A.C. Secretaría General de la Comunidad Andina / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente / Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- Shea, K., Possingham, H., Murdoch, W. y Roush, R. 2002. Active adaptive management in insect pest and weed control: intervention with a plan for learning. *Ecological Applications* **12**: 927-936
- Sierra-Almeida, A. y Cavieres, L. 2010. Summer freezing resistance decreased in high-elevation plants exposed to experimental warming in the central Chilean Andes. *Oecologia* **163**:267-276.
- Sierra-Almeida, A., Cavieres, L. A. y Bravo, L. A. 2009. Freezing resistance varies within the growing season and with elevation in high-Andean species of central Chile. *New Phytologist* **182**:461-469.
- Simpson, B. B. y Todzia, C. A. 1990. Patterns and Processes in the Development of the High Andean Flora. *American Journal of Botany* **77**:1419-1432
- Sklená , P. 2009. Presence of cushion plants increases community diversity in the high equatorial Andes. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* **204**: 270-277.
- Sklená , P., Kucerova, A., Macek, P. y Mackova, J. 2010. Does plant height determine the freezing resistance in the páramo plants? *Austral Ecology* **35**:929-934.
- Sklená , P., Luteyn, J. L., Ulloa, C. U., Jorgensen, P. M. y Dillon, M. O. 2005. *Generic flora of the Páramo: illustrated guide of the vascular plants*. New York.
- Smit, B. y Pilifosova, O. 2001. Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity. Pp 877-912 en *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Smit, B. y Skinner, M. 2002. Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **7**:85-114.
- Smit, B. y Wandel, J. 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* **16**(3):282-292.
- Smith, A. P. y Young, T. P. 1987. Tropical Alpine Plant Ecology. *Annual Review of Ecology y Systematics* **18**:137-158.
- Soares, W. R. y Marengo, J. A. 2009. Assessments of moisture fluxes east of the Andes in South America in a global warming scenario. *International Journal of Climatology* **29**:1395-1414.
- Soto, L. 2010. Cosechando agua, produciendo vida: atajados en Bolivia. Pp 243-260 en J. Vos (ed). *Riego campesino en los Andes: seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Ecuador, Perú y Bolivia*. IEP/ Concertación. Lima, Perú.
- Sperling, F., Vladivia, C., Quiroz, R., Valdivia, R., Angulo, L., Seimon, A. y Noble, I. 2008. Transitioning to Climate Resilient Development Perspectives from Communities in Perú (Climate Change Series Paper **115**). The World Bank, Washington, US.
- Squeo, F. A., Warner, B., Aravena, R. y Espinoza, D. 2006. Bofedales: high altitude

- peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural* **79**: 245-255.
- Stadel, C. 2001. Ciudades medianas y aspectos de la sustentabilidad urbana en la región andina. *Revista Geográfica* **129**:5-20
- Stadel, C. 2008. Vulnerability, resilience and adaptation: Rural development in the tropical Andes. *Pirineos* **163**:15-36.
- Stainforth, D. A., Allen, M. R., Tredger, E. R. y Smith, L. A., 2007a. Confidence, uncertainty and decision-support relevance in climate predictions. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* **365**:2145-2161.
- Stainforth, D. A., Downing, T. E., Washington, R., Lopez, A. y New, M., 2007b. Issues in the interpretation of climate model ensembles to inform decisions. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* **365**:2163-2177.
- Stern, N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Sugden, A. M. 1981 Aspects of the ecology of vascular epiphytes in two Colombian cloud forests: Habitat preference of Bromeliaceae in the Serranía de Macuira. *Selbyana* **5**: 264 – 273.
- Surkin, J., Resnikowski, H., Sanchez, A. y Amaya, M. 2010. A Landscape of Change: A Report on Community Based Adaptation and Vulnerability to Climate Change and its Social, Institutional and Ecological Inter Linkages in Bolivia.
- Sutherst, R. W., Constable, F., Finlay, K. J., Harrington, R., Luck, J. y Zalucki, M. P. 2011. Adapting to crop pest and pathogen risks under a changing climate. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* **2**:220-237.
- Sutherst, R., Baker, R., Coakley, S., Harrington, R., Kriticos, D., Scherm, H., Canadell, J. G., Pataki, D. E. y Pitelka, L. F. 2007. Pests Under Global Change — Meeting Your Future Landlords? Pp 211-226 en J. G. Canadell, D. E. Pataki y L. F. Pitelka (eds). *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Swinton, S. M. y Quiroz, R. 2003. Is Poverty to Blame for Soil, Pasture and Forest Degradation in Peru's Altiplano? *World Development* **31**:1903-1919.
- Swinton, S. M., Escobar, G. y Reardon, T. 2003. Poverty and Environment in Latin America: Concepts, Evidence and Policy Implications. *World Development* **31**:1865-1872.
- Tamayo, C. 2010. De la disputa por el agua a la unificación de las tres cooronas: dinámicas campesinas en un escenario de limitada disponibilidad hídrica y acceso a la tierra. Pp 97-112 en J. Vos (ed). *Riego campesino en los Andes: seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Ecuador, Perú y Bolivia*. IEP/ Concertación. Lima, Perú.
- Tanner, T. y Allouche, J. 2011. Towards a New Political Economy of Climate Change and Development. *IDS Bulletin* **42**:1-14.
- Taylor, J. E. y Wyatt, T. J. 1996. The shadow value of migrant remittances, income and inequality in a household-farm economy. *Journal of Development Studies* **32**:899-912.
- Tercero-Bucardo, N., Kitzberger, T., Veblen, T. T. y Raffaele, E. 2007. A field experiment on climatic and herbivore impacts on post-fire tree regeneration in north-western Patagonia. *Journal of Ecology* **95**:771-779.
- Thomalla, F., Downing, T., Spanger-Siegfried, E., Han, G. y Rockström, J. 2006. Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. *Disasters* **30**:39-48.
- Thuiller, W. 2007. Biodiversity: Climate change and the ecologist. *Nature* **448**:550-552.
- Thuiller, W., Alberta, C., Araújob, M., Berryc, P. M., Cabezad, M., Guisane, A., Hickler, T., et al. 2008. Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **9**:137-152.
- Thuiller, W., Lavorel, M. B., Araújo, M. T., Sykes, I. C. y Prentice, I. C. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **102**:8245-8250.
- Ticehurst, S., Urgel, S. y Best, S. 2009. Bolivia: Climate Change, poverty and adaptation. Oxfam International: La Paz.
- Timbe, E., 2004. Disgregación temporal de datos diarios de precipitación en microcuencas de páramo. Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca.
- Tobón, C. 2009. Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización #4. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION, CONDESAN. Quito.
- Tobón, C. y 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.
- Tol, R. 2002. Estimates of the Damage Costs of Climate Change. Part 1: Benchmark Estimates. *Environmental and Resource Economics* **21**:47-73.
- Tompkins, E. y Adger, W. 2004. Does Adaptive Management of Natural Resources Enhance Resilience to Climate Change? *Ecology and Society* **9**(2):10. Disponible en <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art10>.
- Tompson, A. 2006. Management under anarchy: the international politics of climate change. *Climatic Change* **78**: 7-29
- Tonneijck, F. H., Jansen, B., Nierop, K. G. J., Verstraten, J. M., Sevink, J. y De Lange, L. 2010. Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador. *European Journal of Soil Science* **61**:392-405.
- Torres, J. 2002. Vulnerabilidad y Capacidad de Adaptación al Cambio Climático en el Perú. Caso: Cuenca del Chira. Piura. Identificación de Areas y Actividades Vulnerables al Cambio Climático en el Perú, CONAM. Universidad Nacional de Piura, Perú.
- Torres, J. 2007. Vulnerabilidad y Capacidad de Adaptación al Cambio Climático en el Perú. Caso: Cuenca del Chira. Piura. Identificación de Areas y Actividades Vulnerables al Cambio Climático en el Perú. CONAM, Universidad Nacional de Piura.
- Torres, J. y Gómez, A. (eds). 2008. *Adaptación al cambio climático: de los fríos y los calores en los Andes*. Soluciones Prácticas-ITDG. Lima, Perú.
- Torres, J., Gómez, A. y Barrú, M. 2008. Gestión de cuencas para enfrentar el cambio climático y el Fenómeno El Niño Propuesta de adaptación

- tecnológica frente al cambio climático y el FEN en Piura. Soluciones Prácticas-ITDG. Perú.
- Torres-Díaz, C., Cavieres, L. A., Muñoz-Ramírez, C. y Arroyo, M. T. K. 2007. Consecuencias de las variaciones microclimáticas sobre la visita de insectos polinizadores en dos especies de *Chaetanthera* (Asteraceae) en los Andes de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 80:455-468.
- Travis, J. 2003. Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. *Proceedings of the Royal Society B* 270:467-473.
- Trawick, P. B. 2001. Successfully governing the commons: Principles of social organization in an Andean irrigation system. *Human Ecology* 29:1-25.
- Treacey, J. y Denevan, W. 1994. The Creation of Cultivable land through Terracing. Pp 91-110 en N. Miller y K. Gleason (eds). "The Archeology of Garden and Field". University of Pennsylvania Press. Philadelphia.
- Trigoso Rubio, E. 2007. 'Climate Change Impacts and Adaptation in Perú: the Case of Puno and Piura'. Human Development Report 2007/2008, Fighting climate change: Human solidarity in a divided world. Human Development Report Office. Occasional Paper 62.
- Tubiello, F. N., Soussana, J. F. y Howden, S. M. 2007. Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:19686-19690.
- Turner II, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A. y Schiller, A. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100:8074-8079.
- Turner II, B. L., Kasperson, R., Meyer, W., Dow, K., Golding, D., Kasperson, J., Mitchell, R. y Ratick, S. 1990. Two Types of Global Environmental Change. Definitional and Spatial-scale Issues in Their Human Dimensions. *Global Environmental Change* 1:14-22.
- Turner, A. G. y Slingo, J. M. 2009. Uncertainties in future projections of extreme precipitation in the Indian monsoon region. *Atmos Sci Lett* 10:152-158
- UCI. 2010. Cambio Climático, Mitigación, Adaptación y Gestión de la Vulnerabilidad. Proyecto Ley Marco en Cambio Climático PARLATINO. Universidad para la Cooperación Internacional. Presentación en la XIII reunión de la Comisión de Ambiente y Turismo, 3-4 marzo 2010. Buenos Aires, Argentina.
- UNASUR. 2008. Tratado Constitutivo de la Unión de Naciones Suramericanas. Reunión Extraordinaria de Presidentes de la Unasur. Unión de Naciones Suramericanas.
- UNASUR. 2009. Declaración Presidencial de Quito. III Reunión Ordinaria de Jefes de Estado. Unión de Naciones Suramericanas.
- UNASUR. 2010. Declaración de Georgetown. Reunión Preparatoria de la IV Cumbre Presidencial. Unión de Naciones Suramericanas.
- UNDP (United Nations Development Programme). 2007. Human development report 2007/2008. Fighting climate change: human solidarity in a divided world. UNDP, New York.
- Urrutia, J. 2004. Las Comunidades Campesinas: Algunas Reflexiones. CEPES, Lima. Disponible en: <http://www.cebem.org/cmsfiles/archivos/las-comunidades-campesinas-4.pdf>
- Urrutia, R. y Vuille, M. 2009. Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *Journal of Geophysical Research* 114, D02108.
- Urteaga Crovetto, P. 2010. Ingeniería legal, acumulación por desposesión y derechos colectivos en la gestión del agua. Pp 51-76 en R. Bustamante (ed). *Lo colectivo y el agua: entre los derechos y las prácticas*. IEP/ Concertación. Lima, Perú.
- Valdez, F. (ed). 2006. *Agricultura Ancestral Camellones y Albarradas: Contexto Social, usos y retos del pasado y del presente*. Abya Yala, Quito, Ecuador.
- Valdivia, C. y Quiroz, R. 2003. Coping and Adapting to Increased Climate Variability in the Andes. Selected Paper American Agricultural Economics Association. July 27-30, Montréal Canada.
- Valdivia, C., Gilles, J. L., Jetté, C., Quiroz, R. y Espejo, R. 2003. "Coping and Adapting to Climate Variability: The Role of Assets, Networks, Knowledge and Institutions." Pp189-199 en *Insights and Tools for Adaptation: Learning from Climate Variability*. NOAA Office of Global Programs, Climate and Societal Interactions. Washington. DC.
- Valdivia, C., Jetté, C., Quiroz, R., Gilles, J. y Materer, S. 2000. Peasant Households Strategies in the Andes and Potential Users of Climate Forecasts: El Niño of 1997-1998. Paper presented at American Agricultural Economics Association Annual Meeting, July 30-August 2, 2000. Tampa.
- Valdivia, C., Quiroz, R., Zorogastua, P. y Baigorrea, G. 2002. Climate Variability, Andean Livelihood Strategies, Development and Adaptation in the Andean Region. American Geophysical Union, Spring Meeting. Washington DC.
- Valdivia, C., Seth, A., Gilles, J. L., Garcia, M., Jimenez, E., Cusicanqui, J., Navia, F. y Yucra, E. 2010. Adapting to Climate Change in Andean Ecosystems: Landscapes, Capitals, and Perceptions Shaping Rural Livelihood Strategies and Linking Knowledge Systems. *Annals of the Association of American Geographers* 100:818-834.
- Van Der Hammen, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *Journal of Biogeography* 1:3-26.
- Van der Ploeg, J. D. 2006. *El furturo robado: tierra, agua y lucha campesina*. IEP, Walir (Agua y Sociedad, Seccion Walir, 3). Lima, Perú.
- van Koppen, B., Smits, S., Moriarty, P., Penning de Vries, F., Mikhail, F. y Boelee, E. 2010. Ascendiendo la escala del agua: Servicios de abastecimiento de agua de usos múltiples para la reducción de la pobreza. IRC Centro Internacional de Agua Potable y Saneamiento e Instituto Internacional para la Gestión del Agua. La Haya, Países Bajos.
- VanDerwill, C. J. 2008. 'Climate Change adaptation and development: from theory and concepts to practices and processes in Perú's tropical highlands'. Tesis de Maestría, Simon Fraser University, British Columbia.
- Vera, C., Silvestri, G., Liebmann, B. y Gonzalez, P. 2006. Climate change escenarios

- for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophysical Research Letters* **33**, L13707.
- Vergara, W., Deeb, A., Valencia, A., Bradley, R., Francou, B., Zarzar, A., Grünwaldt, A. y Haeussling, S. 2007a. Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes. *Eos Trans. AGU* **88**.
- Vergara, W., Deeb, A., Valencia, A., Haeussling, S., Zarzar, A., Bradley, R. y Francou, B. 2007b. The Potential Consequences of Rapid Glacier Retreat in the Northern Andes. In *LCR Sustainable Development Working Paper*: World Bank.
- Viviroli, D., Archer, D. R., Buytaert, W., Greenwood, G. B., Hamlet, A. F., Huang, Y., Koboltschnig, G., Litaor, M. I., López-Moreno, J. I., Lorentz, S., Schädler, B., Schwaiger, K., Vuille, M. y Woods, R. 2010. Climate change and mountain water resources: Overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* **7**:2829-2895.
- Vogel C, Moser SC, Kasperson RE, Dabelko GD. 2007. Linking vulnerability, adaptation, and resilience science to practice: Pathways, players, and partnerships. *Global Environmental Change* **17**: 349-364.
- Vos, C. C., Berry, P., Opdam, P., Baveco, H., Nijhof, B., O'Hanley, J., Bell, C. y Kuipers, H. 2008. Adapting landscapes to climate change: examples of climate-proof ecosystem networks and priority adaptation zones. *Journal of Applied Ecology* **45**:1722-1731.
- Vos, J. (ed). 2010. Riego campesino en los Andes: seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Ecuador, Perú y Bolivia. IEP/ Concertación. Lima, Perú.
- Vos, J. 2010. Los campesinos y el riego campesino: definiciones y exploraciones conceptuales. Pp 13-30 en J. Vos (ed). *Riego campesino en los Andes: seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Ecuador, Perú y Bolivia*. IEP/ Concertación. Lima, Perú.
- Vuille, M. 1999. Atmospheric circulation over the Bolivian Altiplano during dry y wet periods y extreme phases of the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology* **19**:1579-1600.
- Vuille, M. y Bradley, R. 2000. Mean temperature trends y their vertical structure in the tropical Andes. *Geophysical Research Letters* **27**:3885-3888.
- Vuille, M. y Clement, A. C. 2003. The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **194**:5-22.
- Vuille, M., Bradley, R. S., Werner, M. y Keimig, F. 2003. 20th century climate change in the tropical Andes: observations y model results. *Climate Change* **59**:75-99.
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G. y Bradley, R. S. 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews* **89**(3-4):79-96.
- Walker, B. H., L. H. Gunderson, A. P. Kinzig, C. Folke, S. R. Carpenter, and L. Schultz. 2006. A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. *Ecology and Society* **11**: 13. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art13/>
- Walsh, P. y Lawler, D. 1981. Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time. *Weather* **36**: 201-208.
- Walters, C. 1986. *Adaptive Management of Renewable Resources*. Macmillan, New York.
- Walters, C. 1997. Challenges in adaptive management of riparian and coastal ecosystems. *Conservation Ecology*. Disponible en <http://www.consecol.org/vol1/iss2/art1/> (consultado en agosto de 2011).
- Walters, C. 2007. Is Adaptive Management Helping to Solve Fisheries Problems? *Ambio* **36**:304-307.
- Walters, C. y Hillborn, R. 1978. Ecological optimization and adaptive management. *Annual Review of Ecology and Systematics* **9**:157-188.
- Walton, M. 2004. Neoliberalism in Latin America: Good, bad, or incomplete? *Latin American Research Review* **39**:165-183.
- Wassenaar, T., Gerber, P., Verburg, P. H., Rosales, M., Ibrahim, M. y Steinfeld, H. 2007. Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest. *Global Environmental Change* **17**:86-104.
- Watson, R. T. 2003. Climate Change: The Political Situation. *Science* **302**:1925-1926.
- Webster, G. L. 1995. The panorama of the Neotropical cloud forests. Pp 53-77 en H. S. P. B. Churchill, E. Forero y J. L. Luteyn (eds.). *Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium*. Biodiversity and conservation of neotropical montane forests: Proceedings. New York: New York Botanical Garden. New York.
- Weyland, K. 1996. Neopopulism and neoliberalism in Latin America: Unexpected affinities. *Studies in Comparative International Development (SCID)* **31**:3-31.
- Whitehead, L. 2001. Bolivia and the Viability of Democracy. *Journal of Democracy* **12**:6-16.
- Wieggers, E., Hijmans, R., Hervé, D. y Fresco, L. 1999. Land Use Intensification and Disintensification in the Upper Cañete Valley, Peru. *Human Ecology* **27**:319-339.
- Wilbanks T, Sathaye J. 2007. Integrating mitigation and adaptation as responses to climate change: a synthesis. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **12**: 957-962.
- Wilches-Chaux, G. 2009. La reducción de la pobreza como estrategia para la adaptación al cambio climático y la adaptación al cambio climático como estrategia para la reducción de la pobreza. *Memorias Panel Nacional "Políticas de pobreza y adaptación al cambio climático en Colombia"*. Bogotá, Colombia.
- Wille, M., Hooghiemstra, H., Hofstede, R., Fehse, J. y Sevink, J. 2002. Upper forest line reconstruction in a deforested area in northern Ecuador based on pollen and vegetation analysis. *Journal of Tropical Ecology* **18**:409-440.
- Williams, J. W., Jackson, S. T. y Kutzbach, J. E. 2007. Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **104**:5738-5742.
- Williams, J. y Jackson W., T. S. 2007. Novel climates, no-analog communities,

- and ecological surprises. *Frontiers in Ecology and the Environment* **5**:475-482.
- Williams, P. H., Hannah, L., Andelman, S., Midgley, G., Araujo, M., Hughes, G., Manne, L., Martinez-Meyer, E. y Pearson, R. 2005. Planning for Climate Change: Identifying minimum-dispersal corridors for the Cape Proteaceae. *Conservation Biology* **19**:1063-1074.
- Williams, S., Shoo, L. P., Isaac, J. L., Hoffmann, A. A. y Langham, G. 2008. Towards an Integrated Framework for Assessing the Vulnerability of Species to Climate Change. *PLoS Biol* **6**: e325.
- Winters, P., Crissman, C. C. y Espinosa, P. 2004. Inducing the adoption of conservation technologies: lessons from the Ecuadorian Andes. *Environment and Development Economics* **9**:695-719.
- World Bank. 2005. Extractive industries y sustainable development. An evaluation of World Bank Group experience. World Bank, IFC, MIGA. Washington, D.C.
- Young, B. E., Lips, K. R., Reaser, J. K., Ibáñez, R., Salas, A. W., Cedeño, J. R., Coloma, L. A., Ron, S., et al. 2001. Population Declines and Priorities for Amphibian Conservation in Latin America. *Conservation Biology* **15**:1213-1223.
- Young, K. 1992. Biogeography of the montane forest zone of the eastern slopes of Peru. Pp 119-140 en K. R. Young y N. Valencia (eds). *Biogeografía, ecología y conservación del bosque montano en el Perú*. Mem. Museo Hist. Nat. Vol. 21. UNMSM, Lima.
- Young, K. 2009. Andean land use y biodiversity: humanized landscapes in a time of change. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **96**:492-507.
- Young, K. 2011. Andean geographies. Pp 348 en S. Herzog, P. Martinez, H. Jorgensen y H. Tiessen. 2010. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).
- Young, K. R. 2008. Stasis and flux in long-inhabited locales: Change in rural Andean landscapes. Pp 11-32 en A. Millington y W. Jepson (eds). *Land-change Science in the Tropics: Changing Agricultural Landscapes*. Springer, New York.
- Young, K. y León, B. 1997. Eastern slopes of Peruvian Andes. En CPD (1997) *Centres of Plant Diversity – The Americas*. Disponible en <http://www.nmnh.si.edu/botany/projects/cpd/>.
- Young, K. y Lipton, J. 2006. Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of Western South America. *Climatic Change* **78**:63-102.
- Zapata-Caldas, E., Jarvis, A., Ramirez, J. y Lau, C. 2011. Estudio sobre impactos de cambio climático en cultivos andinos. CIAT. Secretaría General de la Comunidad Andina, CONDESAN. Cali, Colombia. Disponible en www.condesan.org/portal/panorama/cambio-climatico/cultivos-andinos
- Zavaleta, E. S., Shaw, M. R., Chiariello, N. R., Mooney, H. A. y Field, C. B. 2003. Additive effects of simulated climate changes, elevated CO₂, and nitrogen deposition on grassland diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **100**:7650-7654.
- Zehetner, F. y Miller, W. P. 2006a. Erodibility and runoff-infiltration characteristics of volcanic ash soils along an altitudinal climosequence in the Ecuadorian Andes. *Catena* **65**:201-213.
- Zehetner, F. y Miller, W. P. 2006b. Soil variations along a climatic gradient in an Andean agro-ecosystem. *Geoderma* **137**:126-134.
- Zimmerer, K. S. 1991a. Agricultura de barbecho sectorizada en las alturas de Paucartambo. Luchas sobre la ecología del espacio productivo durante los siglos XVI y XX. *Allpanchis* **XXIII**:189-225.
- Zimmerer, K. S. 1991b. Labor Shortages and Crop Diversity in the Southern Peruvian Sierra. *Geographical Review* **81**:414-432.
- Zimmerer, K. S. 1993. Soil Erosion and Labor Shortages in the Andes with Special Reference to Bolivia, 1953-91: Implications for “Conservation-With-Development”. *World Development* **21**:1659-1675.
- Zimmerer, K. S. 1995. The Origins of Andean Irrigation. *Nature* **378**:481-483.
- Zimmerer, K. S. 1996. Changing fortunes: biodiversity and peasant livelihood in the Peruvian Andes. University of California Press, Berkeley.
- Zimmerer, K. S. 1999. Overlapping patchworks of mountain agriculture in Peru y Bolivia: Toward a regional-global landscape model. *Human Ecology* **27**:135-165.
- Zimmerer, K. S. 2000. Rescaling irrigation in Latin America: The cultural images y political ecology of water resources. *Ecumene* **7**:150-175.
- Zimmerer, K. S. 2002. Common Field Agriculture as a Cultural Landscape of Latin America: Development y History in the Geographical Customs of Resource Use. *Journal of Cultural Geography* **19**:37-63.
- Zimmerer, K. S. 2003. Geographies of seed networks for food plants (potato, ulluco) and approaches to agrobiodiversity conservation in the Andean countries. *Society & Natural Resources* **16**:583-601.



Con el apoyo de

