



---

**Plataforma de Información de Cambio Climático y  
Biodiversidad para el Fomento de Políticas  
Públicas de Conservación y Adaptación en la  
Región de los Andes Tropicales**

---

**Metodología para la Estimación  
de Vulnerabilidad en Ecuador,  
Perú y Bolivia**





# **Plataforma de Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales**

**Metodología para la Estimación de Vulnerabilidad en Ecuador, Perú y Bolivia**

**Por Alejandro Chamizo  
y  
Julián Hernández**







**CENTRO INTERNACIONAL PARA LA INVESTIGACIÓN  
DEL FENÓMENO DE EL NIÑO**

Escobedo #1204 y 9 de Octubre  
Edificio Fundación El Universo, 1er piso  
Teléfono: + (593 4) 2514770  
Fax: + (593 4) 2514771  
Casilla #09014237  
Guayaquil-Ecuador



Centro Internacional para la Investigación del  
Fenómeno de El Niño (2014)

Se permite reproducir y comunicar esta obra siempre y cuando se cite la fuente de manera correcta y no se utilice para fines comerciales.

**Algunos derechos reservados**

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>

**Diagramación**

Belén Mendoza - Arturo Torres

**Impresión**

Digital Center

**Para citar el documento:**

CIIFEN 2014. Metodología para la Estimación de Vulnerabilidad en Ecuador, Perú y Bolivia, Proyecto Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales, p 1-45.

Esta publicación ha sido realizada por el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño en el marco del proyecto ATN/OC-12439-RG “Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales”, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo, BID, bajo la iniciativa de Bienes Públicos Regionales (2012).



# Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales

PROYECTO ATN/OC-12439-RG

Financiado por:  
Banco Interamericano de Desarrollo  
Bienes Públicos Regionales

Agencia Ejecutora:



CENTRO INTERNACIONAL PARA LA INVESTIGACIÓN  
DEL FENÓMENO DE EL NIÑO

Los Servicios Meteorológicos Nacionales de Bolivia,  
Ecuador y Perú



Y

Los Ministerios del Ambiente de Bolivia, Ecuador y Perú



## DIRECCIÓN GENERAL

### Director Internacional

Dr. José Daniel Pabón Caicedo

### Coordinador Científico

Oc. Rodney Martínez Güingla

## EQUIPO DE PROYECTO

<b>Coordinador</b> Juan José Nieto López	<b>Consultora Administrativa Financiera y Adquisiciones</b> Jessica Díaz Cabezas	<b>Consultor en Modelación Climática</b> William Cabos Narváez
<b>Consultor en Climatología</b> Enric Aguilar Anfrons	<b>Consultor en Sistemas de Información Geográfica</b> Alejandro Chamizo de Castro	<b>Asistente en Sistemas de Información Geográfica</b> Antonio Julián Hernández Cotrina
<b>Asistente en Sistemas de Información Geográfica</b> César Quishpe Vásquez	<b>Consultor para el Desarrollo de la Plataforma Informática</b> Juan Ignacio Varela	<b>Coordinador</b> Juan José Nieto López
<b>Asistente para el Desarrollo de la Plataforma Informática</b> Guillermo Armenta Porras	<b>Consultora para el Desarrollo de Material Educativo</b> Abigail Alvarado Almeida	<b>Consultor en Climatología</b> Enric Aguilar Anfrons

## DIGITADORES DE DATOS CLIMÁTICOS:

### INAMHI ECUADOR

Álvaro Moreno Moreno  
Dayanira Castro Zambrano

### SENAHMI PERÚ

Gerardo Jácome Vergaray  
Lenin Suca Huallata

### SENAHMI BOLIVIA

Ana Mendoza Calderón  
José Paz Cortez

## DIGITADORES DE DATOS BIODIVERSIDAD:

### MINISTERIO DEL AMBIENTE DE ECUADOR

María Cristina Argudo Pazmiño  
Karina Molina Tarapués

### MINISTERIO DEL AMBIENTE DE PERÚ

Cynthia Sánchez Figueroa  
Diego Guevara Torres

### MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA DE BOLIVIA

Shiara Pereira Gutiérrez  
Naira Durán Nogales

## PERSONAL DE CIIFEN - CONTRAPARTE DEL PROYECTO

### SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Pilar Icaza Olvera

### ADMINISTRACIÓN

Cinthy García Arias  
Evelyn Ortiz Sánchez

# ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Esta iniciativa regional tiene como propósito la implementación de un Sistema Público Regional de Información de Cambio Climático y su potencial impacto en la conservación de la biodiversidad para la región de los Andes Tropicales. Su finalidad es contribuir en la generación de políticas públicas y la inserción de la conservación de la biodiversidad en los Planes Nacionales de cambio climático en Bolivia, Ecuador y Perú.

El proyecto incluye tres componentes, cada uno de los cuales tiene sus propios resultados:

- **COMPONENTE I: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA REGIONAL DE INFORMACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO Y BIODIVERSIDAD EN LOS ANDES.**

El objetivo del componente era el desarrollo de la plataforma institucional, humana y tecnológica que permita la sistematización, análisis y despliegue de los escenarios de cambio climático en los Andes tropicales, la vulnerabilidad estimada de los ecosistemas andinos y los datos e información de la biodiversidad existente en dichos ecosistemas para su uso por parte de los gestores y tomadores de decisiones de los países participantes. Este Sistema Regional de Información complementará los esfuerzos realizados a nivel de la Comunidad Andina de Naciones y constituirá el componente (cambio climático-biodiversidad) del Sistema Regional de Biodiversidad. Considera, además, aspectos relevantes sobre principios de manejo de la información, como soberanía nacional, derechos sobre la propiedad intelectual y conocimientos tradicionales.

Para lograr ese objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades: (i) Taller Regional para la definición y el consenso de la metodología a aplicarse en el proyecto en los distintos componentes, su implementación

a nivel nacional y el rol de cada una de las instituciones en el mismo; (ii) 3 Talleres itinerantes para la definición, discusión y consenso de: escenarios e índices climáticos, vulnerabilidad de ecosistemas andinos y bases de datos de biodiversidad-cambio climático; (iii) compilación de escenarios y estimación de índices climáticos; (iv) estimación de la vulnerabilidad de los ecosistemas andinos; (v) fortalecimiento de las bases regionales de biodiversidad y cambio climático de los Andes Tropicales (vi) implementación de la plataforma tecnológica que integre los productos iii, iv y v.

Fruto de estas actividades se cuenta con los siguientes productos: (i) proyecciones regionales integradas de cambio climático en la zona andina de los países beneficiarios; (ii) sistema de información geográfica para la estimación de la vulnerabilidad de los ecosistemas andinos; (iii) integración de bases de datos de biodiversidad disponibles para los Andes Tropicales; y (iv) sistema digital de información en línea con acceso público.

- **COMPONENTE II: MÓDULO DE EDUCACIÓN Y ENTRENAMIENTO EN CAMBIO CLIMÁTICO Y BIODIVERSIDAD PARA LOS ANDES TROPICALES.**

El objetivo de este componente era desarrollar un módulo de educación y entrenamiento de fácil acceso y sostenibilidad que contase con un sistema de aprendizaje virtual sobre todos los resultados del proyecto y la provisión de todo el material educativo de soporte. Además, se desarrolló un kit educativo para impartir Talleres de Entrenamiento a nivel nacional con instructores nacionales que puedan ser replicados conforme a las necesidades de cada país.

Para lograr ese objetivo se realizaron las siguientes actividades: (i) desarrollo del sistema virtual de educación; (ii) diseño y elaboración de los kits educativos; y (iii) un Taller itinerante para la discusión sobre el uso y la aplicación de los nodos nacionales del sistema regional de información. Estas actividades permitieron desarrollar los siguientes productos: (i) sistema de educación virtual en cambio climático y biodiversidad andina; (ii) kit educativo para capacitadores en cambio climático y biodiversidad andina; y (iii) esquemas de uso y aplicación de los nodos del sistema en cada país.

### • COMPONENTE III. FOMENTO A LA INSERCIÓN DEL TEMA CAMBIO CLIMÁTICO-BIODIVERSIDAD EN LAS POLÍTICAS PÚBLICAS NACIONALES.

El objetivo de este componente era fomentar el uso de los productos y servicios de información generados por el proyecto como insumos para los planes y estrategias y la generación de políticas regionales y a nivel nacional en cuanto al manejo y conservación de la biodiversidad, en el contexto del cambio climático, en la región de los Andes Tropicales. Para lograr ese objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades: (i) organización de foros públicos y paneles dirigidos a autoridades políticas y ambientales; (ii) 12 Talleres Nacionales de Trabajo para la revisión de estrategias de inserción del tema biodiversidad en los planes de adaptación; y (iii) articulación del sistema regional con otras iniciativas, proyectos y agencias de cooperación que los países decidieron. Fruto de estas actividades se cuenta con estos productos: (i) aplicaciones de los productos del proyecto en estrategias, planes o políticas de los países en cuanto a cambio climático y biodiversidad; (ii) documentos resumen para políticos en materia de cambio climático y biodiversidad andina; y (iii) alianzas formalizadas con otros organismos internacionales y agencias de cooperación.

## Resultados esperados

El principal resultado alcanzado es la implementación de un Sistema Público Regional de Información de Cambio Climático con alto impacto potencial en la conservación de la biodiversidad de los Andes Tropicales. Este sistema cuenta con:

1

Plataforma tecnológica regional con nodos nacionales que provee información de escenarios de cambio climático integrados, ecosistemas andinos vulnerables definidos e información de biodiversidad y clima complementaria sistematizada para cada país.

2

Plataforma institucional, humana y tecnológica para educación, capacitación y entrenamiento a nivel nacional en biodiversidad-cambio climático en funcionamiento

3

El sistema contribuirá en la elaboración de estrategia regional y estrategias nacionales que incluyan la conservación de la biodiversidad en los Planes, Programas o Estrategias de adaptación al cambio climático.

# PRESENTACIÓN

La región andina presenta un reto para los modelos climáticos actuales, ya sean globales o regionales, tanto por sus características climáticas como orográficas. Su clima es afectado, tanto por forzamientos locales, como por otros remotos y regionales. La región presenta una considerable extensión meridional y diversos patrones de tiempo y clima, incluyendo climas de tipo tropical y subtropical. La más importante característica geográfica de la región es la Cordillera de los Andes, que se extiende paralela a la costa del océano Pacífico. La cordillera constituye una barrera estrecha que canaliza el flujo del aire, pero no solo cumple el papel de barrera climática, dando lugar a condiciones secas en la vertiente del Pacífico y condiciones húmedas en el este sino que también influye en la interacción entre trópicos y extra-trópicos.

La migración estacional de la zona de convergencia intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés) es el factor más importante que controla la estacionalidad de la precipitación en la región andina. Durante el verano austral, la circulación de larga escala en altura, se caracteriza por un centro de alta presión sobre el altiplano, una zona de baja presión que se extiende desde el noroeste de Brasil hacia el Atlántico Tropical y vientos del este sobre las latitudes subtropicales. En los niveles bajos, las células anticiclónicas subtropicales sobre los océanos Pacífico y Atlántico dominan la circulación de larga escala. Los vientos del este procedentes del Atlántico son desviados hacia el sur por la cordillera andina hacia la baja del Chaco, que representa la principal fuente de humedad en el sur de Brasil y las planicies del sur del continente. Uno de los mayores componentes de la circulación en esta estación, en la región al este de los andes tropicales, es el sistema de Monzones de América del sur (Vera et al., 2006). En invierno, la célula anticiclónica subtropical sobre el océano Pacífico es el factor más importante al oeste de los andes.

Los Andes Tropicales presentan áreas críticas en cuanto a la conservación de la biodiversidad. El Cambio climático se suma a las intensas y variadas presiones que las especies como elementos de los ecosistemas alto andinos ya están percibiendo. Existen ingentes esfuerzos en cuanto al tema de biodiversidad y de cambio climático en la región, los cuales han avanzado en forma individual, sin la necesaria interacción, para generar información integrada que pueda convertirse en un insumo para el diseño de políticas públicas y planes de acción conducentes a la conservación de la biodiversidad dentro de estrategias factibles y eficientes para la adaptación al cambio climático.

A inicios de 2011, se dio paso a la implementación del proyecto regional No. ATN/OC-12439-RG. “Información de Cambio Climático y Biodiversidad para el Fomento de Políticas Públicas de Conservación y Adaptación en la Región de los Andes Tropicales.” bajo el programa de Bienes Públicos Regionales del Banco Interamericano de Desarrollo. El proyecto fue ejecutado por CIIFEN, junto a los Ministerios de Ambiente y Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales de Bolivia, Ecuador y Perú.

El Objetivo del proyecto fue implementar un Sistema Público Regional de Información de Cambio Climático y su potencial impacto en la biodiversidad para la región de los Andes Tropicales, con la finalidad de contribuir en la generación de políticas públicas y la inserción de la conservación de la biodiversidad dentro de los Planes Nacionales de cambio climático en Bolivia, Ecuador y Perú.

La zona de estudio de esta iniciativa regional se extiende desde el Ecuador, 2° Norte hasta los 24° de latitud sur, en la zona de Puna de Bolivia (departamento de Potosí), la zona de Puna de Perú y la zona de Páramos de Ecuador.

Esta guía técnica presenta la Metodología usada para la Estimación de Vulnerabilidad de los Ecosistemas Andinos de Ecuador, Perú y Bolivia.



# Indice

1

Área de Estudio

14

2

Bases para la aproximación metodológica

15

3

Aproximación metodológica de vulnerabilidad

17

3.1 Componente Social.....18

Susceptibilidad por Analfabetismo.....18

Susceptibilidad por Pobreza.....18

Susceptibilidad por desempleo.....18

Susceptibilidad Por Densidad de

Centros Poblados.....19

Susceptibilidad o Capacidad Adaptativa por

crecimiento o decrecimiento poblacional.....19

Capacidad Adaptativa Megaproyectos.....19

3

Aproximación metodológica de vulnerabilidad

17

3.2 Componente Medioambiental.....20

Susceptibilidad actividad Agropecuaria.....20

Cálculo de Fragmentación de Ecosistemas...20

Susceptibilidad por la gestión de los Residuos

Sólidos Urbanos -botaderos de basura.....23

Susceptibilidad Actividad Minera.....24

Susceptibilidad de la Densidad Vial.....24

Susceptibilidad a Erosión.....24

Susceptibilidad por Deslizamientos o

Movimientos de Masa.....25

Susceptibilidad Incendios Forestales.....25

Susceptibilidad o Capacidad Adaptativa por

Estado de la Vegetación NDVI.....25

Cálculo Expansión/Retroceso Frontera

Agropecuaria.....27

Susceptibilidad / Capacidad Adaptativa por

Balance Hídrico.....28

Capacidad adaptativa Espacios Naturales

Protegidos.....29

Capacidad Adaptativa Extinción

de Incendios.....29

Capacidad Adaptativa por Reforestación.....30

Capacidad Adaptativa Sociobosque.....30

Capacidad Adaptativa Planes de

Gestión RSU.....30

# 3

Aproximación metodológica de vulnerabilidad

17

3.3 Componentes de la Metodología de Vulnerabilidad por país.....30

# 4

Resultados

32

# 5

Abreviaciones y Acrónimos

39

# 6

Bibliografía

40

# Introducción

Los ecosistemas andinos, conformados por puna, páramo y bosque altoandino, prestan múltiples servicios ecosistémicos, siendo los más significativos la provisión y regulación del agua y almacenamiento de carbono (Cuesta, et al 2012). Los Andes Tropicales albergan los ecosistemas tropicales de altura más diversos del mundo, con más de 45.000 plantas vasculares, 20.000 de ellas endémicas; y 3.400 especies de vertebrados, de donde casi el 50% son endémicos, todo ello en apenas el 1% de superficie de la Tierra (Myers, 2000 & Cuesta et al., 2012). La funcionalidad y riqueza de un ecosistema lo configura la biodiversidad del mismo, y estos ecosistemas andinos se caracterizan, precisamente, por contar con una gran biodiversidad (Aguirre et al., 2002, Cuesta et al., 2012, Herzog et al., 2012).

Existe un vacío importante de conocimiento que vincule la biodiversidad con la provisión de servicios sistémicos, en su conjunto (Tobón, 2009). En general, a la hora de cuantificar los servicios que se prestan desde el ecosistema, se contabilizan individualmente, sin tener en cuenta incertidumbres, interacciones y dinámicas del ecosistema. Es necesario, por tanto, un enfoque sistémico, basándose en análisis dinámicos más que estáticos. En este aspecto, se ven necesarios más procesos de acercamiento basados en múltiples servicios, garantizando la prevalencia a la magnitud de cambios medioambientales (Nicholson, 2009). Es por ello que, en la presente investigación, se selecciona una serie de variables y parámetros de susceptibilidades y capacidades adaptativas clave, indicativas y accesibles, con el fin de conseguir el grado de vulnerabilidad de ecosistemas holístico, a partir de una matriz completa de variables. La selección de variables se da a partir de un análisis previo del componente climático con escenarios futuros modelados en el presente proyecto. Todas las variables seleccionadas tienen una representación cartográfica, tal como se haya hecho en estudios anteriores (Cuesta et al., 2012; Bièvre et al., 2012 & Bravo, 2009) y presentes (Coronel, V. et al., 2014).

El ecosistema altoandino ha venido experimentando una importante degradación, alteración del flujo hidrológico y del suelo (Buytaert, 2006; Sierra, 2013 & Cuesta et al., 2013), por lo que el presente documento toma como premisa la consideración de la vulnerabilidad resultante en la políticas futuras de la región altoandina. 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 (CONDESAN-SGCAN, 2012). Pasa a ser, por tanto, la protección de estos ecosistemas una necesidad emergente a contemplarse en las políticas internacionales por la necesidad de adaptación al cambio climático (Hannah, 2013; Alexander et al., 2013 & IPCC, 2007).

Una de las consecuencias de un cambio de tendencias climáticas podría ser, en principio, la reducción en la productividad agraria. Con esto se potencia la expansión de los cultivos cercanos a hábitat naturales prístinos, debido a que los agricultores tratarían, presumiblemente, de compensar las pérdidas incrementando el área para la producción agropecuaria (Tumer, 2010; Hannah et al., 2013; De Haan, 2010 ). Las actividades económicas y sistemas productivos agropecuarios tienden a replegarse (...) en terrenos con mayor altitud, marcada pendiente y propensa a la erosión (Eguren & Cancino, 1999; Rubio, 2008), con lo que el frágil suelo que hace la función de sumidero de carbono y regulación hídrica esencial se ve afectado gravemente así como la biodiversidad y especies endémicas con un rango de distribución restringido en estos ecosistemas (Llambí et al., 2014; Kattan et al., 2004). La estimulación de agricultura y ganadería semi-intensiva en la puna y el desarrollo de pastizales adecuados para la crianza de ganado vacuno, vicuñas y alpacas influye en que esta zona sea una de las más pobladas (Josse et al., 2009 & Cuesta et al., 2013).

En el presente análisis se define un valor de vulnerabilidad de los ecosistemas clasificando, por una parte, las variables de susceptibilidades y, por otra, las de capacidades adaptativas, todas ellas por países, pasando a nutrir la fórmula final de vulnerabilidad que se ha trabajado en análisis similares adaptados al cambio climático (IPCC, 2012).

# Área de Estudio

El páramo y la puna son ecosistemas prístinos de referencia en la región altoandina (Bièvre, et al., 2012) en los tres países donde se desarrolla el estudio: Ecuador, Perú y Bolivia (Figura 1). Por una parte, el páramo es un ecosistema natural sobre el límite de bosque cerrado en los Andes del Norte, dominado por pajonales, rosetales, arbustales, humedales y pequeños bosquetes. Es un ecosistema de clima frío, muy frágil a los cambios en el uso de la tierra (Vásconez & Hofstede, 2006). La puna, por otra parte, la conforman una suerte de ecosistemas xerofíticos o secos y mesofíticos o húmedos (Navarro, 2011), pasando por el pajonal yungueño, arbustales y matorrales montanos semidecíduos y decíduos (Cuesta, et al., 2012).

No se tendrá en cuenta la altitud como elemento unilateral para delimitar los ecosistemas de estudio, pues existen acepciones microclimáticas y orográficas que condicionan la categorización (Rangel, 2000). Es evidente que la heterogeneidad biofísica, climática, ambiental y social, su ubicación geográfica y el estado en el cual se encuentran los páramos y punas, no admiten criterios únicos que permitan delimitar estos ecosistemas y sectorizar las actividades y usos del espacio. Para definir los límites del área de estudio, se emplea la cobertura de ecosistemas de la Comunidad Andina (CAN). Una vez seleccionados los ecosistemas asociados al páramo y la puna, se genera un buffer con un área de amortiguación de 500 metros a partir del límite de estudio (Cavallaro et al., 2010), con el fin de apreciar tendencias del contorno y obtener información, al mismo tiempo, del bosque altoandino, ecotono en el cual los factores bioclimáticos y el gradiente adiabático generan una mayor influencia gradualmente (Velástegui, 2010; Navarro, 2011; Josse et al., 2009 & Cuesta et al., 2012). La distancia elegida como zona de influencia se aplica en otros estudios de ecosistemas (Shuttleworth et al., 2010 & Luttmann, 2012) y organismos comunitarios como la Comisión Europea en el ámbito de la investigación del impacto de la frontera agraria en los complejos ecológicos (Steenmans C. & Pinborg, 2000).

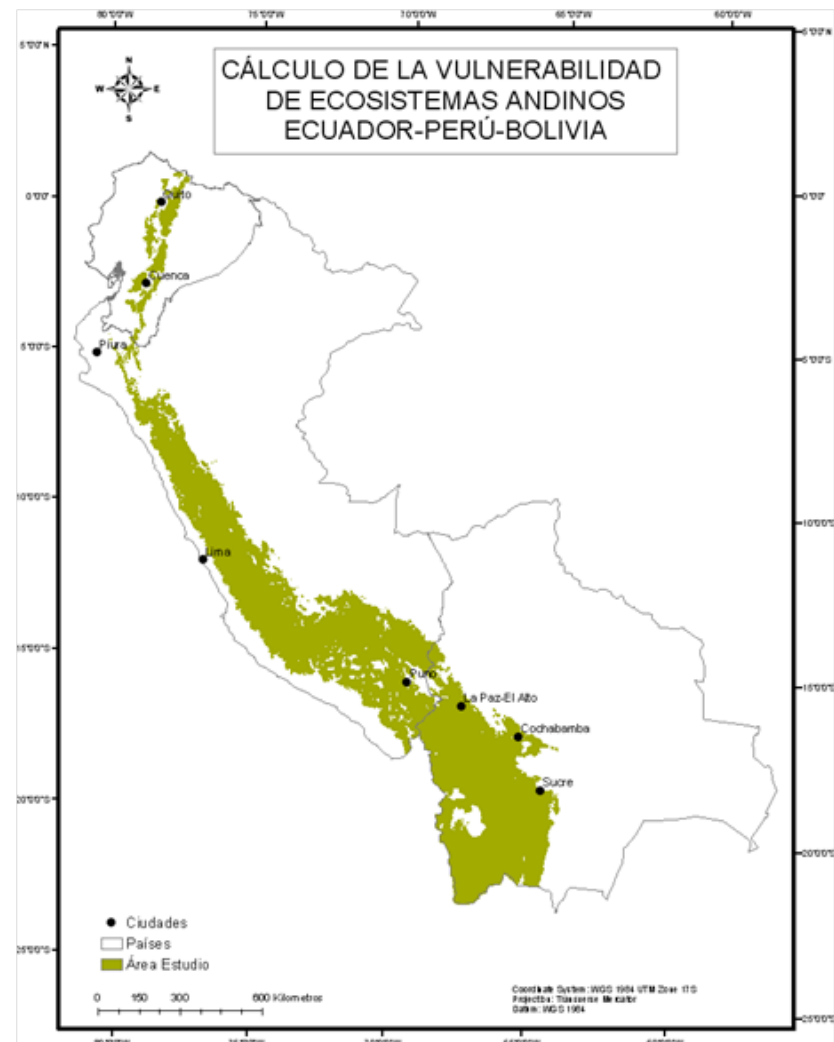


Figura 1. Área de estudio

La escala de las coberturas dista considerablemente entre países. Por el contrario, dentro de las coberturas por países se emplean coberturas con un mismo escalado, resultando un dato más veraz, de acuerdo a los posibles errores de representación. En el ejemplo de Ecuador, las coberturas se encuentran a escala 1:250.000 en su mayoría, mientras que en Bolivia se han trabajado, predominantemente, con escalas de 1:1'000.000 a nivel nacional.

Partiendo de una homogeneización de escala para aquellas coberturas de distinto escalado, el error se minimiza en los análisis por países, originando una salida acorde al nivel de detalle empleado por las instituciones de cada país.

Se opta, finalmente, por otorgar una referencia base a partir del ecosistema paramuno y de puna, no estrictamente porque sea la entidad que deba regir el manejo de la protección de su territorio en primera y última instancia, sino más bien por ser un foco de análisis y referencia básico a la hora de determinar las vulnerabilidades. Así mismo, cualquiera que sea la unidad geográfica de análisis, lo importante es que ésta funcione, efectivamente, como una unidad de conservación (Olson y Dinerstein, 1998; Pierce et al., 2005).

## Bases para la aproximación metodológica

Un modelo “perfecto” sería aquel que constituya un “espejo” del mundo real. Para su construcción se requerirían todas las variables que intervienen en tiempo y espacio para la conformación de ese mundo real. Esto es imposible, por lo que para la elaboración de un modelo con alto grado de similitud con el problema planteado, se necesita un proceso de simulación donde se incluyan variables que cumplan dos requisitos indispensables: un alto grado de relación con el problema a analizar (el problema a analizar esté en función de esa variable); y la accesibilidad a ellas, en los términos del requerimiento (formato, escala, etc.). Para el cálculo de vulnerabilidad de los ecosistemas altoandinos se genera un cálculo y posterior salida cartográfica a partir de distintos software de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello, debe entenderse a la vulnerabilidad como elemento paralelo a la exposición y eventos extremos, envueltas en el contexto del desarrollo socioeconómico y el componente climático (Figura 2).

Algunos autores ven fundamental la integración entre las causas principales de vulnerabilidad y capacidad adaptativa en materia del impacto del cambio climático (O'Brien et al., 2004 & Birkmann et al., 2013). En el presente trabajo, como complemento a ello, se propone estimar los distintos niveles de vulnerabilidad, susceptibilidad y capacidad adaptativa, a través de cálculos que resulten en una visualización del complejo mosaico resultante, presumiblemente, más cercano a la realidad. De esta manera, se puede obtener la vulnerabilidad cifrada en rangos, intensidad o índices que muestren distintos niveles resultantes como se haya perseguido anteriormente en análisis similares (Birkmann et al., 2013; IPCC, 2012; Smyth et al., 2004; Parson et al., 2007; Simanovic, 2010; Morgan et al., 2009).

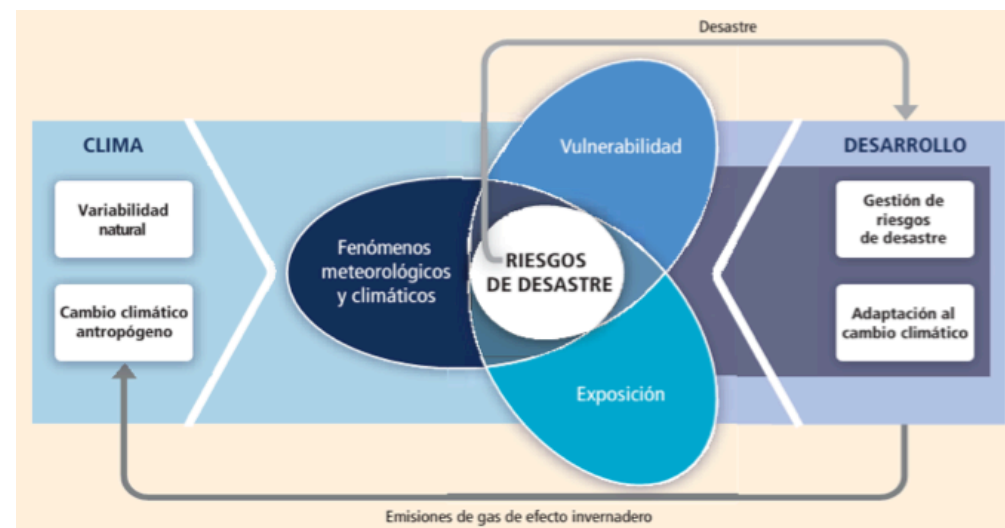


Figura 2. Esquema de la interacción entre la vulnerabilidad, exposición y los eventos meteorológicos extremos. Todo ello más los factores sociales y el componente climático dan lugar a una visualización del riesgo latente o emergente hacia el ecosistema. Fuente: IPCC (2014) actualización de IPCC (2012).

Por ello se seleccionan las variables que afectan directamente al ecosistema, ya sea como capacidad adaptativa o susceptibilidad o porque aporta información para ambas, siendo mixtas.

La selección de variables se basa en tres premisas fundamentales:

**1.** Se seleccionan a partir de las consideraciones adoptadas del análisis de proyecciones climáticas a partir de los modelos de circulación general acoplados océano-atmósfera (AOGCM)<sup>1</sup>. Se escogen aquellas variables con alto grado de relación con el problema relacionado a la vulnerabilidad de los ecosistemas frente al cambio climático.

**2.** Se considera a los eventos extremos y tendencias climáticas a los que se exponen los Andes subtropicales (UNEP, 2013<sup>2</sup>; Bradly et al., 2006<sup>3</sup> & IPCC, 2014<sup>4</sup>). Las tendencias relacionadas con los extremos climáticos que se analizan, se presentan en la Tabla 1.

**3.** Se seleccionan, en rigor, según la disponibilidad de información cartográfica y la calidad de la misma, incorporando aquellos datos no estrictamente cartografiados, pero que se pudieran vincular a la base cartográfica.

Eventos Climáticos Extremos	
Temperatura	Precipitación
Temperatura máxima diaria por meses (Txx)	Días secos Consecutivos (CDD)
Temperatura mínima diaria por meses (Tnn)	Días húmedos consecutivos (CWD)
Rango diario de temperatura (DTR)	Días extremadamente húmedos (R95p)
	Precipitación anual total en los días húmedos (PRCPTOT)

*Tabla 1. Índices climáticos de extremos vinculados a las amenazas climáticas tomadas en cuenta en la modelación de escenarios a futuro. Fuente: Elaboración Propia.*

1. Modelo consensuado a partir de Modelos globales acoplados de CMIP5; modelación climática de proyecciones regionalizadas de cambio climático (CORDEX), 10 modelos globales acoplados y 2 regionales de clima (RCM), y 4 escenarios de emisión. Todos ellos basados en datos de frecuencia diaria para estimar eventos extremos a futuro cercano (2015-2039) y lejano (2040-2080). Tabla de los modelos en Anexo 5

2. UNEP, 2013: Research Priorities on Vulnerability, Impacts and Adaptation. Responding to the Climate Change Challenge. PROVIA –UNEP-UNESCO-WMO. ISBN: 978-92-807-3317-4. Pp 52 (P. 22)

3. Bradley, R.S., M. Vuille, H. Diaz, and W. Vergara, 2006: Threats to water supplies in the tropical Andes. Science, 312, 1755-1756

4. IPCC (2014): Emergent Risks and Key Vulnerabilities. IPCC WGII AR5 Chapter 19. Final Draft. Ed. Mike Mrklacich & Sergey Semenov. Pp 107 (P. 39) En; [http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-Chap19\\_FGDall.pdf](http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-Chap19_FGDall.pdf)

# Aproximación metodológica de vulnerabilidad

Para el cálculo se aplica la ecuación de vulnerabilidad a partir de IPCC, 2012 & Birkmann, et al., 2013 y los aportes del borrador final del IPCC, 2014:

$$\text{Vulnerabilidad (V)} = \text{Susceptibilidad (S)} - \text{Capacidad Adaptativa (CA)}$$

Donde V es vulnerabilidad, S susceptibilidad o impacto potencial, resultado de la sensibilidad, y CA la capacidad adaptativa.

Con el fin de calcular por separado las variables de distinto carácter y magnitud, se estiman dentro del análisis por países, dos bloques de variables, denominándolos componentes.

Se estudian así, por separado, el componente medioambiental y el socioeconómico. La ecuación empleada es la siguiente:

$$V = (S_{se} - CA_{se}) + (S_{amb} - CA_{amb})$$

Siendo SS la susceptibilidad socioeconómica, SA la susceptibilidad ambiental, CAS la capacidad adaptativa socioeconómica y CAA la capacidad adaptativa medioambiental.

Cada uno de los componentes, así como las variables categóricas o cualitativas, se someten a una ponderación siguiendo el Método Analytic Hierarchy Process (AHP) a partir de la comparación por pares propuesto en Saaty, 1990.

El método se clasifica en el grupo de Análisis Multicriterio Discreto y es capaz de emplear variables cualitativas y cuantitativas frente a múltiples objetivos (Lamelas Gracia, 2009). El procedimiento pasa por estructurar la decisión del problema y selección de los criterios; se priorizan dichos criterios y se realiza la matriz de comparación por pares bajo estos criterios, con la obtención final de pesos W por variable, a partir de la siguiente fórmula.

$$W = \frac{\sum_{wi=wj}^n}{n}$$

Donde  $W_i$ ,  $W_j$  son los valores ponderados resultantes de la comparación por pares para una variable en cuestión, siendo n el número total de cruces para cada variable. La creación de la matriz ratio se hace de forma consensuada con equipos de expertos en ecosistemas altoandinos por países; de esta manera, se adecúa el resultado a la realidad en cada caso. Para la comparación por pares es preciso asignar valores numéricos que expresen la preferencia de un criterio frente a otro. Para ello, Saaty (1977) sugirió una escala de comparación que consiste en la asignación de valores escalados de 1 y 9; el valor 1 expresa igual importancia entre pares de criterios y el valor 9 la prevalencia extrema de un criterio sobre otro. Con los resultados ya ponderados por variables, el último paso es la normalización, otorgando el valor máximo de susceptibilidad según la susceptibilidad o capacidad adaptativa máxima cuantificada en ese análisis específico, de manera que se adecúa el valor susceptibilidad de acuerdo a las realidades del espacio y la variable en específico. El valor al que se ponderan, tanto variables como componentes, es 100 de manera que la representación final sea porcentual. Todas las salidas gráficas, se hayan trabajado en raster o en vectorial, se rasterizan y se ajustan por último a un tamaño de celda propuesta como unidad mínima de estudios de ecosistemas, siendo de 250 m x 250 m, es decir algo más de 0,0022 según Pickett & Thompson (1978) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA).

## Componente Social

### *Susceptibilidad por Analfabetismo*

El analfabetismo o la carencia de la capacidad de leer o escribir no significan, en primera instancia ignorancia, falta de conocimiento o de destrezas para desempeñar determinados roles. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la falta de educación formal de algunos sectores puede constituir un problema para la interacción en procesos interculturales, los cuales son inevitables (SIISE, 2012). Los datos se obtienen de los correspondientes institutos de estadística, estudiándose según la menor división administrativa por países.

Éstos son expresados en porcentajes (%) según los datos absolutos con respecto a la población total de dicha delimitación administrativa, según los censos por países (2001 en Bolivia, 2010 en Ecuador y 2007 en Perú).

### *Susceptibilidad por Pobreza*

Para el cálculo en Ecuador, se parte de la metodológica para definir la pobreza empleada por la Secretaría General de la Comunidad Andina a partir del PNUD (1997), de la cual se obtiene el porcentaje (%) de personas con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) o pobreza monetaria. En Bolivia se estima el umbral de pobreza de acuerdo a ingresos según el INE, en la misma línea de estimación a partir de la canasta básica y las NBI. En el caso de Perú, se adapta el cálculo a la metodología del cálculo de pobreza del INE en base a la pobreza monetaria.

Cuando se requiere satisfacer ciertas necesidades básicas como la alimentación, se potencia el uso directo del páramo para cultivos de sustento y para el pastoreo de animales domésticos. Por otro lado, esto ha llevado a convertir grandes extensiones de páramos en haciendas de ganadería extensiva o en plantaciones de pinos exóticos con dudoso éxito y claro impacto ambiental (Hofstede et al., 2002), con lo

que se asume que la pobreza es un detonante directo e indirecto de la degradación de los ecosistemas altoandinos, además de serlo para otros aspectos ambientales y socioeconómicos (Colpari, 2013 & De la Cruz et al., 2009).

A partir del código o nombre de la unidad administrativa de análisis, se obtiene en primer lugar, la cifra absoluta de población con NBI, de donde se obtiene el porcentaje con respecto a la población total de la unidad de análisis como se aplicase en el punto de metodología.

### *Susceptibilidad por Desempleo*

La tasa de desempleo calcula el porcentaje poblacional en edad de trabajar que desea participar activamente en el mercado laboral, busca empleo y no logra conseguirlo. La fuente se obtiene de los censos disponibles en los Institutos Nacionales de Estadística, al igual que en los demás cálculos del componente social. Una de las alternativas elegidas ante la falta de datos de desempleo es la estimación del índice de carga o porcentaje de personas no económicamente activas que se constituyen en carga económica para las personas económicamente activas (Bolivia Censo 2012). Por otra parte, existe la Población Económicamente Activa o PEA, que son aquellas personas ocupadas, que trabajan y a las que no tienen empleo pero están en búsqueda de ello (desempleados) (Ecuador).

Es esta última la que se considera en este análisis, siendo una medida de la incapacidad de una economía para generar puestos de trabajo que requiere una sociedad para alcanzar niveles de pleno empleo. Se asume que a una sociedad con mejor capacidad de empleo tiene una menor necesidad de ejercer presión en su entorno con medidas como la agricultura y la ganadería. Es preciso advertir que la tasa de desempleo estimada con relación al PEA no es un buen indicador de la dinámica laboral, ya que ésta suele fluctuar con las condiciones del mercado de trabajo y, posiblemente, con las necesidades de ingresos familiares. Esto impide conocer exactamente si un cambio en la tasa de desempleo es una mejora o deterioro de la situación laboral.

En Bolivia, a partir del censo de 2012, se obtiene el índice de carga económica, de donde se obtiene el porcentaje de personas económicamente inactivas con respecto a las personas económicamente activas.

### ***Susceptibilidad Por Densidad de Centros Poblados***

Partiendo de la cobertura de centros poblados, se analiza la susceptibilidad sobre el ecosistema a partir de la densidad poblacional espacial mediante estimadores focales de densidades de Kernel (De Cos Guerra, 2004). Se produce un suavizado de los resultados obtenidos, diluyéndose los valores con las rupturas de comportamiento con las aureolas progresivas de densidades entre centros poblados. Por el contrario, los centros densificados y con gran cantidad de puntos quedarán unidos por aureolas que se van incrementando en intensidad y cantidad.

Se realiza el análisis en relación a la unidad administrativa menor, donde la densidad será el resultado de la población total entre el área en km<sup>2</sup> de dicho límite administrativo, en el caso de Bolivia municipios.

### ***Susceptibilidad o Capacidad Adaptativa por crecimiento o decrecimiento poblacional***

La tasa de crecimiento es una medida del aumento o disminución promedio de la población en un determinado periodo, resultado de los movimientos migratorios, nacimientos y defunciones según el glosario de la UNESCO & SIISE (2012). Ciertas actividades socioeconómicas como la agricultura intensiva han sido detonantes para hacer que ciertas zonas altoandinas sean una de las más pobladas de toda la puna (Josse et ál., 2009), por lo que es de suma importancia incorporar la interacción de la población-ecosistema como factor presionante dentro de la susceptibilidad.

Se analiza la población total en dos censos distintos, de manera que se pueda estimar la diferencia en periodos y establecer presumiblemente

una tendencia a una escala temporal concreta.

Las diferencias entre periodos se adecúan a la disponibilidad censos; 2001-2010 para Ecuador, 2001-2012 Bolivia y 2007-2012 en Perú,

$$r = \ln \frac{N_t}{N_0} * \frac{1}{t} * 100$$

Donde r es la tasa de crecimiento promedio anual, ln el logaritmo natural, N<sub>t</sub> la población en el año t, N<sub>0</sub> la población en el año base, y t el tiempo en años. Con la diferencia entre ambos periodos se agruparán los crecimientos positivos como susceptibilidades, por una parte, y los crecimientos negativos como capacidades adaptativas, por otra. Se asume que a mayor crecimiento poblacional, más presiones sobre el entorno y viceversa, por ser la primera detonante potencial del impacto en el medio.

### ***Capacidad Adaptativa Megaproyectos***

Adoptando la premisa que se citase, anteriormente, en cuanto al empleo, una sociedad con mayor cantidad de recursos menos necesidad tendría de sobreexplotar el medio que le rodea. Se incluye así, en el cálculo de vulnerabilidad, la capacidad adaptativa de infraestructuras o dotaciones que potencien el desarrollo socioeconómico.

Las variables que se incluyen son las infraestructuras para aprovechamiento de caudales hídricos, riego y protección del recurso hídrico en proyectos de conservación y recuperación de áreas degradadas. Así, se consideran las variables de población, el porcentaje de avance del proyecto y el área que integra el proyecto.

## Componente Medioambiental

### *Susceptibilidad actividad Agropecuaria*

Se obtiene la susceptibilidad por actividades agropecuarias a partir de los usos de suelo de carácter agrícola, ganadero, pecuario y forestal de extracción, u otros métodos de actividades ancestrales o modernos vinculados a mecanismos intensivos de producción agropecuaria. La categorización de los usos de suelo, en primera instancia se basa en imágenes captadas por sensores remotos sobre la señal emitida por los objetos, lo que no siempre indica el uso al que se destinan los mismos (Chuvienco, 2002; Seto et al., 2002; Angnes et al., 2008 & Jansen & Di Gregorio, 2002). A esto hay que añadir que en los Andes Centrales, la transformación es más sutil, llegando a discriminarse apenas el 9% 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 (Cuesta et al., 2012). A partir de las coberturas oficiales más recientes de usos de suelo de los tres países, se clasifican los usos según el impacto que genera cada actividad específica en el ecosistema. Resultado de ello se obtiene la clasificación de usos agropecuarios por países. Los usos se categorizan a partir de la comparación por pares con el método AHP de Saaty (1990) a partir del consenso<sup>5</sup> sobre la priorización de actividades, potencialmente, degradadoras con el ecosistema. Una vez se obtuvieron los pesos específicos por usos, se normalizaron para incluirlos al cálculo de vulnerabilidad.

### *Cálculo de Fragmentación de Ecosistemas*

La fragmentación es la pérdida de continuidad de un ecosistema y produce cambios importantes en la estructura de las poblaciones y comunidades de plantas, animales y en el ambiente físico, afectando su funcionamiento (Saunders et al., 1991). La fragmentación implica la creación de bordes, que son el área más alterada de un fragmento; los efectos de borde pueden propagarse varios cientos de metros hacia el interior del bosque remanente (Curran et al., 1999; Laurance, 2000; Peters, 2001).

La fragmentación es un proceso en el que el hábitat natural continuo es reducido a pequeños remanentes. Los efectos primarios de este fenómeno son la alteración del microclima y el aislamiento, es decir, los cambios físicos y fisiológicos tanto al interior como a los alrededores del fragmento. Los principales cambios climáticos se reflejan en el flujo de radiación, la incidencia del viento, la frecuencia de fuegos, y en el ciclo hidrológico del fragmento (Lojevoy et al., 1986; Kapos, 1989; Saunders et al., 1991; Kapos et al., 1997). La mayoría de las especies se ven afectadas, de manera directa o indirecta, por la fragmentación. El impacto incluye los siguientes factores: la importancia de la pérdida del hábitat, sin necesariamente tomar en cuenta el tamaño del fragmento; el área y la forma del fragmento; el aislamiento del fragmento; el paisaje circundante y la calidad del parche (Andrén, 1994). Es por ello que se incluye esta variable como indicadora indispensable dentro de los valores de susceptibilidad.

A partir del Índice de Fragmentación (IF) de (Steenmans & Pinborg, 2000) representado en la Figura 3, se estima el grado de conectividad entre los espacios sensibles presentes en una zona acotada que se ajustará a una superficie de análisis que en adelante será denominado celda de cálculo. Esta celda no debe ser confundida con el píxel o la celdilla correspondiente con la resolución espacial de la capa de usos del suelo en el sistema raster. El tamaño de la celda de cálculo dependerá de la extensión y forma del espacio geográfico objeto de estudio y de la escala de trabajo apropiada para el estudio de ecosistemas.

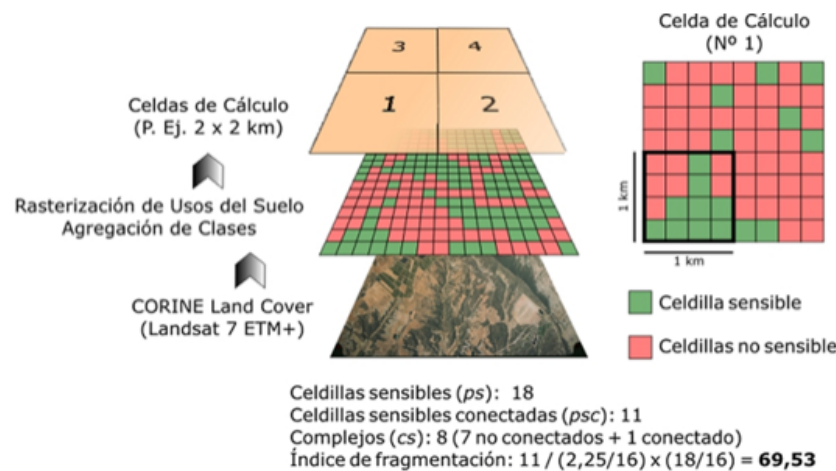


Figura 3. Esquema de aplicación del Índice de Fragmentación con una celda de cálculo de 2 km de lado. Fuente: Steenmans & Pinborg (2000)

En el presente análisis, se elige un ancho de 10 x 10 km. Cabe indicar una vez aquí que el espacio geográfico no puede ser compartimentado en celdas menores a 1 x 1 km, sin que previamente se realicen modificaciones en la fórmula.

El índice ha sido evaluado a una resolución espacial de 250 metros, correspondiente con el mosaico a pequeña escala elaborado por la

AEMA mediante la rasterización del inventario de usos, previamente, en formato vectorial. La norma consiste en emplear los usos del suelo a esta resolución espacial y combinarlos con una malla compuesta por celdas de cálculo cuyo tamaño sí puede variar. Como se determinase en Tribiño et al (2007), los análisis sobre la fragmentación de los hábitats en función de las especies animales y vegetales son una tarea extremadamente compleja, pudiéndose hacer una estimación más sencilla a partir de los usos de suelo.

Con el fin de aplicar el método de manera rigurosa, se utilizaron para el cálculo del Índice de Fragmentación de Ecosistemas las siguientes coberturas: Ecosistemas Andinos, Vías de comunicación y Cobertura más reciente de usos de suelo por países (cobertura Tierra MAGAP 2008 1:250.000. PERU y BOLIVIA).

En las celdillas, se tiene en cuenta el componente temático y espacial de los datos. Por un lado, se diferencian las celdas sensibles (usos de suelo natural y semi-natural) de las no sensibles (actividad antrópica y cuerpos de agua), mientras que por otro, se analiza la conexión física entre ellas según el tamaño seleccionado para el píxel de salida (250 metros), de manera que queda plasmado en la salida.

En base a ello, se categorizaron los diferentes usos de suelo de la cobertura más actual por países y las vías de comunicación, para calcular el peso de fragmentación de las vías de comunicación.

La fórmula del IF es la siguiente:

$$IF = \frac{psc}{\left(\frac{ps}{16}\right) * \left(\frac{ps}{16}\right)}$$

Siendo psc las celdillas sensibles conectadas, ps las celdillas sensibles; cs los complejos sensibles y 16 los píxeles de 250 metros de lado que conforman la celda bajo estudio. Los resultados del índice de fragmentación (IF) se interpretan teniendo en cuenta una escala ordinal y de intervalos que clasifica los valores en seis categorías.

Nivel de Fragmentación	Valor
Mínima	<0,01
Poca	[0,01-0,1]
Media	[0,1-1]
Moderada	[1-10]
Fuerte	[10-100]
Extrema	≥100

Tabla 2: Escala ordinal de intervalos en seis categorías para estimar el nivel de fragmentación. Fuente: EEPP a partir de Steenmans & Pinborg (2000).

Las salidas son georeferenciadas para corregir desplazamientos generados con el geoproceso.

Las coberturas resultantes de la intersección se rasterizan con un ancho de pixel de 250 x 250 m, ≈0.0224 grados, con base en el área mínima dinámica propuesta en Pickett et al. (1978). Para cada celda, se contabilizan cuantos complejos naturales se encontraban conectados y cuantos no, así como los píxeles sensibles que existían conectados y en total, parámetros necesarios para poder calcular el IF(Figura 4).

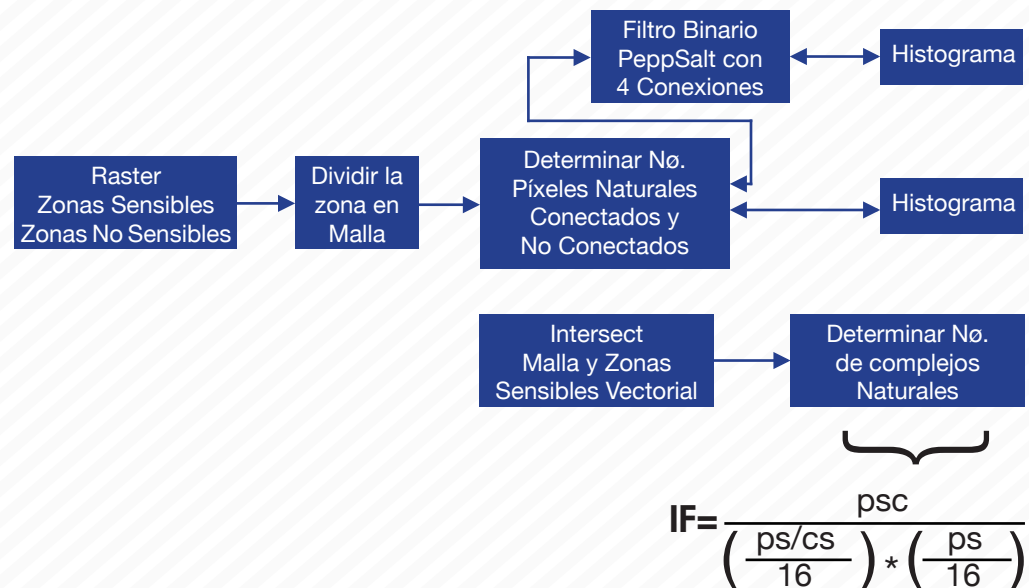


Figura 4: Flujo de trabajo para el cálculo del Índice de Fragmentación. IF. Fuente: EEPP

Para calcular los píxeles conectados, se practica un filtro binario llamado Pepp&Salt, con cuatro conexiones (arriba, abajo, izquierda y derecha), con el fin de eliminar aquellas áreas naturales que quedan aisladas, o sin una de las cuatro conexiones con píxeles de área natural.

Para contabilizar las conexiones de cada celda, por cada una de ellas, se realizó un histograma antes del filtro y después del filtro mediante el algoritmo “Zonal Histogram”, creando así una tabla y un gráfico de histograma que muestran la distribución de frecuencia de los valores de celda en la entrada de Valor para cada zona única. En el presente caso, cada celda de la malla es de 25 km. ● - - - - -

● Una vez calculados los valores de psc (píxeles sensibles conectados) y ps (píxeles sensibles) con ayuda del software ERDAS, y filtro binario Pepp&Salt 3x3, se llevó a cabo el proceso para poder calcular cs (complejos naturales, conectados y aislados).

Para conocer el número de complejos, se llevó a cabo un geoproceto intersect entre las capas de malla25km y los elementos sensibles de la capa fragmentación; y a posteriori se calculó cuantos registros existían por cada celda de la malla de 25 km, exportando la tabla de atributos para calcular mediante una tabla dinámica en la que se agrupan el número de registros por cada subcuena. Posteriormente, se incorporaron los valores de cs por cuadrante a la malla25km, donde se realizó el cálculo. El cálculo se realizó en una hoja de cálculo según la fórmula del IF.

### ***Susceptibilidad por la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos -botaderos de basura***

Se ha analizado el impacto potencial en los ecosistemas de la presencia o no de puntos de deposición de residuos sólidos (RSU) según la tipología, categoría, población vinculada a dicho botadero, si se realiza o no reciclaje y compostaje. De esta manera, se obtiene un valor de susceptibilidad que indica en qué estado se encuentra el impacto de los RSU en el ecosistema por países.

Se otorga un orden de prioridad en las operaciones de gestión de los residuos: prevención, reutilización, reciclado, compostaje, recuperación de energía, y finalmente eliminación en instalación adecuada. Se aplica este orden siguiendo lineamientos de la Unión Europea (DIRECTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO) que atacan la misma problemática. Estas variables son ponderadas siguiendo el método de comparación por pares en Saaty (1990). Una vez ponderados los valores y las categorías dentro de cada variable, se suman todos los valores de las mismas multiplicados por la ponderación de cada una de ellas. Con el resultado de los totales ponderados, se hace un nuevo sumatorio, resultando un valor de susceptibilidad que se normaliza de la misma manera en que se ha hecho con todos los análisis.

El resultado es una nube de puntos con valores de susceptibilidad debido a las dimensiones del botadero, población vinculada, si realiza compostaje y/o reciclaje o no y el tipo de basurero según sus características. Para representarlo se obtienen las áreas de mayor impacto potencial a partir de un análisis de densidades de Kernel. Éste es un análisis no paramétrico que evita suposiciones restrictivas, buscando estimar la densidad directamente de los datos de la variable elegida en función del radio de afección (De Cos Guerra, 2004), acuciándose el valor en el radio próximo al centroide y disminuyendo hacia los extremos. Zucchini (2003). El radio de búsqueda para el análisis de densidades se adecúa al del vecino más próximo con respecto al más alejado, definiendo así la distancia o radio de búsqueda a tener en cuenta, estimado a partir de consideraciones hechas en otros estudios de densidades (Cos Guerra, 2004; Escolano, 2002; Moreno, 2003; & De Escolano, 2005).

En el modelo de densidades de Kernel también se dan una serie de limitaciones. Algunas de ellas son la carencia de barreras naturales que pudiesen dar una información equivocada a partir de la dimensión del ancho de banda o radio de influencia elegido; espacios que en muchos casos no deben ser invadidos por dicha aureola de densidad; o que en el caso inverso quede poco cubierto el área de influencia según las direcciones de flujo, orografía, etc. En este aspecto, no es el objetivo delimitar con exactitud los límites, sino identificar los corredores de mayor o menor magnitud que permitan mostrar patrones generales de las afecciones ocasionadas por la carencia de gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (De Cos Guerra, 2004).

Por otra parte, existe información no aplicada a puntos o centroides, sino a superficies departamentales, como es el caso de Perú. En este caso, se cuenta también con una amplia cantidad de variables: generación per cápita de RSU, porcentaje de residuos no peligrosos reaprovechables y no reaprovechables, cantidad de RSU con destino final, instrumentos de gestión ambiental, déficit de recaudación y RSU segregados dentro del informe de gestión de residuos del Ministerio de

Ambiente de Perú . En algunos casos las variables se dan para dos años (2010-11) con lo que se realiza para algunas variables una comparación entre ambos años para estudiar la dinámica. En este caso, las variables que muestran una diferencia temporal son la generación de RSU per cápita (2011-2010) y la cantidad de residuos con destino final (2011-2010). Todos los valores resultantes se normalizan y se multiplican por su valor específico resultado de la comparación por pares.

### ***Susceptibilidad Actividad Minera***

A partir de las coberturas de concesiones mineras por países, se estudian las variables para estimar el tipo de material de la mina y la fase en la que se encuentra la concesión minera. De esta manera, se define un valor de susceptibilidad para polígonos de concesiones teniendo en cuenta si son materiales metálicos, no metálicos, de construcción, o mixtos en el caso de Ecuador. En este caso, se tienen en cuenta tan solo las concesiones mineras activas sin tener en cuenta los proyectos o estudios. En el caso de Bolivia, se computan según aparición o no de las concesiones teniendo como referencia el año 2005. En el caso de Perú, se tienen en cuenta los certificados ambientales por una parte y por otra los pasivos mineros regulados (Ley N° 28271). Una vez definidas las variables, se aplica la ponderación siguiendo el método de comparación de pares aplicado en Saaty (1990).

Para estimar, espacialmente, la susceptibilidad de los centroides de certificados ambientales y pasivos ambientales, se realiza un análisis de densidades de Kernel por cada una de las coberturas citadas con un radio de búsqueda de  $0,17^\circ \approx 2$  km, aproximadamente. El resultado final es un sumatorio de las densidades de puntos de estas coberturas en relación a su ponderación. Para las coberturas vectoriales de Perú y Bolivia se realiza su correspondiente rasterización.

### ***Susceptibilidad de la Densidad Vial***

La red vial más que como variable para el cálculo de fragmentación de ecosistemas se plantea como potencial eje de contaminación, erosión y ruido tal como ha sido planteado en la CEPAL (2000)<sup>6</sup>. Teniendo en cuenta la categorización de las vías según los factores de contaminación, fragmentación de ecosistemas y erosión principalmente, se ponderan los valores y se otorga un valor a cada vía dentro del área de estudio.

Estimando los factores contaminantes y erosivos con el equipo de expertos en ecosistemas, se plasma una ponderación utilizando el método de comparación de pares de Saaty (1990). Las coberturas de vías se han categorizado en tres categorías para Ecuador y Bolivia, y cinco para Perú.

Una vez se tienen los valores ponderados para cada vía, se calcula la distancia media con el vecino más próximo para definir el radio de búsqueda en el análisis de densidad de Kernel. El resultado es de unos 18 km aproximadamente ( $0,164$  grados  $\approx 5$  km) según el promedio del vecino más próximo; la salida del raster siempre será de 250 metros;

### ***Susceptibilidad a Erosión***

Partiendo de las coberturas de erosión de suelos se obtiene por países una descripción según los niveles de erosión definidos por los departamentos competentes<sup>7</sup>. A partir de esta descripción y de acuerdo a las realidades por países se clasifican y categorizan según el nivel de erosión de cada superficie. El resultado de la categorización se obtiene a partir de los rangos elegidos por países, en escalas ordinales. Se exploraron los valores cualitativos, normalmente desde muy baja a muy alta erosión, normalizándose de 0 a 100.

6. [http://www.cepal.org/publicaciones/xml/9/13059/lcg2199\\_e\\_cap\\_6a.pdf](http://www.cepal.org/publicaciones/xml/9/13059/lcg2199_e_cap_6a.pdf) (última visita Agosto 2014)

7. Bolivia: Ministerio de Planificación del Desarrollo 1996 & Secretaría Departamental de Recursos Naturales, Biodiversidad y Medio Ambiente.

Ecuador: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) & Sistema Información Geográfica y Agropecuaria, (SIGAGRO)

## Susceptibilidad por Deslizamientos o Movimientos de Masa

Los mapas de susceptibilidad consisten en documentos de aproximación que previo, análisis, sirven para identificar zonas problemáticas y fundamentalmente los factores condicionantes. La susceptibilidad a los movimientos en masa es la propensión de un terreno a la ocurrencia de caídas, derrumbes, huaycos (flujos), deslizamientos y movimientos complejos (Ayala, 2002; y Núñez y Villacorta, 2006). La susceptibilidad a deslizamientos muestra la inestabilidad de las pendientes en distintas categorías, teniendo en cuenta una serie de variables o factores (Tabla 3).

Variables para el cálculo de susceptibilidad por deslizamientos	
Variables	Campo
Pendiente	Rango (cuantitativo)
Altura laderas (Relieve)	Rango (cuantitativo)
Textura del suelo	Tipo (cualitativo)
Retención de agua	Rango (cuantitativo)

Tabla 3: Variables y campo para el cálculo y estimación de susceptibilidad por deslizamientos de ladera o movimientos de masa. Fuente: GeoBolivia.

Con estas variables, se catalogan los niveles de riesgo por deslizamiento a partir de una discretización de las descripciones finales, otorgando un valor porcentual según las distintas categorías por país (de muy alto a muy bajo riesgo de deslizamiento).

Los datos elaborados de dichas categorías o descripciones se obtuvieron del Ministerio de Planificación al Desarrollo (2012) de Bolivia y el MAGAP (2003) en Ecuador. Las categorías cualitativas son normalizadas a porcentajes para dar paso a la salida raster.

## Susceptibilidad por Incendios Forestales

La susceptibilidad por incendios forestales se analiza a partir del sumatorio de la probabilidad de incendios naturales, por una parte, y la densidad de incendios históricos a partir del último periodo (incendios 2013), por otra. Las variables dentro de la primera son: temperatura media, precipitación media mensual y multianual, mapa de cobertura, mapa de pendientes, mapa de textura del suelo y subyacentes y mapa mensual de humedad del suelo. La densidad de incendios, desde el periodo 2013, se analiza a partir de la masa de puntos por registros de focos calientes de la temporada de incendios 2013. El radio de búsqueda elegido fue de 15 km tras probar distintos radios de búsqueda para las densidades.

## Susceptibilidad o Capacidad Adaptativa por Estado de la Vegetación NDVI

El estado de vegetación se obtiene a partir del cálculo del Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). El cálculo se realiza a partir del comportamiento radiométrico de la banda roja del visible R (0,6-0,7  $\mu\text{m}$ ) con respecto a la infrarroja cercana IRC (0,7-1,1  $\mu\text{m}$ ) dentro del espectro electromagnético (Chuvienco, 2002). En el campo visible (RGB), los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de energía que reciben pero estas sustancias apenas afectan al infrarrojo cercano, por lo que resulta un alto contraste entre la reflectividad de la banda alta del IRC y la R del espectro visible, permitiendo visualizar con claridad la vegetación entre otras superficies. A mayor reflectividad entre las bandas R e IRC, mayor vigor vegetal observado. Por otra parte, bajos contrastes muestran en principio una vegetación enferma, senescente, rala o con poca densidad. Los suelos descubiertos, el agua, algunas nubes y la roca presentan una reflectividad muy similar entre IRC y el R, o incluso inferior en esta última.

El índice de vegetación se da a partir del coeficiente simple entre las bandas:

$$C_i = \frac{IRC}{R}$$

Donde  $C_i$  es el coeficiente entre bandas, IRC el valor de reflectividad de la banda del infrarrojo cercano y R es el valor de reflectividad de la banda roja.

La ecuación para el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI):

$$NDV_i = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

Los resultados son normalizados a los márgenes conocidos en el NDVI (-1, 1), por ser éstos los más utilizados en el análisis digital de imágenes, facilitando su interpretación (Chuvieco, 2002). Las escenas descargadas en formato Hierarchical Data Format (HDF) son transformadas con la librería Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) a GeoTiff, pasando de 16 a 8 bits (0-255 valores) (Figura 5).

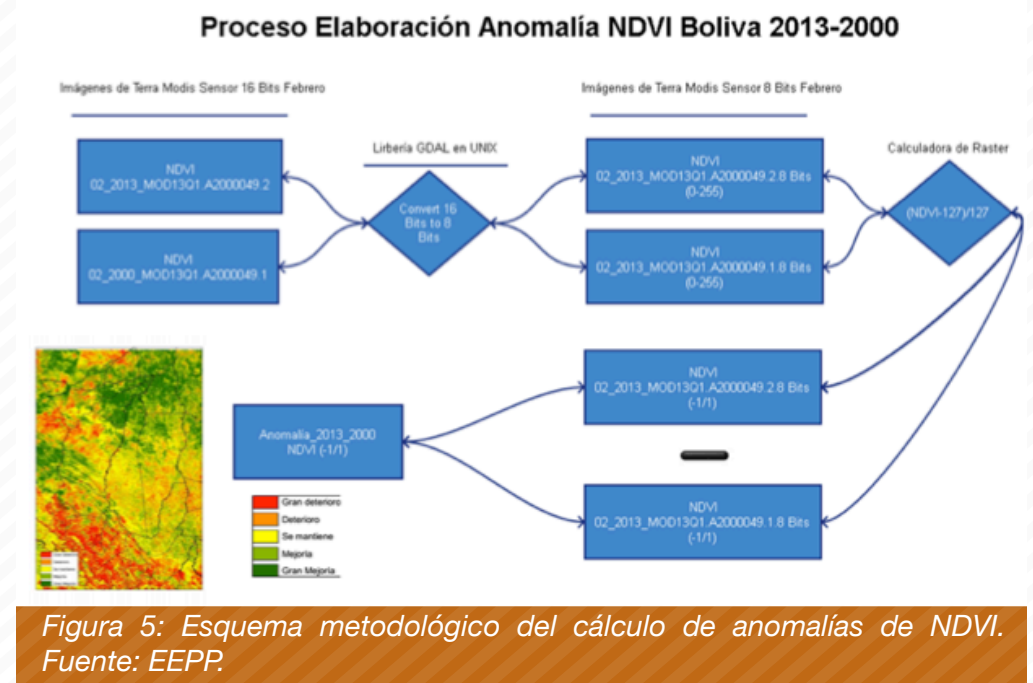


Figura 5: Esquema metodológico del cálculo de anomalías de NDVI. Fuente: EEPP.

Las salidas de 256 valores se normalizaron de -1 a 1, adecuándolo al índice, de manera que se identifiquen las superficies desnudas (valores < 0) y las superficies con vegetación (>0) en sus distintas fases de degradación. Por último, se calculan las diferencias entre los NDVI resultantes de 2013 con respecto al de 2000 (2012 y 2000 para Bolivia) según la siguiente ecuación:

$$NDc = NDt2 - NDt1 + C$$

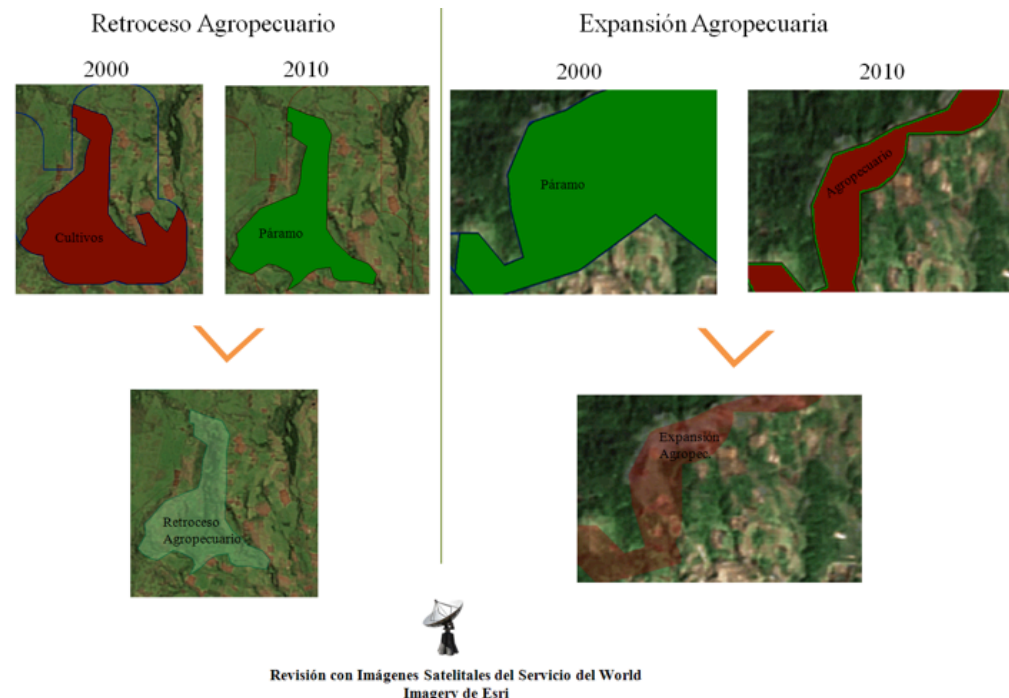
Donde  $NDc$  es la imagen como resultado del cambio de  $NDVI$ 's,  $NDt1$  es la imagen resultante del  $NDVI$  del periodo 2013 (2012 en Bolivia),  $NDt2$  la imagen resultante del  $NDVI$  de 2000 y  $C$  la constante para evitar valores negativos (255). La cobertura se somete a una máscara de las zonas no sensibles, eliminando así usos de suelo antrópicos, superficie que no interesa estudiar en el presente análisis, pues la salud de ecosistemas que se ha analizado es puramente natural excluyendo los cultivos o parques. Con la capa resultante se procedió a la normalización, respetando el signo de los valores de 0 a 100 (mejora vigorosidad) los valores positivos y de -100 a 0 (pérdida de salud de la vegetación).

Este análisis se pudo realizaa para el caso de Ecuador ya que no se pudo contar con las variables necesarias para el cálculo replicado en Perú y Bolivia.

### Cálculo Expansión/Retroceso Frontera Agropecuaria

De las coberturas de usos de suelo por países, se clasifican y seleccionan aquellos usos agropecuarios, tal como se hiciese en el punto anterior del cálculo de susceptibilidad agropecuaria, para dos momentos temporales.

Dentro del término se incluyen las actividades agrícola, mosaico agropecuario o ganadero y extractivo forestal, cada una con un valor ponderado con respecto a las demás. Este proceso se realiza para dos coberturas de usos de suelo en dos años distintos, la más actual y una previa de alrededor de 10 años. De esta manera se puede apreciar la evolución y diferencia entre ambos periodos. A partir de aquí y con las coberturas de la misma escala espacial y categorías entre ambas, se realiza un geoproceso que reste una superficie categorizada actual con respecto a otra de años atrás y a la inversa, resultando el retroceso o la expansión de la frontera agropecuaria respectivamente (Figura 6).



*Figura 6: Esquema ejemplo del cálculo de diferencia entre coberturas, donde se diferencian a partir de geoprocesos las superficies agropecuarias en dos periodos según su uso agropecuario para obtener el retroceso de la frontera agropecuaria (izquierda) y la expansión de la frontera agropecuaria (derecha) entre coberturas de mismo escalado y metodología de clasificación de usos. Fuente EE.PP*

Para el cálculo del retroceso de la frontera agropecuaria se resta la superficie antrópica de la última cobertura estudiada, es decir, se excluyen del análisis todos aquellos usos de carácter antrópico, como puede ser la industrial turismo u otras actividades lúdicas. Esto evita incluir en el retroceso de la frontera agropecuaria algunos usos no naturales que puedan generar “ruido”, ya que el objetivo es obtener los usos antropizados por actividad agropecuaria por una parte (expansión), y naturalizados, presumiblemente paramizados por otro (retroceso). Este proceso es verificado con imágenes satelitales a una resolución de 30 metros, en el caso de Ecuador.

Si bien es cierto con el NDVI se puede hacer una notoria diferenciación entre superficies cultivadas, no ocurre lo mismo a la hora de distinguir entre coberturas naturales y agropecuarias (Gross, 2005), distintas reflectancias por la presencia de distintos tipos de vegetación, madera, diferencias entre coberturas verdes, densidades, geometría y fenología puede variar hasta el 30% (Ghorbani et al., 2012), resultando en problemas de conclusiones fehacientes.

$$Q_{\text{retorno}} = Q_x \frac{100 - \% \text{Retorno}}{100}$$

### ***Susceptibilidad / Capacidad Adaptativa por Balance Hídrico***

Se calcula el aumento o descenso de la disponibilidad hídrica teniendo en cuenta la diferencia entre input y output a partir de factores naturales (balance natural) y antrópicos (concesiones hídricas). Para ello, por una parte se obtienen los datos revisados del balance hídrico de las secretarías o agencias nacionales del agua (De Bievre y Coello, 2008). Se revisa el balance hídrico anual promedio de cada subcuenca, por países, a partir de los registros de precipitación, evaporación y la evapotranspiración. Por otro lado, se estiman las concesiones hídricas a partir de las siguientes variables: uso, área regada, caudal (L/s), y si está vigente o no. La selección de variables se somete a discusión con el equipo teniendo en cuenta otros trabajos publicados donde se estima la presión atropogénica sobre el recurso hídrico (Díaz, 2012).

Se parte de la diferencia entre la oferta natural y la demanda actual, teniendo como objetivo obtener la susceptibilidad del ecosistema por la incidencia antrópica en el régimen hídrico. Por otro lado, se obtienen los caudales de retorno estimados en De Bievre et al. (2008) como otro de los parámetros determinantes para el cálculo. Así se cuenta con información de superficies regadas, consumo de agua para los distintos usos, porcentajes de retorno según la UICN y la FAO, y balance hídrico. Se aplica para cada uso del recurso hídrico un caudal de retorno, para lo cual, se multiplica los diferentes caudales de las captaciones por el factor de retorno, obteniendo el caudal que se pierde tras el uso.

Los resultados se someten a un análisis de densidades de Kernel (1990), partiendo de un radio de búsqueda de 500 metros aproximadamente (0,0045 grados). Se acota el radio de búsqueda a corta distancia puesto que finalmente se hará un valor promedio de todos los valores de susceptibilidad encontrados por cada una de las subcuencas. El resultado de densidades de demanda hídrica antrópica se relaciona con la oferta hídrica natural resultante de la evaporación, evapotranspiración e infiltración, es decir, con el balance hídrico. Para ello, se multiplican los valores de caudales retenidos según su uso, por un factor relacionado con el balance hídrico.

Dado que los efectos sobre el ecosistema no se dan tan solo en el tramo de río donde se hallan las conexiones, sino más bien para toda la subcuenca y a la cuenca en segunda instancia, se aplicó el valor de impacto potencial promedio de los valores dentro de la subcuenca a la totalidad de la misma, asumiendo que el impacto principal de una captación es desde el punto de la conexión a aguas debajo (De Bievre et al., 2008; Cammeraat et al., 2014).

## ***Capacidad adaptativa Espacios Naturales Protegidos***

Tan solo se ha estimado aquí la capacidad adaptativa para aquellos espacios naturales protegidos que cuentan con un riguroso control nacional y/o internacional, que tengan una partida presupuestaria propia con el fin de afinar el análisis y no dar carácter de protegido a un espacio que en la práctica no lo es.

Existe una clasificación consensuada de las categorías de protección a nivel mundial según el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) junto con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), que rige la categorización de las distintas áreas de protección según el manejo que se dé del espacio. Así mismo, existen otras categorizaciones de las áreas protegidas que dan un peso relevante a la extensión del área, incorporando la integridad ecológica funcional de la región y la importancia de los corredores biológicos (Arriaga Cabrera et al., 2009). Se opta por la clasificación de UNEP-UICN (2003), por ser la que más se acomoda a la diversidad de espacios e información existentes pero, principalmente, por ser la categorización más utilizada en el ámbito internacional.

Una vez reunida toda la cartografía de áreas protegidas por países y por organismos o convenios internacionales como RAMSAR para los humedales, se catalogan las áreas dentro de las categorías de protección de la UICN según su idoneidad de acuerdo a las definiciones de las seis categorías. Se crea una séptima categoría para aquellos espacios gestionados de distinta naturaleza como propiedad privada y niveles administrativos distintos, que reúnen las premisas ya expresadas al inicio de esta sección, para ser consideradas áreas protegidas, no pudiendo ser incorporadas por descripción en las seis categorías de la UICN. Estos son: humedales RAMSAR bajo programas de protección y conservación, acciones de REDD+, Zonas Reservadas, Zonas de Amortiguación y Zonas complementarias en el caso de Perú.

Tras la categorización de los espacios protegidos, se unen por países con un valor normalizado según categorías. Para aquellos espacios que se solapan, se otorga la categoría máxima de protección entre los niveles que presente y se elimina el de menor protección, de manera que no se contabilice de forma repetida el mismo espacio. La salida gráfica se rasteriza con un tamaño de pixel de 250 metros, tal como se ha generado en los demás análisis.

## ***Capacidad Adaptativa Extinción de Incendios***

Este cálculo se realiza para Ecuador, pues es en el ecosistema paramuno donde se encuentran la mayor cantidad de registros de incendios forestales. A partir de la cobertura de estaciones de bomberos para la extinción de incendios, se estima la capacidad de la población de amortiguar este tipo de tensión natural o antrópica sobre el ecosistema. Para ello se tiene en cuenta la red vial, estimando la distancia y el tiempo límite estimados para ver el eje de acción. Esto enfocando la adaptación en el contexto de la variabilidad climática, reduciendo la exposición y la vulnerabilidad e incrementando la resiliencia ante los potenciales impactos adversos de los incendios como extremos climáticos o potenciados por el ser humano (IPCC, 2012).

El cálculo se realiza mediante la red de área de servicio a partir de las vías y partiendo de las estaciones de bomberos como centroides. Previo a ello, se realiza una corrección topológica para evitar errores en los cálculos sucesivos.

Se otorgan varias especificaciones para los radios de acción de cada estación previa consulta a la institución oficial encargada del tema. Para este caso se eligieron 3 distancias: 15 km, 25 km y 35 km de distancia a cubrir sobre la red vial existente, marcando según estas distancias una jerarquía de adaptabilidad a partir de las áreas de servicios.

## ***Capacidad Adaptativa por Reforestación***

A pesar de ser una capacidad adaptativa no vinculada directamente al páramo, las medidas adaptativas por planes de reforestación a nivel local o regional, en el caso de Ecuador se han visto potenciadas en áreas limítrofes al páramo; en otros casos se incluyen gracias al buffer de 500 metros incluido a partir del límite del páramos en el área de estudio.

Las superficies en forestación y reforestación son consideradas beneficiosas para la reducción de la erosión (IPCC 2012) además de dar pie a la reactivación del biotopo y garantizar la provisión de servicios hidrológicos frente a los potenciales impactos del cambio climático en los Andes Tropicales (Cuesta et al., 2012).

Los planes de reforestación, como ya se dicho anteriormente, están más vinculados al páramo que a la puna, por lo que es en el caso de Ecuador donde se estudia.

El cálculo viene tras cartografiar las áreas forestadas y reforestadas a partir de Planes de Ordenamiento Territorial y planes ministeriales de reforestación (MAE Ecuador). Se pondera la totalidad del valor para las superficies forestadas y/o reforestadas.

## ***Capacidad Adaptativa: Sociobosque***

Siguiendo la misma lógica que el punto anterior, se analiza un plan nacional de especial consideración: el programa Sociobosque existente para el territorio ecuatoriano. El programa consiste en la conservación de áreas de bosques, páramos y otras formaciones nativas, buscando la restauración y el manejo sostenible del bosque nativo (Programa Sociobosque, Ministerio de Ambiente de Ecuador).

Estos espacios son considerados separados en el presente estudio por no corresponder a ninguna de las categorías de protección de la UICN. Esta iniciativa juega un gran papel muy importante en pro de la conservación del ecosistema, por lo que se decidió darle una categoría especial como programa nacional.

Las áreas bajo protección quedan con el nivel ponderado a partir de la matriz de pesos específicos de comparación por pares (AHP) en Saaty (1990).

## ***Capacidad Adaptativa Planes de Gestión RSU***

En el caso de Perú, existen Planes de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) que computan como capacidad adaptativa con el valor máximo si existen planes de gestión y 0 en el caso que no exista ningún plan de gestión de RSU. Los datos, una vez normalizados, son subidos a escala departamental por ser esta la escala más fina a la que se tiene acceso.

## **Componentes de la Metodología de Vulnerabilidad por país**

En la Tabla 4 se presentan las variables empleadas para el cálculo de la vulnerabilidad para Bolivia, Ecuador y Perú.

## Vulnerabilidad Socioeconómica

	Bolivia	Ecuador	Perú
Susceptibilidad	Vulnerabilidad Alimenticia 2003 Crecimiento Poblacional Población que No Lee Pobreza	Pobreza Densidad Poblacional Crecimiento Poblacional Población No Lee Desempleo	Desempleo Densidad Poblacional Crecimiento Poblacional Analfabetismo Pobreza Inseguridad Alimentaria
Capacidad Adaptativa	Decrecimiento Poblacional Empleo	Decrecimiento Poblacional Megaproyectos SENAGUA	Decrecimiento Poblacional

## Vulnerabilidad Ambiental

	Bolivia	Ecuador	Perú
Susceptibilidad	Expansión de la Frontera Agrícola Deslizamientos Erosión Estado de la vegetación (NDVI negativos 2013-2000) Densidad Red Vial Impacto por Minería Contaminación RSU Contaminación Antrópica Actividad Agroganadera	Expansión de la Frontera Agrícola Demanda Hídrica Antrópica Deslizamientos Erosión Estado de la vegetación (NDVI negativos 2013-2000) Fragmentación de Ecosistemas Densidad Red Vial Actividad Minera Probabilidad Incendios Forestales Densidad Centros Poblados Actividad Agroganadera	Demanda hídrica Erosión Estado de la vegetación (NDVI negativos 2013-2000) Densidad Red Vial Impacto por Minería Densidad Centros Poblados Actividad Agroganadera Residuos Sólidos Urbanos
Capacidad Adaptativa	Espacios Protegidos NDVI Positivos 2013-2000 Retroceso Frontera Agg	Espacios Naturales Protegidos Estado de la vegetación (NDVI negativos 2013-2000) Cobertura Bomberos Reforestación (POT, MAE) Retroceso Frontera Agropecuaria Agg Programa Socio Bosque	Planes de Gestión RSU Espacios Protegidos NDVI Positivos 2013

# Resultados

Como resultado de la aplicación de la metodología propuesta, se obtiene una base de datos cartográfica, que para el caso que se trabajó en el proyecto, tiene 56 variables o coberturas de Ecuador, Bolivia y Perú, que alimentan la herramienta de localización de los focos más vulnerables en los ecosistemas altoandinos que faciliten la toma de decisiones.

Las salidas cartográficas por separado y el resultado integrado del cálculo de vulnerabilidad son representados en el visualizador vinculado al geoportail <http://geoportail.ciifen.org>.

Estos datos pueden ser comparados con las modelaciones climáticas proyectadas a futuro y/o cruzadas con otras coberturas que puedan ser un complemento al analizar la vulnerabilidad de los ecosistemas altoandinos. Estas coberturas son, entre otras, la distribución de especies potencialmente bioindicadoras y los modelos climáticos a futuro y un modelo consensuado resultante de tendencias climáticas. Los modelos a futuro se pueden comparar con el resultado final de vulnerabilidad y se puede estudiar, más específicamente, el comportamiento de cada ecosistema de acuerdo a las variables y precipitación. Además, existe la posibilidad de que el tomador de decisiones incluya dentro del geoportail, coberturas propias para poder realizar observaciones y/o comparaciones.

Los resultados de vulnerabilidad pueden interpretarse de manera integral o desde el componente social o medioambiental por separado.

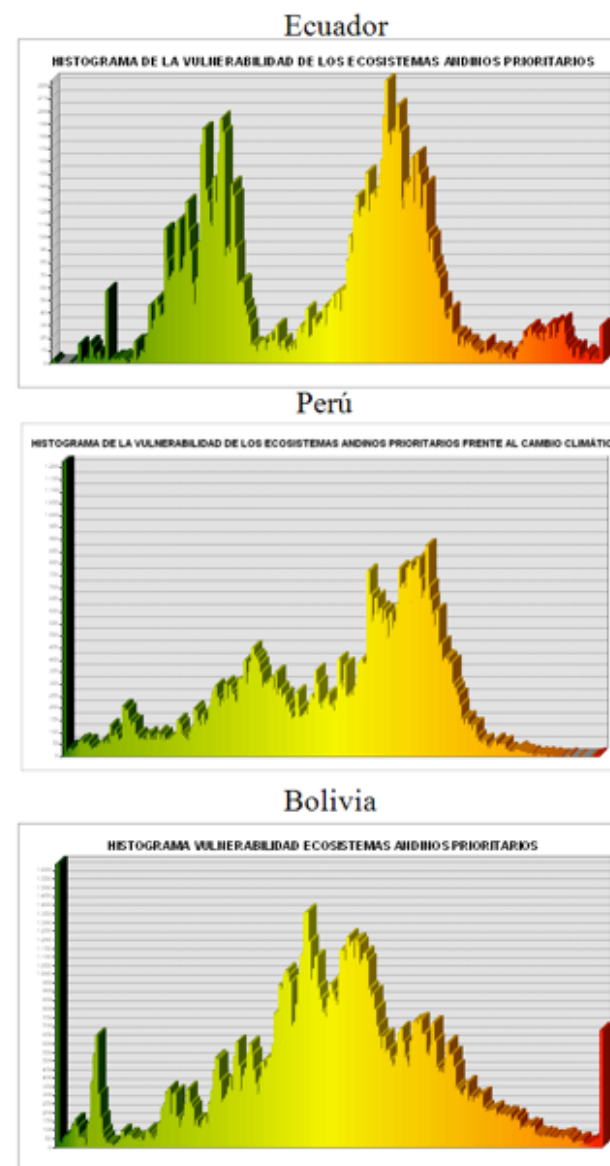


Figura 7. Histogramas de los resultados de vulnerabilidad en el total del área de estudio en tonalidades de verde, menos vulnerable a rojo más vulnerable para Ecuador, Perú y Bolivia.  
Fuente: Elaboración Propia.

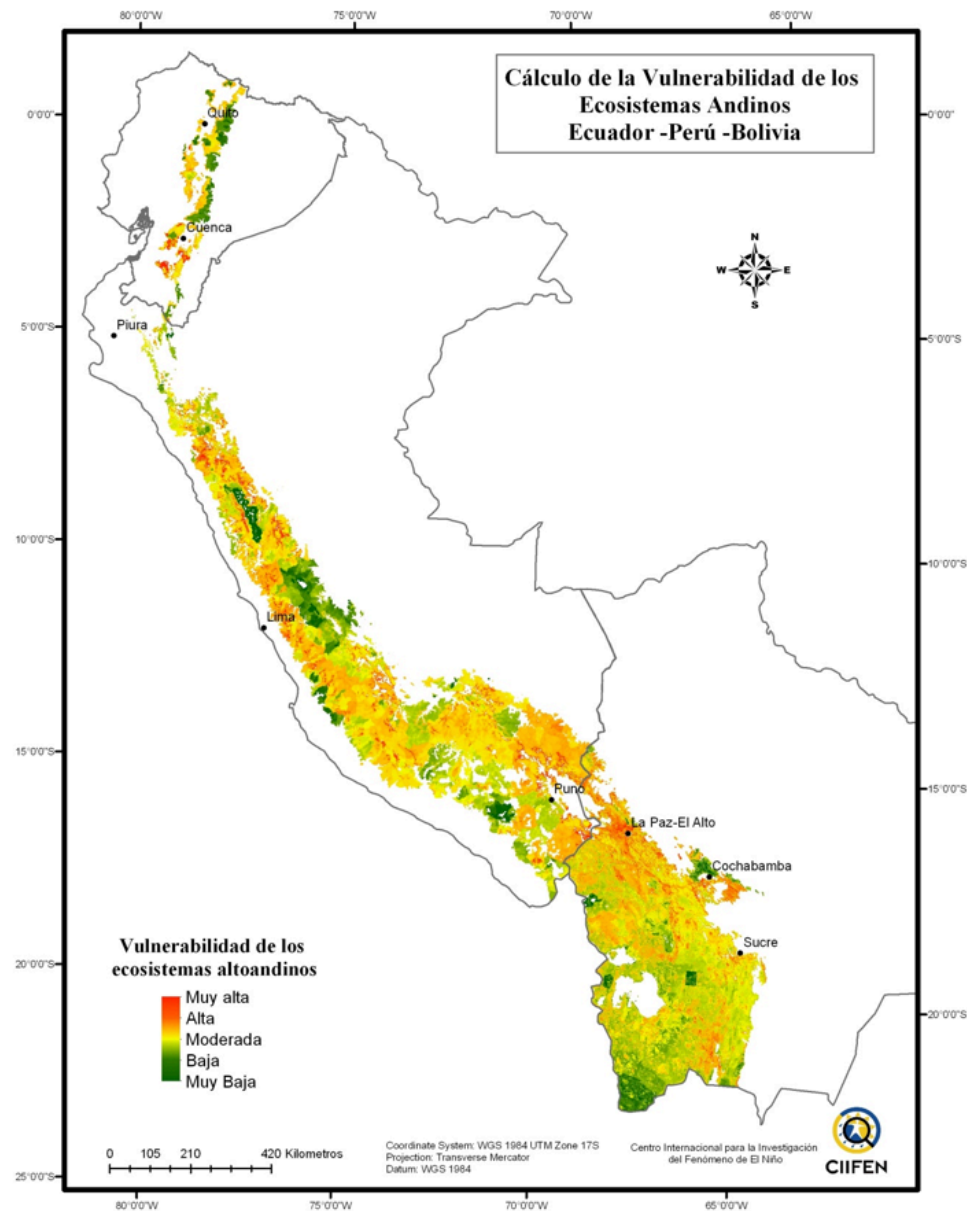


Figura 8. Resultado final de vulnerabilidad de los ecosistemas altoandinos en el área de estudio de Ecuador, Perú y Bolivia a partir de la ecuación 2:  $V = (Sse-CAse) + (Samb-CAamb)$ . Paleta de colores: Rojo muy vulnerable -verde muy baja vulnerabilidad. Fuente: Elaboración Propia.

# **Vulnerabilidad de los Ecosistemas Andinos por País**

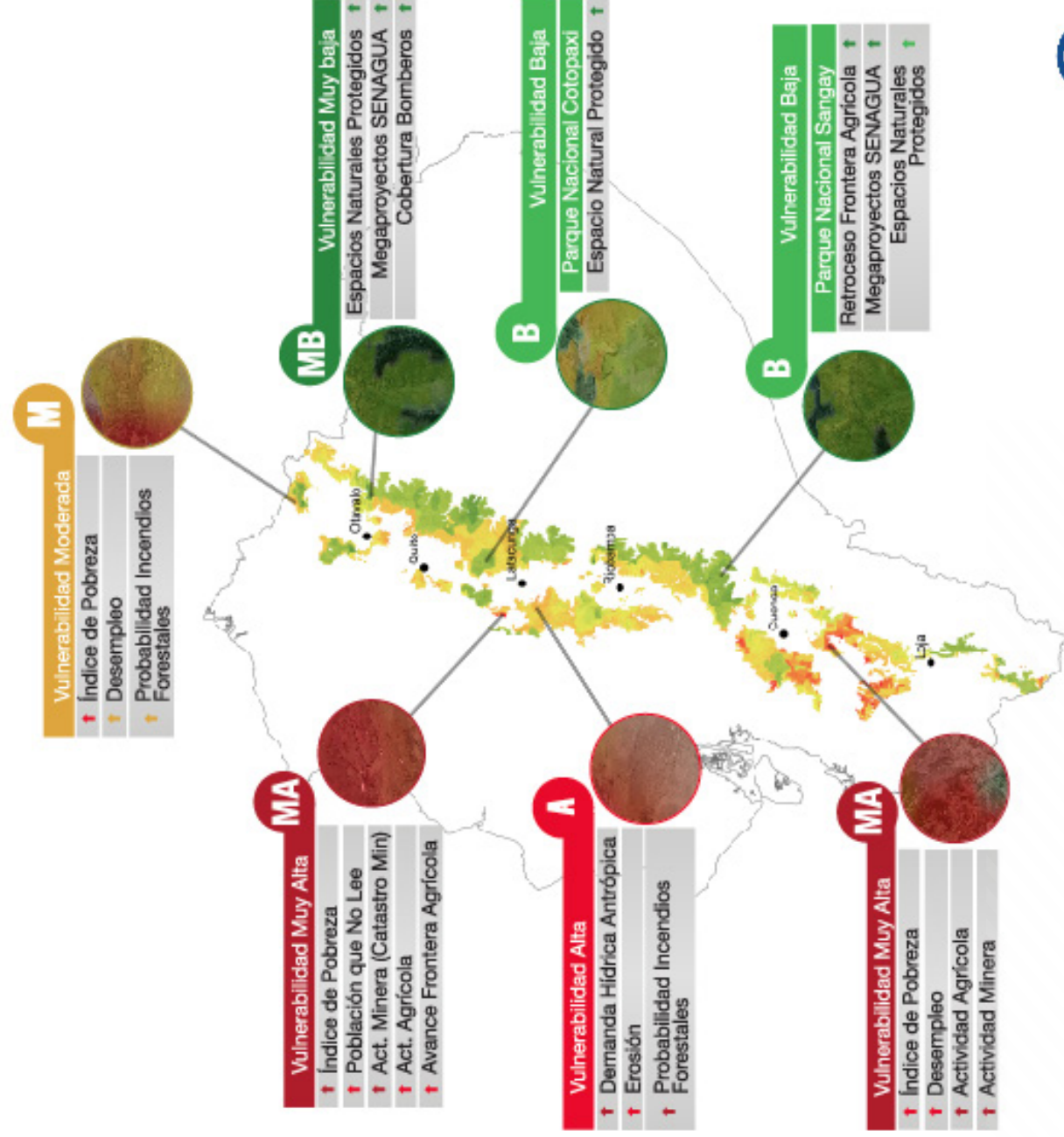
---

## Vulnerabilidad Ecosistemas

- Muy Alta
- Alta
- Moderada
- Baja
- Muy Baja

## Ecuador

\* Las flechas están ubicadas junto a las distintas capas de información que ,en su mayoría, contribuyen a la vulnerabilidad, susceptibilidad o capacidad adaptativa en cada sector.



CIIFEN

Figura 9. Vulnerabilidad de los ecosistemas andinos de Ecuador.

## Vulnerabilidad Ecosistemas

- Muy Alta
- Alta
- Moderada
- Baja
- Muy Baja

## Perú

\* Las flechas están ubicadas junto a las distintas capas de información que mayormente contribuyen a la vulnerabilidad, susceptibilidad o capacidad adaptativa en cada sector.

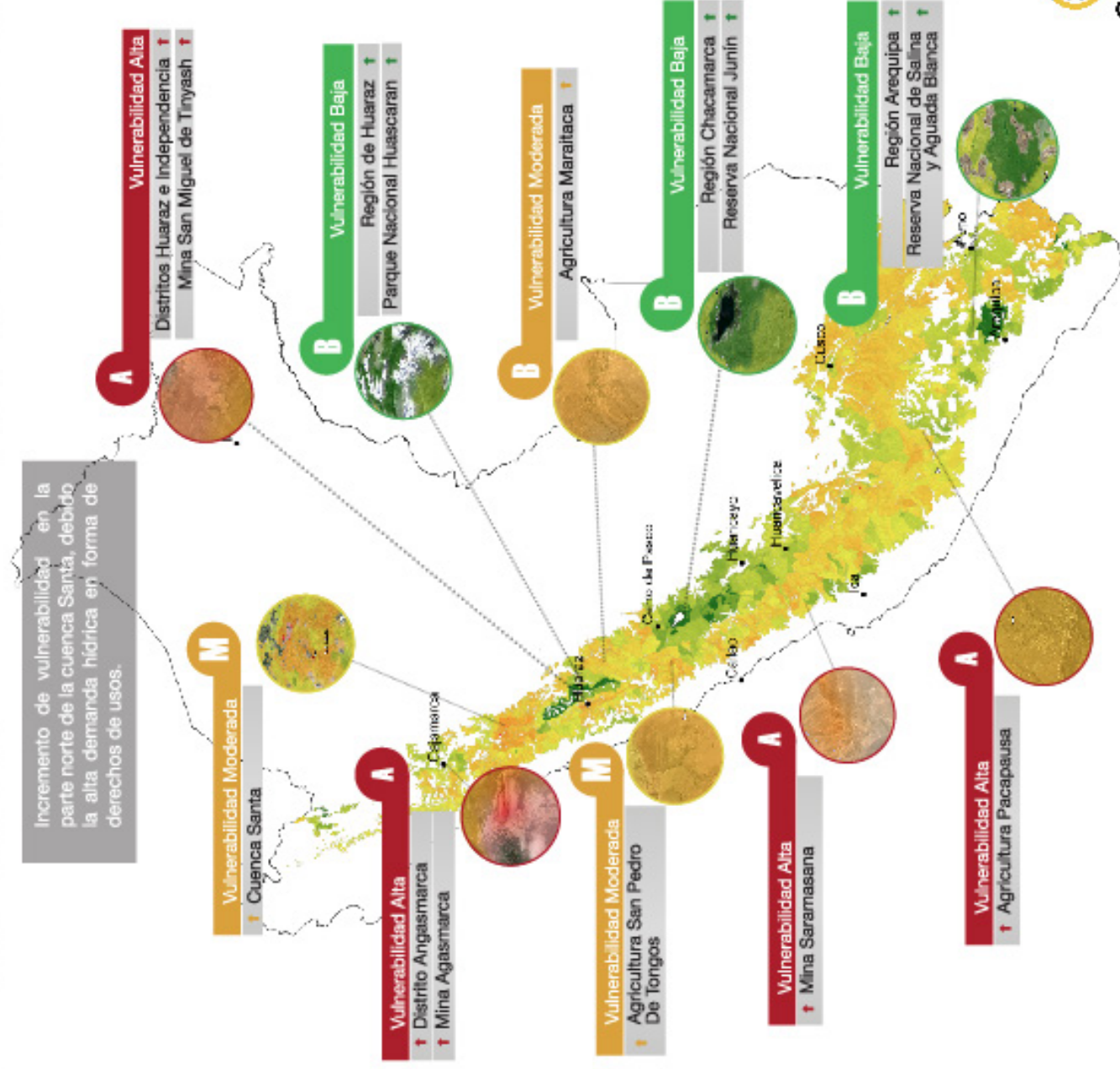


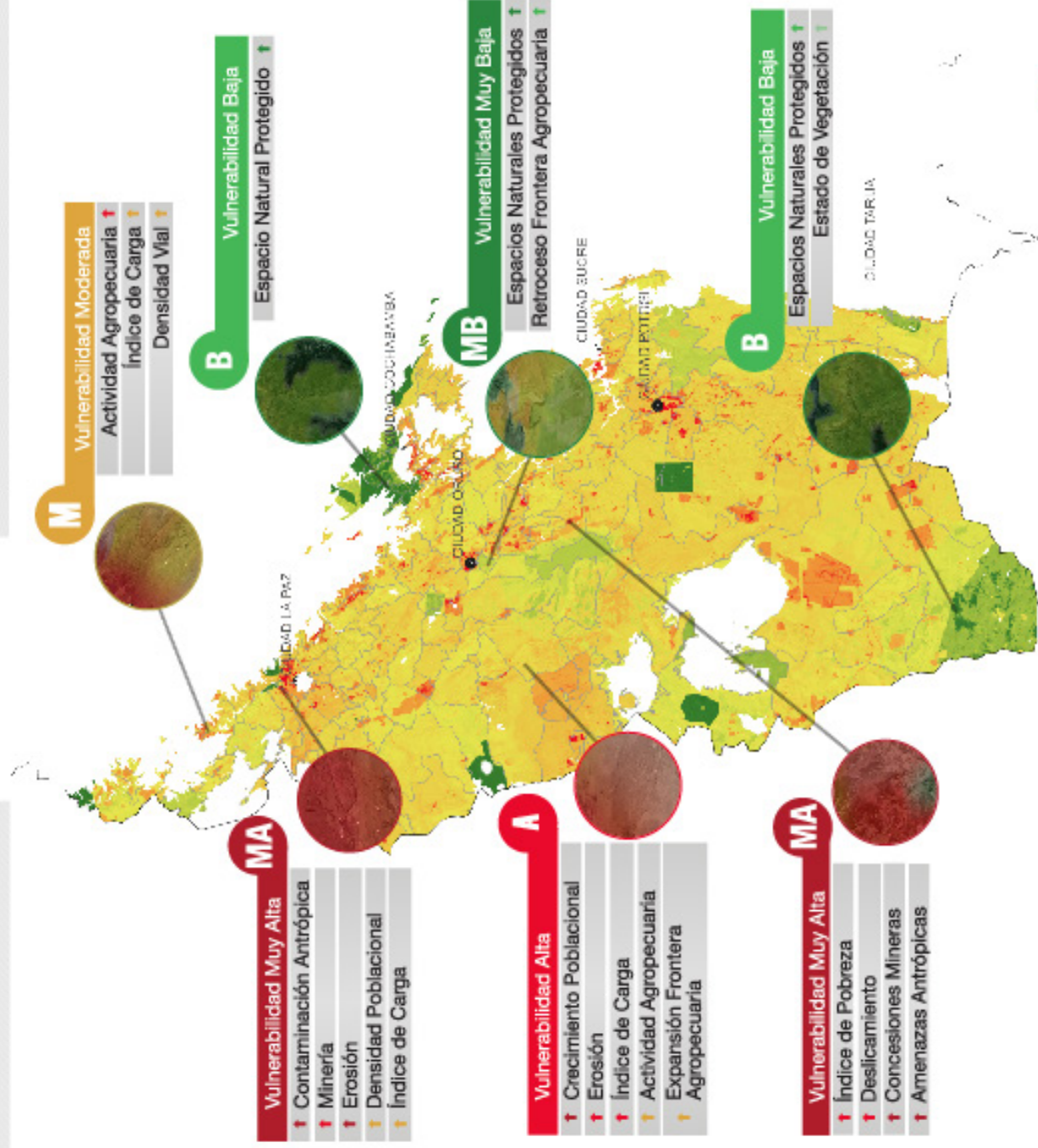
Figura 9. Vulnerabilidad de los ecosistemas andinos de Perú.

## Vulnerabilidad Ecosistemas

Muy Alta  
Alta  
Moderada  
Baja  
Muy Baja

## Bolivia

\* Las flechas están ubicadas junto a las distintas capas de información que, en su mayoría, contribuyen a la vulnerabilidad, susceptibilidad o capacidad adaptativa en cada sector.



CIIFEN

Figura 9. Vulnerabilidad de la puna Boliviana.

## *Discusión*

Las prioridades identificadas vinculan la tendencia a un calentamiento general de entre 0° - 2 ° centígrados en la mayoría de la zona de estudio, seguido de una disminución de las precipitaciones

## *Ecuador*

Temperatura: aumento de temperatura de, aproximadamente, 1 °C en toda la zona de estudio. Ligeramente superior el aumento de temperatura en el W.

Precipitación: Aumento de precipitaciones, por lo general, en el área de estudio. Gradiente de mayor a menor porcentaje de precipitación de E-W. Influencia de la Amazonía de 30% más a 10% menos precipitación que en la serie histórica.

El sector más oriental con mayor incremento de temperatura y menor precipitación coincide con valores de vulnerabilidad ligeramente medios altos, en las provincias de Bolívar, Tungurahua, Cotopaxi, Chimborazo y Carchi. Coinciden, en muchos casos, la presión por demanda hídrica con el ascenso de las temperaturas y el descenso de las precipitaciones de la zona occidental.

## *Perú*

- Temperatura: aumento de temperatura de más de 1 °C, aproximadamente, en toda la zona de estudio, llegando en los sectores del sur hasta un incremento de 1,7 °C en el departamento de Puno, junto al lago Titicaca.
- Precipitación: Ligeramente descenso de las precipitaciones en las partes bajas de la Cordillera a Barlovento de las corrientes del Pacífico.

## *Bolivia*

- Temperatura: aumento de temperatura de 1,5 °C, aproximadamente, en toda la zona de estudio; gradiente SE-SW de ascenso de temperaturas.

# Abreviaciones y Acrónimos

AEMA	Agencia Europea de Medio Ambiente	MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
ANA	Agencia Nacional del Agua	MINAM	Ministerio del Ambiente del Perú
AOGCM	Atmosphere-Ocean General Circulation Model	MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia
BID	Banco Interamericano de Desarrollo	NBI	Necesidades Básicas Insatisfechas
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
CIIFEN	Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño	PIGARS	Planes de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos
CINFA	Centro Integrado de Geomática Ambiental	RIMISP	Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural
CLC	Corine Land Cover	RSU	Residuos Sólidos Urbanos
CNUCC	Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático	SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua del Ecuador
CONAM	Concejo Nacional del Ambiente	SENAMHI Bolivia	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
CONDESAN	Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina	SENAMHI Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas
FOMIN	Fondo Multilateral de Inversiones	SGCAN	Secretaría General de la Comunidad Andina.
GDAL	Geospatial Data Abstraction Library	SIG	Sistema de Información Geográfica
HDF	Hierarchical Data Format	SIGAGRO	Sistema Información Geográfica y Agropecuaria
IGP	Instituto Geofísico del Perú	SIT	Sistema de Información Territorial
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología	UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés)		
MAE	Ministerio de Ambiente del Ecuador		

# Bibliografía

- Andrén, H. (1994). Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos* 71: Pp. 355-366.
- Adaptation under the frameworks of the CBD, the UNCCD and the UNFCCC, Joint Liaison Group of the Rio Convention. 2007. Agreement No. CE 16/99. "Feasibility Study for Housing Development at Whitehead and Lee On in Ma On Shan, Sha Tin" Environmental Impact Assessment final Report. En: [http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia\\_0832002/English/7305\\_6.htm](http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_0832002/English/7305_6.htm) (última visita Junio 2014).
- Alexander, L., Allen, S., Bindoff, N., et al. (2013). Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis Summary for Policymakers. IPCC-AR5-WGI. Pp 36.
- Angnes T. A., & B.J. Sendra, (2008). Cartografía de la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de La Culata, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana* v.49 n.2.
- Arriaga Cabrera, L., et al. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad, en Capital natural de México. vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México. pp. 433-457. En: [http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II10\\_Regiones%20prioritarias%20y%20planeacion%20para%20la%20conservaci.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II10_Regiones%20prioritarias%20y%20planeacion%20para%20la%20conservaci.pdf) (Última visita Agosto 2014).
- Ayala, C., F. (2002). Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, su naturaleza, funciones, problemática y límites. En: F.J. Ayala y J. Corominas (eds.). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España. Instituto Geológico y Minero de España, Pp. 7-20. En: <http://www.ingemmet.gob.pe/publicaciones/Cap2-Trab7.pdf> (Última visita Agosto 2014).
- Bierregaard, Jr., R.O., W.F. Laurance, C. Gascon, J. Benitez-Malvido, P.M. Fearnside, C.R. Fonseca, G. Ganade, J.R. Malcolm, M.B. Martins, S. Mori, M. Oliveira, J. Rankin-de Mérona, A. Scariot, W. Spironello & B. Williamson. 2001. Principles of Forest Fragmentation and Conservation in the Amazon. pp. 271-385. In: R.O. Bierregaard, C. Gascon, T.E. Lovejoy & R. Mesquita (eds.)
- Lessons from Amazonia: The Ecology and Conservation of a Fragmented Forest. Yale University Press, New Haven, Connecticut, U.S.A. 478 pp
- De Bièvre, B., M. Bustamante, W. Buytaert, F. Murtinho, M.T. Armijos. 2012. 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. Pp. 37-57. In: Cuesta, F., Bustamante, M., Becerra, M.T., Postigo, J., Peralvo, J. (Eds.).
- Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales. CONDESAN, SGCAN, Lima (In Spanish).
- Birkmann, J., O. Cardona, M. Carreño, A. Barbat, M. Pelling, S. Schneiderbauer, S. Kienberger, M. Keiler, D. Alexander, and P. Zeil, (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. *Natural Hazards*, 67(2), 193-211

- Bradley, R.S., M. Vuille, H. Diaz, and W. Vergara, (2006). Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science*, 312, 1755-1756.
- Bravo, L. (2009). Cuantificación del riesgo y de la vulnerabilidad de la población venezolana a eventos de lluvia extrema. NE 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.
- Buytaert, W., R. Céleri, B. De Bièvre, F. Cisneros, G. Wyseure, J. Deckers, y R. Hofstede (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* 79:53-72.
- C. Vera, W. Higgins, J. Amador et al., "Toward a unified view of the American monsoon systems," *Journal of Climate*, vol. 19, no. 20, pp. 4977-5000, 2006.
- Cammeraat, H. L., C.A. Seijmonsbergen, J. Sevink, et al. (2014). Calidad del agua en relación con las propiedades del geoecosistema: Un estudio de caso de una zona de jalca de Cajamarca, Perú. En: Cuesta F, Sevink J, Llambí LD, De Bièvre B, Posner J, Editores. *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*, CONDESAN.
- Cavallaro. S., B.F. Nicosia, & P.J. Fontanero (2010). La cartografía ambiental como base para los estudios de planificación ecológica del territorio. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* vol.66 no.4 Buenos Aires. P 481.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. *Ariel Ciencia*. España. 586 p.
- Colpari, O., (2013): Territorios de Páramo: Territorios en crisis. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural –RIMISP-. Pp: 19.
- CONAM, CEPIS & OPS, (2004). Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos. Perú. P 14 En; [http://www.bvsde.paho.org/cursos\\_rsm/e/fulltext/040525.pdf](http://www.bvsde.paho.org/cursos_rsm/e/fulltext/040525.pdf).
- Cuesta F, J. Sevink, L.D. Llambí, B. De Bièvre, J. Posner, Editores, (2014). *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*, CONDESAN.
- Cuesta F., P. Muriel, S. Beck, R. I. Meneses, S. Halloy, S. Salgado, E. Ortiz y M.T. Becerra. (Eds.) 2012. *Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales - Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos*.
- Cuesta, F., M. Bustamante, M.T. Becerra, J. Postigo, J. Peralvo. (Eds.) (2012). *Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales*. CONDESAN, SGCAN, Lima.
- Curran, L., M.I. Caniango, G.D. Paoli, D. Astianti, M. Kusneti, M. Leighton, C.E. Nirarita y H. Haeruman. (1999). Impact of El Niño and logging on canopy tree recruitment in Borneo. *Science* 286: Pp. 2184-2188.
- De Bievre, B., y X. Coello (2008): Diagnóstico del balance entre oferta y demanda hídrica, Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en la Hoya de Quito. UICN-Sur, Ecuador.
- De Cos Guerra, O. (2004). Valoración del método de densidades focales (Kernel) para la identificación de los patrones espaciales de crecimiento de la población en España. *GeoFocus (Artículos)*, nº 4, ISSN: 1578-5157. Pp. 136-165. En; [http://geofocus.rediris.es/docPDF/Articulo7\\_2004.pdf](http://geofocus.rediris.es/docPDF/Articulo7_2004.pdf).
- De Haan, S. y H. Járez, (2010). Land use and potato genetic resources in Huancavelica, Central Peru. *Journal of Land Use Sciences* 5(3):179-195. DOI 10.1080/1747423X.2010.500681.

De la Cruz, R., P. Mena Vásconez, M. Morales, P. Ortiz, G. Ramón, S. Rivadeneira, E. Suárez, J. F. Terán y C. Velázquez. (2009). *Gente y Ambiente de Páramo: Realidades y Perspectivas en el Ecuador*. EcoCiencia-Abya Yala. Quito.

Díaz C., R., P. Bravo, L., Alatorre C., L., & Sánchez F., E. (2012) Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica. Universidad Autónoma de México. En; [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112013000300007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112013000300007&script=sci_arttext).

Escolano. S. & J. Ortiz. (2005): La formación de un modelo policéntrico de la actividad comercial en el Gran Santiago (Chile). *Revista de Geografía Norte Grande*, núm. 34, diciembre, Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. Pp. 53-64, En; <http://www.redalyc.org/pdf/300/30003404.pdf>.

Escolano. U, S. (2002). Densidad de población y sustentabilidad en la ciudad de Zaragoza, en F. Giorgi and L. O. Mearns, "Approaches to the simulation of regional climate change: a review," *Reviews of Geophysics*, vol. 29, no. 2, pp. 191–216, 1991.

Field, C. B. (Ed.). (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: Special report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press.

Grorbani, A., M.A. Mirzaei, O. Esmali 2012: Utility of the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) for land/canopy cover mapping in Khalkhal County (Iran). *Annuals of Biological Research*, 3 (12). Pp 5494-5503.

Gross, D., (2005): Monitoring Agricultural Biomass Using NDVI Time Series. Food and Agriculture Organization of the United Nations –FAO-. Pp. 17. En: <http://nile.riverawarenesskit.org/English/NRAK/EO/html/NDVI%20Case%20Study.pdf>

Hannah L, M. Ikegami, D.G. Hole, C. Seo, S.H.M. Butchart et al. (2013): *Global Climate Change Adaptation Priorities for Biodiversity and Food Security*. PLoS ONE 8(8): e72590. doi:10.1371/journal.pone.0072590.

Hofstede, R.G.M. J.P. Groenendijk, R. Coppus, J. Fehse & J. Sevink. (2002). Impact of pine Plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes. *Mountain Research and Development* 22(2): Pp159-167.

Hoorn, C., F. P. Wesselingh, H. ter Steege, M. A. Bermudez, A. Mora, J. Sevink, I. Sanmartin, A. Sanchez-Meseguer, C.L. Anderson, J. P. Figueiredo, C. Jaramillo, D. Riff, F. R. Negri, H. Hooghiemstra, J. Lundberg, T. Stadler, T. Sarkinen y A. Antonelli. 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science* 330:927-931.

IPCC (2007): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. M Parry O Canziani J Palutikof P van der Linden C Hanson. Cambridge University Press.

IPCC (2014): *Emergent Risks and Key Vulnerabilities*. IPCC WGII AR5 Chapter 19. Final Draft. Ed. Mike Mrklacich & Sergey Semenov. Pp 107 En; [http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-Chap19\\_FGDall.pdf](http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-Chap19_FGDall.pdf).

Jansen, L. & A. Di Gregorio (2002). Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 91(1-3): 89-101.

Jokisch, B. & B. Lair (2002). One last stand? forests and change on Ecuador's Eastern cordillera. *Geographical Review*. 92(2): 235-257.

Josse C., Cuesta F., Navarro G., Barrena V., Cabrera E., Chacón-Moreno E., Ferreira W., Peralvo M., Saito J. y Tovar A. (2009). *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro*. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN-Proyecto Páramo

- Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. Lima. Pp: 96.
- Kapos, V. (1989). Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology* 5: Pp 173-185.
  - Kapos, V., E. Wandelli, J.L. Camargo y G. Ganade. (1997). Edge-related changes in environment y plant responses due to forest fragmentation in Central Amazonia. En: W. F. Lawrence y O. Bierregaard Jr. (eds.). *Tropical Forest Remnants: Ecology, management y conservation of fragmented communities*. University of Chicago Press. EE.UU. Pp. 33-44.
  - Kattan GH, O.L. Hernández, I. Goldstein, V. Rojas, O. Murillo, C. Gómez, H. Restrepo, F. Cuesta(2004). Range fragmentation in the spectacled bear *Tremarctos ornatus* in the northern Andes. *Oryx* 38 Pp. 155-163.
  - Lamelas Gracia, M.T (2009): Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: Aplicación a la localización de suelo industrial. *GeoFocus (Artículos)*, n° 9, p. 28-66. ISSN: 1578-5157. En; [http://geofocus.rediris.es/2009/Articulo2\\_2009.pdf](http://geofocus.rediris.es/2009/Articulo2_2009.pdf).
  - Diversidad de los Páramos: Dimensión Temporal histórica. En: Cuesta F, J. Sevink, L.D. Llambí, B. De Bièvre, J. Posner, Editores. *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos CONDESAN*. Pp 618 (7-41).
  - Lovejoy, T.E., R.O. Bierregaard, A.B. Rylands, J.R. Malcolm, C.E. Quintinela, L.E. Harper, K.S. Brown Jr., A.H. Powell, H.O.R. Shubart y M.B. Hays. (1986). Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. En: M. E. Soulé (ed.).
  - Luttmann. A., (2012) Gaps in the ecological network: Regional case study from Saxony. *TransEcoNet – Transnational Ecological Networks*.
  - Marshall N.A., P.A. Marshall, J. Tamelander, D. Obura, D. Malleret-King. and J.E. Cinner J.E. (2009). *A Framework for Social Adaptation to Climate Change; Sustaining Tropical Coastal Communities and Industries*. Gland, Switzerland, IUCN. v + 36 pp.
  - Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington. 155pp.
  - Moreno. A., & Ma. Prieto (2003): Evaluación de procedimientos para delimitar áreas de servicio de líneas de transporte urbano con sistemas de información geográfica. *Investigaciones Regionales*, núm. 2, primavera, Asociación Española de Ciencia Regional. pp. 85-102. En; <http://www.redalyc.org/pdf/289/28900204.pdf>
  - Morgan, G. M., H. Dowlatabadi, M. Henrion, D. Keith, R., Lempert, S. McBride, M. Small, T. Wilbanks, (2009) *Best Practice Approaches for Characterizing, Communicating and Incorporating Scientific Uncertainty in Climate Decision Making*. U.S Climate Change Science Program –CCSP 5.2- Pp 156
  - Myers, N., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca. y J. Kent. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
  - Navarro, G. (2011): *Clasificación de la vegetación de Bolivia*. Centro de Ecología. Difusión. Fundación Simón Patiño. Santa Cruz, Bolivia.
  - Nicholson, E., G.Mace, P. Armsworth, G. Atkinson, S. Buckle, T. Clements, R. Ewers, J. Fa, T. Gardner, J. Gibbons, R. Grenyer, R. Metcalfe, S. Mourato, M. Muuls, D. Osborn, D. Reuman, C. Watson, y E.J.Milner- Gulland. (2009): Priority research areas for ecosystem services in a changing world. *Journal of Applied Ecology* 46: Pp. 1139–1144.
  - Núñez, J., S., & C.S. Villacorta. (2006): Susceptibilidad a los Movimientos en Masa en la Cuenca Chancay y Lambayeque – (Lambayeque-

Cajamarca). XIII Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú. INGEMMET. Pp: 143-146

- Olson, D.M., y E. Dinerstein. (1998): The global 200: A representation approach to conserving the Earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology* . 12. Pp 502-515
- Peters, H.A. (2001). *Clidemia hirta* invasion at the Pasoh Forest Reserve: an unexpected plant invasion in an undisturbed tropical forest. *Biotropica* 33: Pp. 60-68.
- Pickett, S. T., & J. Thompspon. (1978). PATCH DYNAMICS AND THE DESIGN OF NATURE RESERVES. *Biol. Conserv.* (13) (1978)--© Applied Science Publishers Ltd, England. Pp. 27-37.
- Pierce, S.M., R.M. Cowling, A.T. Knight, A.T. Lombard, M. Rouget et al. (2005). Systematic conservation planning products for land-use planning: Interpretation for implementation. *Biological Conservation* 125 : 441-458.
- R. Urrutia and M. Vuille,(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*, vol. 114, no. D2, Article ID D02108.
- Rangel-Ch., J. O. (ed.) (2000): Colombia, diversidad biótica III, La región de vida paramuna. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Ciencias Naturales e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. Pp-902.
- 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 & F. Larrea (eds). *Formas de explotación y condiciones de reproducción de las economías campesinas*. Ediciones Tierra. Quito, Ecuador.
- Saaty, T.L. (1990): How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* 48: 9–26
- Saunders, D. A., R. J. Hobbs, and C. R. Margules. (1991). Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5: Pp. 18–32.
- Sebastián K. Herzog, Rodney Martínez, Peter M. Jørgensen, Holm Tiessen. (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), 348 pp. ISBN: 978-85-99875-05-6
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2009). Informe sobre la Conservación de las Especies Vegetales: Una revisión de los procesos realizados en la aplicación de la Estrategia Mundial para la Conservación de Plantas (GSPC). 48 pp. ISBN: 92-9225-123-6
- Serrano. M., F. (2009): Reserva de Biosfera Podocarpus –El Cóndor: Reflexiones del Primer Año de Gestión. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Seto, K., C. Woodcock, C. Song, X. Huan, J. Lu and R. Kaufmann, R. (2002): Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM. *International Journal of Remote Sensing*. 23(10): 1985–2004.
- Shuttleworth, S., G. Rowe, D. Lowe, L. Sherwell & J. Radley. (2010): Stratford-on-Avon District Ecological and Geological Assessment. Planning Policy. *Ecological and Geological Study – Main Towns and Villages*. En; <https://www.stratford.gov.uk/files/seealsodocs/11268/Stratford%20on%20Avon%20District%20Ecological%20and%20Geological%20Assessment%20-%202009-10.pdf> (última visita Junio 2014)

- Smyth, A.W., G. Altay, G. Deodatis, M. Erdik, G. Franco, P. Gulkan, H. Kunreuther, H. Lus, E. Mete, N. Seeber, and O. Yuzugullu, (2004): Probabilistic benefit-cost analysis for earthquake damage mitigation: Evaluating measures for apartment houses in Turkey. *Earthquake Spectra*, 20(1), 171-203.
- Steenmans C. & U. Pinborg. (2000): Anthropogenic Fragmentation of Potential Semi-natural and Natural Area. From Land Cover to Landscape Diversity in the European Union. En: <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/landscape/ch5.htm#5>
- Themeßl, M. J., A. Gobiet and A. Leuprecht A.: Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models, *Int. J. Climatol.*, 31, 1530–1544, doi:10.1002/joc.2168, 2011.
- Thornthwaite C.W., y J.R. Mather (1955). The water balance. *Climatology*. 8: 1-104.
- Tobón, C. (2009): Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización #4. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION, CONDESAN. Quito.
- Triviño Pérez, A., M. Vicedo Maestre y G. Soler Capdepón.(2007): Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la agencia Europea de Medio Ambiente. *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p 148-170, ISSN: 1578-5157.
- Turner WR, B.A.Bradley, L.D.Estes, D.G.Hole, M. Oppenheimert al. (2010): Climate change: helping nature survive the human response. *Conserv Lett* 3: 304-312. doi:10.1111/j.1755-263X.2010.00128.x.
- Vásconez, P. M., & R. Hofstade (2006): Los Páramos Ecuatorianos. *Botánica Económica de los Andes Centrales*. Ed: M.Morales R., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balsev. CONDESAN, UICN-Sur, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. PP: 91-109.
- Velástegui. A., (2010): Análisis Geoespacial y Estadístico Preliminar de la Actividad Minera en los Páramos del Ecuador. Memoria Técnica. Proyecto Páramo Andino PPA-EcoCiencia. Ed. Patricio Mena-EcoCiencia.
- Westenbroek, S.M., V.A. Kelson, W.R. Dripps, R.J. Hunt & K.R. Bradbury (2010): SWB- A Modified Thornthwaite-Mather Soil-Water-Balance code for estimating groundwater recharge: U.S Geological Survey Techniques and Methods 6-A31, PP. 60. En; <http://pubs.usgs.gov/tm/tm6-a31/tm6a31.pdf>.
- Zucchini, W. (2003): Applied Smoothing Techniques. Part 1: Kernel Density Estimation. P4. En; [http://isc.temple.edu/economics/Econ616/Kernel/ast\\_part1.pdf](http://isc.temple.edu/economics/Econ616/Kernel/ast_part1.pdf).



**CIIFEN**



**BID**

Banco Interamericano de Desarrollo



Ministerio  
del Ambiente



PERÚ  
Ministerio  
del Ambiente



INAMHI  
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA



<http://geoportal.ciifen.org/>



[info-ciifen@ciifen.org](mailto:info-ciifen@ciifen.org)



(593) 4 2514770 - Fax: (593) 4 2514771

Guayaquil - Ecuador