

## Geografía Física y Ecosistemas de los Andes Tropicales

Carmen Josse, Francisco Cuesta Camacho, Gonzalo Navarro, Víctor Barrena, María Teresa Becerra, Edersson Cabrera, Eulogio Chacón-Moreno, Wanderley Ferreira, Manuel Peralvo, José Saito, Antonio Tovar y Luis Germán Naranjo

Debido a su levantamiento relativamente reciente, los Andes septentrionales y centrales han desempeñado un papel fundamental en la diversificación de la biota de la porción tropical de América del Sur (ej., Heindl y Schuchmann 1998; Kattan *et al.* 2004). Diversos estudios centrados en la biogeografía andina (ej., Roy *et al.* 1997; García-Moreno *et al.* 1999) demostraron que la biota de montaña es producto de la combinación de dos importantes factores: (a) eventos geológicos con impactos a nivel local y regional en la estructura de la comunidad y los procesos ecológicos, y (b) cambios ecológicos recientes a nivel continental y global causados por los ciclos climáticos Croll-Milankovitch, que duran alrededor de 20 000 años y están determinados por las variaciones de la órbita terrestre alrededor del Sol.

Los Andes tropicales encabezan la lista mundial de puntos críticos (*hotspots*) de endemismo y de número de especies por unidad de área (Myers *et al.* 2000). Las cumbres nevadas, fuertes pendientes, cañones profundos y valles aislados de estas montañas han dado lugar a una gran diversidad de microhábitats, favoreciendo la especiación. Además, su localización entre la llanura amazónica, la Chiquitanía y el Gran Chaco al este y el Chocó, Tumbes-Guayaquil y los sistemas áridos del desierto de Sechura al oeste, determina las complejas dinámicas de intercambio de especies y aislamiento.

Este punto crítico de biodiversidad es identificado también como una de las áreas de los trópicos más severamente amenazadas (Mittermeier *et al.* 1999; Jetz *et al.* 2007). La prolongada historia de ocupación humana en la región andina ha transformado y reconfigurado muchos de sus paisajes. La ocupación humana ha contribuido a la domesticación de numerosas especies, convirtiendo esta región en uno de los 12 principales centros de origen de plantas cultivadas con fines alimentarios, medicinales e industriales a nivel mundial (Saavedra y Freese 1986). Durante el siglo pasado, la concentración de la población humana en los valles interandinos y valles de la cordillera andina ha transformado una parte importante de la cobertura vegetal natural, causando pérdidas en su riqueza biológica, especialmente en los Andes septentrionales (Wassenar *et al.* 2007; Bruinsma 2003).

Las amenazas sobre la biodiversidad de los Andes tropicales son muchas, y en los últimos años se han visto agravadas por los múltiples impactos del cambio climático. Dada la complejidad de estas dinámicas, hacer frente a los desafíos impuestos por el cambio global en la región requiere un conocimiento básico de sus principales características geográficas y sistemas ecológicos. En este capítulo aportamos un resumen.

### **Características Geográficas**

Los Andes tropicales son la región fría más larga y extensa de los trópicos, ya que cubren más de 1.5 millones de km<sup>2</sup>, desde 11°N a 23°S, ocupando un rango altitudinal desde alrededor de los 600-800 m hasta más de 6000 m sobre el nivel del mar. Además de las características propias de los Andes, como sus fuertes pendientes, profundas quebradas y amplios valles, una vasta llanura de montaña, el Altiplano, se extiende a alturas superiores a los 3500 m por gran parte del sur de Perú y oeste de Bolivia. Existe un gran número de cumbres nevadas en los Andes tropicales, la línea de árboles se sitúa entre los 3800-4500 m cerca del ecuador y por encima de los 4500 m desde 15°S hasta el límite sur de la región.

En comparación con los Andes centrales, los Andes septentrionales son relativamente pequeños, extendiéndose desde Venezuela hasta el norte de Perú. En Venezuela, los Andes forman dos ramas que se originan en el “Nudo de Pamplona”, en territorio colombiano. La rama del norte forma la Sierra de Perijá. La otra rama es el macizo principal de la cordillera, comúnmente llamado “Cordillera de Mérida”. La cuenca del lago Maracaibo separa ambas cordilleras. En Colombia, los Andes están divididos en tres cadenas principales, que se originan en un macizo localizado a 2°N, y que están separadas por dos valles que van de sur a norte: el valle del Magdalena separa las Cordilleras Oriental y Central, y el valle del Cauca separa la Central de la Occidental. Esta última cadena montañosa es relativamente poco elevada y carece de cumbres nevadas. La Cordillera Central es la más alta de las tres ramas y presenta varios volcanes activos, algunos de ellos parcialmente cubiertos de nieve (Fjeldså y Krabbe 1990).

Hacia el sur del macizo colombiano (Nudo de Los Pastos) y atravesando Ecuador hasta 3°S, los Andes forman dos cadenas montañosas paralelas, las cordilleras Oriental y Occidental, que corren de norte a sur formando una estrecha franja (150-180 km de anchura) de unos 600 km de largo (Clapperton 1993). Estas dos ramas de los Andes ecuatorianos no están completamente definidas como cadenas separadas, pero dan lugar a una serie de valles interandinos por encima de los 2000 m. Al sur del Valle Paute-Cuenca-Girón, los Andes septentrionales son menos elevados. Los picos más altos se encuentran al sureste de Cuenca y alcanzan los 4130 m, pero el resto de las áreas está por debajo de los 4000 m.

En el sur de Ecuador y el norte de Perú, los Andes forman un intrincado mosaico de sistemas montañosos, algunos de ellos orientados de norte a sur y otros de este a oeste. En este punto, los Andes septentrionales no solo se vuelven menos elevados, sino que también pierden humedad

alrededor de la confluencia del río Chinchipe con los ríos Marañón y Huancabamba (Josse *et al.* 2009a). El paso de Porculla en la depresión de Huancabamba (6°S, 2145 m) define el límite entre las porciones septentrional y central de los Andes tropicales. Al sur, en el departamento de Cajamarca de Perú, el valle del Marañón separa la Cordillera Central de la Occidental. La Cordillera Central es continua pero menos elevada que la Cordillera Occidental, coronada por picos nevados que superan los 6000 m, y separados por varios macizos discontinuos (cordilleras Blanca, Huayhuash y Raura).

En el departamento peruano de Junín, las dos cordilleras convergen alrededor del lago Junín. Desde este punto hacia el sur, los Andes son continuos y elevados, ya que no hay un solo paso de montaña por debajo de los 4000 m. Desde Cusco hasta el centro de Bolivia, los Andes orientales forman una sola cadena montañosa únicamente interrumpida por dos profundos cañones en La Paz (Josse *et al.* 2009a). Al oeste de estos últimos, el altiplano peruano-boliviano es una zona de extensas planicies con drenaje interno, que contiene grandes complejos lacustres. Toda la región estuvo históricamente cubierta por un lago gigante que tras varios ciclos de inundaciones y posteriores períodos glaciales, se encuentra actualmente fragmentado en varios lagos (Servant y Fontes 1978; Ballivián y Risacher 1981; Argollo y Mourguiart 1995). En el norte, el lago Titicaca ocupa 8300 km<sup>2</sup> y drena hacia el sur en el salobre lago Poopó. En el límite sur del Altiplano, los lagos Uyuni y Coipasa, también salobres, se inundan cada año durante la estación lluviosa. Estos dos lagos cubren 10 000 y 2220 km<sup>2</sup> respectivamente. La Cordillera Real y los Andes centrales alcanzan su límite sur en el complejo Tunari-Cochabamba (Fjeldså y Krabbe 1990).

## Geografía Vegetal

Los Andes septentrionales ocupan aproximadamente 490 000 km<sup>2</sup>, desde 1°N en la Sierra Nevada del macizo de Santa Marta, en el norte de Colombia, hasta 6°S en el paso de Porculla de Perú (Van der Hammen 1974, Simpson 1975). Forman una extensa región fitogeográfica dividida en dos subregiones, los llamados Páramos y los ecosistemas de bosques norandinos (Josse *et al.* 2009a; Figura 10.1). Estos últimos exhiben una mezcla de varios elementos florísticos de las tierras bajas circundantes, y variaciones regionales en la composición de especies de las bandas altitudinales montañas (superiores e inferiores) y subandinas hacia el Caribe, el Chocó, el Orinoco y el Amazonas.

La vegetación de los Andes septentrionales se puede agrupar en bosques húmedos montanos, matorrales estacionales y xerofíticos y pastizales de páramo, incluyendo los ecotonos arbustivos que colindan con el bosque hacia abajo y el superpáramo hacia arriba. Los bosques montanos cubren gran parte de la región, mientras que los páramos son formaciones a modo de islas alrededor de los picos más elevados. El matorral está restringido a la porción inferior de los valles interandinos, siguiendo el curso de los ríos principales, como el Magdalena y el Guayllabamba, y las pequeñas quebradas y valles profundos de toda la región (Josse *et al.* 2009a). Los páramos ocupan la sección inferior del cinturón altoandino y forman comunidades vegetales definidas; estos ecosistemas albergan la flora de montaña más diversa del mundo (Smith y Cleef 1988) y

presentan altos niveles de endemismo tanto a nivel de especies como de géneros (Sklenár y Ramsay 2001). Los bosques de los Andes septentrionales se encuentran entre los 3000-3300 m y los 1500 m sobre el nivel de mar, con bosques subandinos más abajo hasta unos 700 m de altitud.

Las características fisiográficas han creado una barrera natural entre los Andes septentrionales y los centrales, expresada en las diferencias entre la composición de especies vegetales y animales de ambas regiones (Duellman 1979, 1999; Duellman y Wild 1993; Weigend 2002). El área entre el paso de Porculla y el comienzo de la Cordillera Negra en los departamentos peruanos de La Libertad y Ancash (8°30'S) es considerada una zona de transición entre estas dos subdivisiones de los Andes tropicales, llamada "Jalca" por algunos autores (Simpson y Todzia 1990; Gentry 1982). Esta zona biogeográficamente definida se encuentra en los altos Andes del norte de Perú al este del río Marañón (Weigend 2002, 2004; Sánchez-Vega y Dillon 2006).

El área norte del paso de Porculla hasta el valle de Girón-Paute a 3 °S en el sur de Ecuador constituye otra zona de transición dentro de los Andes septentrionales; esta región está claramente delineada por el valle del Paute Cuenca-Girón en un área donde los Andes disminuyen su magnitud y forman un complejo patrón de crestas y confluencias que van tanto de este a oeste como de norte a sur (Ulloa y Jørgensen 1993; Jørgensen *et al.* 1995). La diferencia fundamental entre la porción norte y sur de los Andes septentrionales es el activo vulcanismo que ha estado presente en el norte durante los últimos 2.5 millones de años, y que ha provocado un profundo impacto en la topografía y los suelos.

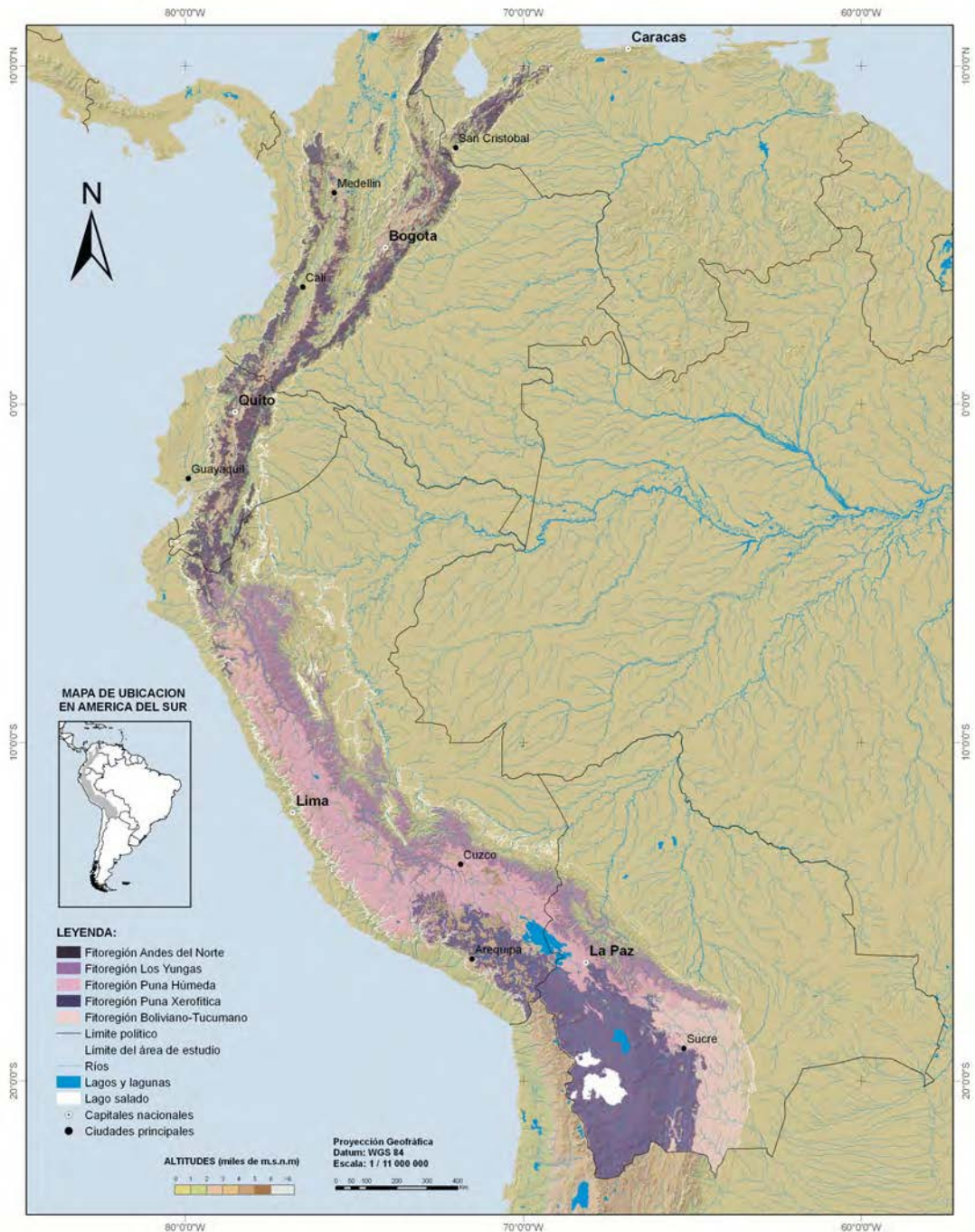
Los Andes centrales abarcan cuatro fitoregiones: Yungas, puna húmeda, puna xerofítica y región Boliviano-Tucumana (Josse *et al.* 2009a). Los Yungas se encuentran en el lado este de los Andes centrales siguiendo la vertiente este del río Marañón en Perú hasta el centro de Bolivia, entre la puna húmeda del oeste y las tierras bajas del Amazonas al este (Cabrera y Willink 1973). Desde 6° a 13°S, los Yungas están asociados a un sistema montañoso subandino discontinuo que hace que los ríos descendan desde la Cordillera Oriental en dirección norte, formando amplios valles paralelos a la cordillera, antes de continuar hacia la llanura amazónica (Josse *et al.* 2009a). Las condiciones ecológicas en los picos más altos del oriente de este cinturón subandino poco elevado son muy peculiares; las especies y ecosistemas andinos y amazónicos forman mosaicos espaciales en los valles aluviales por encima de los 1000 m, rodeados de pendientes cubiertas por bosques montanos. El rango altitudinal ocupado por los Yungas es muy extenso (500-4000 m). Debido a las fuertes pendientes de estas montañas, es posible encontrar gradientes altitudinales de tres o cuatro mil metros en una distancia horizontal de solo 50-100 km. Estos bosques están distribuidos en dos bandas altitudinales que recorren las laderas orientales de los Andes: el cinturón subandino por debajo de los 2000 m de altura y el cinturón cordillerano propiamente dicho, que se extiende por encima de los 2000 m e incluye tres subdivisiones ecológicas: la montaña, la de alta montaña y la porción inferior de la zona altoandina.

La puna húmeda abarca desde el norte de Perú hasta la porción central de la Cordillera Oriental de Bolivia, incluyendo la cuenca altoandina del lago Titicaca. Esta cuenca casi plana fue rellenada varias veces durante el Holoceno por sedimentos de origen fluvio-lacustre y fluvio-glacial. Esta unidad biogeográfica también ocupa un extenso rango altitudinal, desde los 2000 m en los valles interandinos hasta más de 6000 m en las altas cumbres de la cordillera. La mayor parte de la vegetación original de estos cinturones de alta montaña y altoandinos de la puna húmeda probablemente estuvo formada por bosques de *Polylepis* spp., dominados en cada macizo montañoso por especies endémicas (Josse *et al.* 2009a). Sin embargo, los usos ancestrales del suelo de los pobladores humanos de este paisaje han reducido de manera significativa estos bosques, reemplazándolos por pastizales y matorrales, que también albergan una importante biodiversidad. En las depresiones topográficas, así como en los lagos circundantes y otros cursos de agua, existen numerosos humedales y turberas, algunos de ellos de considerables dimensiones.

La puna xerofítica está situada principalmente en la porción centro-sur del occidente de Bolivia y el noroeste de Argentina, y se encuentra dispersa en áreas adyacentes del suroeste de Perú y noreste de Chile. Como las unidades biogeográficas anteriores, esta formación ocupa un amplio cinturón altitudinal, de aproximadamente 2000 m en los altos valles orientales (también llamados pre-puna) hasta los 6000 m en las altas cumbres nevadas y volcanes de la cordillera occidental. El Altiplano andino, una de las mayores planicies de montaña del mundo, es parte de la puna xerofítica. Esta vasta planicie tiene una altitud media de 3650 m y está localizada en el sector más amplio de la cadena andina. La vegetación de la puna xerofítica es altamente diversa y forma varios ecosistemas únicos, como los salares, que constituyen el mayor ecosistema salino de montaña de la Tierra.

La provincia biogeográfica Boliviano-Tucumana se extiende más allá de los Yungas hasta el sur a lo largo de las laderas de los cerros orientales de la cordillera andina, desde el centro de Bolivia hasta el noroeste de Argentina entre los 600 m y casi los 4000 m de altura. Limita hacia el oeste con la puna xerofítica y hacia el este con la Chiquitanía boliviana y el Gran Chaco. La mayor parte de la provincia Boliviano-Tucumana ocupa la franja subandina por debajo de los 2000 m de altura. Aunque la vegetación de esta provincia comparte varios elementos con las provincias florísticas vecinas, también presenta un gran número de endemismos (Josse *et al.* 2009a).





**Figura 10.1.** Mapa de regiones florísticas de los Andes tropicales (Josse *et al.* 2009a). Este mapa no representa información oficial de ninguno de los cinco países, sino que constituye un ejercicio de información, integración y análisis.

## Ecosistemas de los Andes Tropicales

Se ha comprobado que la clasificación de la riqueza de los ecosistemas de Andes tropicales es una tarea difícil, especialmente por los distintos enfoques adoptados por los investigadores e instituciones de los diferentes países y por la ausencia de un esfuerzo coherente para unificar criterios de clasificación. Josse *et al.* (2009a, b) realizaron el intento más reciente de enfrentar este problema y elaboraron un mapa de los ecosistemas de toda la región ([http://www.comunidadandina.org/public/libro\\_92.htm](http://www.comunidadandina.org/public/libro_92.htm)), integrando los anteriores mapas de los distintos países (Navarro y Ferreira 2007 para Bolivia; Rodríguez *et al.* 2004 para Colombia; Peralvo *et al.* 2006 para Ecuador; Josse *et al.* 2007 e INRENA 2000 para Perú; Ataroff y Sarmiento 2003 para Venezuela).

La homologación temática de la información cartográfica llevada a cabo por estos autores se basó en la clasificación de los sistemas ecológicos del Hemisferio Occidental de NatureServe (Comer *et al.* 2003; Josse *et al.* 2003) (<http://www.natureserve.org/infonatura>). Según esta clasificación, un sistema ecológico terrestre se define como un grupo de comunidades vegetales a nivel local que coexisten en un paisaje determinado, compartiendo así procesos ecológicos (ej., ciclos de incendios, inundaciones), sustratos (ej., suelos superficiales, rocas madre) y/o gradientes ambientales (ej., bioclima, altitud, patrones hidrológicos) (Josse *et al.* 2003).

## Marco de Clasificación

Históricamente, los ecosistemas terrestres se han definido de muchas maneras. Algunos enfoques se centran en componentes como la vegetación, ya sea la “vegetación existente” – la que se observa en el terreno (ej., Rodwell *et al.* 2002)- o la “vegetación potencial” – donde las secuencias de sucesión y la productividad potencial de la biomasa de un lugar están indicadas por la presencia de determinadas especies vegetales (Daubenmire 1966). Otros enfoques se centran directamente en los componentes abióticos: las características físicas de los paisajes que definen patrones recurrentes ecológicamente relevantes (ej., Rowe y Barnes 1994; Bailey 1995; Racey *et al.* 1996; USDA<sup>1</sup> Forest Service 2006).

La clasificación de los sistemas ecológicos de NatureServe toma prestados elementos de cada uno de estos enfoques para describir unidades integradas de conjuntos de vegetación recurrentes que dependen de las características físicas y procesos dinámicos repetidos a escala local. Este enfoque no se diferencia de muchos esfuerzos anteriormente llevados a cabo para caracterizar los tipos de comunidades naturales (ej., Whittaker 1962, 1975). Mientras las clasificaciones de vegetación proporcionan una jerarquía conceptual/taxonómica para organizar la clasificación de las unidades de vegetación existentes, los sistemas ecológicos terrestres describen la coexistencia habitual en el terreno de unidades de vegetación a escala local. Ambas formas de clasificación sirven como herramientas prácticas para el mapeo y la evaluación ecológicos.

---

<sup>1</sup> United States Department of Agriculture

El objetivo de la clasificación de los sistemas ecológicos y sus mapas derivados es proporcionar a los administradores de recursos naturales información exhaustiva sobre los ecosistemas a escala local. La idea de interrelacionar las comunidades de vegetación existentes en base a la similitud de su entorno biofísico, gradientes ambientales y/o procesos dinámicos, tiende a producir interpretaciones más realistas de un determinado paisaje que otros muchos tipos de clasificación de la vegetación. La estructura modular de la clasificación de sistemas ecológicos terrestres de NatureServe es el resultado de la hipótesis fundamental de que las comunidades vegetales tienden a coexistir en un determinado paisaje y que el paisaje puede caracterizarse por combinaciones particulares de factores ambientales, con diferentes clasificadores de diagnóstico en función de la geografía.

La compleja topografía y los gradientes altitudinales y latitudinales de los Andes tropicales dan como resultado una significativa heterogeneidad climática que debe ser tomada en cuenta en la clasificación de los numerosos ecosistemas de la región. Con esta finalidad, Josse *et al.* (2009a) siguieron el sistema de clasificación bioclimática desarrollado por Rivas-Martínez *et al.* (1999), basado en análisis comparativos de los datos primarios procedentes de estaciones meteorológicas y los tipos de vegetación presentes en una determinada zona. Este protocolo permitió la homologación de las clasificaciones existentes en los distintos países, así como la agrupación de los ecosistemas en un nivel jerárquico más elevado (macrogrupos). La composición florística es otro criterio clave en este enfoque de clasificación, por tanto sistemas con similitudes en la estructura de la vegetación, valores ambientales y procesos ecológicos similares, se diferencian en base a su composición.

## Resultados de la Clasificación y Discusión

Josse *et al.* (2009b) mapearon 56 macro grupos y 133 ecosistemas de los Andes tropicales (Cuadro 10.1; las descripciones de cada tipo pueden encontrarse en: <http://www.natureserve.org/publications/pub/EcosistemasAndesNorteYCentro.pdf>). Muchos de los ecosistemas identificados tienen una distribución restringida/limitada; por ejemplo, 102 ecosistemas tienen extensiones de menos de 1 millón de hectáreas, y solo 31 (23%) presentan una amplia distribución. Esta asimetría en la distribución espacial de los ecosistemas refleja el alto nivel de diversidad beta (recambio geográfico de especies) que caracteriza a la región andina.

Tanto la región florística de los Andes septentrionales como la región Boliviano-Tucumana reúnen el mayor número de bandas altitudinales de la región, ya que se extienden desde la zona térmica tropical inferior (~ 700 m) hasta la zona criotropical (>4500 m) en los Andes septentrionales, y desde la zona térmica tropical hasta la supratropical en la región Boliviano-Tucumana. Esto explica por qué estas dos regiones fitogeográficas presentan el mayor número de ecosistemas y macrogrupos (Cuadro 10.2). El mayor número de ecosistemas boscosos (diversidad beta) se encuentra en la región Boliviano-Tucumana y el mayor número de ecosistemas no forestales (praderas, salares, tierras secas de altura) se encuentran en la puna xerofítica y en la puna húmeda.



Estas dos últimas provincias también presentan varios ecosistemas de distribución restringida, lo que explica sus elevados niveles de endemismo.

Los patrones de distribución de los macrogrupos entre las áreas fitogeográficas muestran que tanto la puna xerofítica como la puna húmeda presentan los ecosistemas más ampliamente distribuidos de los Andes tropicales. Esto es debido, en gran medida, a la extensión del Altiplano entre Perú y Bolivia en la porción más ancha de la cordillera andina (450 km en el sur de Bolivia). Los Andes septentrionales, por otra parte, presentan el mayor número de macrogrupos con menos de 2 millones de hectáreas, a excepción del bosque húmedo subandino y los bosques húmedos montanos. La conocida diversidad de ecosistemas de esta región fitogeográfica se explica así por el alto recambio de las condiciones ambientales a lo largo de cortas distancias.

Según Josse *et al.* (2009a), el 78% del área de los Andes tropicales todavía mantiene una cobertura vegetal natural. La distribución de las áreas transformadas por la intervención humana es asimétrica y está muy concentrada en los Andes septentrionales (Cuadro 10.3), donde las áreas antropogénicas (236 689 km<sup>2</sup>) superan en extensión a la vegetación natural (197 635 km<sup>2</sup>). Sin embargo, la identificación de los ecosistemas “naturales” en esta compleja región es todavía materia de debate entre los especialistas, sobre todo la clasificación de los pastizales altoandinos de Perú y Bolivia, que a pesar de estar fundamentalmente compuestos por especies nativas, son paisajes culturales que han sido manipulados durante cientos de años. El desarrollo de nuevos métodos que utilizan datos de sensores ópticos remotos de alta resolución, junto con la verificación en el terreno, deberían considerarse una prioridad fundamental de la investigación para superar este problema y reducir los errores de omisión al clasificar las áreas de puna degradada como sistemas naturales.

A pesar de la discusión sin resolver sobre qué sistema de clasificación debería usarse para representar el enorme grado de biodiversidad de los Andes tropicales a nivel de ecosistema, este trabajo presenta un planteamiento sólido para la realización de un mapa integrado de los ecosistemas regionales de las cinco naciones andinas. El mapa toma en cuenta el esfuerzo de cada país y crea un mapa integrado y coherente que se utilizará para planificar la conservación a nivel regional. Además, el mapa de ecosistemas presentado constituye una base para producir otros análisis del cambio climático así como una referencia para el desarrollo de análisis de deforestación y otras investigaciones relacionadas en los Andes tropicales.

Este ejercicio permitió el análisis de la información existente sobre los ecosistemas y la vegetación a nivel nacional. Se identificó la necesidad de integrar los enfoques metodológicos para representar con mayor precisión el estado de los ecosistemas a escala regional, ya que los mapas de los cinco países fueron desarrollados en base a información de calidad y de interpretación variable, particularmente en lo referente a la vegetación natural remanente.

**Cuadro 10.1a.** Lista de sistemas ecológicos por región florística – **Andes septentrionales**

<b>Sistema Ecológico</b>	
Arbustal montano xérico interandino de los Andes del Norte	Bosque montano bajo pluviestacional subhúmedo de los Andes del Norte
Vegetación saxícola montana interandina de los Andes del Norte	Bosque piemontano pluviestacional subhúmedo de los Andes del Norte
Arbustal saxícola montano de las cordilleras subandinas orientales	Bosque montano bajo pluvial de los Andes del Norte
Arbustal y herbazal sobre mesetas subandinas orientales	Bosque montano bajo pluviestacional húmedo de los Andes del Norte
Arbustal montano de los Andes del Norte	Bosque piemontano pluvial de los Andes del Norte
Arbustal montano bajo xérico interandino de los Andes del Norte	Bosque montano bajo xérico de los Andes del Norte
Bosque altimontano siempreverde de los Andes del Norte	Bosque piemontano xérico de los Andes del Norte
Bosque de <i>Polylepis</i> altimontano pluvial de los Andes del Norte	Bofedales altimontanos paramunos
Bosques bajos y arbustales altoandinos paramunos	Bofedales altoandinos paramunos (Turberas)
Bosque altimontano de las cordilleras subandinas orientales	Arbustales bajos y matorrales altoandinos paramunos
Bosque montano bajo pluvial de la cordillera del Cóndor	Arbustales y frailejonales altimontanos paramunos
Bosque montano pluvial de las cordilleras subandinas orientales	Matorral edafoxerófilo en cojín altoandino paramuno
Bosque pluvial sobre mesetas de arenisca de la Cordillera del Cóndor	Pajonal altimontano y montano paramuno
Bosque montano pluviestacional de los Andes del Norte	Pajonal arbustivo altimontano paramuno
Bosque montano pluvial de los Andes del Norte	Pajonal edafoxerófilo altimontano paramuno
	Sabana arbolada montano baja de los Andes del Norte
	Vegetación geliturbada y edafoxerófila subnival paramuna

**Cuadro 10.1b.** Lista de sistemas ecológicos por región florística – **Boliviano-Tucumana**

<b>Sistema Ecológico</b>	
Matorral xérico montano Boliviano-Tucumano	Bosque subandino Boliviano-Tucumano de transición con los Yungas
Bosque altimontano pluviestacional Boliviano-Tucumano	Bosque subhúmedo Boliviano-Tucumano del subandino inferior
Bosque freatófilo del piso montano xerofítico	Bosque subhúmedo Boliviano-Tucumano del subandino superior
Bosque freatófilo subandino interandino Boliviano-Tucumano	Bosques bajos edafoxerófilos montanos y basimontanos Boliviano-Tucumano
Bosque ribereño subandino interandino Boliviano-Tucumano	Bosque subandino húmedo Boliviano-Tucumano
Vegetación ribereña del piso montano xerofítico	Bosque interandino subandino xerofítico Boliviano-Tucumano
Bosque montano Boliviano-Tucumano de Pino de Monte	Matorral altimontano secundario Boliviano-Tucumano
Bosque montano subhúmedo Boliviano-Tucumano	Pajonal altimontano Boliviano-Tucumano
Bosque subhúmedo ribereño montano Boliviano-Tucumano	Matorral pluviestacional montano Boliviano-Tucumano
Bosque húmedo montano Boliviano-Tucumano de Aliso	Pajonal pluviestacional montano Boliviano-Tucumano
Bosque montano xérico interandino Boliviano-Tucumano	

**Cuadro 10.1c.** Lista de sistemas ecológicos por región florística – Yungas

<b>Sistema Ecológico</b>	
Matorral xérico interandino de Yungas	Bosque montano pluvial de Yungas
Vegetación saxícola montana de Yungas	Bosque montano pluviestacional humedo de Yungas
Bosque altimontano pluvial de Yungas	Bosque y arbustal montano xérico interandino de Yungas
Bosque altimontano pluviestacional de Yungas	Bosque basimontano pluviestacional subhúmedo de Yungas del Norte
Bosque de <i>Polylepis</i> altimontano pluvial de Yungas	Bosque basimontano pluviestacional subhúmedo de Yungas del Sur
Bosque de <i>Polylepis</i> altimontano pluviestacional de Yungas	Bosque bajo de crestas pluviestacional de Yungas
Bosque de <i>Polylepis</i> altoandino pluvial de Yungas	Bosque basimontano pluviestacional humedo de Yungas
Bosque montano pluviestacional subhúmedo de Yungas	Bosque y palmar

**Cuadro 10.1d.** Lista de sistemas ecológicos por región florística – Puna húmeda

<b>Sistema Ecológico</b>	
Arbustales montanos xéricos interandinos de la Puna Húmeda	Rosetales desérticos basimontanos
Bosques y arbustales montanos xéricos interandinos de la Puna Húmeda	Bofedales altoandinos de la Puna Húmeda
Matorrales y herbazales xéricos internadinos de la Puna Húmeda	Pajonal higrofítico altimontano de la Puna Húmeda
Bosques bajos y arbustales altimontanos de la Puna Húmeda	Pajonal higrofítico altoandino de la Puna Húmeda
Bosque bajo altoandino de la Puna Húmeda	Vegetación acuática y palustre altoandina de la Puna Húmeda
Cardonales desérticos del piedemonte occidental de la Puna Húmeda	Pajonales y matorrales altimontanos de la Puna Húmeda
Cardonales y matorrales montanos desérticos occidentales de la Puna Húmeda	Matorral edafoxerófilo en cojín altoandino de la Puna Húmeda
Matorrales desérticos montanos noroccidentales	Pajonal altoandino de la Puna Húmeda
	Vegetación saxícola altoandina de la Puna Húmeda
	Vegetación geliturbada subnival de la Puna Húmeda

**Cuadro 10.1e.** Lista de sistemas ecológicos por región florística – Puna xerofítica

<b>Sistema Ecológico</b>	
Bosque bajo altimontano de la Puna Xerofítica central	Matorral altimontano de la Puna Xerofítica noroccidental
Bosque bajo xerofítico interandino de la Prepuna superior oriental	Matorral altimontano y altoandino psamófilo de la Puna Xerofítica
Bosque bajo altoandino de la Puna Xerofítica occidental	Matorral higrófilo altoandino de la Puna Xerofítica ("tholares")
Bosque bajo altoandino de la Puna Xerofítica oriental	Matorrales y herbazales altimontanos y altoandinos de la Puna Xerofítica oriental
Cardonal altoandino de la Puna Xerofítica occidental	
Matorral altimontano de la Puna Xerofítica desértica	Pajonales y matorrales altoandinos de la Puna Xerofítica norte
Cardonales desérticos montanos suroccidentales	
Matorrales desérticos montanos suroccidentales	Pajonales y matorrales altoandinos de la Puna Xerofítica suroccidental
Bofedales altoandinos de la Puna Xerofítica	Vegetación de los salares altoandinos de la Puna
Pajonal higrófitico altoandino de la Puna Xerofítica	Vegetación abierta geliturbada altoandina de la Puna Xerofítica septentrional y oriental
Vegetación acuática y palustre altoandina de la Puna Xerofítica	Vegetación abierta geliturbada altoandina de la Puna Xerofítica suroccidental
Arbustal xerofítico interandino de la Prepuna inferior oriental	Glaciares
Arbustal espinoso altimontano de la Puna Xerofítica	

**Cuadro 10.1f.** Lista de sistemas ecológicos por región florística – **Tierras bajas de transición o adyacentes**

<b>Sistema Ecológico</b>	
Bosque del piedemonte del oeste de la Amazonia	Bosque transicional preandino del Chaco noroccidental
Bosque del piedemonte del suroeste de la Amazonia	Bosques freatófiticos del Chaco (Algarrobales)
Bosque inundable de la llanura aluvial de ríos de aguas blancas del suroeste de Amazonia	Bosque subhúmedo semidecíduo de la Chiquitania sobre suelos bien drenados
Bosque siempreverde estacional subandino del suroeste de Amazonia	Bosque pluvial premontano del Choco-Darien
Bosque siempreverde subandino del oeste de Amazonia	Bosque transicional preandino de los Llanos del Orinoco
Bosque siempreverde subandino del suroeste de Amazonia	Bosque Tumbesino deciduo de tierras bajas
Bosque húmedo de tierras bajas y submontano del suroccidente Caribeño	Bosque Tumbesino deciduo espinoso
	Bosque Tumbesino deciduo premontano

**Cuadro 10.2.** Ecosistemas, macrogrupos y regiones florísticas incluidos en el mapa de los Andes septentrionales y centrales (Josse *et al.* 2009b).

<b>Región florística</b>	<b>Ecosistemas</b>	<b>Macrogrupos</b>
Andes Septentrionales	32	15
Yungas	22	11
Puna húmeda	18	8
Puna xerofítica	19	8
Boliviano-Tucumana	22	11
<b>Total</b>	<b>113</b>	<b>53</b>

**Cuadro 10.3.** Extensión de las áreas naturales y antropogénicas en los Andes septentrionales y centrales (Josse *et al.* 2009b).

<b>Región</b>	<b>Áreas antropogénicas (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Vegetación natural (km<sup>2</sup>)</b>
Andes septentrionales	236 689	197 365
Andes centrales	96 773	983 492
<b>Total</b>	<b>333 422</b>	<b>1 181 127</b>



## Agradecimientos

Este capítulo es el resultado del trabajo en equipo llevado a cabo por la Secretaría General de la Comunidad Andina, el Programa Regional ECOBONA, el Proyecto Páramo Andino de CONDESAN, el Programa BioAndes, NatureServe, Ecociencia, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, el Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas-Universidad de Los Andes (ICAE-ULA), el Laboratorio de Teledetección-Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), el Centro de Datos para la Conservación-Universidad Nacional Agraria La Molina (CDC-UNALM) y RUMBOL SRL.

## Literatura Citada

- Argollo, J. y P. H. Mourguiart (eds.). 1995. *Climas cuaternarios en América del Sur*. La Paz: ORSTOM-UMSA.
- Ataroff, M. y L. Sarmiento. 2003. *Diversidad en los Andes de Venezuela. I. Mapa de unidades ecológicas del estado Mérida*. CD-ROM. Mérida: Ediciones Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE) y Universidad de Los Andes.
- Bailey, R. G. 1995. *Description of the ecoregions of the United States. Miscellaneous Publication No. 1391* (revisada). Washington, DC: United States Department of Agriculture Forest Service.
- Ballivian, O. y F. Risacher. 1981. *Los salares del altiplano boliviano. Métodos de estudio y estimación económica*. Paris: ORSTOM y Universidad Mayor de San Andrés. 246 pp.
- Clapperton, C. M. 1993. *Quaternary geology and geomorphology of South America*. Amsterdam: Elsevier – Academic Press.
- Bruinsma, J. (ed.). 2003. *World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective*. London: Earthscan. 432 pp.
- Cabrera, A. y A. Willink. 1973. *Biogeografía de América Latina*. Washington, DC: Organization of American States, Regional Program of Scientific and Technological Development. 120 pp.
- Comer, P., D. Faber-Langendoen, R. Evans, S. Gawler, C. Josse, G. Kittel, S. Menard, M. Pyne, M. Reid, K. Schulz, K. Snow y J. Teague. 2003. *Ecological systems of the United States: a working classification of U.S. terrestrial systems*. Arlington, VA: NatureServe.
- Daubenmire, R. 1966. Vegetation: identification of typl communities. *Science* 151:291-298.
- Duellman, W. E. 1979. The herpetofauna of the Andes: patterns of distribution, origin, differentiation, and present communities. Pp. 371-459 en *The South American herpetofauna: its origin, evolution, and dispersal*, editado por W. E. Duellman. Monograph of the Museum of Natural History, the University of Kansas No. 7.
- Duellman, W. E. 1999. Distribution patterns of amphibians in South America. Pp. 255-328 en *Patterns of distribution of amphibians: a global perspective*, editado por W. E. Duellman. Baltimore MD: Johns Hopkins University Press.
- Duellman, W. F. y E. Wild. 1993. Anuran amphibians from the Cordillera Huancabamba, northern Peru: systematics, ecology, and biogeography. *Occasional Papers of the Museum of Natural History, the University of Kansas* 57:1-53.

- Fjeldså, J. y N. Krabbe. 1990. *Birds of the high Andes*. Svendborg, Denmark: Apollo Books.
- García-Moreno, J., P. Arctander y J. Fjeldså. 1999. Strong diversification at the treeline among *Metallura* hummingbirds. *Auk* 116:702-711.
- Gentry, A. 1982. Neotropical floristic diversity: phytogeographical connections between Central and South America, Pleistocene climatic fluctuations, or and accident of the Andean orogeny? *Annals of the Missouri Botanical Garden* 69:557-593.
- Heindl, M. y K.-L. Schuchmann. 1998. Biogeography, geographical variation and taxonomy of the Andean genus *Metallura*, Gould, 1847. *Journal für Ornithologie* 139:425-473.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales del Perú. 2000. *Mapa forestal del Perú*. Lima: Instituto Nacional de Recursos Naturales del Perú.
- Jetz, W., D. S. Wilcove y A. P. Dobson. 2007. Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. *PLoS Biology* 5:1211-1219.
- Jørgensen, P. M., C. Ulloa-Ulloa, J. Madsen y R. Valencia. 1995. A floristic analysis of the high Andes of Ecuador. Pp. 221-237 en *Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests*, editado por S. P. Churchill, H. Balslev, E. Forero y L. Luteyn. New York: The New York Botanical Garden.
- Josse, C., F. Cuesta, G. Navarro, V. Barrena, E. Cabrera, E. Chacón-Moreno, W. Ferreira, M. Peralvo, J. Saito y A. Tovar. 2009a. *Ecosistemas de los Andes del norte y centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH, LTAUNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM y RUMBOL SRL.
- Josse, C., F. Cuesta, G. Navarro, V. Barrena, E. Cabrera, E. Chacón-Moreno, W. Ferreira, M. Peralvo, J. Saito y A. Tovar. 2009b. *Mapa de ecosistemas de los Andes del norte y centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH, LTAUNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM y RUMBOL SRL.
- Josse, C., G. Navarro, P. Comer, R. Evans, D. Faber-Langendoen, M. Fellows, G. Kittel, S. Menard, M. Pyne, M. Reid, K Schulz, K. Snow y J. Teague. 2003. *Ecological systems of Latin America and the Caribbean: a working classification of terrestrial systems*. Arlington VA: NatureServe.
- Josse, C., G. Navarro, F. Encarnación, A. Tovar, P. Comer, W. Ferreira, F. Rodríguez, J. Saito, J. Sanjurjo, J. Dyson, E. Rubin de Celis, R. Zárate, J. Chang, M. Ahuite, C. Vargas, F. Paredes, W. Castro, J. Maco y F. Reátegui. 2007. *Sistemas ecológicos de la cuenca amazónica de Perú y Bolivia*. Arlington VA: NatureServe.
- Kattan, G. H., P. Franco, V. Rojas y G. Morales. 2004. Biological diversification in a complex region: a spatial analysis of faunistic diversity and biogeography of the Andes of Colombia. *Journal of Biogeography* 31:1829-1839.
- Mittermeier, R. A., P. Robles Gil, M. Hoffmann, J. Pilgrim, T. Brooks, C. G. Mittermeier, J. Lamoreux y G. A. B. da Fonseca. 2004. *Hotspots revisited*. Ciudad de México: CEMEX.
- 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. y W. Ferreira. 2007. *Mapa de vegetación de Bolivia a escala 1:250.000*. Ed. digital. Santa Cruz de la Sierra: The Nature Conservancy.
- Peralvo, M. F., F. Cuesta, F. Baquero, C. Josse, L. Grijalva, G. Riofrío y K. Beltrán. 2006. Mapa de sistemas ecológicos del Ecuador continental. Anexo 1 (20 pp.) en *Identificación de vacíos y prioridades de conservación para la biodiversidad terrestre en el Ecuador continental*, editado por F. Cuesta-Camacho, M. F. Peralvo, A. Ganzenmüller, M. Sáenz, G. Riofrío y K. Beltrán. Quito: EcoCiencia, The Nature Conservancy, Conservation International y Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Racey, G. D., A. G. Harris, J. K. Jeglum, R. F. Foster y G. M. Wickware. 1996. *Terrestrial and wetland ecosites of northwestern Ontario*. Thunder Bay: Ontario Ministry of Natural Resources, Northwestern Science and Technology. 94 pp.
- Rivas-Martínez, S., D. Sánchez-Mata y M. Costa. 1999. North American boreal and western temperate forest vegetation. *Itinera Geobotanica* 12:5-316.
- Rodríguez, N., D. Armenteras, M. Morales y M. Romero. 2004. *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Rodwell, J. S., J. H. J. Schaminee, L. Mucina, S. Pignatti, J. Dring y D. Moss. 2002. *The diversity of European vegetation. An overview of phytosociological alliances and their relationships to EUNIS habitats*. Report EC-LNV 2002/054. Wageningen, The Netherlands: EC-LNV. 168 pp.
- Rowe, J. S. y B. V. Barnes. 1994. Geo-ecosystems and bio-ecosystems. *Bulletin of the Ecological Society of America* 75:40-41.
- Roy, M. S., J. M. Cardoso da Silva, P. Arctander, J. García-Moreno y J. Fjeldså. 1997. The speciation of South American and African birds in montane regions. Pp. 325-343 en *Avian molecular evolution and systematics*, editado por D. P. Mindell. San Diego: Academic Press.
- Saavedra, C. y C. Freese. 1986. Prioridades biológicas de conservación en los Andes tropicales. *Parks/Parques/Parcs* 11:8-11.
- Sánchez-Vega, I. y M. Dillon. 2006. Jalcas. Pp. 77-90 en *Botánica económica de los Andes centrales*, editado por M. Moraes R., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius y H. Balslev. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Servant, M. y J. C. Fontes. 1978. Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cahiers ORSTOM sér. Géologie* 10:9-23.
- Simpson, B. B. 1975. Pleistocene changes in the flora of the high tropical Andes. *Paleobiology* 1:273-294.
- Simpson, B. B. y C. A. Todzia. 1990. Pattern and processes in the development of the high Andean flora. *American Journal of Botany* 77:1419-1432.
- Smith, J. M. B. y A. M. Cleef. 1988. Composition and origins of the world's tropicalpine floras. *Journal of Biogeography* 15:631-645.
- Sklenár, P. y P. M. Ramsay. 2001. Diversity of paramo plant communities in Ecuador. *Diversity and Distributions* 7:113-124.

- Ulloa Ulloa, C. y P. M. Jørgensen. 1993. Árboles y arbustos de los Andes del Ecuador. *AAU Reports* 30:1-264.
- USDA Forest Service. 2006. *ECOMAP domains, divisions, provinces, and sections of the United States*. Digital Map. Washington, DC: United States Department of Agriculture Forest Service.
- Van der Hammen, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *Journal of Biogeography* 1:3-26.
- Wassenaar, T., P. Gerber, P. H. Verburg, M. Rosales, M. Ibrahim y H. Steinfeld. 2007. Projecting land use changes in the Neotropics: the geography of pasture expansion into forest. *Global Environmental Change* 17:86-104.
- Weigend, M. 2002. Observations on the biogeography of the Amotape-Huancabamba zone in northern Peru. *Botanical Review* 68:38-54.
- Weigend, M. 2004. Additional observations on the biogeography of the Amotape-Huancabamba zone in northern Peru: defining the south-eastern limits. *Revista Peruana de Biología* 11:127-134.
- Whittaker, R. H. 1962. Classification of natural communities. *Botanical Review* 28:1-239.
- Whittaker, R. H. 1975. *Communities and ecosystems*. New York: MacMillan.

# CAMBIO CLIMÁTICO Y BIODIVERSIDAD

## EN LOS ANDES TROPICALES

Primera edición digital

Diciembre, 2014

Lima - Perú

© Carmen Josse et al

PLD 1750

Editor: Víctor López Guzmán



<http://www.guzlop-editoras.com/>

[guzlopster@gmail.com](mailto:guzlopster@gmail.com)

[facebook.com/guzlop](https://www.facebook.com/guzlop)

[twitter.com/guzlopster](https://twitter.com/guzlopster)

731 2457 / 959 552 765

Lima - Perú



# PROYECTO LIBRO DIGITAL (PLD)

El proyecto libro digital propone que los apuntes de clases, las tesis y los avances en investigación (papers) de las profesoras y profesores de las universidades peruanas sean convertidos en libro digital y difundidos por internet en forma gratuita a través de nuestra página web. Los recursos económicos disponibles para este proyecto provienen de las utilidades nuestras por los trabajos de edición y publicación a terceros, por lo tanto, son limitados.

Un libro digital, también conocido como e-book, eBook, ecolibro o libro electrónico, es una versión electrónica de la digitalización y diagramación de un libro que originariamente es editado para ser impreso en papel y que puede encontrarse en internet o en CD-ROM. Por, lo tanto, no reemplaza al libro impreso.

Entre las ventajas del libro digital se tienen:

- su accesibilidad (se puede leer en cualquier parte que tenga electricidad),
- su difusión globalizada (mediante internet nos da una gran independencia geográfica),
- su incorporación a la carrera tecnológica y la posibilidad de disminuir la brecha digital (inseparable de la competición por la influencia cultural),
- su aprovechamiento a los cambios de hábitos de los estudiantes asociados al internet y a las redes sociales (siendo la oportunidad de difundir, de una forma diferente, el conocimiento),
- su realización permitirá disminuir o anular la percepción de nuestras élites políticas frente a la supuesta incompetencia de nuestras profesoras y profesores de producir libros, ponencias y trabajos de investigación de alta calidad en los contenidos, y, que su existencia no está circunscrita solo a las letras.

Algunos objetivos que esperamos alcanzar:

- Que el estudiante, como usuario final, tenga el curso que está llevando desarrollado como un libro (con todas las características de un libro impreso) en formato digital.
- Que las profesoras y profesores actualicen la información dada a los estudiantes, mejorando sus contenidos, aplicaciones y ejemplos; pudiendo evaluar sus aportes y coherencia en los cursos que dicta.
- Que las profesoras y profesores, y estudiantes logren una familiaridad con el uso de estas nuevas tecnologías.
- El libro digital bien elaborado, permitirá dar un buen nivel de conocimientos a las alumnas y alumnos de las universidades nacionales y, especialmente, a los del interior del país donde la calidad de la educación actualmente es muy deficiente tanto por la infraestructura física como por el personal docente.
- El personal docente jugará un rol de tutor, facilitador y conductor de proyectos



de investigación de las alumnas y alumnos tomando como base el libro digital y las direcciones electrónicas recomendadas.

- Que este proyecto ayude a las universidades nacionales en las acreditaciones internacionales y mejorar la sustentación de sus presupuestos anuales en el Congreso.

En el aspecto legal:

- Las autoras o autores ceden sus derechos para esta edición digital, sin perder su autoría, permitiendo que su obra sea puesta en internet como descarga gratuita.
- Las autoras o autores pueden hacer nuevas ediciones basadas o no en esta versión digital.

Lima - Perú, enero del 2011

“El conocimiento es útil solo si se difunde y aplica”

Víctor López Guzmán  
Editor