

## Research Article

# Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú

Christian Villamarín<sup>1,3</sup>, Narcís Prat<sup>1</sup> & María Rieradevall<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Grup de Recerca Freshwater Ecology and Management (FEM), Departament d'Ecologia  
Universitat de Barcelona, Av. Diagonal 643, 08028 Barcelona, España

<sup>2</sup>Institut de Recerca de Biodiversitat (IRBio) de la Universitat de Barcelona  
Av. Diagonal 643, 08028 Barcelona, España

<sup>3</sup>Centro de Investigación, Estudio y Desarrollo de Ingeniería (CIEDI). Ingeniería Ambiental  
Universidad de Las Américas. C/ José Queri s/n, Quito, Ecuador

**RESUMEN.** Para comprender la variabilidad física, química e hidromorfológica de los ríos en la zona altoandina tropical (sobre los 2000 msnm) se muestrearon 123 ríos de ocho cuencas hidrográficas de Ecuador y Perú, seleccionados según criterios de distribución en latitud y altitud, así como el grado de alteración antrópica. Los muestreos se realizaron entre octubre 2007 y octubre 2008, coincidiendo con la época seca en ambos países. En cada localidad se midieron tanto parámetros físicos y químicos (*i.e.*, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, fosfatos, nitritos, nitratos, amonio, etc.) como hidromorfológicos (*i.e.*, altitud, índice de calidad riparia (QBR), calidad y naturalidad de la cubierta vegetal de la ribera, naturalidad del canal fluvial, índice del hábitat fluvial (IHF), frecuencia de rápidos, composición del sustrato). A nivel regional (entre cuencas) la mineralización, las características hidromorfológicas y la heterogeneidad del hábitat mostraron ser los factores de mayor importancia para explicar la variabilidad encontrada. La temperatura, oxígeno disuelto y heterogeneidad del hábitat fueron los parámetros relevantes en el gradiente altitudinal, mientras que la mineralización lo fue en el gradiente latitudinal. La significación o importancia de un factor u otro parecen estar determinados en gran medida por el nivel espacial estudiado (localidad, cuenca, región). Sin embargo, se determinó que a nivel regional la altitud y las variables que cambiaron con ella, como temperatura y oxígeno disuelto, son siempre significativas independientemente de la ubicación latitudinal de la cuenca.

**Palabras clave:** ríos altoandinos tropicales, altitud, latitud, variables físicas y químicas, variables hidromorfológicas, Perú, Ecuador.

## Physical, chemical and hydromorphological characterization of Ecuador and Perú tropical highland Andean rivers

**ABSTRACT.** To understand the physical, chemical and hydromorphological variability of tropical highland Andean rivers (2000 m.a.s.l.), 123 localities in eight river basins in Ecuador and Perú were sampled. The sites were selected according to their latitude, altitude, and impairment degree. The samples were taken between October 2007 and October 2008 coinciding with the dry season at both countries. In each locality both, physical and chemical (*i.e.*, temperature, dissolved oxygen, conductivity, phosphates, nitrites, nitrates, ammonia, etc.) and hydromorphological (*i.e.*, altitude, riparian quality index (QBR), degree of vegetal cover in the stream zone, riparian cover structure and quality, naturalness of the stream channel, aquatic habitat quality index (IHF), substrate composition, rapids frequency, elements of heterogeneity) variables were measured. At regional level (between basins), the mineralization, the hydromorphological features and the aquatic habitat heterogeneity were the most important factors explaining environmental variability. Meanwhile the temperature dissolved, oxygen and habitat heterogeneity parameters were shown to be relevant in the altitudinal gradient, while the mineralization was it in the latitudinal gradient. The importance of each factor is related to the spatial scale studied (site, basin, region). However, the altitude and variables changing with it, as temperature and dissolved oxygen, shown similar patterns regardless of the latitudinal location of the basin.

**Keywords:** tropical Andean rivers, altitude, latitude, physical and chemical variables, hydromorphological variables, Peru, Ecuador.

## INTRODUCCIÓN

La Cordillera de Los Andes atraviesa el continente sudamericano de norte a sur y es considerada como una zona donde se concentran una alta heterogeneidad ambiental y una elevada diversidad biológica (Young, 2011). La elevada altitud y complejidad fisiográfica de esta cadena montañosa influyen en la circulación del aire y condicionan el clima (Emck *et al.*, 2006; Young, 2011), influenciando de forma importante los regímenes hidrológicos de sus ríos (Montgomery *et al.*, 2001; Argollo, 2006). Estas particularidades de la zona andina explican la complejidad ecosistémica existente (Hedin & Hetherington, 1996; Jacobsen *et al.*, 1997; Gaston, 2000; Jacobsen, 2003; Corigliano *et al.*, 2005; Argollo, 2006; Ellenrieder, 2007; Jacobsen, 2008; Palma & Figueroa, 2008). Con respecto a los ecosistemas fluviales, si bien los estudios que se han realizado para caracterizar los ríos andinos son escasos (Domínguez-Granda *et al.*, 2005; Segnini & Chacón, 2005), los datos publicados indican que los ríos altoandinos son muy variables y muestran fluctuaciones importantes en sus características físicas y químicas (*e.g.*, caudal, temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad) (González *et al.*, 2004; Jacobsen, 2004; Jacobsen & Brodersen, 2008), tanto a nivel espacial como temporal, incluyendo la fluctuación diaria extrema en algunos de ellos. El fuerte gradiente altitudinal de Los Andes se ha señalado como el factor más importante y determinante de la variabilidad de las características físicas y químicas de los ríos altoandinos (Jacobsen *et al.*, 1997; Carrera & Gunkel, 2003; Jacobsen, 2003, 2004). Se ha insistido especialmente en la importante disminución de la concentración de oxígeno y de la temperatura a medida que aumenta la altitud (Jacobsen, 2003; Jacobsen *et al.*, 2003; Corigliano *et al.*, 2005; Ellenrieder, 2007; Jacobsen *et al.*, 2007). La variabilidad natural puede estar adicionalmente modificada por la actividad humana que afecta en mayor medida al pH, conductividad, oxígeno disuelto, concentración de fosfatos, nitritos, nitratos, amonio y metales pesados, así como a las características hidromorfológicas de los ríos (Maddock, 1999; Buytaert *et al.*, 2006; Acosta, 2009; Acosta *et al.*, 2009; Prat *et al.*, 2009), siendo más frecuentes las actividades de la reducción de vegetación en la cuenca y en la ribera, los aportes de materia orgánica de origen doméstico, la explotación agrícola y ganadera, y la explotación minera (Carrera & Gunkel, 2003; Segnini & Chacón, 2005; Mena & Hofstede, 2006; Prat *et al.*, 2009).

Los estudios realizados sobre las características ambientales de los ríos altoandinos se han limitado a

una sola cuenca o a pocas cuencas de un mismo país (Rivera *et al.*, 2002; Jacobsen, 2003; Moya *et al.*, 2003; Segnini, 2003; Días-Quirós, 2004; Jacobsen, 2004; Segnini & Chacón, 2005; Jacobsen, 2008). Por consiguiente, con los estudios actuales es difícil comparar datos entre ríos de diferentes países y latitudes, ya que muchas veces no se analizaron los mismos parámetros o los métodos no fueron los mismos, y no siempre se estudiaron a la vez los parámetros físicos, químicos e hidromorfológicos, dificultando en gran medida la interpretación de los patrones de cambio de las variables ambientales a nivel regional.

La importancia de conocer la variabilidad de los factores físicos y químicos de los ríos radica en la influencia de estos sobre la biodiversidad a diferentes niveles espaciales (Gaston, 2000; Jacobsen, 2008) y la falta de este conocimiento dificulta la identificación de los patrones de distribución de los organismos. Estos aspectos son aún más importantes de conocer en los ríos tropicales altoandinos donde, como se mencionó anteriormente, los estudios a gran escala son escasos. Así, en el gradiente latitudinal el decrecimiento en la productividad, temperatura o incidencia de la luz han sido señalados como los factores determinantes en los cambios de la biodiversidad (Gaston, 2000; Willig *et al.*, 2003), mientras que en el gradiente altitudinal han sido la disminución de la productividad, el oxígeno y la temperatura (Jacobsen *et al.*, 1997; Jacobsen, 2004; Lujan *et al.*, 2013). Sin embargo, en los ríos altoandinos tropicales estos factores podrían o no ser determinantes especialmente si se habla de un área tan grande, donde la escala espacial podría jugar un papel muy importante en la variabilidad de los factores ambientales. La primera hipótesis es que debería haber diferencias en las características ambientales de los ríos tropicales altoandinos a diferentes escalas espaciales de estudio, especialmente en las cuencas y en las secciones de los Andes que se encuentran separadas por una mayor distancia geográfica. Una segunda hipótesis es que al estar todos los ríos de este estudio en la zona tropical, el decrecimiento de la temperatura a medida que aumenta la latitud, quizás no es un factor tan relevante a escala regional, aunque sí sería un factor clave para entender los cambios altitudinales. La tercera hipótesis es que, los factores que actúan a un nivel más local como la heterogeneidad de hábitats y la calidad de la ribera pueden cambiar los patrones generales derivados de la latitud y altitud. Por todo ello es de esperar una alta variabilidad en los factores físicos y químicos en el área estudiada, que sería consecuencia de la interacción entre los cambios debido a las tres escalas estudiadas (local, latitudinal y altitudinal).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se muestrearon 123 localidades en cuatro cuencas del Ecuador y cuatro cuencas del Perú, entre octubre 2007 y octubre 2008, de las cuales la mitad pertenecen a la vertiente del Pacífico (Mira, Guayas, Santa y Colca) y la otra mitad son afluentes del Amazonas (Aguarico, Pastaza, Mosna y Urubamba) (Fig. 1). En cada cuenca se tomaron muestras de 14 a 16 localidades situadas a lo largo de un gradiente altitudinal desde 2000 a 4800 msnm. Además, se procuró incluir tanto localidades sin perturbación humana como localidades con diferentes afectaciones antrópicas, incluyendo contaminación orgánica, minera o agropecuaria, así como con cambios hidromorfológicos en la ribera.

Dada la complejidad geomorfológica de Los Andes, y los importantes gradientes que se puede encontrar en la región andina estudiada, para sintetizar las características ambientales y facilitar la interpretación de los resultados se ha utilizado la clasificación de Los Andes propuesta por Argollo (2006), basada en la distribución de las formaciones vegetales. Éste autor divide Los Andes en tres grandes secciones (Andes Norte, Andes Centrales y Andes Sur) según sus características ambientales, de vegetación y climáticas (Argollo, 2006). Con esta propuesta de clasificación las cuencas de los ríos Mira, Aguarico, Guayas y Pastaza en Ecuador pertenecen a los Andes Norte, mientras que las cuencas de los ríos Santa, Mosna, Colca y Urubamba pertenecen a Los Andes Centrales. Las dos últimas cuencas se sitúan en una zona algo distinta, considerada como la subdivisión Altiplano-Puna. Así, para analizar el gradiente latitudinal se usarán estas tres subdivisiones.

Para señalar las discontinuidades altitudinales se usa, complementariamente, el análisis de agrupaciones de las localidades según la importancia de la cobertura vegetal tanto de su cuenca como de la ribera. Por un lado están las localidades ubicadas en el rango altitudinal entre 2000 y 3500 msnm, donde el estado natural del bosque de ribera está bien desarrollado con arbustos y árboles (Pourrut, 1995; Winckell *et al.*, 1997), zona denominada “Bosque montano”. Por otro lado están las localidades situadas por encima de los 3500 msnm, que corresponden a “Páramo-Puna”; en este rango altitudinal la vegetación de ribera (y de la cuenca en general) es escasa y generalmente, dominada por especies herbáceas o arbustos de tamaño reducido (García & Beck, 2006; Mena & Hofstede, 2006). Aunque se puede encontrar pequeños remanentes arbóreos en esta zona, estos han quedado reducidos a relictos ubicados en quebradas o laderas debido a la presión antrópica o por las características ambientales

naturales (Pourrut, 1995; Winckell *et al.*, 1997; García & Beck, 2006; Mena & Hofstede, 2006). Estas clasificaciones tanto a nivel latitudinal como altitudinal se utilizan para agrupar las localidades en los análisis y facilitar la interpretación de los resultados.

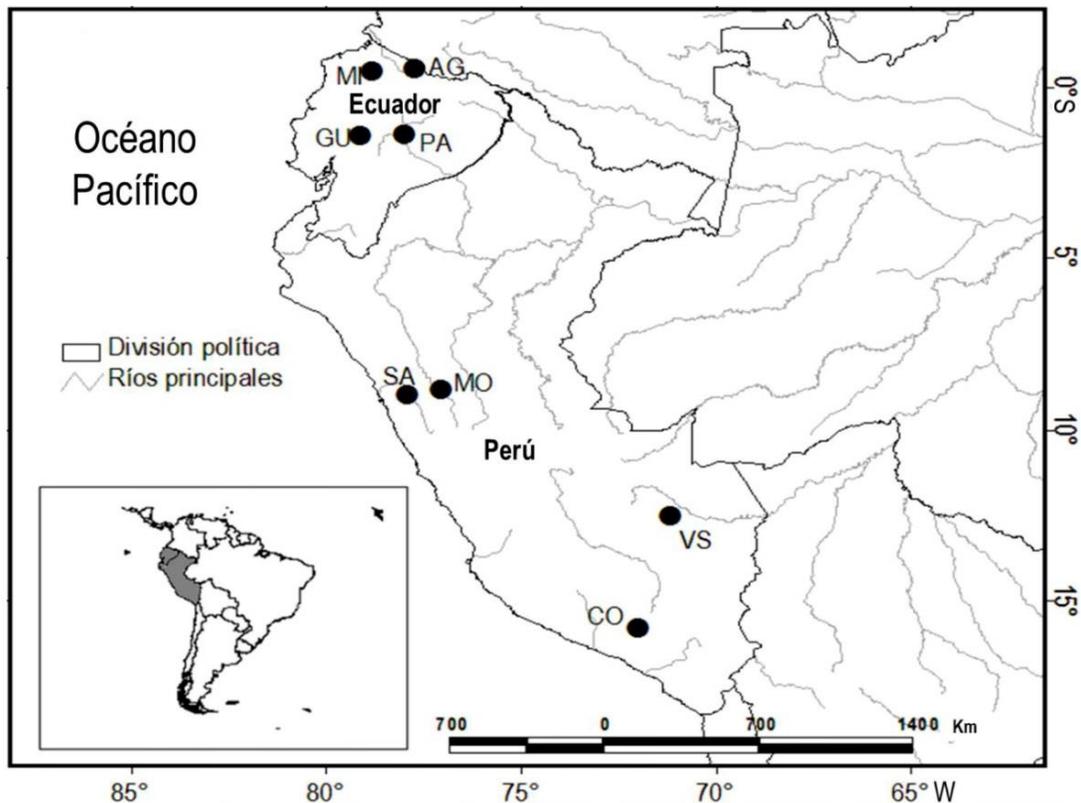
### Muestreo

Los muestreos se realizaron coincidiendo con la época seca de la zona donde se encuentra la cuenca a muestrear (Mira y Aguarico: febrero 2008, Guayas y Pastaza: agosto 2008, Santa y Mosna: octubre 2007, Colca y Urubamba: octubre 2008). En todas las cuencas se muestrearon entre 14 y 16 localidades en un periodo de cuatro días consecutivos (las fechas se especifican en el Anexo 1). Los muestreos se realizaron en este periodo debido a la baja accesibilidad de muchos ríos en la época de lluvias y a que en la época seca la concentración de los contaminantes es más alta debido a la reducción en el caudal (Jacobsen, 1998; Villamarín *et al.*, 2013).

Para calcular el caudal, se midieron el ancho del río y la profundidad en varios transeptos, así como la velocidad del agua con un correntómetro MiniAir. Desde el punto superior del tramo se midió la pendiente con un clinómetro, intentando estar lo más cerca del suelo. Se consideró como punto de medición al punto inferior del tramo y se calculó el porcentaje de la pendiente del mismo desde el punto inicial. El pH y la conductividad se midieron *in situ* con una sonda YSI-63, mientras que el oxígeno disuelto (en mg L<sup>-1</sup> y % de saturación) y la temperatura se determinaron con un oxímetro YSI-550.

Por otra parte, se tomaron dos muestras de la superficie del agua para ser procesadas en el laboratorio. Una muestra de 500 mL de agua se refrigeró durante un máximo de 48 horas para el análisis de amonio, nitritos, nitratos, fosfatos, cobre, plata, zinc y hierro, con un espectrofotómetro portátil Hach Lange DR2800. La segunda muestra de agua (50 mL) se congeló y utilizó para análisis de cationes (sodio, magnesio, calcio y potasio) y aniones (cloruros y sulfatos) que se realizaron en los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Barcelona.

Para la descripción y evaluación de las características de hábitat fluvial se aplicó el índice IHF adaptado a zonas andinas (Acosta *et al.*, 2009). Este índice evalúa el estado general del hábitat fluvial en las localidades muestreadas especialmente en los aspectos que pueden influir en la composición de las comunidades bióticas (Pardo *et al.*, 2002), mediante la observación de siete grupos de variables. Por otra parte, las características y la calidad de la zona riparia de los ecosistemas fluviales se midió con el índice QBR-And (Acosta *et al.*, 2009). Este índice evalúa el bosque de



**Figura 1.** Localización geográfica de las cuencas hidrográficas de ríos altoandinos tropicales estudiadas en Ecuador (MI: Mira, AG: Aguarico, GU: Guayas, PA: Pastaza), y en Perú (SA: Santa, MO: Mosna, CO: Colca, VS: Urubamba).

ribera en cuatro apartados: 1) grado de cobertura de la zona de ribera, 2) estructura de la cubierta vegetal, 3) calidad de la cubierta vegetal, y 4) grado de naturalidad del canal fluvial. Este índice ha sido adaptado para las zonas altoandinas especialmente en dos aspectos: Por una parte el apartado de Calidad de la Cubierta fue modificado completamente para los lugares donde existe bosque (<3500 msnm), debido a las diferencias de las formaciones vegetales neotropicales altoandinas con las comunidades de ribera europeas para las cuales se desarrolló el índice QBR (Munné *et al.*, 2003). En las localidades de muestreo >3500 m de altitud la vegetación consiste en las formaciones herbáceas o de matorral propias de la puna o el páramo, sin cobertura arbórea de forma natural. En este sentido, Acosta *et al.* (2009) propusieron excluir el apartado de Estructura de la Cubierta, por lo que el valor máximo del índice en estas áreas es de 75 puntos. Para comparar entre los datos de QBR-And de los páramos y punas con el resto de formaciones vegetales se aplicó una corrección y se estandarizaron todos los valores obtenidos del índice a una escala de 0 a 1 (Acosta, 2009).

### Análisis de datos

Para el análisis de los patrones y variabilidad ambiental de los ríos altoandinos se realizaron agrupamientos de las localidades en diferentes niveles de estudio: cuenca, latitud y altitud. El primer nivel de estudio es la cuenca hidrográfica a la que pertenecen, lo que permite entender la variabilidad ambiental comparando las diferentes cuencas muestreadas. En segundo lugar, para analizar la importancia de la latitud, se agruparon las localidades según el dominio morfotectónico al que pertenecen según la descripción de Argollo (2006), sea este Andes Norte, Andes Central o Altiplano-Puna. Finalmente, se agruparon las localidades según la formación vegetal a la que pertenecen, refiriéndose como bosques montanos a las localidades <3500 msnm con bosque de ribera bien desarrollado, y a páramos y punas a las localidades >3500 msnm con vegetación ribereña poco desarrollada o carente de ella como se explicó en el área de estudio.

Para determinar si existen diferencias significativas de las características ambientales entre los grupos de cada nivel de estudio, se realizó un Análisis de

Similaridades (ANOSIM) usando todas las variables ambientales (físicas, químicas e hidromorfológicas) mediante el programa PRIMER versión 6 (Clarke & Warwick, 2001). Este análisis, indica la semejanza entre los grupos, siendo los valores altos de R global los que indican la existencia de menor similitud y viceversa (Clarke & Warwick, 2001).

Para definir cuáles de los parámetros ambientales de los ríos altoandinos presentan una mayor variabilidad, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP). Este análisis agrupa las variables según la longitud del gradiente ambiental dando una idea de la heterogeneidad ambiental presente, y ordena las variables por su importancia (Cáceres *et al.*, 2003). Previo al desarrollo del ACP, se realizó una correlación de Pearson con las variables ambientales, para identificar las variables redundantes ( $r > 0,8$ ) y disminuir su número. Posteriormente, para analizar las tendencias presentes en los datos de las variables seleccionadas se realizó el ACP con las variables no redundantes. Este análisis fue realizado con el programa Ginkgo (Cáceres *et al.*, 2003). En el caso de las variables hidromorfológicas, siguiendo el ejemplo de trabajos anteriores (Acosta, 2009), se ha usado tanto el valor global de los índices aplicados (QBR e IHF) como el valor parcial de cada uno de sus apartados, por la información que aportan sobre el cauce y la ribera.

## RESULTADOS

### Características ambientales de los ríos altoandinos

Las variables físicas, químicas e hidromorfológicas analizadas presentaron valores muy diferentes entre unos ríos y otros, corroborando la heterogeneidad de los ríos altoandinos estudiados (Ver Anexo 1). Las características hidromorfológicas mostraron valores que diferencian los ríos de cabecera de los de altitudes menores, y, como es de esperar, el caudal, ancho y profundidad mostraron valores mayores en las localidades de menor altitud.

Entre las variables físicas y químicas, el oxígeno disuelto mostró una tendencia a valores bajos en las localidades que presuntamente tenían contaminación orgánica y en localidades que se encuentran a mayor altitud. El pH mostró valores cerca de la neutralidad o ligeramente alcalinos en todas las cuencas a excepción de dos localidades de la cuenca del río Santa en Perú donde fueron bajos. La mineralización mostró sus valores más altos en la cuenca del Urubamba, en cuatro localidades de la cuenca del Colca, en una localidad de la cuenca del Pastaza y en otra localidad en la cuenca del Mira.

Los datos de nitritos y nitratos presentaron en general valores bajos, 0-0,23 mg L<sup>-1</sup> y 0-3,30 mg L<sup>-1</sup> respectivamente. El nitrógeno en su forma amoniacal presentó valores de 0-3,76 mg L<sup>-1</sup>. Los de fosfatos variaron de 0-4,06 mg L<sup>-1</sup>. Los metales pesados disueltos fluctuaron de 0-4,66 mg L<sup>-1</sup> para el cobre, 0-0,52 mg L<sup>-1</sup> para la plata, 0-0,9 mg L<sup>-1</sup> para el zinc, 0-2,14 mg L<sup>-1</sup> para el hierro y de 0-0,3 mg L<sup>-1</sup> para el plomo; todos ellos relativamente bajos.

De acuerdo a la descripción y caracterización del hábitat fluvial altoandino, la composición del sustrato fue mayoritariamente de cantos y gravas, seguido por bloques y piedras en la mayoría de las localidades; los sustratos restantes (arenas, limo y arcilla) se ubicaron en pocas localidades. Estos sustratos se encuentran poco fijados (porcentaje de inclusión bajo) en el 25% de las localidades, mientras que sólo en el 13,8% los sustratos estaban muy fijados. Coherentemente con estos resultados, el 80,6% de las localidades presentó una alta frecuencia de rápidos en relación al ancho del río. Respecto a los regímenes de velocidad en relación a la profundidad, el 67,4% de las localidades presentó las cuatro categorías (lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero), 21,1% presentó dos de las cuatro categorías, 9,7% presentó tres de las cuatro categorías y solo 1,6% presentó una de las cuatro categorías. En relación a la exposición a la luz, expresada como porcentaje de sombra en el cauce, 47,1% de las localidades estaba expuesto, 30,8% mostró grandes claros y 21,9% de las localidades correspondieron con el ítem sombreado con ventanas. Los elementos de heterogeneidad dominantes en todas las localidades fueron presencia de troncos y ramas, seguidos por hojarasca. Por último, en cuanto a la cobertura de la vegetación acuática, el plecton y los briófitos fueron dominantes, mientras que el pecton y las fanerógamas fueron raros. El valor global del índice de hábitat fluvial mostró, de acuerdo con los valores establecidos por Pardo *et al.* (2002), que el 35,7% de las localidades se encontraba con un hábitat fluvial adecuado (>60 puntos), un 59,3% con hábitat con algunas limitaciones (40-59 puntos) y 4,8% con hábitat que puede limitar la presencia de algunos taxa de macroinvertebrados (<40 puntos) (Tabla 1).

Con respecto a la calidad del bosque de ribera (QBR), en las zonas de páramo el 48,1% de las localidades mostró una cubierta vegetal de la ribera >80% (entendiéndose como cobertura vegetal de páramo a las gramíneas, matorral, almohadillas o arbustos), 11,1% presentó una cubierta vegetal de ribera <10%, mientras que el 40,7% de localidades tenía una cobertura vegetal entre 11 y 79% de la ribera. En general, se puede considerar que la calidad de la vegetación de ribera es buena, ya que en el 85,2% de

**Tabla 1.** Número de estaciones de cada una de las categorías de calidad de los índices de QBR e IHF. Los valores de QBR son los estandarizados según la propuesta QBR-And (Acosta *et al.*, 2009).

Índice	Rango de calificación	Calificación	Formación vegetal	
			Bosque montano	Páramo y Puna
IHF	$\geq 60$	Adecuado	35	9
	40-60	Con limitaciones	57	16
	$\leq 40$	Limitado	4	2
QBR	$\geq 0,95$	Muy Buena	18	11
	0,75-0,9	Buena	13	9
	0,55-0,7	Intermedia	22	5
	0,3-0,5	Mala	22	2
	$\leq 0,25$	Pésima	21	0

las localidades la ribera está poblada con especies autóctonas, 11,1% presentó algunas especies introducidas y 3,7% mostró un alto porcentaje de especies introducidas. Así mismo, la naturalidad del canal fluvial no estaba alterada en el 77,8% de las localidades muestreadas, mientras que el resto mostró algún tipo de modificación. En las zonas de menor altitud, que deberían tener un bosque de ribera bien desarrollado, solo el 23,9% de localidades presentó un alto porcentaje de cubierta de árboles, mientras que en un 39,6% la cobertura fue  $<10\%$ . Respecto a la estructura de la cubierta, el 25% de las localidades presentó un bosque de ribera con coberturas de árboles  $<10\%$ , mientras que en el 19,8% el recubrimiento de árboles fue  $>75\%$ . Según la calidad de la cubierta, en el 23,9% de las localidades la comunidad fue de árboles de ribera autóctonos y en el 19,8% más del 51% de las especies fueron introducidas. Por último, el 62,5% no mostró alteraciones en el canal fluvial, mientras que el resto de localidades presentó algún tipo de modificación. La valoración general de la calidad del bosque de ribera, con los criterios de Acosta *et al.* (2009) es de 23,5% de calidad muy buena, 17,8% con calidad buena, 21,9% con calidad intermedia, 19,5% con calidad mala y 17% con calidad pésima (Tabla 1).

### Importancia de los niveles de estudio

Los resultados del análisis de similaridad mostraron que en los tres niveles de estudio analizados los ríos son significativamente diferentes entre ellos (Tabla 2). De los tres, la formación vegetal presentó un valor estadístico global mayor ( $R = 0,284$ ;  $P < 0,001$ ), lo que indica que la presencia o no de vegetación de ribera sea a mayor o menor latitud tiene un mayor peso sobre las características físicas, químicas e hidromorfológicas de los ríos altoandinos que la altitud o la cuenca.

El nivel de estudio de cuenca hidrográfica, mostró los ríos que pertenecen a la cuenca del Aguarico (en el norte) y Colca (en el sur) como los que tienen mayores diferencias en sus características ambientales ( $R = 0,37$ ;  $P < 0,001$ ), lo que coincide con una mayor distancia geográfica entre ellos. Las cuencas hidrográficas con menores diferencias estadísticas fueron las de los ríos Mira y Aguarico ( $R = 0,08$ ;  $P = 0,047$ ) situadas al norte del Ecuador. Por su parte, las cuencas de los ríos Guayas y Pastaza en el sur del Ecuador ( $R = 0,04$ ;  $P = 0,069$ ), las cuencas de los ríos Santa y Mosna en el norte del Perú ( $R = 0,05$ ;  $P = 0,102$ ), y las cuencas de los ríos Colca y Urubamba en el sur del Perú ( $R = 0,13$ ;  $P = 0,002$ ), no mostraron diferencias entre ellos (Tabla 2).

En relación a los dominios morfotectónicos, Los Andes del Norte y Los Andes Central son los que mostraron mayor similitud ( $R = 0,063$ ;  $P = 0,102$ ), mientras que Los Andes del Norte y el Altiplano-Puna presentaron las mayores diferencias ( $R = 0,465$ ;  $P < 0,001$ ) en sus características ambientales (Tabla 2). Estos valores muestran la misma tendencia que a nivel de cuenca en relación a la cercanía geográfica y variabilidad ambiental local.

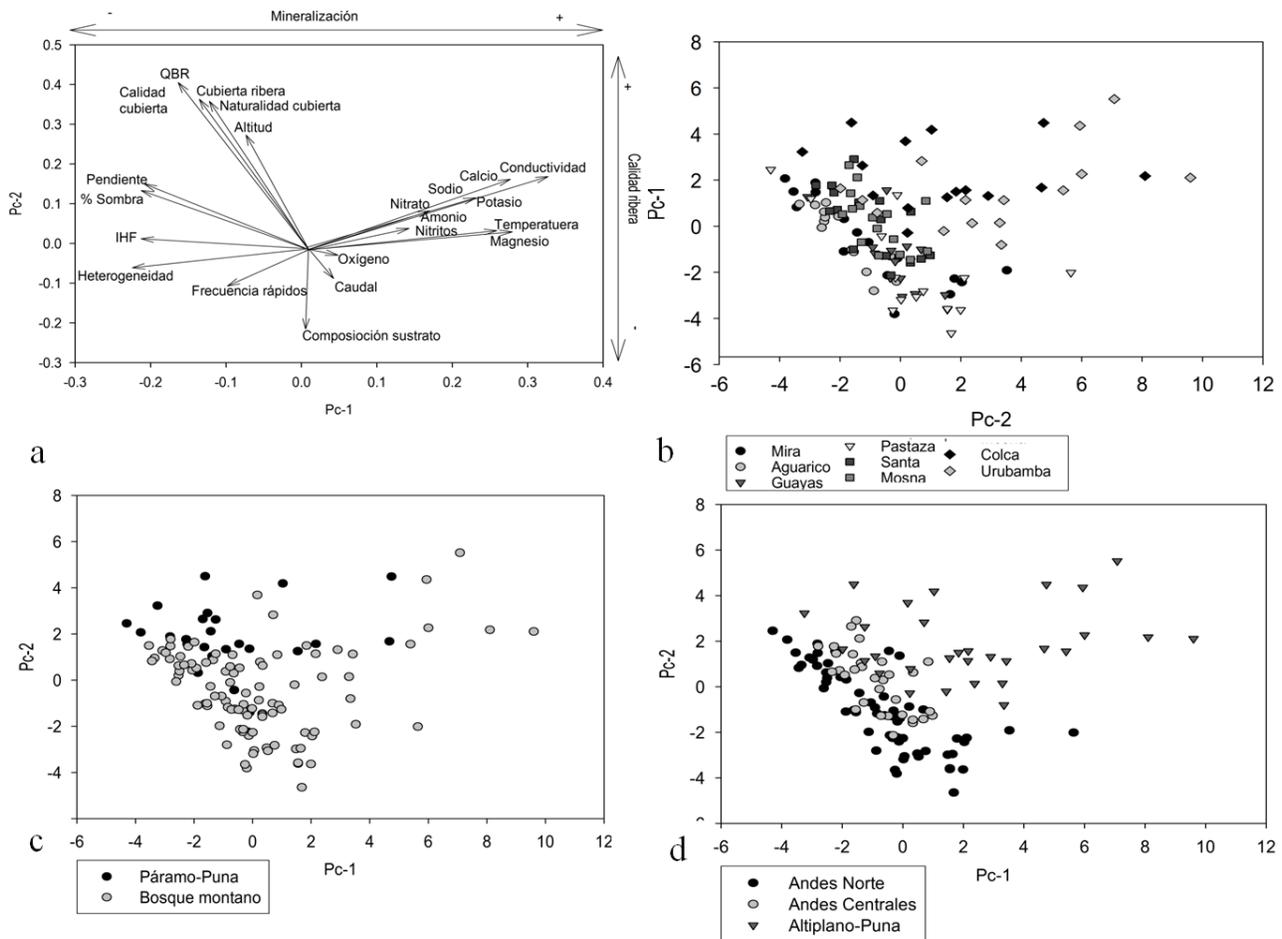
### Clasificación y ordenación de las localidades

El Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado para determinar cuáles de las variables ambientales e hidromorfológicas fueron más relevantes para la clasificación y la diferenciación de las localidades fluviales analizadas en cada uno de los tres niveles propuestos, mostró que los tres primeros ejes explicaron el 37,2% del total de la varianza acumulada (Tabla 3). La mineralización fue el componente más significativo en el primer eje. El QBR, IHF y la hidromorfología fueron las variables principales en el segundo eje, siendo los apartados del QBR, grado de la



**Tabla 3.** Variables más importantes con su peso respectivo en cada uno de los ejes del Análisis de Componentes Principales.

Variable	Eje 1	Eje 2	Eje 3			
% Varianza total	17,5	11,8	7,9			
% Varianza acumulada	17,5	29,3	37,2			
Físicas y químicas	Conductividad	0,34	Altitud (msnm)	0,28	Altitud (msnm)	-0,27
	T°	0,29			Cobre (mg L <sup>-1</sup> )	0,23
	Ca (mg L <sup>-1</sup> )	0,29			Ca (mg L <sup>-1</sup> )	0,22
	Na (mg L <sup>-1</sup> )	0,28				
	Mg (mg L <sup>-1</sup> )	0,27				
	Cobre (mg L <sup>-1</sup> )	0,24				
	K (mg L <sup>-1</sup> )	0,24				
Pendiente (%)	-0,21					
Hidromorfológicas	Heterogeneidad	-0,23	Índice QBR	0,41	Estructura cubierta	0,39
	% Sombra	-0,21	Cubierta ribera	0,37	Índice IHF	0,37
	Índice IHF	-0,21	Calidad cubierta	0,36	% Sombra	0,32
			Naturalidad canal	0,33	Heterogeneidad	0,25
			Composición sustrato	-0,23	Frecuencia rápidos	0,24



**Figura 2.** a) Representación de los resultados para las dos primeras dimensiones del Análisis de Componentes Principales de las variables ambientales de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú, b) distribución de las localidades en el espacio bidimensional agrupados según cuenca hidrográfica, c) formación vegetal, d) dominios morfoestructivos.

Moya *et al.*, 2003; Segnini, 2003; Días-Quirós, 2004). En su mayoría coinciden en que la mineralización, altitud y conservación del hábitat ribereño determinan las características ambientales del medio e influyen en la composición de las comunidades de organismos acuáticos (Rivera *et al.*, 2002; Jacobsen, 2003; Moya *et al.*, 2003; Segnini, 2003; Días-Quirós, 2004).

De acuerdo a la primera hipótesis, se determinó que existe una gran variabilidad en las características de los ríos altoandinos de las cuencas estudiadas y los factores que la explican fueron esencialmente la mineralización, temperatura y oxígeno disuelto, las características hidromorfológicas locales y heterogeneidad del hábitat. Otros factores que se esperaba fuesen importantes, como la contaminación, no aparecieron como explicativos de la variabilidad en los análisis realizados para el conjunto de las 123 localidades estudiadas. Los tres gradientes espaciales incluidos en el estudio (latitud, altitud y factores locales) son determinantes, en diferente grado, de la variabilidad encontrada.

El gradiente altitudinal parece ser más relevante que el latitudinal para entender la variabilidad de los factores ambientales, de modo que ni las diferencias entre los dominios morfotectónicos descritos por Argollo (2006), ni los cambios en las características climáticas de Los Andes a lo largo del gradiente latitudinal (Emck *et al.*, 2006), se reflejan en los cambios de las características ambientales de los ríos altoandinos tropicales estudiados. Más bien, en los niveles de cuenca hidrográfica y de dominios morfotectónicos, la variabilidad local de los factores ambientales y la distancia de las cuencas o dominios entre sí parece ser más importante que el hecho de pertenecer a un dominio o a una cuenca. Supuestamente, la orografía y las diferencias de humedad de los dominios morfotectónicos debería influir en la variación térmica ambiental (Emck *et al.*, 2006; Buytaert *et al.*, 2006) y del agua. Sin embargo, no se detectan diferencias entre los ríos estudiados en el gradiente latitudinal, salvo para los valores de conductividad debidos a la geología.

La influencia de las barreras geográficas parecen ser en este sentido más relevante (Prat *et al.*, 2013), como es el caso de la Depresión de Huancabamba, que ha sido mencionada como límite en la distribución de los organismos de norte a sur y viceversa en Los Andes (Duellman & Pramuk, 1999; Weigend, 2002; Maldonado *et al.*, 2011; Prat *et al.*, 2013).

La mineralización del agua de los ríos está principalmente relacionada con el clima y la geología del terreno (Segnini & Chacón, 2005), así como, en ocasiones, con las actividades antrópicas. Las localidades con valores medios o bajos de conductividad presentan una composición litológica mayoritaria de

granitos, andesitas y rocas duras que son resistentes a la erosión (Toro *et al.*, 2002; Segnini & Chacón, 2005) y se hallan distribuidos en toda la zona. En el área de estudio algunas localidades de la cuenca del Colca y todas las localidades de la cuenca del Urubamba (situadas a mayor latitud) muestran valores altos de conductividad. La composición geológica de la zona donde están estas localidades está constituida principalmente por calizas, areniscas rojas, limonitas, conglomerados, etc., donde predominan los carbonatos (Segnini & Chacón, 2005), que son sustratos más solubles y que incrementan la concentración de iones que determinan los valores de la conductividad. Asimismo, dentro de las localidades con altos valores de conductividad hay dos localidades en Ecuador que se sitúan en cuencas donde el sustrato era granítico y deberían presentar valores bajos de conductividad. Las dos ciudades cercanas a las localidades muestreadas basan su economía en la curtiembre y manufactura del cuero, por lo que estas actividades son el origen del incremento en la conductividad en estas localidades debido a los vertidos realizados por esta industria en ríos de caudal mediano (Alzate & Tobón, 2004; Lalanne & Carsen, 2005; Kato, 2006), lo que explica su desviación del patrón esperable por la composición litológica de la cuenca y restan peso a la mineralización como factor explicativo de la variabilidad física y química a nivel latitudinal.

En la segunda hipótesis se planteaba si el cambio de temperatura con la latitud podría tener un peso relevante en la variabilidad de las características físicas y químicas. En este estudio la temperatura no aparece como importante a nivel de la región altoandina tropical pero es importante a un nivel más local (ríos en una misma latitud). Esto concuerda con los numerosos estudios donde el gradiente altitudinal ha sido considerado como un factor importante en la determinación de las características ambientales de los ríos andinos (Jacobsen *et al.*, 1997; Jacobsen, 2004, 2008; Lujan *et al.*, 2013). Se ha demostrado repetidamente que la presión atmosférica, oxígeno disuelto y temperatura decrecen cuando la altitud incrementa (Illies, 1964; Jacobsen, 2003; Jacobsen *et al.*, 2003; Jacobsen & Brodersen, 2008). Estos cambios definen la distribución de las comunidades vegetales y animales en el gradiente altitudinal (Kessler, 2001; Sanders, 2002), tal es el caso de zonas de bosque montano y, de páramos y punas de la zona altoandina. Si bien en estudios ecológicos se le ha dado a la altitud una gran importancia como factor determinante, este factor es el resultado de la influencia de diversas variables ambientales que actúan conjuntamente (Carrera & Gunkel, 2003; Jacobsen, 2003, 2009; Jacobsen *et al.*, 2003; Molina *et al.*, 2008). Tal es el caso de este estudio, donde se determinaron diferencias

significativas en la temperatura y oxígeno disuelto en el gradiente altitudinal, registrándose los valores más bajos en zonas de mayor altitud.

Este estudio muestra que los parámetros relacionados con el hábitat y la ribera son muy importantes en la diferenciación de los ríos independientemente de su latitud y altitud y por lo tanto la tercera hipótesis que aseguraba que los factores locales podían cambiar los patrones a mayor escala es cierta. Este resultado, es relevante ya que no había sido reportado en estudios anteriores, incluyendo la revisión de Jacobsen (2008). De esta forma, nuevos estudios que se realicen de los ríos altoandinos deberían considerar la influencia del hábitat y el bosque de ribera como un factor clave. Así, el QBR-And (Acosta *et al.*, 2009) aplicado en la zona de estudio muestra grandes cambios en la calidad del bosque de ribera, tanto en los ecosistemas de altura (páramos y punas) como en los de zonas bajas. Las localidades de la zona alta (páramos y punas) muestran una mayor proporción de lugares con valores altos de calidad del bosque de ribera.

Debido a los fuertes cambios diarios de temperatura, elevada humedad, alta radiación solar y pluviosidad, la explotación agrícola en la zona del páramo-puna ha sido limitada, mientras que en las zonas de características ambientales más estables como los bosques montanos, la importancia de la acción del hombre es mucho mayor, lo que explica las diferencias en los valores de calidad de la ribera entre las dos zonas. Sin embargo, los valores del índice del hábitat fluvial indican que la mayoría de localidades de la zona alta tienen hábitat con alguna limitación lo que parece contradecir otros resultados, debido a las características propias de este tipo de ecosistema, con una composición del lecho del río poco diversa de forma natural, lo que hace que la heterogeneidad del hábitat sea menor y por ello el índice IHF tiene más valores bajos.

Por otra parte, las zonas de menor altitud muestran peores valores de calidad del bosque de ribera que los que se determinaron para la zona alta, esto se debería a la explotación agrícola y ganadera existente en esta zona (con acceso directo del ganado a las vertientes), que produce una fuerte degradación de las riberas (Buytaert *et al.*, 2006). En este estudio, el porcentaje de la cubierta vegetal, calidad de la misma y naturalidad del canal fueron los aspectos de la ribera más modificados, esto indujo a que los valores obtenidos de la calidad del bosque de ribera fueran bajos. La degradación del bosque de ribera en la zona andina se ha producido principalmente por cambios de la vegetación natural que ha sido substituida por cultivos, árboles exóticos (eucalipto o pino), por la acción del ganado o por la eliminación del bosque de ribera por

otras actividades humanas (ECOLAP & MAE, 2007; Acosta, 2009; Acosta *et al.*, 2009). Por el contrario, los valores del índice del hábitat fluvial fueron mayores en estas localidades respecto al páramo-puna, ya que la diversidad en la composición del sustrato del lecho del río, así como la presencia de hojarasca, ramas y raíces expuestas es potencialmente mayor. Esto ayuda a que las puntuaciones del índice del hábitat fluvial sean mayores a pesar que la calidad del bosque de ribera sea menor, de todas formas el IHF detectó bien los cambios producidos por la alteración humana en el hábitat fluvial. Cabe señalar que en los ríos estudiados donde en la cuenca se desarrolla la agricultura pero la ribera estaba relativamente natural, el efecto de las actividades antropogénicas (esencialmente la presencia de contaminantes) sobre las comunidades de macroinvertebrados podría ser mitigado por la presencia de las riberas. Consecuentemente, la importancia del hábitat y el bosque de ribera se debería considerar como un aspecto relevante para la gestión y conservación de los ríos en la zona altoandina.

En conclusión, en este estudio se logró describir la variabilidad física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos. Si bien la altitud (y en menor importancia la latitud) se revelaron como factores importantes en los cambios físicos y químicos, la calidad del bosque de ribera y heterogeneidad del hábitat fluvial parecen factores claves y deberían ser considerados al tratar de explicar la influencia de los factores ambientales en la composición y estructura de las comunidades de organismos.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio es resultado de los proyectos “CERA: Evaluación del estado ecológico de cuencas altoandinas de Ecuador y Perú. Herramientas de gestión” financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España (CGL2006-04333), y del proyecto FUCARA: Funcionalidad y calidad ecológica de los ríos altoandinos. Reforzamiento del laboratorio de ecología acuática de la USFQ (Universidad de San Francisco-Quito). D/011294/07 (Acción Integrada-PCI Iberoamericana- AECI 2007- Ministerio de Asuntos Exteriores); así como de la beca de doctorado a C.V. (FPI) del Ministerio de Educación. Agradecemos a las entidades gubernamentales de cada país donde se realizó el trabajo de campo (Ministerio del Ambiente de Ecuador e Instituto de Recursos Naturales del Perú) las facilidades dadas para los muestreos. A la Dra. Clorinda Vergara del Museo de Entomología de la Universidad Nacional Agraria “La Molina” y a la Dra. Andrea Encalada del Laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad San Francisco de Quito por las

facilidades logísticas y el espacio en sus laboratorios. Núria Sánchez-Millaruelo, Raúl Acosta, Manuel Andía, Carolina Arroyo, Fernanda Gonzáles y Karla Jiménez quienes colaboraron tanto en los muestreos como en el trabajo de laboratorio. Así mismo agradecer distintos tipos de ayuda a lo largo del estudio a todos los miembros del grupo de investigación F.E.M. (Freshwater Ecology and Management) de la Universidad de Barcelona.

## REFERENCIAS

- Acosta, R. 2009. Estudio de la cuenca altoandina del río Cañete (Perú): distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, Barcelona, 153 pp.
- Acosta, R., B. Ríos, M. Rieradevall & N. Prat. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1): 35-64.
- Alzate, A. & O. Tobón. 2004. Proyecto gestión ambiental en industria de curtiembre en Colombia. Centro Nacional de Producción Más Limpia, Medellín, 59 pp.
- Argollo, J. 2006. Aspectos geológicos. In: M. Moraes, B. Øllgaard, L. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev (eds.). *Botánica Económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 557 pp.
- Buytaert, W., R. Celleri, B. Debievre, F. Cisneros, G. Wyseure, J. Deckers & R. Hofstede. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Rev.*, 79(1-2): 53-72.
- Cáceres, M.D., F. Oliva & X. Font. 2003. GINKGO, un programa de análisis multivariante orientado a la clasificación basada en distancias. 27 Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, Lleida, 9 pp.
- Carrera, P. & G. Gunkel. 2003. Ecology of a high Andean stream, Río Itambi, Otavalo, Ecuador. *Limnological-Ecology and Management of Inland Waters*, 33: 29-43.
- Clarke, K.R. & R.M. Warwick. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council, PRIMER-E, Plymouth, 234 pp.
- Corigliano, M., C. Gualdoni, A. Oberto & G. Raffaini. 2005. Distribución altitudinal de macroinvertebrados en paisajes fluviales rurales y urbanos en subcuencas del río Carcañá, Pcia Córdoba. *Revista Universidad Nacional Río Cuarto*, 25(2): 125-142.
- Días-Quirós, C. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26(2): 381-394.
- Domínguez-Granda, L., M. Goethals & N.D. Pauw. 2005. Aspectos del ambiente físico-químico del río Chaguana: un primer paso en el uso de los macroinvertebrados bentónicos en la evaluación de su calidad de agua. *Rev. Tecnol. ESPOL*, 18(1): 127-134.
- Duellman, W.E. & J.B. Pramuk. 1999. Frogs of the genus *Eleutherodactylus* (Anura: Leptodactylidae) in the Andes of Northern Peru. Natural History Museum The University of Kansas, Kansas, *Sci. Pap.*, 13: 1-78.
- Ellenrieder, N.V. 2007. Composition and structure of aquatic insect assemblages of Yungas Mountain cloud forest streams in NW Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Argent.*, 66(3-4): 57-76.
- Emck, P., A. Moreira-Muñoz & M. Richter. 2006. El clima y sus efectos en la vegetación. In: M. Moraes, B. Øllgaard, L. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev (eds.). *Botánica económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 557 pp.
- García, E. & S. Beck. 2006. Puna. In: M. Moraes, B. Øllgaard, L.P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev. (eds.) *Botánica económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 557 pp.
- Gaston, K.J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405(6783): 220-227.
- González, E.J., V. Carrillo & C. Peñaherrera. 2004. Características físicas y químicas del embalse agua fría (Parque Nacional Macarao, Estado Miranda, Venezuela). *Acta Cient. Venez.*, 55: 225-236.
- Hedin, L. & E. Hetherington. 1996. Atmospheric and geologic constraints on the biogeochemistry of north and south american temperate rainforest. In: R. Lawford, P. Alaback & E. Fuentes (eds.). *High-latitude rainforests and associated ecosystems of the west coast of the Americas*. Springer, New York, 413 pp.
- Illies, J. 1964. The invertebrate fauna of the Huallaga, a Peruvian tributary of the Amazon River, from the sources down to Tingo Maria. *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 15: 1077-1083.
- Instituto de Ecología Aplicada (ECOLAP) & Ministerio del Ambiente (MAE). 2007. Guía del patrimonio de áreas naturales protegidas del Ecuador. ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM, Quito, 24 pp.
- Jacobsen, D. 1998. The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams. *Arch. Hydrobiol.*, 143: 179-195.
- Jacobsen, D. 2003. Altitudinal changes in diversity of macroinvertebrates from small streams in the Ecuadorian Andes. *Arch. Hydrobiol.*, 158(2): 145-167.
- Jacobsen, D. 2004. Contrasting patterns in local and zonal family richness of stream invertebrates along an Andean altitudinal gradient. *Freshwater Biol.*, 49(10): 1293-1305.

- Jacobsen, D. 2008. Tropical high-altitud streams. In: D. Dudgeon (ed.). *Tropical streams ecology*. Academic Press, San Diego, pp. 219-256.
- Jacobsen, D. 2009. Classical alpine stream types on equator: are they different? *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 30(8): 1245-1250.
- Jacobsen, D. & K. P. Brodersen. 2008. Are altitudinal limits of equatorial stream insects reflected in their respiratory performance? *Freshwater Biol.*, 53: 2295-2308.
- Jacobsen, D., S. Rostgaard & J.J. Vasconez. 2003. Are macroinvertebrates in high altitude streams affected by oxygen deficiency? *Freshwater Biol.*, 48(11): 2025-2032.
- Jacobsen, D., R. Schultz & A.C. Encalada. 1997. Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biol.*, 38(2): 247-261.
- Jacobsen, D., C. Cressa, J. Mathooko & D. Dudgeon. 2007. Macroinvertebrates: composition, life histories and production. In: D. Dudgeon (ed.). *Tropical stream ecology*. Academic Press, San Diego, pp. 370-405.
- Kato, E. 2006. *Manual de buenas prácticas ambientales para la curtiembre en Centroamérica*. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y CIATEC, A.C., 76 pp.
- Kessler, M. 2001. Patterns of diversity and range size of select plant group along an elevation transect in the Bolivian Andes. *Biodivers. Conserv.*, 10: 1897-1921.
- Lalanne, A. & A. Carsen. 2005. Proyecto piloto de producción más limpia y reducción de la contaminación por efluentes industriales. Desarrollo de casos demostrativos en Uruguay. *FREAPLATA*, 51 pp.
- Lujan, N.K., K.A. Roach, D. Jacobsen, K.O. Winemiller, V.M. Vargas, V.R. Ching & J.A. Maestre. 2013. Aquatic community structure across an Andes-to-Amazon fluvial gradient. *J. Biogeogr.*, 40(9): 1715-1728.
- Maddock, I. 1999. The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. *Freshwater Biol.*, 41(2): 373-391.
- Maldonado, M., J.A. Maldonado-Ocampo, H. Ortega, A.C. Encalada, F.M. Carvajal-Vallejos, J.F. Rivadeneira, F. Acosta, D. Jacobsen, Á. Crespo & C.A. Rivera-Rondón. 2011. Biodiversity in aquatic systems of the Tropical Andes. In: S.K. Herzog, R. Martínez, P.M. Jørgensen & H. Tiessen (eds.). *Climate change and biodiversity in the tropical Andes*. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), pp. 276-294.
- Mena, P. & R. Hofstede. 2006. Los páramos ecuatorianos. In: M. Moraes, B. Øllgaard, L. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev (eds.). *Botánica económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 557 pp.
- Molina, C., F. Gibon, J. Pinto & C. Rosales. 2008. Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la cordillera real, Bolivia: variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. *Ecol. Aplic.*, 7(1-2): 105-116.
- Montgomery, D., G. Balco & S. Willett. 2001. Climate, tectonics, and the morphology of the Andes. *Geology*, 29(7): 579-582.
- Moya, N., E. Goitia & M. Siles. 2003. Tipología de ríos de la región piedemonte andino en Cochabamba. *Rev. Boliv. Ecol. Conserv. Amb.*, 13: 95-115.
- Munné, A., N. Prat, C. Solá, N. Bonada & M. Rieradevall. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquat. Conserv. Mar. Fresh. Ecosys.*, 13: 147-163.
- Palma, A. & R. Figueroa. 2008. Latitudinal diversity of Plecoptera (Insecta) on local and global scales. *Illiesia*, 4(8): 81-90.
- Pardo, I., M. Álvarez, J. Casas, J.L. Moreno, S. Vivas, N. Bonada, J. Alba-Tercedor, P. Jáimez-Cuéllar, G. Moyà, N. Prat, S. Robles, M.L. Suárez, M. Toro & M.R. Vidal-Abarca. 2002. El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21 (3-4): 115-133.
- Pourrut, P. 1995. *El agua en el Ecuador: clima, precipitaciones, escorrentía*. Corporación Editorial Nacional, Quito, 118 pp.
- Prat, N., C. Ribera, M. Rieradevall, C. Villamarín & R. Acosta. 2013. Distribution, abundance and molecular analysis of genus *Barbadocladius* Cranston & Krosch 2011 (Diptera, Chironomidae) in tropical, high altitude, Andean streams and rivers. *Neotrop. Entomol.*, 42(6): 607-617.
- Prat, N., B. Ríos, R. Acosta & M. Rieradevall. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. In: E. Domínguez & H. Fernández (eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, pp. 631-654.
- Rivera, N.R., A. Muñoz-Pedrerros & F. Encina. 2002. La calidad físico química de las aguas en la reserva nacional Malleco en la IX Región de Chile. *Información Tecnológica*, 13(6): 37-45.
- Sanders, N.J. 2002. Elavational gradients in ant species richness: area, geometry an Rapoport's rule. *Ecography*, 25: 25-32.
- Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición

- ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos*, 16(2): 45-63.
- Segnini, S. & M.M. Chacón. 2005. Caracterización físico-química del hábitat interno y ribereño de los ríos andinos en la cordillera de Merida, Venezuela. *Ecotropicos*, 18(1): 38-61.
- Toro, M., S. Robles, J. Avilés, C. Nuño, S. Vivas, N. Bonada, N. Prat, J. Alba-Tercedor, J. Casas, C. Guerrero, P. Jáimez-Cuéllar, J.L. Moreno, G. Moyá, G. Ramon, M.L. Suárez, M.R. Vidal-Abarca, M. Álvarez & I. Pardo. 2002. Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto Guadalmed. Características físico-químicas. *Limnetica*, 21(3-4): 63-75.
- Villamarín, C., M. Rieradevall, M.J. Paul, M.T. Barbour & N. Prat. 2013. A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: the IMEERA index. *Ecol. Indic.*, 29: 79-92.
- Weigend, M. 2002. Observations on the biogeography of the Amotape-Huancabamba zone in the Northern Peru. *Bot. Rev.*, 68(1): 38-54.
- Willig, M.R., D.M. Kaufman & R.D. Stevens. 2003. Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis. *Annu. Rev. Ecol. Evol. System.*, 34: 273-309.
- Winckell, A., C. Zebrowski & M. Sourdat. 1997. Los paisajes naturales del Ecuador. Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica, Quito, 159 pp.
- Young, K. 2011. Introduction to Andean geographie. In: S.K. Herzog, R. Martínez, P.M. Jørgensen & H. Tiessen (eds.). *Climate change and biodiversity in the tropical Andes*. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), pp. 276-294.

*Received: 2 November 2013; Accepted: 21 August 2014*

**Anexo 1.** Estadística descriptiva (Min: valor mínimo, Max: valor máximo, Media: media aritmética, DS: desviación estándar) de las variables físicas y químicas medidas en los ríos altoandinos muestreados en el Ecuador y Perú. La letra junto al nombre de la cuenca hace referencia al país al cual pertenece (E: Ecuador, P: Perú).

Cuenca	Fecha de muestreo	n	Oxígeno (%)	Oxígeno (mg L <sup>-1</sup> )	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (µS cm <sup>-1</sup> )	Conductancia (µS cm <sup>-1</sup> )	Amonio (mg L <sup>-1</sup> )	Fosfato (mg L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	Cobre (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Mira (E)</b>	8-12/Feb/2008	16											
Min			71,60	7,69	7,70	7,35	15,20	22,20	0,00	0,01	0,00	0,10	0,00
Max			81,50	9,04	17,30	9,46	437,70	516,00	1,42	2,31	0,15	0,60	0,23
Media			76,74	8,43	11,37	8,40	97,01	120,88	0,20	0,94	0,01	0,24	0,07
DS			3,20	0,46	2,93	0,50	113,01	130,46	0,39	0,90	0,04	0,17	0,06
<b>Aguarico (E)</b>	18-20/Feb/2008	14											
Min			77,00	8,54	8,00	6,54	10,70	15,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Max			82,60	9,16	12,60	8,72	52,50	71,70	0,00	0,58	0,10	0,20	0,13
Media			79,31	8,83	10,62	7,80	21,45	29,32	0,00	0,17	0,01	0,10	0,07
DS			1,85	0,16	1,35	0,54	10,62	14,12	0,00	0,17	0,03	0,06	0,03
<b>Guayas (E)</b>	23-26/Ago/2008	15											
Min			68,70	8,04	8,60	7,28	22,10	27,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Max			87,00	9,31	16,20	8,53	198,60	274,40	0,23	3,65	0,03	0,80	0,35
Media			81,55	8,75	12,19	8,06	127,84	170,59	0,07	0,51	0,01	0,22	0,05
Mediana			83,60	8,76	12,50	8,05	133,50	177,10	0,04	0,07	0,00	0,10	0,03
<b>Pastaza (E)</b>	15-18/Ago/2008	16											
Min			69,30	6,96	6,10	6,96	22,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Max			86,60	9,59	16,60	8,52	881,00	1055,00	1,07	2,35	0,03	0,70	0,34
Media			79,29	8,80	10,83	7,90	150,33	187,53	0,19	0,32	0,00	0,22	0,06
DS			4,76	0,74	2,54	0,42	210,63	259,35	0,30	0,59	0,01	0,22	0,09
<b>Santa (P)</b>	15-19/Oct/2008	16											
Min			66,20	6,42	6,60	3,20	21,10	4,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Max			81,50	9,40	18,10	8,43	455,00	587,00	0,23	0,04	0,02	0,40	0,15
Media			74,88	8,18	11,70	7,13	109,86	143,86	0,07	0,01	0,01	0,18	0,04
DS			4,88	0,86	3,16	1,54	113,93	149,66	0,07	0,02	0,01	0,11	0,06
<b>Mosna (P)</b>	21-23/Oct/2008	16											
Min			57,80	6,54	7,40	4,52	17,30	25,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Max			85,10	9,48	15,00	8,30	429,80	545,00	1,43	0,09	0,01	0,60	0,14
Media			77,21	8,44	11,23	7,51	86,56	113,91	0,31	0,02	0,00	0,19	0,07
DS			6,09	0,64	2,11	0,95	101,22	126,68	0,44	0,03	0,00	0,18	0,06
<b>Colca (P)</b>	4-7/Oct/2007	15											
Min			0,24	0,05	2,00	5,00	0,33	0,41	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00
Max			116,40	12,23	20,80	9,00	1554,00	1925,00	3,76	0,80	0,03	0,70	0,91
Media			78,22	8,01	14,52	6,93	438,30	514,07	0,34	0,21	0,01	0,19	0,10
DS			26,68	2,77	4,74	1,10	531,65	618,00	0,99	0,22	0,01	0,18	0,22
<b>Urubamba (P)</b>	8-11/Oct/2007	15											
Min			70,70	6,54	10,10	6,00	68,30	64,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Max			116,90	76,50	22,90	9,00	1864,00	2211,00	1,34	4,06	0,23	3,30	4,66
Media			82,45	12,58	16,26	7,69	743,81	822,96	0,42	1,04	0,02	0,51	1,48
DS			11,14	17,71	3,78	0,83	484,69	608,70	0,44	1,04	0,06	0,91	1,44

Continuación

Cuenca	Fecha de muestreo	n	Plata (mg L <sup>-1</sup> )	Plomo (mg L <sup>-1</sup> )	Zinc (mg L <sup>-1</sup> )	Hierro (mg/l)	Magnesio (mg L <sup>-1</sup> )	Calcio (ppm)	Sodio (ppm)	Potasio (ppm)	Cloruro (ppm)	Sulfato (ppm)	QBR	IHF
<b>Mira (E)</b>	8-12/Feb/2008	16												
Min			0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	2,47	3,16	1,51	0,00	0,00	0,00	47,00
Max			0,01	0,03	0,15	1,47	23,78	29,20	36,30	5,25	6,49	5,61	1,00	82,00
Media			0,00	0,00	0,07	0,44	3,82	10,01	10,20	2,96	1,09	1,69	0,53	61,25
DS			0,00	0,01	0,04	0,38	6,66	7,67	10,00	1,22	1,62	1,73	0,35	10,42
<b>Aguarico (E)</b>	18-20/Feb/2008	14												
Min			0,00	0,00	0,03	0,14	0,00	0,01	0,00	1,32	0,00	0,00	0,25	48,00
Max			0,00	0,03	0,17	0,82	2,76	7,37	5,81	3,36	2,44	0,00	1,00	87,00
Media			0,00	0,01	0,11	0,32	0,84	2,99	3,59	1,94	0,61	0,00	0,73	61,79
DS			0,00	0,01	0,03	0,17	0,66	1,59	1,58	0,58	0,63	0,00	0,29	9,35
<b>Guayas (E)</b>	23-26/Ago/2008	15												
Min			0,00	0,00	0,06	0,01	3,56	10,22	6,38	1,72	0,87	0,73	0,15	35,00
Max			0,00	0,01	0,44	1,02	9,26	32,45	25,24	12,82	45,39	17,14	1,00	80,00
Media			0,00	0,00	0,18	0,30	6,18	17,35	11,61	4,59	9,03	8,26	0,49	57,33
Mediana			0,00	0,00	0,17	0,24	5,93	15,62	9,58	4,21	5,43	7,05	0,27	11,27
<b>Pastaza (E)</b>	15-18/Ago/2008	16												
Min			0,00	0,00	0,01	0,11	1,41	2,56	1,11	0,44	0,00	0,00	0,05	43,00
Max			0,28	0,03	0,90	2,14	86,00	66,63	93,58	11,08	36,77	238,06	1,00	73,00
Media			0,04	0,00	0,20	0,48	13,63	18,29	14,84	4,76	6,01	30,39	0,44	57,69
DS			0,09	0,01	0,20	0,48	21,11	18,06	24,52	2,88	9,66	66,14	0,38	9,00
<b>Santa (P)</b>	15-19/Oct/2008	16												
Min			0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	3,71	1,26	2,00	-	-	0,25	39,00
Max			0,11	0,01	0,30	1,05	17,37	75,60	21,83	3,59	-	-	1,00	85,00
Media			0,03	0,00	0,12	0,26	3,40	18,35	5,92	2,23	-	-	0,65	58,81
DS			0,04	0,00	0,10	0,35	4,31	19,03	5,74	0,48	-	-	0,26	11,13
<b>Mosna (P)</b>	21-23/Oct/2008	16												
Min			0,00	0,00	0,00	0,03	0,35	1,83	0,37	2,00	-	-	0,45	38,00
Max			0,52	0,02	0,14	1,16	36,88	61,14	5,94	4,62	-	-	1,00	67,00
Media			0,08	0,00	0,06	0,29	4,95	12,97	1,91	2,28	-	-	0,73	50,75
Des. Sta.			0,16	0,00	0,05	0,30	8,66	15,53	1,40	0,71	-	-	0,17	6,47
<b>Colca (P)</b>	4-7/Oct/2007	15												
Min			0,00	0,00	0,00	0,01	0,64	1,46	1,08	3,12	0,00	0,00	0,50	33,00
Max			0,02	0,00	0,21	0,23	84,99	120,80	343,50	27,49	525,41	346,13	1,00	67,00
Media			0,00	0,00	0,06	0,07	12,28	28,70	75,40	10,64	96,37	75,25	0,81	52,80
DS			0,01	0,00	0,06	0,06	20,81	31,40	97,56	6,96	143,28	98,44	0,18	8,25
<b>Urubamba (P)</b>	8-11/Oct/2007	15												
Min			0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	9,97	1,29	0,00	0,00	7,17	0,25	35,00
Max			0,00	0,03	0,09	0,11	56,32	282,80	185,20	18,57	361,73	888,78	0,95	73,00
Media			0,00	0,00	0,03	0,04	18,30	123,60	57,67	5,06	93,52	297,01	0,67	51,87
DS			0,00	0,01	0,02	0,03	13,53	80,31	63,40	4,91	119,46	235,81	0,26	11,24