

Artículo original

## Distribución altitudinal de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables ambientales en un sistema fluvial amazónico (Perú)

### Altitudinal distribution of aquatic macroinvertebrates and its relation to environmental variables in an Amazon river system (Perú)

✉ Jerry Arana-Maestre<sup>1,\*</sup>, ✉ Daniel Álvarez-Tolentino<sup>2</sup>, ✉ Rafael Miranda<sup>3</sup>, ✉ Ibon Tobes<sup>3,4</sup>,  
✉ Julio Araujo-Flores<sup>5,6,7</sup>, ✉ Carlos Carrasco-Badajoz<sup>8</sup>, ✉ Carolina Rayme-Chalco<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Limnología, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

<sup>2</sup>Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Moquegua, Perú

<sup>3</sup>Departamento de Biología Ambiental, Universidad de Navarra, España

<sup>4</sup>Centro de Investigación de la Biodiversidad y Cambio Climático (BioCamb) e Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos, Facultad de Ciencias de Medio Ambiente, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito-Ecuador

<sup>5</sup>Department of Biology and Center for Energy, Environment, and Sustainability, Wake Forest University, USA

<sup>6</sup>Centro de Innovación Científica Amazónica, Puerto Maldonado, Madre de Dios, Perú

<sup>7</sup>Colección Científica de Ictiología, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

<sup>8</sup>Laboratorio de Biodiversidad y Sistema de Información Geográfica (BioSIG), Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú

## Resumen

Hay pocos estudios ecológicos sobre los patrones de diversidad de los macroinvertebrados acuáticos en la Amazonía peruana, a pesar de ser esenciales para la gestión y manejo de estos ecosistemas fluviales. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar su composición taxonómica y su relación con las variables ambientales a lo largo de un gradiente altitudinal del río Alto Madre de Dios, cuenca en donde podrían registrarse nuevas especies. Se establecieron 22 estaciones en un rango altitudinal de 398 a 2.411 m s.n.m., cuantificando las características fisicoquímicas del agua y del hábitat fluvial: pH, temperatura del agua (T, °C), conductividad eléctrica (CE,  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), ancho del río (A, m), profundidad (P, cm), sombra y velocidad del flujo de la corriente ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Para los muestreos de macroinvertebrados se utilizó una red “de patada” de 200  $\mu\text{m}$  de tamaño de malla. Se identificaron 56 taxones distribuidos en los órdenes Acari, Ephemeroptera, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Megaloptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera y Decapoda. Los análisis multivariados de clasificación y agrupamiento permitieron establecer cuatro grupos de estaciones estadísticamente diferenciadas ( $p < 0,05$ ), principalmente por la velocidad y el tipo de sustrato dominante, lo que explica la abundancia y amplia distribución de Chironomidae, *Baetodes*, *Thraulodes* y *Anacroneturia*. Los taxones de macroinvertebrados cambiaron notablemente a lo largo del gradiente, reportándose una mayor diversidad en zonas con altitudes medias y una relación con las variables ambientales.

**Palabras claves:** Composición; Abundancia; Invertebrados dulceacuícolas; Distribución.

## Abstract

In the Peruvian Amazon, there are few ecological studies on the diversity patterns of aquatic macroinvertebrates, essential for the management of these fluvial ecosystems. In such context, our objective was to determine the taxonomic composition and its relationship with environmental variables along an altitude gradient of the Alto Madre de Dios River, a basin with the potential to register new species. We established 22 stations in an altitudinal range from 398 to 2411 masl and evaluated the water physicochemical characteristics and the fluvial habitat: pH, water temperature

**Citación:** Arana-Maestre J, Álvarez-Tolentino D, Miranda R, et al. Distribución altitudinal de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables ambientales en un sistema fluvial amazónico (Perú). Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 45(177):1097-1112, octubre-diciembre de 2021. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1436>

**Editor:** Elizabeth Castañeda

**\*Correspondencia:**

Jerry Arana Maestre;  
jaranam@unmsm.edu.pe

**Recibido:** 4 de abril de 2021

**Aceptado:** 7 de septiembre de 2021

**Publicado:** 15 de diciembre de 2021



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

(T, ° C), electrical conductivity (CE,  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), river width (A, m), depth (P, cm), shadow, current flow speed ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), and depth. We took macroinvertebrate samples with a 200- $\mu\text{m}$ -mesh-size kick net and identified 56 taxa distributed in the orders Acari, Ephemeroptera, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Megaloptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera, and Decapoda. In the multivariate classification and grouping analysis, four groups of statistically differentiated stations ( $p < 0,05$ ) were classified, mainly by speed and the type of dominant substrate, which explains the abundance and wide distribution of Chironomidae, *Baetodes*, *Traulodes*, and *Anacroneturia*. Macroinvertebrate taxa changed notably along the gradient reporting a greater diversity in areas with middle altitudes and a relationship with environmental variables.

**Keywords:** Composition; Abundance; Freshwater invertebrates; Distribution.

## Introducción

Pese a la presión antropogénica que lo está degradando (Laurance, *et al.*, 2014; Campbell, *et al.*, 2018), el sistema fluvial del Amazonas todavía alberga una gran riqueza de especies de vertebrados e invertebrados de agua dulce, lo que requiere una adecuada gestión, así como el desarrollo y adaptación de herramientas para recopilar e interpretar información sobre los patrones de diversidad (Lessmann, *et al.*, 2016; Jézéquel, *et al.*, 2020). Es preocupante que muchas especies de invertebrados tropicales están poco documentadas en comparación con las europeas y norteamericanas (Touron-Poncet, *et al.*, 2014; Sarremejane, *et al.*, 2020).

Los ecosistemas fluviales tienen a los macroinvertebrados acuáticos como uno de los principales componentes biológicos y en gran medida son responsables del flujo de energía desde los productores primarios a niveles superiores (Walteros & Castaño, 2020). El conocimiento de los macroinvertebrados en América del Sur es aún escaso y gran parte de la información se halla dispersa en publicaciones europeas, norteamericanas y suramericanas (Roldán-Pérez, 2016; De León, *et al.*, 2020). Los avances en su descripción y la comprensión de su relación con patrones geográficos y rangos altitudinales también son limitados (Jacobsen, 2004; Castro, *et al.*, 2019).

Una de las cuencas poco estudiadas en la Amazonía peruana es la del río Alto Madre de Dios, la cual nace en la parte oriental de la cordillera de Vilcanota y hace parte del sistema fluvial del Amazonas y forma el río Madre de Dios la confluencia con el río Manu, lo que constituye el sistema fluvial más importante del sureste de Perú (Figueroa & Stucchi, 2010). En esta cuenca existen asentamientos humanos (colonos) y comunidades nativas que desarrollan la agricultura y extracción forestal como principales actividades económicas (Mayor & Bodmer, 2009).

En este contexto, el conocimiento de la distribución y diversidad de los macroinvertebrados acuáticos en el gradiente altitudinal contribuirá a desarrollar acciones de gestión y conservación adecuadas, por lo que se propuso evaluar su diversidad y su relación con algunas variables ambientales a lo largo del gradiente altitudinal de la cuenca del río Alto Madre de Dios.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la cuenca del río Alto Madre de Dios, en la zona de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera del Manu (12°08' S y 71°40' O), entre las provincias de Paucartambo (departamento del Cusco) y Manu (departamento de Madre de Dios) en el sur de Perú. El río Alto Madre de Dios fluye de sur a norte durante 275 km, drenando un área aproximada de 1.600 km<sup>2</sup>. El gradiente altitudinal va desde los 3.500 a los 300 m s.n.m. hasta su unión con el río Manu, abarcando cinco zonas de vegetación andina: puna (4.500-3.500 m), bosque de nubes superior (3.500-2.500 m), bosque de nubes inferior (2.500-1.000 m), piedemonte (1.000-400 m) y tierras bajas (400-50 m) (Brack & Mendiola, 2000).

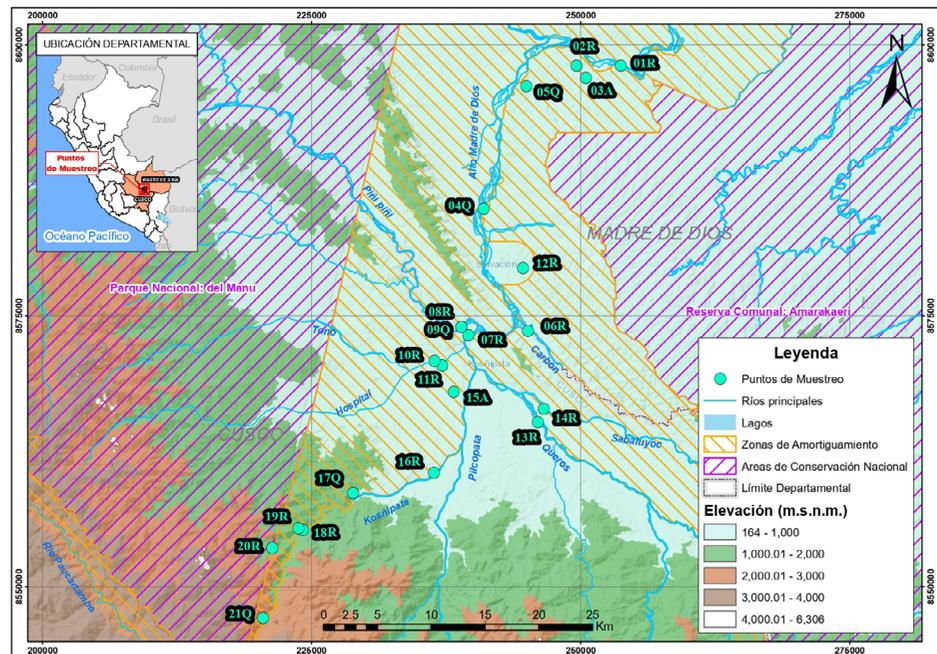
Se tomaron muestras en 22 estaciones (**Tabla 1**): la de mayor altitud a 2.411 m s.n.m. y la de menor altitud, a 398 m s.n.m. 80 km río abajo (**Figura 1**). Los ríos fluyen a través de profundos y estrechos valles y laderas escarpadas desde la fuente hasta alrededor de los 700 m s.n.m., para luego abrirse en amplias planicies de inundación de tierras bajas. El régimen de caudal está influenciado por la presencia de precipitaciones estacionales con mayor descarga entre noviembre y abril.

Actualmente, la mayor parte del área adyacente al río Alto Madre de Dios todavía está cubierta por bosque primario amazónico, aunque parte de ella fue deforestada y el suelo se utiliza para la ganadería (**Hamilton, et al., 2007**). También hay presencia de instalaciones turísticas con hostales y una red de senderos forestales que son utilizados por un número relativamente bajo de turistas (**Yu, et al., 1997**).

**Tabla 1.** Ubicación y descripción de las estaciones de muestreo en la cuenca del río Alto Madre de Dios (Perú)

Estaciones de muestreo	Descripción	Coordenadas		Altitud (m s.n.m.)
		Sur	Oeste	
01R	Río Madre de Dios en la localidad de Aguas Calientes	12°40'18"	71°16'02"	398
02R	Río Shintuya en la localidad de Shintuya	12°40'17"	71°18'18"	424
03A	Quebrada Anaconda en la localidad de Shintuya	12°40'54"	71°17'50"	428
04Q	Quebrada Mascuitania en la localidad de Mascuitania	12°47'24"	71°23'09"	459
05Q	Quebrada Puente a 2,50 Km en la localidad de Dos Cincuenta	12°41'18"	71°20'54"	462
06R	Río Carbón en la localidad de Atalaya	12°53'33"	71°20'56"	499
07R	Río Pilcopata en la localidad de Villa Carmen	12°53'44"	71°23'59"	511
08R	Piñi-Piñi en la localidad de Villa Carmen	12°53'19"	71°24'21"	518
09Q	Quebrada Piñi-Piñi en la localidad de Villa Carmen	12°53'19"	71°24'21"	518
10R	Río Hospital en la localidad de comunidad nativa Huacari	12°55'14"	71°25'21"	547
11R	Río Tono en la localidad de comunidad nativa Huacari	12°55'01"	71°25'44"	551
12R	Río Salvación en la localidad de Salvación	12°50'23"	71°21'09"	558
13R	Río Queros en la localidad de Pampa Azul	12°58'07"	71°20'28"	587
14R	Río Sabaluyoc en la localidad de Sabaluyoc	12°57'27"	71°20'09"	593
15A	Aguajal en la localidad de Agua Santa	12°56'33"	71°24'46"	622
16R	Río Kosñipata en la localidad de Asunción	13°00'36"	71°25'50"	720
17Q	Quebrada Quitacalzón en la localidad de Consuelo	13°01'34"	71°29'59"	1064
18R	Río Kosñipata en la localidad de San Pedro	13°03'23"	71°32'36"	1347
19R	Río San Pedro en la localidad de San Pedro	13°03'19"	71°32'48"	1394
20R	Río Unión en la localidad de Unión	13°04'17"	71°34'11"	1673
21Q	Quebrada Américo en la localidad de Wayquecha	13°07'46"	71°34'41"	2218
22Q	Río Pacchayoc en la localidad de Pacchayoc	13°09'30"	71°35'51"	2411

R: ríos, Q: quebradas y A: aguajal



**Figura 1.** Mapa del sistema fluvial de la cuenca del río Alto Madre de Dios (Cusco-Madre de Dios) con la ubicación de las 22 estaciones de muestreo. R: ríos, Q: Quebradas y A: Aguajal

### Muestreo

El muestreo se realizó en junio del 2012, durante la época seca. Se eligió la época de vaciante debido a la mayor estabilidad ambiental y biótica, además de ser un período más seguro para el muestreo (Henriques-Oliveira & Nessimian, 2010).

Se determinaron las siguientes características fisicoquímicas: potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T, °C) y conductividad eléctrica (CE,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) empleando un multiparámetro portátil HI-98129 (Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA).

El hábitat se caracterizó a partir de la medición del ancho del río (A, m), la profundidad (P, cm), la velocidad de la corriente (V, m/s), el sustrato dominante y el porcentaje de sombra en transectos según la recomendación de Armantrout (1998). En cada estación de muestreo se establecieron cinco transectos a lo largo del río, con tres puntos de muestreo en cada uno. Las profundidades se midieron con una regla graduada de metal, se determinaron los porcentajes y se clasificaron en tres grupos: baja (PB, <30 cm), media (PM, 30-60 cm) y alta (PA, >60 cm). Las velocidades de corriente se midieron con un reómetro (Speed Coach OC 2, Nielsen-Kellerman Co., Boothwyn, PA, USA) y se clasificaron en cuatro grupos: baja (VB, <0,3 m/s), media (VM, 0,3-0,75 m/s), alta (VA, 0,76-1,2 m/s) y muy alta (VMA, >1,2 m/s). El sustrato dominante se clasificó como fino (F, < 2 mm), de gravas (G, 2-64 mm), canto rodado (CR, 64-256 mm), piedras (PI, >256 mm) y rocas.

Para la recolección de los macroinvertebrados acuáticos se utilizó una red de patada (tamaño de malla 200  $\mu\text{m}$ ) y se emplearon 20 patadas de esfuerzo. Todas las muestras fueron compuestas (multihábitat) hasta formar una única muestra representativa de cada estación de muestreo, y se conservaron en etanol al 70 %. En el laboratorio se identificaron hasta el nivel taxonómico más bajo utilizando claves y descripciones taxonómicas especializadas (Roldán, 1996; Manzo, 2005; Domínguez, *et al.*, 2006; Merrit, *et al.*, 2008; Domínguez & Fernández, 2009), para luego contabilizarlas a nivel de familia y género. Las muestras identificadas fueron depositadas en la colección de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Limnología del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

### Análisis de datos

Los datos fisicoquímicos y del hábitat fluvial (variables ambientales) se transformaron a raíz cuadrada antes del análisis multivariado de clasificación y agrupamiento (Henriques-Oliveira & Nessimian, 2010), obteniéndose un dendrograma de distancia euclidiana. Se utilizó la prueba de Simproff ( $p < 0,05$ ) con el dendrograma para identificar los grupos estadísticamente significativos (Oyanedel, *et al.*, 2008) y se hizo un análisis de componentes principales (ACP) para simplificar las 19 variables ambientales e identificar las de mayor importancia.

Los datos de abundancia de los taxones identificados se transformaron a  $\log_{10}(X+1)$  para el análisis de correspondencia canónica (ACC), con el fin de inferir la relación entre los parámetros de mayor importancia y la presencia de taxones de invertebrados dulceacuícolas. Los análisis se hicieron con los paquetes Vegan (Oksanen, *et al.*, 2017) y FactoMineR del programa R, versión 3.5.1 (Lê, *et al.*, 2008)

## Resultados

### Características fisicoquímicas y del hábitat fluvial

Las características fisicoquímicas del agua y del hábitat fluvial presentaron variaciones a lo largo del gradiente altitudinal (Tabla 2). Entre las variaciones más relevantes estuvo el ancho (2,5-28,3 m), la profundidad media (5,1-57,4 cm) y la velocidad media (0,04-0,9

**Tabla 2.** Valores de los parámetros fisicoquímicos y características del hábitat fluvial obtenidos en las estaciones de muestreo en la cuenca del río Alto Madre de Dios (Perú)

Estación de muestreo	Fisicoquímicos/hábitat fluvial						Profundidades (%)			Velocidades (%)				Tipo de sustrato (%)				Sombra (%)	
	pH	T (°C)	CE (µS/cm)	A (m)	P (cm)	V (m/s)	PB	PM	PA	VB	VM	VA	VMA	F	G	CR	PI	R	S
01R	8,0	24,3	105,0	18,2	25,1	0,5	58,0	42,0	0,0	17,0	67,0	17,0	0,0	14,2	0,0	77,5	8,3	0,0	0,0
02R	8,1	24,4	99,0	11,2	13,7	0,2	100,0	0,0	0,0	58,0	42,0	0,0	0,0	46,7	15,8	35,0	2,5	0,0	41,7
03A	7,4	26,4	119,0	3,5	16,8	0,1	100,0	8,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	94,2	0,0	0,0	5,8	0,0	100,0
04Q	6,8	29,0	44,0	7,9	25,6	0,2	58,0	33,0	8,0	58,0	42,0	0,0	0,0	58,3	0,0	41,7	0,0	0,0	8,3
05Q	8,0	26,1	169,0	5,5	18,7	0,2	92,0	8,0	0,0	67,0	33,0	0,0	0,0	60,8	0,0	20,0	19,2	0,0	75,0
06R	8,8	26,3	102,0	14,4	34,5	0,4	33,0	50,0	17,0	17,0	75,0	8,0	0,0	15,0	2,5	82,5	0,0	0,0	16,7
07R	6,9	24,8	119,0	15,7	15,6	0,0	83,0	17,0	0,0	92,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,8	29,2	0,0	0,0
08R	6,9	22,3	131,0	6,9	44,1	0,2	17,0	67,0	17,0	67,0	33,0	0,0	0,0	58,3	0,0	0,0	41,7	0,0	0,0
09Q	7,2	22,3	126,0	4,5	5,1	0,1	100,0	0,0	0,0	78,0	22,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3
10R	7,6	23,1	26,0	28,3	36,6	0,7	50,0	50,0	8,0	0,0	50,0	42,0	8,0	0,0	26,7	36,7	36,7	0,0	16,7
11R	7,7	19,1	50,0	6,9	22,1	0,3	83,0	17,0	0,0	25,0	75,0	0,0	0,0	19,2	22,5	58,3	0,0	0,0	0,0
12R	7,3	24,0	33,0	4,4	30,1	0,4	75,0	8,0	17,0	33,0	58,0	8,0	0,0	27,5	0,0	39,2	33,3	0,0	33,3
13R	8,0	20,0	61,0	10,4	39,5	0,3	17,0	83,0	0,0	42,0	58,0	0,0	0,0	14,2	2,5	78,3	5,0	0,0	0,0
14R	7,7	19,7	44,0	22,9	31,0	0,4	58,0	58,0	0,0	8,0	83,0	8,0	0,0	0,0	0,0	92,5	7,5	0,0	16,7
15A	5,8	23,9	26,0	2,5	57,4	0,0	9,0	36,0	55,0	100,0	0,0	0,0	0,0	97,5	2,5	0,0	0,0	0,0	83,3
16R	7,4	26,4	65,0	5,2	19,9	0,3	83,0	25,0	0,0	45,0	55,0	0,0	0,0	35,8	5,8	28,3	30,0	0,0	16,7
17Q	7,8	20,9	52,0	4,1	31,4	0,5	50,0	50,0	8,0	25,0	58,0	17,0	0,0	11,7	16,7	30,8	40,8	0,0	100,0
18R	7,5	22,2	89,0	6,4	24,4	0,2	67,0	33,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0	70,0	0,0	0,0	30,0	0,0	0,0
19R	7,8	20,1	43,0	7,7	49,4	0,5	25,0	42,0	33,0	25,0	42,0	33,0	0,0	30,8	2,5	22,5	44,2	0,0	0,0
20R	7,7	20,2	64,0	8,4	32,0	0,7	50,0	58,0	0,0	0,0	50,0	50,0	0,0	0,0	22,5	53,3	15,8	8,3	25,0
21Q	7,4	17,3	51,0	4,0	30,2	0,8	50,0	58,0	0,0	8,0	17,0	75,0	0,0	8,3	8,3	16,7	50,0	16,7	66,7
22Q	4,4	16,1	188,0	6,1	23,9	0,9	83,0	33,0	0,0	0,0	27,0	73,0	0,0	2,5	2,5	38,3	48,3	8,3	75,0

T=temperatura del agua; CE=conductividad eléctrica; A=anchura media; P=profundidad media; V=velocidad media; B= baja; M=moderada; A=alta, MA=muy alta, F=fino, G=grava, CR=canto rodado, PI=piedras, R=rocas y S=sombra

m/s); asimismo, el pH (4,4-8,8), la temperatura del agua (16,1-29 °C) y la conductividad eléctrica (26-188  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) aumentaron a medida que el gradiente disminuyó. El sustrato fino y el de canto rodado dominaron en las estaciones bajas. El porcentaje de sombra varió desde la condición abierta (0 %) hasta la totalmente cubierta (100 %).

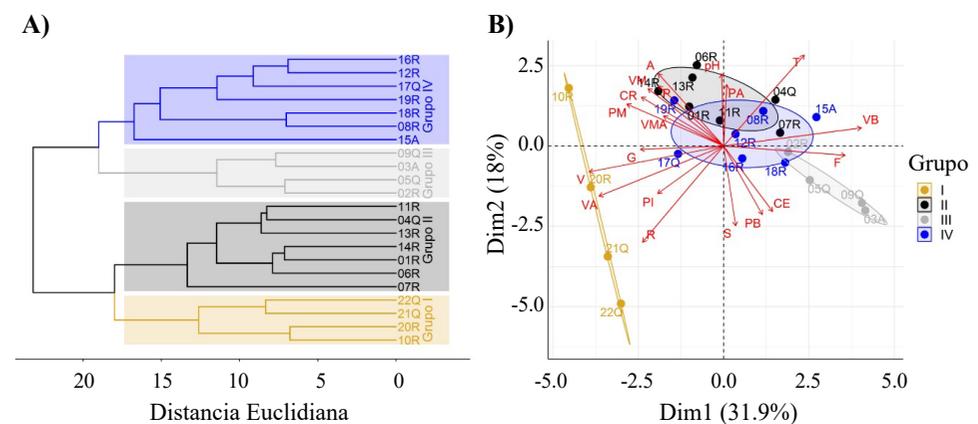
Mediante los análisis de clasificación y ordenamiento de los datos ambientales registrados en las estaciones de muestreo, se conformaron cuatro grupos significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) (**Figura 2A**). El grupo I (10R, 20R, 21Q y 22Q), conformado por estaciones ubicadas en las mayores altitudes, con excepción de la estación 10R (ubicada en altitudes medias), se caracterizó por el pH ligeramente alcalino (7,6; 7,7 y 7,4), excepto en la 22Q (4,4), mayores velocidades y predominio de sustratos de piedras y rocas. En las del grupo IV (08R, 12R, 15A, 16R, 17Q, 18R y 19R), de estaciones ubicadas en altitudes altas y medias, predominaron las conductividades eléctricas bajas, las velocidades y profundidades bajas y moderadas, y el sustrato fino y de piedras (**Figura 2B**). En las estaciones del grupo II (01R, 04Q, 06R, 07R, 11R, 13R y 14R), ubicadas en la parte media y baja, se observaron velocidades medias, predominó el canto rodado en los fondos y hubo menor cobertura. En las del grupo III (02R, 03A, 05Q y 09Q), ubicadas en la parte baja, las profundidades y velocidades fueron bajas, predominó el sustrato fino y hubo mayor cobertura.

Los dos primeros componentes del ACP explicaron un poco más del 50 % de las características: el CP1 (31,9 %) relacionado con la temperatura, la velocidad media, baja y alta y los sustratos rocosos y de piedras, y el CP2 (18 %), con el pH, el ancho, la velocidad moderada, y los sustratos finos y de canto rodado con sombra.

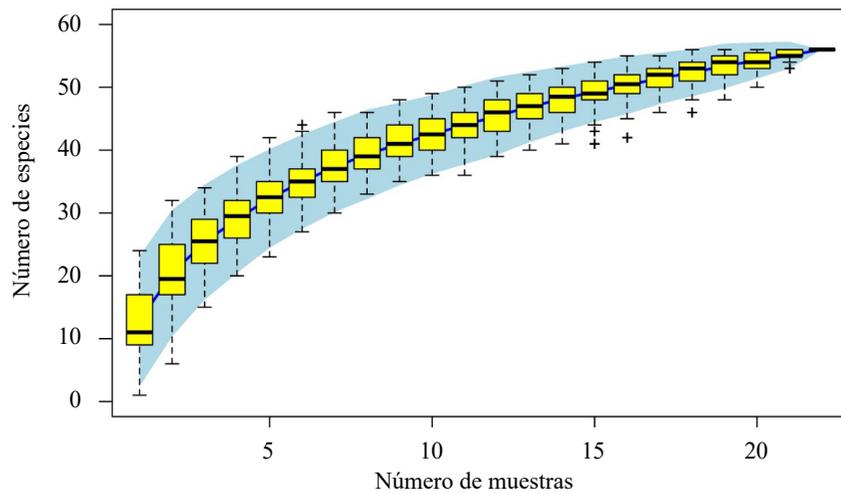
#### Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos

La curva de rarefacción (**Figura 3**) reveló poco aumento en la riqueza de taxones por encima de las primeras 21 estaciones, con lo que se constató que una gran parte de la riqueza se recolectó en las muestras del estudio.

Se recolectaron 7.187 individuos de 56 taxones distribuidos en los órdenes Acari, Ephemeroptera, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Megaloptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera y Decapoda (**Tabla 3**). La clase más abundante y diversa fue Insecta, cuyo orden Ephemeroptera presentó el mayor número de individuos (2.596), con 5 familias (Baetidae, Euthyplociidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae y Oligoneuriidae) y ocho géneros, seguido del orden Diptera (2.060 individuos, 8 familias y 10 géneros, dos de ellos indeterminados).



**Figura 2. A)** Dendrograma de agrupamiento de las 22 estaciones de muestreo en base a variables ambientales (características fisicoquímicas del agua y del hábitat fluvial). **B)** Diagrama de dispersión biespacial del análisis de componentes principales (ACP) basados en las variables ambientales según agrupamiento de las estaciones de muestreo (grupos I, II, III y IV) de la cuenca del río Alto Madre de Dios (Perú). T=temperatura del agua; CE=conductividad eléctrica; A=anchura media; P=profundidad media; V=velocidad media; B= baja; M=moderada; A=alta, MA=muy alta, F=fino, G=grava, CR=canto rodado, PI=piedras, R=rocas y S=sombra



**Figura 3.** Curva de acumulación según el número de muestras tomadas en la cuenca del río Alto Madre de Dios (Perú)

La familia Chironomidae fue la más abundante, con 21 % del total (1.550 individuos), seguido de los géneros *Baetodes* (614 individuos), *Thraulodes* (603 individuos) y *Anacroneria* (528 individuos), distribuidos en todo el gradiente altitudinal evaluado, así como los géneros *Americabaetis* (198 individuos) y *Smicridea* (171) (**Tabla 3**). Por otro lado, Plecoptera registró 1.040 individuos, dos familias y dos géneros, Trichoptera (954 individuos, 9 familias y 11 géneros), Coleoptera (532 individuos, 7 familias y 11 géneros, con dos indeterminados), Hemiptera (308 individuos, 3 familias y 5 géneros), Odonata (147 individuos, 4 familias y 4 géneros), Decapoda (76 individuos, 2 familias, 2 géneros y un género indeterminado) y Acari (15 individuos de una familia y un género no determinado).

Las estaciones del grupo I (zonas más elevadas con altas velocidades de corriente) presentaron 33 taxones y 2.284 individuos, predominantemente del orden Plecoptera (833 individuos y 2 géneros), seguido del orden Ephemeroptera, Diptera y Trichoptera, este último con una mayor diversidad en las estaciones ubicadas a altitudes altas y medias. En el grupo II (velocidades medias con canto rodado) se registraron 37 taxones y 2.647 individuos, con predominio de Ephemeroptera (1.322 individuos y 7 géneros), siendo los más importantes los géneros *Camelobaetidius* y *Thraulodes*. El grupo III (zona baja con velocidades bajas y sustrato fino) presentó 21 taxones y 1.081 individuos, con predominio del orden Diptera (734 individuos y 3 géneros), y dentro de este, la familia Chironomidae (673 individuos). Por último, el grupo IV (altitudes altas y medias con profundidades y velocidades bajas a moderadas), fue el más diverso, con 40 taxones y 1.787 individuos y el predominio de los órdenes Diptera, Ephemeroptera y Trichoptera y de la familia Chironomidae (232 individuos) y el género *Nectopsyche* (189 individuos).

Según los rangos altitudinales y las abundancias relativas (porcentaje) de los órdenes de los macroinvertebrados (**Figura 4**) (**Tabla 4**), entre los más persistentes y abundantes se encontraron Ephemeroptera, con los géneros *Baetodes*, *Thraulodes* y *Americabaetis*, Diptera (Chironomidae), Trichoptera (*Smicridea*) y Plecoptera (*Anacroneria*), este último abundante a mayor altitud y en aguas relativamente ácidas.

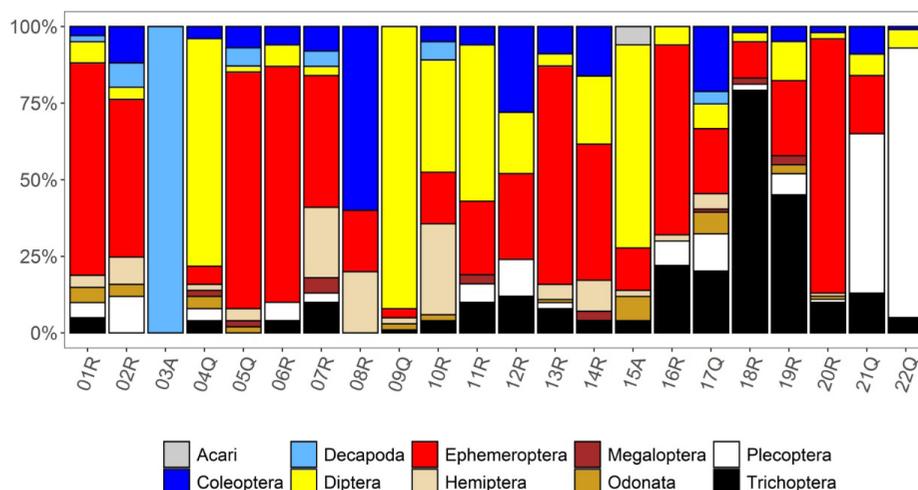
Por otra parte, la riqueza específica (S) varió considerablemente, desde un solo taxón en la estación 03A a 24 en el sitio 17Q, en tanto que la mayor abundancia se registró en la estación 09Q (722 individuos) y la menor en la 03A (7 individuos). Según los grupos de estaciones (**Figura 2A**), la riqueza varió entre 21 taxones en el grupo III y 40 en el grupo IV, en tanto que la mayor abundancia de individuos, 2.647 se registró en el grupo II y la menor en el III (1.081 individuos).

**Tabla 3.** Macroinvertebrados acuáticos registrados en las estaciones de muestreo de la cuenca del río Alto Madre de Dios (Perú)

Clase	Orden	Familia	Género	Clase	Orden	Familia	Género	
Arachnida	Acari	Indeterminado	Indeterminado	Insecta	Hemiptera	Gerridae	<i>Eurygerris</i> <i>Trepobates</i>	
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Americabaetis</i>			Naucoridae	<i>Cryphocricos</i> <i>Pelocoris</i>	
			<i>Andesiops</i>			Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	
			<i>Baetodes</i>		Megaloptera		Corydalidae	<i>Corydalus</i>
			<i>Camelobaetidius</i>		Odonata	Aeshnidae	<i>Aeshna</i>	
		Euthyplociidae	<i>Euthyplocia</i>		Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>		
		Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>		Coenagrionidae	<i>Argia</i>		
		Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>		Libellulidae	<i>Dhytemis</i>		
		Oligoneuriidae	<i>Lachlania</i>		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	
		Coleoptera	Elmidae			<i>Macrelmis</i>	Gripopterygidae	<i>Claudioperla</i>
					<i>Heterelmis</i>	Trichoptera	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>
<i>Stenelmis</i>	Helicopsychidae				<i>Helicopsyche</i>			
<i>Cyloopus</i>	Hydrobiosidae				<i>Atopsyche</i>			
Gyrinidae	<i>Gyrinus</i>		Hydropsychidae		<i>Leptonema</i> <i>Smicridea</i>			
Hydrophilidae	<i>Hydrophilus</i>		Hydroptilidae		<i>Ochrotrichia</i>			
Ptylodactylidae	Indeterminado		Glossosomatidae		<i>Mortoniella</i>			
Psephenidae	<i>Psephenus</i>		Leptoceridae		<i>Nectopsyche</i> <i>Grumichella</i>			
Diptera	Staphylinidae		<i>Psephenops</i>		Philopotamidae	<i>Chimarra</i>		
			Indeterminado		Odontoceridae	<i>Marilia</i>		
		Scirtidae	<i>Scirtes</i>		Malacostraca	Decapoda	Trichodactylidae	Indeterminado
		Blephariceridae	<i>Limonicola</i>				Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i> <i>amazonicum</i> <i>Macrobrachium</i> 1
			Ceratopogonidae		Indeterminado			
					<i>Alluaudomyia</i>			
			Chironomidae		Indeterminado			
		Empididae	<i>Hemerodromia</i>					
		Ephydriidae	<i>Ephydra</i>					
		Simuliidae	<i>Simulium</i>					
Tabanidae	<i>Tabanus</i>							
Tipulidae	<i>Hexatoma</i> <i>Tipula</i>							

**Composición taxonómica según características ambientales**

El ordenamiento en el ACC (41,4 % de la varianza total) con base en la abundancia de los taxones y las variables ambientales (**Figura 5**) evidenció relaciones importantes entre las comunidades de macroinvertebrados y los rangos de velocidades. Para el caso de Chironomidae, *Dhytemis* y *Alluaudomyia*, sus abundancias se asociaron a velocidades bajas; las de *Psephenus*, *Heterelmis*, *Camelobaetidius* y *Simulium* se relacionaron con las velocidades medias, y *Baetodes*, *Anacroneuria*, *Atopsyche*, *Smicridea* y *Tipula* se asociaron con velocidades altas y mayores altitudes. También se registraron asociaciones entre *Thraulodes* y *Americabaetis* y el ancho promedio del cauce, así como de *Ochrotrichia* y *Leptonema* y la profundidad.



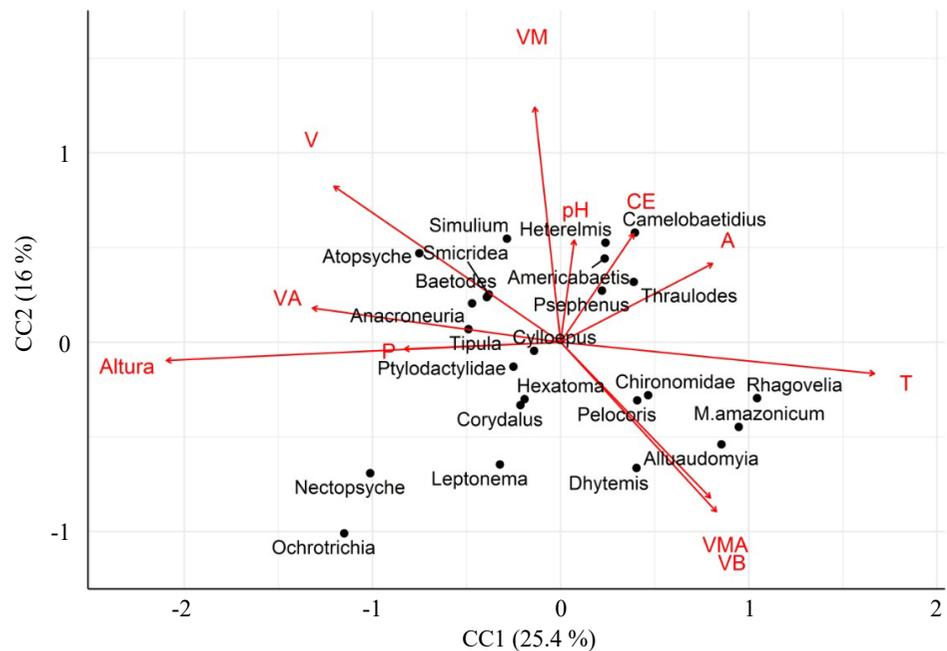
**Figura 4.** Porcentaje de órdenes de macroinvertebrados acuáticos registrados en cada estación de la cuenca del río Alto Madre de Dios (Perú)

**Tabla 4.** Distribución altitudinal y abundancia de taxones de macroinvertebrados acuáticos registrados en la cuenca del río Alto Madre de Dios (Perú)

Taxones	Rangos altitudinales (msnm)					Abundancia (n° individuos)
	2411-2000	2000-1500	1500-1000	1000-500	500-398	
Chironomidae						1550
<i>Baetodes</i>						614
<i>Thraulodes</i>						603
<i>Anacroneuria</i>						528
<i>Leptohyphes</i>						516
<i>Claudioperla</i>						485
<i>Camelobaetidius</i>						372
<i>Nectopsyche</i>						233
<i>Americabaetis</i>						198
<i>Smicridea</i>						171
<i>Cylloepus</i>						163
<i>Ochrotrichia</i>						159
<i>Rhagovelia</i>						148
<i>Pelocoris</i>						134
<i>Leptonema</i>						128
<i>Simulium</i>						114
<i>Atopsyche</i>						104
<i>Tipula</i>						103
<i>Corydalus</i>						71
<i>Dhytemis</i>						71
Ptylodactylidae						70

Taxones	Rangos altitudinales (msnm)					Abundancia (n° individuos)
	2411-2000	2000-1500	1500-1000	1000-500	500-398	
<i>Psephenus</i>						70
<i>Heterelmis</i>						52
<i>Macrobrachium amazonicum</i>						50
<i>Hexatoma</i>						49
<i>Phylloicus</i>						45
<i>Aeshna</i>						42
<i>Alluaudomyia</i>						40
<i>Euthyplocia</i>						26
<i>Psephenops</i>						26
<i>Macrelmis</i>						22
<i>Stenelmis</i>						22
<i>Macrobrachium</i>						22
<i>Helicopsyche</i>						19
<i>Acari</i>						15
<i>Marilia</i>						15
<i>Ephydra</i>						11
<i>Eurygerris</i>						11
<i>Trepobates</i>						11
<i>Grumichella</i>						11
<i>Chimarra</i>						11
<i>Lachlania</i>						8
<i>Hydrophilus</i>						8
<i>Andesiops</i>						7
Staphylinidae						7
<i>Scirtes</i>						7
Ceratopogonidae						7
<i>Hemerodoromia</i>						7
<i>Gyrinus</i>						4
<i>Limonicola</i>						4
<i>Tabanus</i>						4
<i>Cryphocricos</i>						4
<i>Hetaerina</i>						4
<i>Mortoniella</i>						4
Trichodactylidae						4
<i>Argia</i>						3
Total, taxones (n°)	18	13	28	48	25	7187

■ Presencia



**Figura 5.** Diagrama de ordenación del análisis de correspondencia canónica (ACC) que muestra la relación entre los taxones más abundantes registrados en los sitios de muestreo de la cuenca del río Alto Madre de Dios (CUSCO-MADRE DE DIOS). T=temperatura del agua; CE=conductividad eléctrica; A=anchura media; P=profundidad media; V=velocidad media; B= baja; M=moderada; A=alta y MA=muy alta

## Discusión

Según la distancia que recorren (orden al cual pertenecen), los ríos muestran cambios morfológicos y ambientales (grosor de las partículas del lecho, ancho y velocidad del cauce, forma del valle, entre otros) (Gordon, *et al.*, 2004), de la fisicoquímica del agua, la conductividad eléctrica, la dureza, la temperatura y la turbidez (Roldán & Ramírez, 2008), los cuales condicionan las características del ensamble de las comunidades biológicas (Vannote, *et al.*, 1980). Esta relación se manifiesta como influencia natural del gradiente altitudinal, que determina las adaptaciones a las condiciones ambientales en las que se desarrollan y han evolucionado (Roldán, 1996; 2003). Tales cambios también ocurren en el curso de los ríos estudiados bajo la influencia de características ambientales como el gradiente altitudinal, determinante en la dinámica de los organismos acuáticos y clave en la estructura de las comunidades acuáticas (Mendes, *et al.*, 2018).

La biodiversidad tiende a disminuir a mayor latitud y con el incremento del gradiente altitudinal (Whittaker, *et al.*, 2001; Willig, *et al.*, 2003) en respuesta a factores ambientales más restrictivos (Vannote, *et al.*, 1980; Rahbek, 1995). En el caso de los macroinvertebrados acuáticos, dicha relación es menos clara, tal vez por la falta de un mayor número de estudios (Jacobsen, 2004). En este sentido, Cressa (2000) en 28 arroyos de Venezuela y Monaghan, *et al.* (2000) en 45 arroyos ecuatorianos, no hallaron ninguna o poca relación con la altitud. En nuestros resultados, la riqueza de taxones de las 22 estaciones de muestreo no reveló un comportamiento regular con la altitud, siendo mayor la diversidad a altitudes medias, lo que coincide con otros estudios (Jacobsen, 2004; Henriques-Oliveira & Nessimian, 2010; Lujan, *et al.*, 2013; Arana & Cabrera, 2017; Carrasco, *et al.*, 2020).

Debido a la influencia del hombre hoy la biodiversidad en ecosistemas acuáticos epicontinentales se está perdiendo (Dudgeon, *et al.*, 2006), efecto que se observa sobre todo en aquellos que se hallan próximos a centros urbanos (Meyer, *et al.*, 2005; Roldán-Pérez,

2016) como consecuencia de los cambios en sus características fisicoquímicas naturales. Aparentemente dicho efecto no se manifiesta en los ríos estudiados por hallarse rodeados mayormente de bosques primarios, pese a que varias estaciones de muestreo se encontraban próximas a centros urbanos pequeños. Por ello se considera que la información recopilada corresponde a lugares poco o no alterados, y de ahí su importancia para conocer más sobre el ensamble de los macroinvertebrados y aproximarse a una mejor comprensión de sistemas fluviales (Paggi, 1999) tan poco descritos.

El número de taxones registrados en este estudio fue mayor a lo reportado en los cuerpos de agua ubicados dentro del área de influencia de la comunidad nativa de Puerto Arturo, en la confluencia del río Las Piedras con el río Madre de Dios, y la asociación de mineros de Manuani, donde se reportaron 42 taxones distribuidos en 6 clases, 13 órdenes y 31 familias (Araujo, 2010). También es mayor a lo reportado por Ortega, *et al.* (2007), quienes identificaron 20 géneros en parte de la cuenca hidrográfica del río Huallaga; sin embargo, en el Bajo Urubamba (Cusco Ucayali) Ortega, *et al.* (2010) reportaron 112 taxones a partir de un monitoreo biológico entre el 2003 y 2009. Las diferencias halladas probablemente se deban a la magnitud del esfuerzo desplegado.

Los organismos responden con adaptaciones fisiológicas y morfológicas a las exigencias del medio en el cual se hallan (Krebs, 2009; Molles, 2015; Smith & Smith, 2015), por ello, los componentes de los macroinvertebrados presentan adaptaciones según el grupo taxonómico al cual pertenecen, y responder a las variables del medio donde se desarrollan (Florencio, *et al.*, 2010) manteniendo su presencia o ausentándose (mediciones cuantitativas) y la magnitud de la abundancia (mediciones cualitativas) según las características del rango de tolerancia frente a las variables ambientales (González, 2006).

Chironomidae (Diptera) estaba presente en todo el gradiente altitudinal, con mayores abundancias en zonas donde la velocidad de la corriente es baja y el sedimento fino, gracias a que se ha adaptado para sobrevivir en entornos más extremos (Lods-Crozet, *et al.*, 2001; Scheibler, *et al.*, 2014), con abundante materia orgánica y periodos de anoxia (Vimos-Lojano, *et al.*, 2017). El orden Ephemeroptera también fue uno de los más abundantes y con mayor distribución; *Camelobaetidius* se asoció con velocidades medias y menores altitudes; *Baetodes* con mayores velocidades y altitudes, al igual que *Anacroneturia* (Plecoptera), *Atopsyche* y *Smicridea* (Trichoptera), que presentan adaptaciones para esos tipos de hábitats (Bispo, *et al.*, 2006; Schmitt, *et al.*, 2016). Entre los Coleoptera están los asociados a corrientes con velocidades medias: *Psephenus* (Psephenidae) y *Heterelmis* (Elmidae), aunque este último es característico de ambientes con altas velocidades y elevado contenido de oxígeno (Manzo, 2013; González-Córdoba, *et al.*, 2020), así como larvas de *Simulium* (Diptera) (Coscarón-Arias, 2009), que pueden sobrevivir en condiciones temporales de anoxia alimentándose de materia orgánica, por lo que están presentes en diferentes ambientes (Docile, *et al.*, 2015), tal como se recoge en el análisis de ACC.

La composición y la abundancia de los macroinvertebrados en el río Alto Madre de Dios se atribuyen a la velocidad y la cantidad del flujo de las corrientes, las cuales moldean los sustratos y controlan la acumulación de nutrientes y sedimentos en los lechos fluviales (Scholl, *et al.*, 2015; Wolters, *et al.*, 2018). Ello confirma que el gradiente altitudinal (en el que está inmerso el efecto de las variables ambientales) tiene un efecto en la composición, riqueza y abundancia de macroinvertebrados (García-Ríos, *et al.*, 2020). La heterogeneidad de la riqueza, la composición y la abundancia observadas en el gradiente altitudinal se ajusta a lo planteado en el modelo de río continuo, el cual sostiene que las comunidades biológicas se modifican de acuerdo al incremento del orden del río (dimensión fluvial) (Vannote, *et al.*, 1980), sin descartar la influencia antropogénica.

## Conclusiones

La diversidad del ensamble de los macroinvertebrados acuáticos se relacionó con las condiciones físicas y ambientales de la cuenca del río Alto Madre de Dios, determinadas por el gradiente altitudinal, registrándose mayores valores de composición y abundancia

en el rango intermedio de 1.000 a 500 m s.n.m. Las variables de mayor importancia fueron la velocidad de la corriente y la profundidad del cauce, sumadas a la posible influencia de la actividad antrópica en las poblaciones aledañas.

## Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Gobierno de España, Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación, AECID (Código A1/040396/11) y la Asociación de Amigos Universidad de Navarra. Agradecemos especialmente a la Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA) y a Andrea Pino del Carpio por el apoyo logístico y durante el muestreo. También queremos agradecer a los miembros de los departamentos de Ictiología y Limnología del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por su ayuda y asistencia, así como al Bachiller en Ingeniería Geográfica Isaias Quispe Quevedo por el diseño cartográfico.

## Contribución de los autores

Todos los autores participaron en el proceso de conceptualización de la revisión, la recolección de los datos y el tratamiento de la información, y la escritura del manuscrito.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Referencias

- Arana, J. & Cabrera, C.** (2017). Macroinvertebrados acuáticos y caracterización ecológica de los ambientes dulceacuícolas del área de influencia del gasoducto PERÚ LNG en los departamentos de Ica y Huancavelica. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*. **20** (40): 86-93. Doi: 10.15381/iigeo.v20i40.14394
- Araujo, J.** (2010). Informe Hidrobiológico Reserva Nacional Tambopata y Parque Nacional Bahuaja Sonene Epoca Seca-2010. PE, AIDER.
- Armantrout, N. B.** (1998). Glossary of aquatic habitat inventory terminology. American Fisheries Society. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015013229>
- Bispo, P. C., Oliveira, L. G., Bini, L. M., & Sousa, K. G.** (2006). Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: Environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. *Brazilian Journal of Biology*. **66** (2B): 611-622. Doi: 10.1590/S1519-69842006000400005
- Brack, A. & Mendiola, C.** (2000). Ecología del Perú. Bruño. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300056262>
- Campbell, A. J., Carvalheiro, L. G., Maués, M. M., Jaffé, R., Giannini, T. C., Benjamin Freitas, M. A., Texeira Coelho, B. W., Menezes, C.** (2018). Anthropogenic disturbance of tropical forests threatens pollination services to açai palm in the Amazon river delta. *Journal of Applied Ecology*. **55** (4): 1725-1736. Doi: 10.1111/1365-2664.13086
- Carrasco, C., Rayme, C., Alarcón, R. del P., Ayala, Y., Arana, J., Aponte, H.** (2020). Macroinvertebrados acuáticos en arroyos asociados con bofedales altoandinos, Ayacucho, Perú. *Revista de Biología Tropical*. **68** (S2): S116-S161. Doi: 10.15517/rbt.v68iS2.44344
- Castro, D. M. P., Callisto, M., Solar, R. R. C., Macedo, D. R., Fernandes, G. W.** (2019). Beta diversity of aquatic invertebrates increases along an altitudinal gradient in a Neotropical mountain. *Biotropica*. **51** (3): 399-411. Doi: 10.1111/btp.12660
- Cressa, C.** (2000). Macroinvertebrate community structure of twenty-eight Venezuelan streams. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen*. **27** (5): 2511-2518. Doi: 10.1080/03680770.1998.11898116
- Coscarón-Arias, C.** (2009). Diptera Simuliidae. En *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología* (pp. 365-381). Fundación Miguel Lillo. San Miguel de Tucumán. Argentina.
- De León, L. F., Cornejo, A., Gavilán, R. G., Aguilar, C.** (2020). Hidden biodiversity in Neotropical streams: DNA barcoding uncovers high endemism of freshwater macroinvertebrates at small spatial scales. *PLOS ONE*. **15** (8): e0231683. Doi: 10.1371/journal.pone.0231683

- Docile, T. N., Figueiró, R., Gil-Azevedo, L. H., Nessimian, J. L.** (2015). Contaminación del agua y distribución de la mosca negra (Diptera: Simuliidae) en el bosque Atlántico, Brasil. *Revista de Biología Tropical*. **63** (3): 683-693. Doi: 10.15517/rbt.v63i3.16195
- Domínguez, E. & Fernández, H.** (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología (1.<sup>a</sup> ed.). Fundación Miguel Lillo. pp 47-623. San Miguel de Tucumán. Argentina.
- Domínguez, E., Molineri, C., Pescador, M. L., Hubbard, M., Nieto, C.** (2006). Ephemeroptera of South America (2.<sup>a</sup> ed.). Pensoft Publishers. pp 29-587. San Miguel de Tucumán. Argentina.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, M. L. J., Sullivan, C. A.** (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*. **81** (2): 163-182. Doi: 10.1017/S1464793105006950
- Figueroa, J. & Stucchi, M.** (Eds.). (2010). Biodiversidad de los alrededores de Puerto Maldonado. Línea base ambiental del EIA del lote, 111. (IPyD ingenieros-Ingeniería de Proyectos y Desarrollo EIRL. y AICB-Asociación para la Investigación y Conservación de la Biodiversidad.).
- Florencio, M., Serrano, L., Gómez-Rodríguez, C., Millán, A., Díaz-Paniagua, C.** (2010). Inter- and intra-annual variations of macroinvertebrate assemblages are related to the hydroperiod in Mediterranean temporary ponds. En B. Oertli, R. Céréghino, J. Biggs, S. Declerck, A. Hull, & M. R. Miracle (Eds.), *Pond Conservation in Europe* (pp. 323-339). Springer Netherlands. Doi: 10.1007/978-90-481-9088-1\_27
- García-Ríos, R. F., Moi, D. A., Peláez, O. E.** (2020). Effects of altitudinal gradient on benthic macroinvertebrate assemblages in two hydrological periods in a Neotropical Andean river. *Ecología Austral*. **30** (1): 033-044. Doi: 10.25260/EA.20.30.1.0.995
- González, A. R.** (2006). *Ecología: métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Pontificia Universidad Javeriana. pp 50-59. Bogotá. Colombia.
- González-Córdoba, M., Zúñiga, M. del C., Manzo, V.** (2020). La familia Elmidae (Insecta: Coleoptera: Byrrhoidea) en Colombia: riqueza taxonómica y distribución. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. **44** (171): 522-553. Doi: 10.18257/raccefyn.1062
- Gordon, N. D., McMahon, T. A., Finlayson, B. L., Gippel, C. J., Nathan, R. J.** (2004). *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists* (Second Edition). John Wiley and Sons. pp 56-61. Chichester. Inglaterra.
- Hamilton, S. K., Kellendorfer, J., Lehner, B., Tobler, M.** (2007). Remote sensing of floodplain geomorphology as a surrogate for biodiversity in a tropical river system (Madre de Dios, Peru). *Geomorphology*. **89** (1): 23-38. Doi: 10.1016/j.geomorph.2006.07.024
- Henriques-Oliveira, A. L. & Nessimian, J. L.** (2010). Aquatic macroinvertebrate diversity and composition in streams along an altitudinal gradient in Southeastern Brazil. *Biota Neotropica*. **10** (3): 115-128. Doi: 10.1590/S1676-06032010000300012
- Jacobsen, D.** (2004). Contrasting patterns in local and zonal family richness of stream invertebrates along an Andean altitudinal gradient. *Freshwater Biology*. **49** (10): 1293-1305. Doi: 10.1111/j.1365-2427.2004.01274.x
- Jézéquel, C., Tedesco, P. A., Darwall, W., Dias, M. S., Frederico, R. G., Hidalgo, M., Hugueny, B., Maldonado-Ocampo, J., Martens, K., Ortega, H., Torrente-Vilara, G., Zuanon, J., Oberdorff, T.** (2020). Freshwater fish diversity hotspots for conservation priorities in the Amazon Basin. *Conservation Biology*. **34** (4): 956-965. Doi: 10.1111/cobi.13466
- Krebs, C. J.** (2009). *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance* (Sixth Edition). Pearson Benjamin Cummings. pp 28-41. Harlow. Inglaterra.
- Laurance, W. F., Sayer, J., Cassman, K. G.** (2014). Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology & Evolution*. **29** (2): 107-116. Doi: 10.1016/j.tree.2013.12.001
- Lê, S., Josse, J., Husson, F.** (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. **25** (1): 1-18. Doi: 10.18637/jss.v025.i01
- Lessmann, J., Guayasamín, J. M., Casner, K. L., Flecker, A. S., Funk, W. C., Ghalambor, C. K., Gill, B. A., Jácome-Negrete, I., Kondratieff, B. C., Poff, L. N., Schreckinger, J., Thomas, S. A., Toral-Contreras, E., Zamudio, K. R., Encalada, A. C.** (2016). Freshwater vertebrate and invertebrate diversity patterns in an Andean-Amazon basin: Implications for conservation efforts. *Neotropical Biodiversity*. **2** (1): 99-114. Doi: 10.1080/23766808.2016.1222189
- Lods-Crozet, B., Lencioni, V., Ólafsson, J. S., Snook, D. L., Velle, G., Brittain, J. E., Castella, E., Rossaro, B.** (2001). Chironomid (Diptera: Chironomidae) communities in six European glacier-fed streams. *Freshwater Biology*. **46** (12): 1791-1809. Doi: 10.1046/j.1365-2427.2001.00859.x

- Lujan, N. K., Roach, K. A., Jacobsen, D., Winemiller, K. O., Meza-Vargas, V., Rimarachín-Ching, V., Arana-Maestre, J.** (2013). Aquatic community structure across an Andes-to-Amazon fluvial gradient. *Journal of Biogeography*. **40** (9): 1715-1728. Doi: 10.1111/jbi.12131
- Manzo, V.** (2005). Key to the South America genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera) with distributional data. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. **40** (3): 201-208. Doi: 10.1080/01650520500140619
- Manzo, V.** (2013). Los élmidos de la región Neotropical (Coleoptera: Byrrhoidea: Elmidae): diversidad y distribución. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. **72** (3-4): 199-212.
- Mayor, P., & Bodmer, R.** (2009). *Pueblos Indígenas de la Amazonía Peruana* (1.ª ed.). Centro de Estudios Teológicos de la Amazonía (CETA). pp 18-28. Iquitos. Perú.
- Mendes, T. P., Luiza-Andrade, A., Cabette, H. S. R., Juen, L.** (2018). How Does Environmental Variation Affect the Distribution of Dragonfly Larvae (Odonata) in the Amazon-Cerrado Transition Zone in Central Brazil? *Neotropical Entomology*. **47** (1): 37-45. Doi: 10.1007/s13744-017-0506-2
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., Berg, M. B.** (2008). *An Introduction to the aquatic insects of North America*. (4.ª ed.). United States of America: Kendall/Hunt Publishing Company. pp 181-967. Iowa. USA. Doi: 10.5860/choice.45-3789
- Meyer, J. L., Paul, M. J., Taulbee, W. K.** (2005). Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. *Journal of the North American Benthological Society*. **24** (3): 602-612. Doi: 10.1899/04-021.1
- Molles, M. C.** (2015). *Ecology: Concepts and Applications* (8th Edition). McGraw-Hill Education. pp 11-149. New York. USA.
- Monaghan, K. A., Peck, M. R., Brewin, P. A., Masiero, M., Zarate, E., Turcotte, P., Ormerod, S. J.** (2000). Macroinvertebrate distribution in Ecuadorian hill streams: The effects of altitude and land use. *Archiv Für Hydrobiologie*. **149** (3): 421-440.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H.** (2017). *vegan: Community Ecology Package* (2.5-7) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Ortega, H., Chocano, L., Palma, C., Samané, I.** (2010). Biota acuática en la Amazonía peruana: diversidad y usos como indicadores ambientales en el Bajo Urubamba (Cusco - Ucayali). *Revista Peruana de Biología*. **17** (1): 29-36.
- Ortega, H., Rengifo, B., Samané, I., Palma, C.** (2007). Diversidad y el estado de conservación de cuerpos de agua Amazónicos en el nororiente del Perú. *Revista Peruana de Biología*. **13** (3): 185-194.
- Oyanedel, A., Valdovinos, C., Azocar, M., Moya, C., Mancilla, G., Pedreros, P., Figueroa, R.** (2008). Patrones de distribución espacial de los macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del río Aysen (Patagonia Chilena). *Gayana (Concepción)*. **72** (2): 241-257. Doi: 10.4067/S0717-65382008000200011
- Paggi, A.** (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuáticos. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. **58** (1-2): 202-207.
- Rahbek, C.** (1995). The Elevational Gradient of Species Richness: A Uniform Pattern? *Ecography*. **18** (2): 200-205.
- Roldán, G.** (1996). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. pp 14-218. Medellín. Colombia.
- Roldán, G.** (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col. (1.ª ed.). Universidad de Antioquia. pp 10-17. Medellín. Colombia.
- Roldán, G. & Ramírez-Restrepo, J. J.** (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (2.ª ed.). Universidad de Antioquia. pp 141-238. Medellín, Colombia.
- Roldán-Pérez, G.** (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. **40** (155): 254-274.
- Sarremejane, R., Cid, N., Stubbington, R., Datry, T., Alp, M., Cañedo-Argüelles, M., Cordero-Rivera, A., Csabai, Z., Gutiérrez-Cánovas, C., Heino, J., Forcellini, M., Millán, A., Paillex, A., Pařil, P., Polářek, M., Tierno de Figueroa, J. M., Usseglio-Polatera, P., Zamora-Muñoz, C., Bonada, N.** (2020). DISPERSE, a trait database to assess the dispersal potential of European aquatic macroinvertebrates. *Scientific Data*. **7** (1): 1-9. Doi: 10.1038/s41597-020-00732-7

- Scheibler, E. E., Roig-Juñent, S. A., Claps, M. C.** (2014). Chironomid (Insecta: Diptera) assemblages along an Andean altitudinal gradient. *Aquatic Biology*. **20** (2): 169-184. Doi: 10.3354/ab00554
- Schmitt, R., Siegloch, A. E., Lemes da Silva, A. L., Kleba Lisboa, L., Mello Petrucio, M.** (2016). Temporal variation in the Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera community in response to environmental drivers in a subtropical stream. *Journal of Insect Biodiversity*. **4** (19): 1-12. Doi: 10.12976/jib/2016.4.19
- Scholl, E. A., Rantala, H. M., Whiles, M. R., Wilkerson, G. V.** (2015). Influence of Flow on Community Structure and Production of Snag-Dwelling Macroinvertebrates in an Impaired Low-Gradient River. *River Research and Applications*. **32** (4): 677-688. <https://doi.org/10.1002/rra.2882>
- Smith, T. M. & Smith, R. L.** (2015). *Elements of Ecology* (9th edition). Pearson. pp 175-35. Madrid. España.
- Touron-Poncet, H., Bernadet, C., Compin, A., Bargier, N., Céréghino, R.** (2014). Implementing the Water Framework Directive in overseas Europe: A multimetric macroinvertebrate index for river bioassessment in Caribbean islands. *Limnologia*. **47**: 34-43. Doi: 10.1016/j.limno.2014.04.002
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., Cushing, C. E.** (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **37** (1): 130-137. Doi: 10.1139/f80-017
- Vimos-Lojano, D. J., Martínez-Capel, F., Hampel, H.** (2017). Riparian and microhabitat factors determine the structure of the EPT community in Andean headwater rivers of Ecuador. *Ecohydrology*. **10** (8): e1894. Doi: 10.1002/eco.1894
- Walteros, J. M. & Castaño, J. M.** (2020). Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. **44** (171): 581-592.
- Whittaker, R. J., Willis, K. J., Field, R.** (2001). Scale and species richness: Towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*. **28** (4): 453-470. Doi: 10.1046/j.1365-2699.2001.00563.x
- Willig, M. R., Kaufman, D. M., Stevens, R. D.** (2003). Latitudinal Gradients of Biodiversity: Pattern, Process, Scale, and Synthesis. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. **34** (1): 273-309. Doi: 10.1146/annurev.ecolsys.34.012103.144032
- Wolters, J.-W., Verdonshot, R. C. M., Schoelynck, J., Verdonshot, P. F. M., Meire, P.** (2018). The role of macrophyte structural complexity and water flow velocity in determining the epiphytic macroinvertebrate community composition in a lowland stream. *Hydrobiologia*. **806** (1): 157-173. Doi: 10.1007/s10750-017-3353-6
- Yu, D. W., Hendrickson, T., Castillo, A.** (1997). Ecotourism and conservation in Amazonian Perú: Short-term and long-term challenges. *Environmental Conservation*. **24** (2): 130-138.