

# Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Perú

## Benthic macro invertebrates as water quality indicators in the San Alberto micro basin, Oxapampa, Perú

Stefany Salcedo Gustavson<sup>1</sup>, Lourdes Artica Cosme<sup>2</sup>, Florencia Andrea Trama<sup>3</sup>  
Universidad Continental

### RESUMEN

**Objetivos:** Evaluar la biodiversidad de macroinvertebrados y la calidad ecológica de la microcuenca San Alberto (provincia de Oxapampa, Pasco) de abril a julio de 2013. **Métodos:** El muestreo fue realizado en tres zonas de la microcuenca San Alberto (cuenca alta, media y baja). En los tres sitios fueron colectados macroinvertebrados bentónicos en piedra y arena. Luego se estimaron: el índice biótico andino (IBA), de hábitat fluvial (IHF), de calidad de vegetación de ribera andina (QBRAnd) y de estado ecológico (ECOSTRIAND). Se evaluaron parámetros fisicoquímicos, nutrientes y metales en el agua. **Resultados:** Se registraron un total de 123 taxones de 47 familias (101 taxones en la cuenca alta, 77 en la cuenca media y 55 en la cuenca baja). La mayor abundancia de macroinvertebrados se presentó en la cuenca media. El IBA resultó ser de "muy buena" calidad para la cuenca alta, media y baja, pero al combinarse este índice con el QBR-And, para elaborar el Índice ECOSTRIAND, se observó el estado ecológico de las cuencas alta y media fueron de "muy buena" calidad y de la cuenca baja fue "regular". El método de muestreo de limpieza de piedras fue el que permitió colectar la mayor cantidad de taxones. Las mejores condiciones de hábitat fluvial, de vegetación ribereña y de estado ecológico, tras la aplicación de los índices IHF, QBR-And y ECOSTRIAND, se encuentran en la cuenca alta. **Conclusiones:** Los resultados indican que la diferencia de calidad de hábitat ribereño y fluvial así como de conductividad, sólidos disueltos y nitratos influyen negativamente sobre la



Stefany Salcedo

stefanysalcedog@gmail.com

calidad del agua, y ésta, sobre la comunidad de macroinvertebrados. Las familias reportadas como sensibles a la contaminación (Leptophlebiidae, Oligoneuriidae, Perlidae, Anomalopsychidae, Calamoceratidae, Helicopsychidae, Odontoceridae, Blephariceridae) mostraron ser bioindicadores de calidad de agua para la microcuenca.

**Palabras clave:** Calidad de agua, bioindicador, macroinvertebrados bentónicos, monitoreo biológico, microcuenca, río San Alberto.

1 Bachiller en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco. Becaria de la Universidad Continental.  
2 M.Sc., docente de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.  
3 M.Sc., directora del Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales-Perú.

## ABSTRACT

**Objective:** To assess the macro invertebrates' biodiversity and the ecological quality in the San Alberto micro basin (Oxapampa province, Pasco) from April to July 2013. **Methods:** Sampling was realized in three areas of the San Alberto basin (upper, middle and lower micro basin). In the three sites benthic macroinvertebrates in stone and sand were collected. The Andean biotic index (ABI), fluvial habitat index (IHF), Riparian-Andean vegetation quality index (QBR-And) and ecological status index (ECOSTRIAND) were estimated. Also physicochemical parameters, nutrients and metals in water were estimated. **Results:** We recorded a total of 123 taxa from 47 families (101 taxa in the upper basin, 77 in the middle basin and 55 in the lower basin). The higher abundance of macro invertebrates was presented in the middle basin. The ABI presented "Very good water quality" for the three areas in the basin. However, when combining the ABI with the QBR-And to elaborate the ECOSTRIAND index, the ecological status of the high and media basins were "very good quality" and the lower basin was "regular". The stones cleaning's sampling method allowed to collect the higher quantity of taxa. The best conditions of fluvial habitat, riparian vegetation and ecological status, after the application of the IHF, QBR-And and ECOSTRIAND indexes' were found in the upper basin. **Conclusions:** The results indicate that the quality difference between riverside and fluvial habitat and the conductivity, dissolved solids and nitrates affect negatively on the water quality, and this, on the macro invertebrates' community. The reported families as pollution sensitive (Leptophlebiidae, Oligoneuriidae, Perlidae, Anomalopsychidae, Calamoceratidae, Helicopsychidae, Odontoceridae, Blephariceridae) showed to be water quality's biomarkers for the micro basin.

**Keywords:** Water quality, biomarker, macro invertebrates, benthic, biological monitoring, San Alberto River.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas fluviales son sometidos a presiones de uso afectando la calidad del agua, principalmente por ingreso de material particulado, actividades agrícolas, deforestación, fragmentación del hábitat, cambio del sustrato por remoción y extracción de materiales (1). El río San Alberto es la principal fuente de agua para consumo humano del distrito de Oxapampa y tiene sus nacientes dentro del Parque Nacional Yanachaga Chemillén (PNYCh) en la parte del bosque de neblina de la zona (2). Sin embargo, esta microcuenca, es perturbada por actividades humanas en la zona de amortiguamiento, las cuales podrían estar afectando la calidad de las aguas de las que depende la ciudad de Oxapampa, que es la capital del distrito y a la vez de la provincia del mismo nombre.

El estado ecológico es una medida de la calidad de las aguas, considerando a la cuenca hidrográfica como unidad de estudio (3). Integra información sobre el bosque de ribera y las áreas adyacentes, el canal y el lecho del río (características hidromorfológicas) y los organismos que los habitan (4). Desde los años 50, las evaluaciones biológicas están complementando a las medidas químicas (5, 6, 7). La evaluación del recurso agua en la actualidad se ha complementado con monitoreos biológicos, en muchos casos con la utilización de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua, lo cual permite detectar condiciones ambientales específicas y los cambios producidos por la contaminación (8).

En la microcuenca San Alberto, no se han realizado estudios de calidad de agua utilizando macroinvertebrados, por lo que el objetivo de la investigación fue identificar la estructura y composición de macroinvertebrados bentónicos de esta microcuenca y determinar la calidad ecológica con el índice biótico andino (IBA), resultados que serán utilizados como base para futuras investigaciones, acciones de manejo y para difundir la importancia de

los sistemas de monitoreo biológico del agua a través de índices de calidad como el IBA, el IHF, el Qbr-And y el ECOSTRIAND.

Este estudio predice que la estructura y composición de macroinvertebrados bentónicos varía de acuerdo con la calidad ecológica y del agua de la microcuenca San Alberto, y que específicamente la calidad de agua será mejor en la cuenca alta que en la media y en la baja, por causa de la perturbación humana fuera del PNYCh.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

La microcuenca San Alberto se ubica en el distrito de Oxapampa (provincia del mismo nombre, departamento de Pasco), con sus nacientes dentro del PNYCh, una precipitación anual de 2 502 mm,

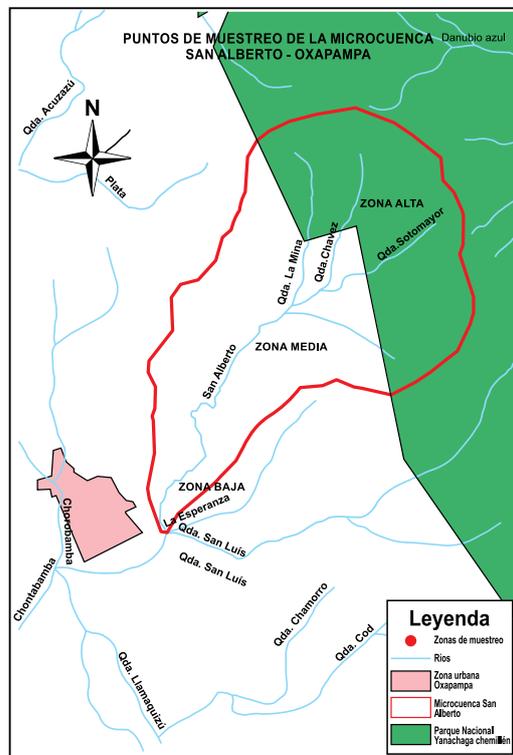


Figura N° 1: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en la microcuenca San Alberto en Oxapampa, departamento de Pasco, Perú.

una temperatura anual media de 13 °C, y dos épocas, lluviosa (octubre-abril) y seca (mayo-septiembre) (9). Su pendiente es escarpada (30-80°) e inestable, con derrumbes frecuentes y erosión intensa. Se encuentra en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano Tropical (10).

### Zonas de muestreo

El estudio definió tres zonas de muestreo (figura N° 1). La cuenca alta (X; 460052 Y; 8835391), dentro del PNYCh, con bosques neblina de especies nativas (11). El punto situado en la cuenca media (X; 458064 Y; 8832829), dentro de un bosque secundario y cerca al camino principal. El punto situado en la cuenca baja (X; 457509 Y; 8831291), ubicado en el tramo urbano del sector San Alberto a 200 metros aguas arriba de la captación de agua para consumo humano.

### Muestreo

Los muestreos fueron realizados de abril a julio de 2013 (estación seca). En cada zona de muestreo (cuenca) se evaluaron 20 metros lineales para determinar la calidad del hábitat fluvial a partir del índice IHF (12) y la calidad de la vegetación de ribera a partir del índice QBR-And (4). Valores por debajo de 40 para el IHF indican serias limitaciones para el desarrollo de una comunidad bentónica diversa, lo óptimo es superior a 75. En el caso del QBR-And se puede obtener una puntuación mínima de 25 y un máximo 100 para una ribera perfectamente conservada.

### Muestreo de macroinvertebrados

El diseño fue completamente aleatorio, con tres tratamientos (cuencas), estratificación con dos sustratos (arena y piedras), y tres muestras de cada tipo de sustrato-método, en cuatro meses. El sustrato arena se evaluó con una red surber de 0.9 m<sup>2</sup>, colocando la red en sentido contrario al flujo del agua, con el cuadro de metal en la zona de arena. Luego, se removió el fondo dentro del cuadro de metal con la mano para remover

el sustrato y los macroinvertebrados sean arrastrados por la corriente y queden atrapados en la red. Inmediatamente después se traspasó la muestra a un envase plástico (5).

El segundo método de colecta consistió en la limpieza de piedras y, al igual que en el método anterior, se realizaron tres repeticiones en cada zona de muestreo durante los cuatro meses de investigación. En este caso se delimitó 1 m<sup>2</sup> del lecho del río y se procedió a extraer y lavar las piedras encontradas en el área. El lavado de piedras fue realizado dentro de un balde lleno de agua con ayuda de un cepillo, luego se procedió a tamizar el contenido del balde para almacenar el concentrado en un frasco de plástico. Las muestras colectadas (72 en total para los cuatro meses y las tres zonas de la cuenca) fueron fijadas en alcohol 70%. Los organismos fueron separados e identificados a nivel de género por medio de un estereoscopio XTL-500 de 10-40X y de claves taxonómicas (3, 13, 14, 15). Se estimó la riqueza de familias, riqueza de taxones y abundancia (total y media) de individuos. El estudio utilizó el índice de abundance-based coverage estimator (ACE) para estimar el número de especies esperadas, el índice biótico andino (IBA) para evaluar la calidad de agua en cada zona de muestreo y el índice ECOSTRIAND, para determinar el estado ecológico de las zonas evaluadas en el río San Alberto, mediante la combinación de los resultados del IBA y el QBR-And.

## Muestreo de parámetros fisicoquímicos

Los siguientes parámetros se tomaron por triplicado: temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto por medio de un equipo multiparámetro marca YSI 85,

el potencial de hidrógeno (pH) y los sólidos totales disueltos (STD) usando el equipo HI 98129 marca HANNA, la turbidez utilizando el kit LaMotte Turbidity modelo TTM, y la profundidad con una regla de metal.

## Muestras de agua

Se colectaron y almacenaron muestras de agua en frascos de vidrio color ámbar en cada zona de la cuenca y por cada fecha muestreo. Luego se transportaron al laboratorio para la determinación de nutrientes (nitrógeno total, fósforo total, sales solubles) y metales (cadmio, cobre, cromo, hierro, magnesio, zinc, plomo).

## RESULTADOS

### Índices de calidad de hábitat y vegetación de ribera

Los valores de los índices de hábitat fluvial (IHF) y de vegetación de quebrada andina (QBR-And) estimados en cada zona de muestreo y las puntuaciones de referencia obtenidos se muestran en la tabla N° 1. Ambos índices mostraron sus mayores valores en la zona alta, luego en la zona media y por último en la zona baja.

El índice IHF en la cuenca alta tuvo un valor de 75, con alta frecuencia de rápidos; sustrato compuesto por bloques, piedras, cantos, gravas no fijadas por sedimentos finos, en menor grado se encontró arena, limo y arcilla; regímenes de velocidad con dos categorías, rápido-profundo y rápido-somero; cauce sombreado con ventanas. Presencia de hojarasca, raíces expuestas, troncos, ramas y diques naturales con la

Tabla N° 1: Valores de los índices de cada zona de muestreo de la microcuenca San Alberto.

Zona	Altitud	IHF	QBR-And	Color de QBR-And
Zona alta	2376	75	100	Azul
Zona media	1963	52	85	Verde
Zona baja	1905	32	30	Naranja

cobertura vegetal acuática compuesta por briofitos y en menor grado por el pecton.

La cuenca media obtuvo un valor de 52 con escasa frecuencia de rápidos; sustrato con bloques, piedras, cantos, gravas y poco fijadas por sedimentos finos, en menor grado se encontró arena, limo y arcilla; regímenes de velocidad con dos categorías, rápido-profundo y rápido-somero; cauce con grandes claros. Presencia de hojarasca, troncos y ramas con cobertura vegetal acuática representada por el pecton.

La cuenca baja obtuvo un valor de 32, con ocurrencia ocasional de rápidos; sustrato de cantos y gravas fijadas por sedimentos finos, con arena, limo y arcilla; régimen de velocidad de una sola categoría, rápido-profundo; cauce totalmente expuesto. Elementos de heterogeneidad con poca hojarasca con cobertura vegetal acuática de pecton, pero en menor grado que en la cuenca media. Ninguna de las zonas de la cuenca presentó variaciones de condiciones de hábitat fluvial a lo largo de la investigación.

El índice QBR-And en la cuenca alta obtuvo una puntuación de 100, de "calidad muy buena", con más del 80% de la zona de ribera

con cubierta vegetal y especies autóctonas sin alteraciones. La cuenca media obtuvo 85, considerada dentro del rango de "calidad buena", con ligera perturbación. La cuenca baja, en cambio, obtuvo una puntuación de 30, la más baja y cuyo rango es considerado de "mala calidad", por tener una fuerte alteración de la ribera, poca cubierta vegetal y especies introducidas (*Eucalyptus* spp., *Pinus* spp.) (tabla N° 1).

### Macroinvertebrados bentónicos

La riqueza total de macroinvertebrados colectados en las tres zonas de muestreo durante todo el período de investigación fue de 123 taxones en 47 familias y 13 órdenes. En la cuenca alta fueron registrados 101 taxones (de 42 familias y 10 órdenes); en

Tabla N° 2: Estimado para cada cuenca y tipo de sustrato según el índice ACE.

Cuenca	Sustrato	Taxones	
		Observados	Esperados
Alta	Piedra	98	108
	Arena	45	56
Media	Piedra	68	73
	Arena	20	33
Baja	Piedra	52	57
	Arena	9	36

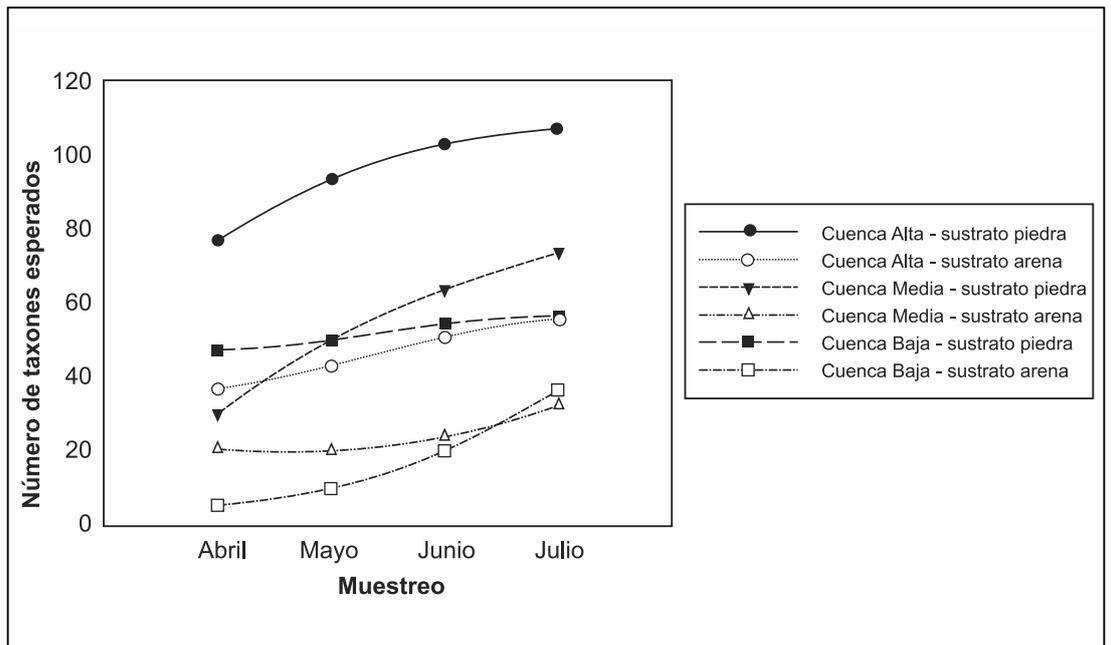


Figura N° 2: Índice ACE estimado para cada cuenca y tipo de sustrato.

Tabla N° 3: Presencia de taxones de macroinvertebrados en cada parte de la cuenca evaluada y por tipo de sustrato evaluado.

Clase/ Orden	Familia	Taxones	Zona alta		Zona media		Zona baja		
			Piedra	Arena	Piedra	Arena	Piedra	Arena	
Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia sp.	x	x					
	Macroveliidae	Chepuvelia sp.		x				x	
Lepidoptera	Hydrometridae	Veliometra sp.					x		
	Pyrilidae	Petrophila sp.	x						
		Parapoynx sp.	x						
Ephemeroptera	Noctuidae	Bellura sp.	x						
	Tortricidae	Archips sp.						x	
	Leptohyphidae	Leptohyphes sp.	x	x	x	x	x		
		Haplohyphes sp.	x	x					
Baetidae	Tricorythodes sp.			x					
	Baetodes sp.	x	x	x	x	x	x		
	Mayobaetis sp.	x							
	Zelusia sp.	x	x	x		x			
	Nanomis sp.	x	x	x	x	x			
	Andesiops sp.	x	x	x	x	x	x		
	Thraulodes sp.	x	x	x		x			
	Lachlania sp.	x							
	Gomphidae	sp.1	x						
		sp.2						x	
Coleoptera	Elmidae	Macrelmis sp.	x	x	x	x			
		Heterelmis sp.	x		x	x	x		
		Austrolimnius sp.	x	x	x				
		Onychelmis sp.	x						
		Neelmis sp.	x			x			
		Hexacylloepus sp.	x	x	x		x		
		Phanocerus sp.1	x		x		x		
		Phanoceroidea sp.1	x				x		
		Phanoceroidea sp.2	x		x		x		
		Stenelmis sp.			x		x		
		Disersus sp.	x	x	x	x			
		Pseudodisersus sp.	x		x				
		Psephenidae	Pheneps sp.	x		x	x		
	Scirtidae		Elodes sp.	x					
		Scirtes sp.	x			x			
	Ptilodactylidae	Anchytarsus sp.	x						
		Tetraglossa sp.	x	x	x	x			
	Hydrophilidae	Phaenonotum sp.	x						
		Perlidae	Anacroneuria sp.	x	x	x	x	x	
	Corydalidae		Corydalus sp.			x	x	x	
		Trichoptera	Hydroptilidae	Neotrichia sp.	x	x			
	Ceratotrichia sp.					x			
	Anchitrichia sp.					x			
Ochrotrichia sp.	x				x	x	x		
Alisotrichia sp.1	x				x	x	x		
Alisotrichia sp.2					x		x		
Alisotrichia sp.3							x		
sp.1	x					x			
sp.2	x								
sp.3	x			x	x		x		
Dibusa sp.	x								
Leptoceridae	Grumichella sp.1			x	x		x	x	
	Grumichella sp.2			x		x			
	Nectopsyche sp.1		x	x					
	Brachicetodes sp.		x	x	x				
	Triplectides sp.		x						
	Atanatolica sp.		x	x	x				
	Oecetis sp.		x						
Hydropsychidae	Smicridea sp.1		x					x	
	Smicridea sp.2		x		x	x	x		
	Smicridea sp.3		x	x	x		x		
	Leptonema sp.1				x	x	x		
	Leptonema sp.2		x		x	x	x		
	Leptonema sp.3			x					
...									

Continua Tabla N° 3.

Clase/ Orden	Familia	Taxones	Zona alta		Zona media		Zona baja	
			Piedra	Arena	Piedra	Arena	Piedra	Arena
...	Glossosomatidae	Mortoniella sp.	x	x	x	x	x	
		Culoptila sp.1	x		x		x	
		Culoptila sp.2	x	x				
Diptera	Anomalopsychidae	Contulma sp.	x	x				
	Calamoceratidae	Phylloicus sp.	x	x	x	x		
	Helicopsychidae	Helicopsyche sp.	x		x	x	x	
	Philopotamidae	Chimarra sp.	x				x	
	Odontoceridae	Marilia sp.	x		x			
		Anastomoneura sp.	x	x				
	Polycentropodidae	Polycentropus sp.	x		x		x	
		Certonina sp.			x	x		
	Xiphocentronidae	Xiphocentron sp.	x		x	x	x	
	Sericostomatidae	Grumicha sp.	x	x	x	x	x	
	Hydrobiosidae	Atopsyche sp.	x	x	x	x	x	
	Blephariceridae	Limonicola sp.1	x		x			
		Limonicola sp.2			x			
	Ceratopogonidae	Paltostoma sp.			x	x		
		Alluaudomyia sp.	x	x				
	Chironomidae	Atrichopogon sp.1	x	x				
		Atrichopogon sp.2	x					
		Atrichopogon sp.3	x				x	
		Atrichopogon sp.4	x					
		Forcipomyia sp.	x					
Chironomidae	Podonominae							
	Podonomus sp.	x	x	x	x	x		
	Podonomopsis sp.	x	x	x		x		
	Tanypodinae							
	sp.1	x	x		x	x	x	
	sp.2	x	x	x	x	x	x	
	sp.3	x	x	x	x	x		
Chironominae								
Rheotanytarsus sp.	x	x	x	x	x			
Orthoclaadiinae								
Cricotopus sp.	x	x	x	x	x	x		
Simuliidae	Simulium sp.	x	x	x	x	x	x	
Empididae	Chelifera sp.	x	x	x	x	x		
	Neoplasta sp.	x		x	x		x	
Psychodidae	Maruina sp.	x		x	x	x		
	Telmatoscopus sp.	x	x			x		
Dixidae	Psychoda sp.	x						
	Dixella sp.	x		x				
Tipulidae	Limonia sp.	x		x		x		
	Pseudolimnophila sp.	x						
	Megistocera sp.	x	x		x			
	Tipula sp.	x		x				
	Molophilus sp.		x		x			
	Hexatoma sp.		x		x			
	Stratiomyidae	sp.1	x					
	Muscidae	Limnophora sp.				x		
	Ephidridae	sp.1	x					
	Thaumalidae	sp.1	x					
Collembola	Entomobryidae	sp.1		x				
	sp.2	x						
Acari/Acarina	Hypogastrudidae	sp.1				x		
	Acaridae	sp. 1	x		x		x	
		sp. 2			x		x	
		sp. 3			x			
		sp. 4					x	
		sp. 5					x	
		sp. 6				x	x	
		sp. 7				x		
Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella sp.			x			
Isopoda		sp.1			x			
			93	46	64	45	53	9

la cuenca media, 77 (de 32 familias y 10 órdenes); y en la cuenca baja, 55 (de 27 familias y 10 órdenes) evidenciando que algunos taxones se compartieron entre las diferentes zonas. El método de colecta por sustrato de piedra tuvo más taxones colectados (113 taxones de 44 familias y 13 órdenes), en comparación con el aplicado en arena (52 taxones de 27 familias y 9 órdenes). El índice ACE estimado aumentó en todos los muestreos (tabla N° 2, figura N° 2). Sin embargo, el sustrato de piedra siempre presentó mayor número de taxones esperados que el sustrato de arena y fue

mayor en la cuenca alta en comparación con la media y baja (tabla N° 3).

### Riqueza media de familias y taxones

La figura N° 3 muestra la riqueza de las familias y taxones identificados en la investigación. La riqueza media de familias de macroinvertebrados fue mayor en la cuenca alta que en la media y la baja ( $F=70.54$ ;  $gl=2,71$ ;  $P=0,0001$ ) (figura N° 3a). Asimismo, la misma variable fue mayor al utilizar el sustrato de piedra

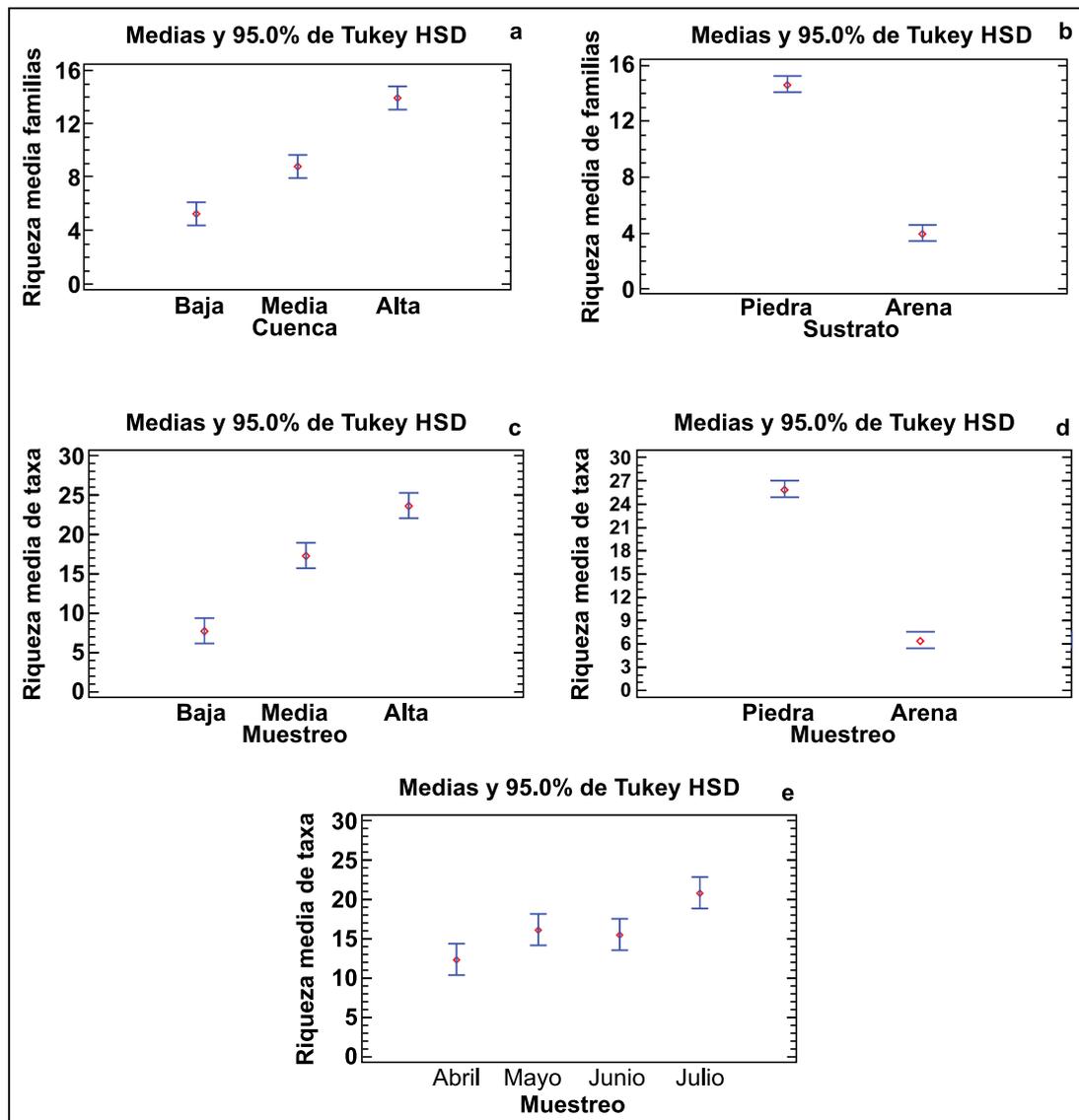


Figura N° 3: Medias e intervalos de confianza de Tukey al 95%: a. Riqueza de familias vs. cuenca; b. riqueza de familias vs. sustrato; c. riqueza de taxones vs. cuenca, d. riqueza de taxones vs. sustrato; e. riqueza de taxones vs. Muestreo.

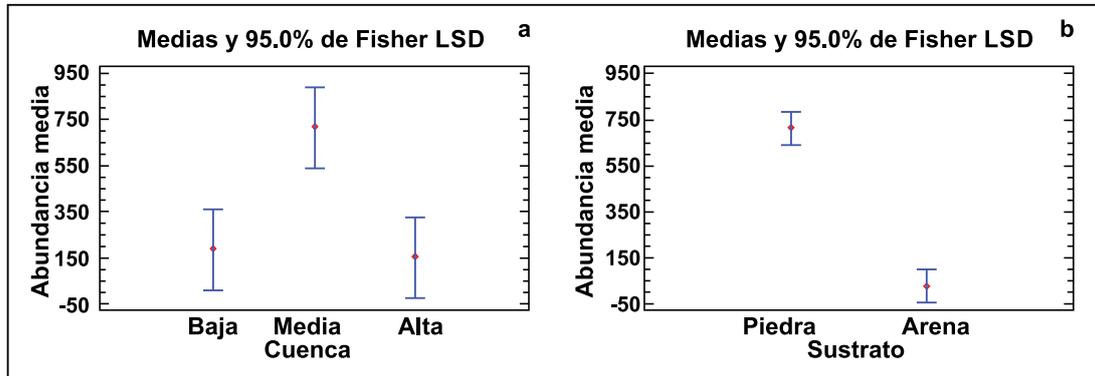


Figura N° 4: Medias e intervalos de confianza de Tukey al 95%: a. abundancia de macroinvertebrados vs. cuenca; b. abundancia de macroinvertebrados vs. sustrato.

que el de arena ( $F=326,98$ ;  $gl=1,71$ ;  $P=0,0001$ ) (figura N° 3b). Por otro lado, no se observaron diferencias significativas para la misma variable entre los muestreos realizados ( $F=1,22$   $gl=3,72$ ;  $P=0,0001$ ).

La riqueza media de taxones de macroinvertebrados fue mayor en la cuenca alta que en la cuenca media y la baja ( $F=75,02$ ;  $gl=2,71$ ;  $P=0,0001$ ) (figura N° 3c). Esta riqueza además fue mayor en el sustrato de piedra que en el de arena ( $F=318,64$ ;  $gl=1,71$ ;  $P=0,0001$ ) (figura N° 3d). Por último, la misma variable mostró diferencias significativas para el caso de los muestreos ( $F=10,06$ ;  $gl=3,72$ ;  $P=0,0001$ ) (figura N° 3e).

## Abundancia media de macroinvertebrados

La abundancia media de macroinvertebrados fue mayor en la cuenca media que en la cuenca alta y la baja ( $F=6,68$ ;  $gl=2,71$ ;  $P=0,0026$ ) (figura N° 4a); además, la misma variable fue significativamente mayor en el sustrato de piedra que en el de arena ( $F=91,31$ ;  $gl=1,71$ ;  $P=0,0001$ ) (figura N° 4b).

## Índice Biótico Andino (IBA) y Índice de Estado Ecológico (ECOSTRIAND)

El puntaje medio mayor del IBA se obtuvo en la cuenca alta (177,5), y en la cuenca media y baja se obtuvieron puntajes de

135 y 80,3, respectivamente. Pese a esta diferencia, las 3 cuencas se encuentran dentro del rango de "Muy buena calidad" según el IBA. Sin embargo, al combinar los índices QBR-And y el IBA, el índice ECOSTRIAND mostró una disminución de "Muy bueno" a "Regular" desde las zonas de la cuenca alta y media hacia la baja. La tabla N° 4 muestra la presencia de familias bioindicadoras, según el IBA, encontradas en la microcuenca San Alberto.

## Composición y estructura de macroinvertebrados

Los órdenes más abundantes de la cuenca alta fueron Trichoptera (49,88%) y Ephemeroptera (28,58%), con un 31,13% de la familia Leptoceridae. El 25,58% estuvo representada por la familia Baetidae. Otras familias presentes en la cuenca alta fueron Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Elmidae, Psephenidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Glossosomatidae, Calamoceratidae, Helicopsychidae y Sericostomatidae.

En la cuenca media, en cambio, los órdenes más abundantes fueron Ephemeroptera (53,53%) y Diptera (41,12%), y las familias más abundantes estuvieron representadas por Baetidae (53,44%), Chironomidae (31,01%) y Simuliidae (9,01%). En el caso de la cuenca baja, los órdenes con poblaciones más abundantes también fueron Ephemeroptera (53,53%) y Diptera (41,12%), y las familias más abundantes, estuvieron dominadas por Baetidae (55,80%) y Chironomidae (35,75%).

Tabla N° 4: Lista de bioindicadores de la calidad de agua y su puntuación IBA de la microcuenca San Alberto.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Valor IBA	
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Veliidae	5	
		Lepidoptera	Pyralidae	4	
		Ephemeroptera	Leptohyphidae	7	
			Baetidae	4	
			Leptophlebiidae	10	
			Oligoneuriidae	10	
		Odonata	Gomphidae	8	
			Elmidae	5	
			Psephenidae	5	
		Coleoptera	Scirtidae	5	
			Ptilodactylidae	5	
			Hydrophiloidea	3	
			Plecoptera	Perlidae	10
		Trichoptera	Hydroptilidae	6	
			Leptoceridae	8	
			Hydropsychidae	5	
			Glossosomatidae	7	
			Anomalopsychidae	10	
			Calamoceratidae	10	
			Helicopsychidae	10	
			Philopotamidae	8	
			Odontoceridae	10	
			Polycentropodidae	8	
			Xiphocentronidae	8	
			Hydrobiosidae	8	
			Blephariceridae	10	
			Ceratopogonidae	4	
			Chironomidae	2	
			Simuliidae	5	
			Empididae	4	
			Diptera	Psychodidae	3
				Dixidae	4
Tipulidae	5				
Stratiomyidae	4				
Muscidae	2				
Ephidridae	2				
Arachnoidea	Acari	Acaridae		4	
Crustacea	Amphipoda	Hyalellidae	6		

### Parámetros físicoquímicos

Los valores medios de pH fueron mayores en la cuenca alta que en la media y la baja ( $F= 63,24$ ;  $gl=2,71$ ;  $P=0,0001$ ). Por otro lado, los valores medios de temperatura variaron en cada zona de la cuenca y los valores fueron más bajos en la cuenca alta en comparación con la cuenca media y la

baja ( $F= 2968,32$ ;  $gl=2,71$ ;  $P=0,0001$ ). Los valores medios de concentración de oxígeno disuelto fueron mayores en la zona baja en comparación con la zona alta y media que no muestran mayores diferencias entre sí ( $F=64,76$ ;  $gl=2,71$ ;  $P=0,0001$ ). Además, la concentración de oxígeno disuelto presentó un pico en mayo para luego disminuir en los meses de junio

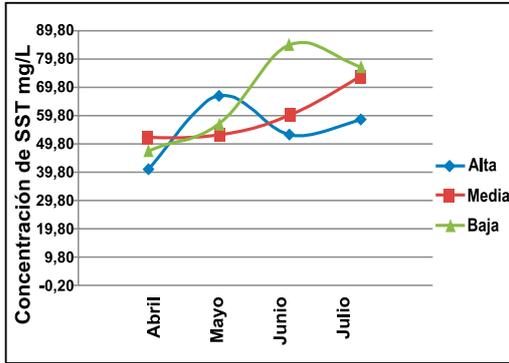


Figura N° 5: Concentración de SST durante las cuatro fechas evaluadas.

y julio ( $F=174,61$ ;  $gl=3,71$ ;  $P=0,0001$ ).

Los valores medios de conductividad eléctrica fueron mayores en la zona alta en comparación con la zona baja y la zona media respectivamente ( $F=169,34$ ;  $gl=2,71$ ;  $P=0,0001$ ). Asimismo, se observó un pico medio de conductividad eléctrica en abril en comparación con los otros muestreos realizados ( $F=74,51$ ;  $gl=3,71$ ;  $P=0,0001$ ). Los valores medios de sólidos totales disueltos (STD) fueron mayores en la cuenca baja que en la cuenca alta y la media ( $F=488,43$ ;  $gl=2,71$ ;  $P=0,0001$ ). Con respecto a cada muestreo, los valores medios de sales solubles totales (SST) mostraron notables diferencias específicamente en julio que tuvo los valores más altos en comparación con las demás muestras; los meses de mayo y junio no variaron entre ellos ( $F=91,70$ ;  $gl=3,71$ ;  $P=0,0001$ ) (figura N° 5). Por último, la turbidez fue mayor en la zona baja en comparación con la media y la alta que presentó los menores valores medios ( $F=112,58$ ;  $gl=2,71$ ;  $P=0,0001$ ).

### Metales en el agua

Los metales plomo, cadmio, manganeso y cromo no fueron detectados durante el período de investigación en ningún punto de muestreo. Los valores de hierro más altos fueron obtenidos en la cuenca media, llegando hasta 0,29 mg/L en junio. Valores de zinc se detectaron solo en la cuenca media en abril y en la cuenca baja en mayo. Además se registró 0,09 mg/L de cobre solo en la cuenca baja en mayo.

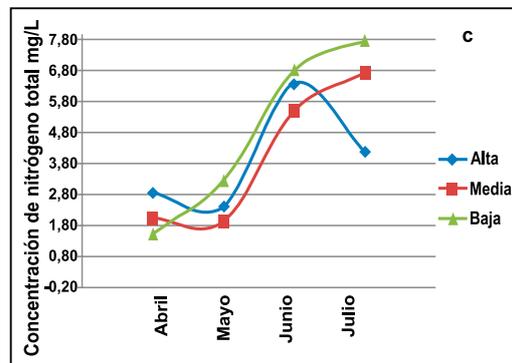
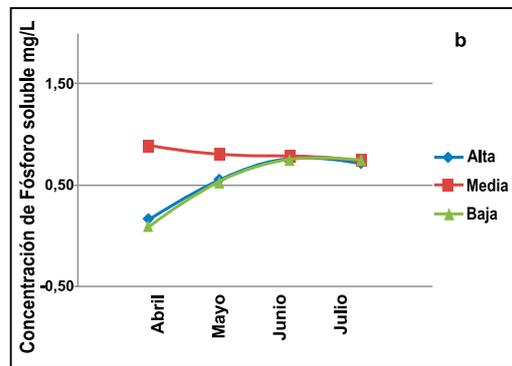
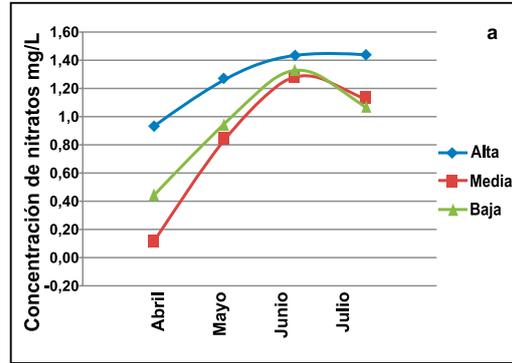


Figura N° 6: Concentración de nutrientes en la cuencas alta, media y baja en las cuatro fechas evaluadas: a. nitratos; b. fósforo; c. nitrógeno total.

### Nutrientes en el agua

La figura N° 6 muestra las concentraciones de los nutrientes en el agua de las 3 zonas muestreadas durante el periodo de investigación. Las concentraciones de nitratos se incrementan durante los tres primeros meses en las tres zonas de muestreo (figura N° 5a). Los valores más altos se mantienen en la cuenca alta con valores que van desde los 0,93 mg/L (abril) hasta los 1,44 mg/L (junio). Los valores de

fósforo en la cuenca media se mantuvieron estables, mientras que en las cuencas alta y baja se mostro un ligero incremento a través del tiempo. La zona media presentó los valores más altos de fósforo soluble en el período de investigación, registrándose en abril el mayor valor, con 0,8 mg/L; en tanto que los valores obtenidos en las cuencas alta y baja fueron muy similares (figura N° 5b). Los valores de concentración de nitrógeno total a través del tiempo en las cuencas media y baja, presentaron un aumento sostenido hacia el final del estudio, excepto en el último muestreo de la zona alta cuando los valores bajaron nuevamente (figura N° 6c).

## DISCUSIÓN

La heterogeneidad del hábitat fluvial es uno de los principales factores de influencia de la riqueza de especies de invertebrados acuáticos (16,17). El valor alto del índice IHF para la cuenca alta indica que el hábitat fluvial alberga una comunidad de macroinvertebrados diversa, pues el hábitat proporciona fuente de alimento y suministra espacio físico para las especies. La disminución de los valores del IHF y QBR-And de las cuencas, se debe principalmente a la presencia del PNYCh en la parte alta, la misma que está protegida y preservada por las normas del Estado y a la existencia de disturbios antrópicos en la parte media y baja tales como la deforestación, la presencia de monocultivos, el arrojado de residuos sólidos, desagües y la presencia de pastizales adyacentes. Esto coincide los diseñadores de los índices, que afirman que ambos índices están estrechamente relacionados y mientras más altos son los valores QBR-And, mayores son los datos obtenidos con el IHF (4). Así pues, la vegetación riparia y la fauna bentónica se encuentran influenciadas directamente por las características físicas del cauce (geomorfología, velocidad de la corriente, tiempo de retención y tipo de sustrato) (18).

De acuerdo con los resultados, si bien los valores del IBA estimados disminuyeron al descender desde la parte alta de la cuenca a la baja, estos cambios no fueron lo suficientemente fuertes como para cambiar de rango de calidad y resultar en una menor calidad de agua. Sin embargo, de acuerdo al índice ECOSTRIAND, la calidad ecológica sí fue afectada por el cambio en las condiciones de la vegetación ribereña, al disminuir la categoría de muy bueno a regular. La presencia de las familias con puntuación 10 solo en la cuenca alta (Oligoneuridae [Ephemeroptera] representado por *Lachlania* sp., y Anomalopsychidae [Trichoptera] representado por *Contulma* sp.), indica que las aguas de esta zona de muestreo son muy limpias; además, al presentar gran diversidad de macroinvertebrados con puntuaciones altas, se sugiere su alta calidad biológica y su capacidad de albergar diversa fauna acuática. Una abundancia mucho mayor para los chironómidos y simúlidos (dípteros) en las zonas media y baja expresa que estas áreas de muestreo están expuestas a cierto grado de contaminación que puede provenir de fuentes antrópicas.

Las condiciones abióticas, las interacciones biológicas, la heterogeneidad ambiental y el microhábitat son factores que explican las comunidades presentes en un lugar determinado (19). Sitios no alterados por la actividad antrópica presentarían una abundante riqueza y diversidad taxonómica, principalmente de insectos de los órdenes Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (1). La vegetación ribereña abundante y conservada de la cabecera de la microcuenca, proporciona al río mayor cantidad de hábitats, fuentes de alimentación y refugio. Esto coincide con lo observado en la microcuenca San Alberto, debido a que en la zona alta se beneficia el desarrollo de una riqueza de taxones y familias de macroinvertebrados bentónicos mayor que en zonas con menor presencia de detritos (20,21).

En cambio, en aquellos lugares donde sí existe una importante actividad antrópica,

presentarían una menor riqueza y diversidad taxonómica y generalmente la comunidad quedaría representada por algunos dípteros, coleópteros, gusanos oligoquetos, moluscos, entre otros (1). En este caso, la mayor abundancia de macroinvertebrados en las zonas media y baja de la cuenca que estuvo representada por los ephemerópteros (Baetodes) y dípteros (chironómidos y simúlidos), podría ser causada por el incremento en la concentración de nutrientes, probablemente de los fertilizantes.

Los valores esperados del índice ACE en comparación con lo observado en los muestreos, indican que sería necesario realizar más muestreos para registrar algunos taxones raros que no se han colectado en este estudio. Sin embargo, los índices para el sustrato de piedra siempre aumentaron más que en el caso de la arena.

La estructura y composición del macrozoobentos se encuentra estrechamente relacionada con la costa del río, en términos de ingreso de energía la cual determina los cambios en el balance entre la heterotrofia y autotrofia en el continuo longitudinal del río que condiciona la dominancia de diferentes macroinvertebrados (22). La presencia de materia orgánica favorece la presencia de organismos desmenuzadores y colectores (23). A medida que aumenta su número de orden, el río se hace más ancho y profundo, el caudal aumenta y la velocidad de la corriente se hace más lenta, los sedimentos se acumulan en el fondo y la producción vegetal disminuye dando una vuelta gradual a la heterotrofia. La fuente de energía deriva del material particulado fino la cual es usada por colectores de depósito y sedimentívoros que son en este caso la comunidad dominante (23). Esto condice con que en la cuenca alta se registraron tricópteros, efemerópteros y dípteros como grupos dominantes (desmenuzadores), mientras que en las cuencas media y baja los tricópteros y los colectores disminuyeron al alejarse de la cabecera de la microcuenca.

Los macroinvertebrados bentónicos

mantienen relación directa con el sustrato y la riqueza de especies, familias y abundancia de macroinvertebrados (24) y lo utilizan para desplazarse, refugiarse o alimentarse, por lo que un cambio en la composición del mismo conlleva cambios más o menos drásticos en la estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados (25).

De acuerdo con este estudio, el sustrato piedra proporciona mayores opciones de desarrollo a los macroinvertebrados que el sustrato arena. Los fondos arenosos albergan pocas especies, con pocos individuos por especie. Los fondos pedregosos suelen ser más ricos, en especial cuando las rocas son grandes y finalmente cuando hay vegetación la fauna es aún más diversa y difiere considerablemente de la fauna de otros sustratos (24). Del mismo modo, se afirma que las gravas y guijarros son los sustratos más densamente colonizados en todos los ecosistemas acuáticos (26). Esto coincide con lo observado en el presente estudio, en el cual las diferencias entre las variables biológicas (biodiversidad, composición y estructura) asociadas al sustrato fueron evidentes en la investigación donde la cuenca alta estuvo compuesta en mayor grado por bloques y piedras (con mayor riqueza de taxones), mientras que la zona baja, por cantos, grava y arena (con menor riqueza de taxones).

Las diversas actividades antrópicas pueden afectar a los cursos de agua generando cambios drásticos en las comunidades de macroinvertebrados (27). La diferencia de pH podría deberse a la contaminación por residuos orgánicos e inorgánicos domésticos y productos agrícolas introducidos al medio acuático en las cuencas media y baja. La diferencia de temperatura está ligada directamente a la altitud de la zona. La gradiente altitudinal del PNYCh y la abundante vegetación ribereña de la cuenca alta proporciona mayor sombra al río, impidiendo que la temperatura aumente. Por otro lado, la variación del % de oxígeno disuelto se debería a la mayor concentración de nitratos y sales solubles totales que agotan el oxígeno del agua en

sus procesos químicos. Sin embargo, en los tres puntos de muestreo la concentración de oxígeno se mantuvo por los valores óptimos para este tipo de ambientes.

La diferencia de conductividad eléctrica de las cuencas evaluadas se basa en sus respectivas concentraciones de sólidos totales disueltos y de sales solubles totales, por lo que un aumento de conductividad se debe a un aumento de las variables (6, 28). Un aumento de la conductividad eléctrica en la zona baja, disminuye significativamente la riqueza de taxones y familia de macroinvertebrados bentónicos, excepto para algunos grupos que se benefician con los sólidos en suspensión tales como los chironómidos y simúlidos (29). Los simúlidos se han especializado en la explotación de partículas en suspensión en el agua, para lo cual utilizan estructuras cefálicas y secreciones (30) y remueven partículas transportadas a lo largo del río, concentrándolas en forma de heces y dejándolas disponibles a otros grupos de organismos. En el presente estudio, la gran abundancia de chironómidos en las cuencas media y baja ha sido favorecida por el aumento de partículas en suspensión, coincidiendo con un aumento de áreas ribereñas desprotegidas y sin vegetación original.

Por su parte, la diferencia entre los valores de turbidez en las zonas de muestreo de las tres zonas de la cuenca, fue probablemente causada por la actividad con maquinaria pesada aguas arriba de la parte baja, que provoca la remoción y arrastre de sedimentos. Además, la poca cobertura boscosa que caracteriza la zona baja por actividades agrícolas, de deforestación y ganadería, hace que el suelo se erosione con las lluvias y al no haber estabilidad adecuada en las orillas del río, permite que los sedimentos lleguen al mismo (3).

Los nitratos, fósforo soluble y nitrógeno total aumentan en el tiempo, posiblemente debido a la menor dilución de los nutrientes en la época seca (31) aunque los agricultores pueden haber usado más fertilizantes al final del presente estudio. La mayor cantidad de

nitratos en la cuenca alta puede deberse a la mayor materia orgánica descompuesta (hojarasca, troncos, ramas y raíces) de los bosques de ribera conservados. En épocas seca y en ambientes no contaminados, se deberían registrar concentraciones de fósforo entre 0.05 y 0.1 mg/L (30). En la zona media hay una fuente adicional de fósforo posiblemente humana por el uso de fertilizantes agrícolas (para cultivos de granadilla), perturbación del suelo y desechos animales.

Las principales conclusiones establecidas son:

- La calidad del hábitat fluvial y de la vegetación de ribera estuvo estrechamente relacionada con la actividad antrópica dentro y fuera del PNYCh.
- La vegetación ribereña de la cuenca alta, dentro del PNYCh, es considerada de "calidad muy buena"; la vegetación de ribera de la cuenca media, de "calidad buena", y de la cuenca baja, de "calidad mala", con diversos grados de perturbación.
- El índice biótico andino mostró que la calidad del agua en la cuenca alta, media y baja fue "muy buena", pero al combinarse con el QBR-And y aplicar el índice ECOSTRIAND, la cuenca alta y media obtuvieron un estado ecológico del río "muy bueno" mientras que la cuenca baja cambió a un estado ecológico "regular".
- Los grupos más intolerantes a la contaminación se registraron principalmente y en mayor abundancia en la cuenca alta (*Leptophlebiidae*, *Oligoneuriidae*, *Perlidae*, *Anomalopsychidae*, *Calamoceratidae*, *Helicopsychidae*, *Odontoceridae*, *Blephariceridae*). Los grupos tolerantes de *Chironomidae* y *Baetidae* dominaron las cuencas media y baja, que se caracterizan por ser lugares perturbados.
- La cuenca alta presenta mayor heterogeneidad y fuente de alimentación

y refugio para el adecuado desarrollo de macroinvertebrados bentónicos.

- La riqueza total de taxones de macroinvertebrados bentónicos estuvo condicionada por la zona de la microcuenca de San Alberto. Tal riqueza fue mayor en la parte alta que en la media y la baja. La vegetación ribereña más conservada y de mejor calidad de hábitat fluvial también ocurrió en la cuenca alta, mientras que las cuencas media y baja fueron afectadas por perturbaciones humanas.
- La abundancia total de macroinvertebrados fue mayor en la cuenca media, probablemente por una mayor concentración de nutrientes provenientes de la aplicación de fertilizantes.
- El método de colecta por sustrato de piedra fue el que permitió coleccionar mayor cantidad de taxones que el método por sustrato de arena.
- Este estudio permitió aplicar cuatro índices y plantea un inicio para el uso de los mismos en zonas cercanas para evaluar la calidad de agua y hábitat en la zona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jara C. Evaluación de la existencia de insectos bioindicadores de la calidad del agua en zonas ritrónicas y potámicas de tres ríos de la zona semiárida de Chile [tesis]. Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias; 2002.
2. Instituto Nacional de Recursos Naturales. Plan Maestro 2005 – 2009, Parque Nacional Yanachaga Chemillén. Lima: INRENA, Intendencia de Áreas Naturales Protegidas; 2005.
3. Roldán G. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. 1ª ed. Colombia: Universidad de Antioquia; 2003.
4. Acosta R, Ríos B, Rieradevall M, Prat N. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnética*. 2009; 28 1: 35-64.
5. Metcalfe JL. Biological water-quality assessment of rivers: use of macroinvertebrate communities. En: C. Peter & E.P. Jeffrey, editors. *The River Handbook: hydrological and ecological principles*. Oxford: Blackwell Scientific Publications Press; 1994. p. 145-170.
6. Roldán G. Los Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista Acad. Colomb. Ci. Exact*. 1999; 23(88): 375-387.
7. Neumann M, Liess M, Ralf S. An expert system to estimate the pesticide contamination of small streams using benthic macroinvertebrates as bioindicators. *Knowledge base of limnology. Ecological indicators*; 2003.
8. United States Environmental Protection Agency. *Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria: Technical Guidance Document*. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency; 2003.
9. Catchpole D. The ecology of vascular epiphytes on a Ficus L. host (Moraceae) in a Peruvian cloud forest [dissertation]. Australia: University of Tasmania, School of Geography and Environmental Studies; 2004.
10. Holdridge LR. *Life zone ecology*. San José: CR. Tropical. Science. Center; 1967.
11. Quispe A, Tello J. *Especies forestales de uso múltiple de los bosques de neblina en el nororiente del Perú*. 1ª ed. Lima: Fondebosque; 2001.
12. Pardo I, Álvarez M, Moreno JL, Vivas S, Bonada N, et al. El hábitat de los ríos Mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnética*. 2002; 21(3-4): 115-134.
13. Roldán G. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. 1ª ed. Colombia: Fondo FEN Conciencias,

- Universidad de Antioquia; 1988.
14. Merritt RW, Cummins KW, Berg MB. An Introduction to the aquatic insect of North America. Fourth edition. USA: Kendall/Hunt publishing company; 2008.
  15. Domínguez E, Fernández HR. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. 1<sup>º</sup> ed. Argentina: Fundación Miguel Lillo; 2009.
  16. Voelz NJ, McArthur JV. An exploration of factors influencing lotic insect species richness. *Biodiversity and Conservation*. 2000; 9:1543-1570.
  17. Gregory SV, Swanson FJ, McKee WA, Cummins KW. An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*. 1991; 41, 540-551.
  18. Márquez EJ, Fariñas MR, Briceño B, Rada FJ. Dsitribution of grasses along an altitudinal gradient in a Venezuelan paramo. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 2001; 77: 649-660.
  19. Poof NL. Landscape filters and species traits: toward mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *J N AM BENTHOL SOC.* 1997; 16(2): 391-409.
  20. Siccama TG, Borman FH, Likens GE. The Hubbard Brook Ecosystem Study: Productivity, Nutrients, and Phytosociology of the Herbaceous layer. *Ecological Monographs*. 1970; 40: 389-402.
  21. Covich AP. Geographical and historical comparisons of neotropical streams – biotic diversity and detrital processing in highly variable habitats. *J N AM BENTHOL SOC.* 1988; 7:361-386.
  22. Cummnig K, Klug J. Feeding ecology of stream invertebrates. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 1979; 10: 147-172.
  23. Vannote R, Minshall G, Cummins K, Sedell R, Cushing C. The River Continuum concept. *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 1980; 37: 130-137.
  24. Rivera R. Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos de páramo y zonas boscosas, en los andes venezolanos [tesis]. Merida: Universidad de los Andes; 2004.
  25. Álvarez M. Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de la directiva macro del agua [tesis doctoral]. Santander: Universidad de Cantabria, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente; 2009.
  26. Hynes HB. The ecology of running waters. 1<sup>º</sup> ed. Toronto: University of Toronto Press; 1970.
  27. Ortiz JD, Marti E, Puig MA. Recovery of the macroinvertebrate community below a wastewater treatment plant input in a Mediterranean stream. *Hydrobiologia*. 2005; 545: 289-302.
  28. Calderón J. Evaluación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y la calidad fisicoquímica del agua en la parte alta de la quebrada el Carracá del municipio de los Santos [tesis doctoral]. Santander: Universidad Industrial de Santander; 2004.
  29. Callisto M, Moreno M, Barbosa F. Hábitat Diversity and Benthic Functional Trophic Groups at Serra Do Cipó Southeast Brazil. *Revista Brasil. Biol.* 1999; 61(2): 259- 266.
  30. Margalef R. *Limnología*. 1<sup>º</sup> ed. Barcelona: Omega; 1983.
  31. Gibbs RJ. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*. 1970; 170:1088-1090.