

INVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA EN LAGUNAS ALTOANDINAS DEL PERÚ

BENTHIC INVERTEBRATES AS BIOINDICATORS OF WATER QUALITY IN LAGOONS ALTOANDINS OF PERU

Liliana Tapia¹, Tito Sánchez², Maribel Baylón³, Enoc Jara⁴, Caren Arteaga⁵, Diego Maceda⁶ y Alan Salvatierra⁷

Resumen

El objetivo de este estudio fue estimar la diversidad y abundancia de invertebrados bentónicos en lagunas altoandinas del Perú y determinar su posible uso como indicadores biológicos. Se muestrearon un total de 16 lagunas, 4 en la cuenca del río Rímac y 12 en la cuenca del Mantaro durante la época seca (junio-octubre 2015). Se determinaron 34 familias, el Phylum Arthropoda obtuvo la mayor riqueza relativa y abundancia relativa de organismos (72.3% y 89.1%), seguidos del Phylum Annelida (12.8% y 4.3%, respectivamente), Mollusca (6.4% y 5.4%, respectivamente) y Platyhelminthes (8.5% y 1.2%, respectivamente). De las 34 familias, la Clase Insecta predominó con 24 familias distribuidas en 6 órdenes, dentro de los cuales el orden Diptera fue más representativa con 7 familias, seguidas del Orden Coleoptera con 5 familias. El análisis de similitud (ANOSIM) mostró que a nivel espacial existen diferencias significativas entre las lagunas estudiadas ($R= 0.4845$ y $p= 0.0001$). El Análisis de Similitud Porcentual (SIMPER) encontró disimilitudes a nivel espacial y temporal, en donde las familias Corixidae (Hemíptera), Chironomidae (Diptera) y Hyalellidae (Amphipoda) son las que influyen en la estructura de la comunidad. El análisis de Correlación Canónica (CCA) reportó una mayor correlación de los insectos, bivalvos, gasterópodos y oligoquetos, respecto a valores elevados de conductividad, pH, temperatura y oxígeno disuelto. (Versión Past 2.17, $p= 0.0001$). Del total de la varianza la abundancia de taxa se debió a los 2 primeros ejes, las correlaciones especies-ambientales fueron de 53.86% para el primer y 29.91% segundo eje respectivamente, explicando una relación especies ambiente del 83.78%. El análisis de Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (NMDS) obtuvo un estrés de $2D = 0.12$, mostrando que las lagunas Canchis y Churuca tiende a separarse del resto. Las familias Chironomidae, Cyprididae, Corixidae y Hyalellidae resultaron resistentes a las condiciones ambientales alteradas por materia orgánica y metales pesados. Según los valores del ABI de las 16 lagunas muestreadas, las lagunas Marca, Huaroncocha, Ticticocha, Yananyacu y Huacracocha presentaron el mayor valor, consideradas con el estado ecológico de moderado, mientras que las lagunas Huascocha, Canchis y Churuca se consideraron en pésimo estado, y las nueve restantes como mala.

Palabras clave: ABI, bioindicadores, metales, integridad ecológica.

Abstract

The objective of this study was to estimate the diversity and abundance of benthic invertebrates in high Andean lagoons of Peru and determine their possible use as biological indicators. A total of 16 lagoons were sampled, 4 in the Rímac river basin and 12 in the Mantaro basin during the dry season (June-October 2015). We determined 34 families, Phylum Arthropoda obtained the highest relative richness and relative abundance of organisms (72.3% and 89.1%, respectively), followed by Phylum Annelida (12.8% and 4.3%, respectively), Mollusca (6.4% and 5.4%, respectively) and Platyhelminthes (8.5% and 1.2%, respectively). Of the 34 families, the Insecta Class predominated with 24 families distributed in 6 orders, within which the order Diptera was more representative with 7 families, followed by the Coleoptera Order with 5 families. The analysis of similarity (ANOSIM) showed that at a spatial level there are significant differences between the studied lagoons ($R = 0.4845$ and $p = 0.0001$). The Percentage Similarity Analysis (SIMPER) found dissimilarities at spatial and temporal level, where the families Corixidae (Hemiptera), Chironomidae (Diptera) and Hyalellidae (Amphipoda) are the ones that influence the structure of the community. The Canonical Correlation Analysis (CCA) reported a higher correlation of insects, bivalves, gastropods and oligochaetes with respect to high values of conductivity, pH, temperature and dissolved oxygen. (Past version 2.17, $p = 0.0001$). Of the total variance, the abundance of taxa was due to the first 2 axes, the species-environmental correlations were of 53.86% for the first and

29.91% for the second axis respectively, explaining an environmental species relationship of 83.78%. The non-parametric Multidimensional Scaling (NMDS) analysis obtained a stress of $2D = 0.12$, showing that the Canchis and Churuca lagoons tend to be separated from the rest. The families Chironomidae, Cyprididae, Corixidae and Hyalellidae were resistant to environmental conditions altered by organic matter and heavy metals. According to the ABI values of the 16 lagoons sampled, the lagoons Marca, Huaroncocha, Ticticocha, Yananyacu and Huacracocha presented the highest value, considered moderate ecological status, while the Huascocha, Canchis and Churuca lakes were considered to be in poor condition, and the remaining nine as bad.

Key words: ABI, bioindicators, metals, ecological integrity.

Introducción.

El Perú alberga un total de 8 355 lagunas mayores a 5 000m² y 3 246 lagunas menores a 5 000m² no inventariadas, según el último Inventario de Lagunas Glaciares del Perú de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2014). Estos cuerpos de agua se destacan por su gran potencial de aprovechamiento y diversos usos, tales como agricultura, piscicultura, abastecimiento humano, actividad industrial y minería. Actualmente, la presencia de factores condicionantes como densidad poblacional, actividades productivas y sistemas tecnológicos, han ocasionado conflictos intersectoriales e imposibilidad de manejo integral de las cuencas (Aguirre, 2011), deterioro de las condiciones biológicas (Monge & More, 2007) y fisicoquímicas del agua en las lagunas (Orrego *et al.*, 1999). Lo que ha motivado en los últimos años un creciente interés por conocer el estado de los cuerpos acuáticos lenticos (Figueroa *et al.*, 2000).

El Perú es uno de los países neotropicales que enfrenta serios problemas de contaminación de sus lagunas (Iannacone *et al.*, 2000; Chaves *et al.*, 2002). Al respecto, numerosos autores han propuesto el empleo de índices de diversidad y bióticos, empleando invertebrados acuáticos para la caracterización biológica de los cuerpos de agua dulce (De la Lanza-Espino *et al.*, 2000; MacNeil *et al.*, 2002; Gonzales-Zuarth *et al.*, 2014; Gutiérrez-Fonseca & Ramírez, 2016). El empleo de comunidades de invertebrados bentónicos, como indicadores de calidad de agua de cuerpos lénticos, viene incrementándose en los últimos años, en lo que respecta a la protección de los ambientes acuáticos (Acosta, 2001; Parsons *et al.*, 2003; Gonzales-Zuarth *et al.*, 2014). Esto se debe a su distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo (Heink & Kowarik, 2010) y la sensibilidad de sus especies a la contaminación química orgánica (Bonada *et al.*, 2006).

El objetivo del presente trabajo es analizar la composición faunística, riqueza de familias y calidad del agua de lagunas altoandinas en el Perú.

Materiales y métodos.

Zona de estudio.

Este trabajo fue realizado en la Cuenca del Rímac y Cuenca del Mantaro (Tabla 1), entre los 4 279 y 4 821 msnm, con una temperatura media 12.4 °C. Se

muestrearon 16 lagunas, todas ellas georreferenciadas según el sistema de coordenadas sexagesimal (Datum WGS 84).

Caracterización fisicoquímica del agua.

En cada una de las estaciones de muestreo se registraron los parámetros fisicoquímicos: temperatura del agua, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (SDT) y pH con un medidor multiparámetro Hanna (Modelo HI 98129). Todas las mediciones se realizaron antes de la toma de muestras biológicas.

Concentración de metales pesados

Como parte del monitoreo de calidad del agua se colectaron muestras de agua para determinar metales pesados, pero debido a problemas logísticos solo fue posible muestrear seis lagunas. Por ello, se decidió muestrear las lagunas en función a su cercanía a la actividad minera (Tabla 2). Se tomaron muestras de agua en frasco de plástico de un litro y añadió 1.5 ml de ácido nítrico (HNO₃), siendo conservadas con hielo hasta su análisis, en un laboratorio especializado, por espectrofotometría de emisión por plasma basado en el EPA Method 2007 (Martin *et al.*, 1992).

Muestreo de invertebrados acuáticos.

Los muestreos se realizaron en las 16 lagunas en la época de estiaje, en junio y octubre del 2015, por ser el número de individuos y especies significativamente más alto en la estación seca que en la estación lluviosa (Jacobsen, 1998). En cada laguna se tomaron tres puntos de muestreo, en base al tipo de sustrato, accesibilidad y cercanía a zonas de contaminación.

Considerando que el objetivo del estudio es evaluar la riqueza de especies, en cada punto de muestreo se tomaron muestras por barrido a lo largo de un transecto de 100 m paralelo a la zona litoral hasta aproximadamente un metro de profundidad, con una red de mano (D-net) de 100 y 500 micras, moviéndola sobre la vegetación y cerca al fondo. La zona riparia o "costera" se recorrió a lo largo de todo el transecto, recogiendo los organismos adheridos a rocas y vegetación, levantando las rocas desnudas y otros objetos que había a lo largo del transecto, en el sustrato con sedimento y arena se empleó una draga de mano; el material recolectado se lavó en mallas de 100 o 500 micras (dependiendo del tipo de sustrato) para eliminar el lodo o arena, facilitando la identificación y conservación del material. Las muestras se conservaron en alcohol al 90% en recipientes de plástico de 500 ml.

Tabla 1. Ubicación geográfica de lagunas muestreadas en la cuenca del Mantaro y Río Rímac en junio y octubre 2015.

| Cuenca | Lagunas | Altura (m) | Ubicación Geográfica UTM 18L | |
|---------------------------|-----------------------|------------|------------------------------|--------------|
| Cuenca del Rímac | Laguna Yuracmayo | 4 324 | 375120.57 E | 8689322.12 S |
| | Laguna Canchis | 4 425 | 353903.21 E | 8720407.43 S |
| | Laguna Ticticocha | 4 640 | 369109.69 E | 8716635.47 S |
| | Laguna Leoncocha | 4 821 | 370185.25 E | 8716949.34 S |
| | Laguna Huacracocha | 4 651 | 373134.09 E | 8718036.13 S |
| | Laguna Pomacocha | 4 279 | 377890.80 E | 8702889.15 S |
| | Laguna Yananyacu | 4 327 | 395776.06 E | 8749176.07 S |
| | Laguna Marca | 4 324 | 393558.24 E | 8749909.09 S |
| | Laguna Huaroncocha | 4 591 | 341952.85 E | 8778396.19 S |
| Cuenca del Mantaro | Laguna Alcacocha | 4 310 | 355304.76 E | 8828909.37 S |
| | Laguna Santa Catalina | 4 777 | 371896.00 E | 8716535.62 S |
| | Laguna Huascocha | 4 366 | 379805.39 E | 8718025.35 S |
| | Laguna Churuca | 4 630 | 374386.19 E | 8717540.03 S |
| | Laguna Huascarcocha | 4 346 | 346585.04 E | 8773600.88 S |
| | Laguna Lacsacocha | 4 395 | 344283.17 E | 8781709.07 S |
| | Laguna Huicro | 4 300 | 358128.87 E | 8822687.91 S |

En el laboratorio la identificación taxonómica se hizo hasta el nivel más bajo posible, con la ayuda de un estereoscopio y microscopio digital LEICA, creándose una matriz de datos para los análisis estadísticos correspondientes. La identificación en clases, órdenes y familias de invertebrados bentónicos se realizó de acuerdo a Domínguez & Fernández (2009), Roldán (1996), Merrit *et al.* (2008) y Borkent & Spinelli (2007). La identificación de subfamilias de Chironomidae, de acuerdo a Prat *et al.*, (2011). La identificación de géneros de Ephemeroptera se hizo de acuerdo a Domínguez *et al.* (2006). La identificación de géneros de Trichoptera, de acuerdo a Huamantínco & Ortiz (2010). La identificación de géneros de Coleóptera, de acuerdo a Manzo (2005) y Manzo & Archangelsky (2008).

Tabla 2. Lagunas muestreadas para el análisis de metales pesados en octubre 2015.

| Categoría | Lagunas |
|--------------------------------------|--|
| No impactadas por minería | Laguna Yuracmayo Laguna Huaroncocha |
| Moderadamente impactadas por mineras | Laguna Santa Catalina Laguna Lacsacocha |
| Impactadas por minería | Laguna Huascacocha Laguna Canchis |

La riqueza específica y abundancia de invertebrados bentónicos fue obtenida mediante el conteo total de familias identificadas (Moreno, 2001). La comunidad de invertebrados bentónicos, en conjunto con las variables ambientales, fueron analizadas a través del Análisis de Correlación Canónica (CCA) mediante el software libre Past 2.17 (Hammer *et al.*, 2001) para determinar si hay correlación entre los parámetros fisicoquímicos registrados y los biológicos (abundancia de invertebrados) ordenados en x cantidad de ejes.

Se aplicó el Índice Biótico Andino (ABI), índice cualitativo empleado por considerar en su valoración a

los invertebrados bentónicos de Perú y Bolivia que habitan a más de 2 000 msnm (Acosta *et al.*, 2009, Cota *et al.*, 2002). Este índice combina el número total de organismos con un valor de tolerancia, siendo el nivel taxonómico de familia el mínimo requerido, el valor final se obtiene por la sumatoria de los valores de tolerancia de cada una de las familias (Tabla 3).

Tabla 3. Clases de estado ecológico según el ABI en el Perú.

| Rangos | Estado ecológico |
|--------|------------------|
| >74 | Muy Bueno |
| 45-74 | Bueno |
| 27-44 | Moderado |
| <27 | Malo |
| <11 | Pésimo |

Fuente: Acosta *et al.* (2009).

Resultados y discusión.

Caracterización de las estaciones de muestreo.

En todas las lagunas muestreadas el tipo de sustrato estuvo conformado principalmente por una mezcla de vegetación emergente con roca o arena, también zonas con sedimento, siendo los cuerpos de agua con vegetación emergente los más representativos y los más habitados por los invertebrados bentónicos, esto es concordante con lo reportado por Villamarín *et al.* (2014).

Caracterización fisicoquímica del agua.

En la Tabla 4 según la correlación no paramétrica de Spearman se evidencian fuertes correlaciones negativas entre los parámetros bióticos abundancia, riqueza y equidad, con los parámetros abióticos conductividad, pH y temperatura, aunque dichas correlaciones no fueron significativas. Esta tendencia sería producto de la ausencia de lluvias en la zonas de muestreo, originando disminución del nivel de agua, lo que determina pérdida de organismos y menor riqueza, estudios realizados por Buss *et al.*, (2004) muestran

Tabla 4. Correlación de Spearman entre la estructura comunitaria y los parámetros fisicoquímicos registrados en las lagunas en junio y octubre 2015.

| | | Temperatura | pH | Conductividad | Oxígeno | Abundancia | Riqueza | Pielou | Shannon |
|---------------|-----------------------------|-------------|--------|---------------|---------|------------|---------|--------|---------|
| Temperatura | Coefficiente de correlación | 1.000 | 0.128 | 0.231 | -0.126 | 0.101 | 0.233 | -0.174 | -0.036 |
| | Sig. (bilateral) | 0 | 0.214 | 0.023 | 0.221 | 0.328 | 0.023 | 0.090 | 0.730 |
| | N | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |
| pH | Coefficiente de correlación | 0.128 | 1.000 | -0.330 | 0.153 | 0.128 | 0.155 | -0.008 | 0.077 |
| | Sig. (bilateral) | 0.214 | 0 | 0.001 | 0.136 | 0.213 | 0.133 | 0.937 | 0.455 |
| | N | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |
| Conductividad | Coefficiente de correlación | 0.231 | -0.330 | 1.000 | 0.098 | -0.087 | -0.070 | 0.256 | 0.146 |
| | Sig. (bilateral) | 0.023 | 0.001 | 0 | 0.343 | 0.399 | 0.500 | 0.012 | 0.155 |
| | N | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |
| Oxígeno | Coefficiente de correlación | -0.126 | 0.153 | 0.098 | 1.000 | -0.050 | 0.000 | 0.105 | 0.035 |
| | Sig. (bilateral) | 0.221 | 0.136 | 0.343 | 0 | 0.628 | 0.999 | 0.310 | 0.734 |
| | N | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |
| Abundancia | Coefficiente de correlación | 0.101 | 0.128 | -0.087 | -0.050 | 1.000 | 0.675 | -0.336 | 0.196 |
| | Sig. (bilateral) | 0.328 | 0.213 | 0.399 | 0.628 | 0 | 0.000 | 0.001 | 0.056 |
| | N | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |
| Riqueza | Coefficiente de correlación | 0.233 | 0.155 | -0.070 | 0.000 | 0.675 | 1.000 | -0.246 | 0.449 |
| | Sig. (bilateral) | 0.023 | 0.133 | 0.500 | 0.999 | 0.000 | 0 | 0.016 | 0.000 |
| | N | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |
| Pielou | Coefficiente de correlación | -0.174 | -0.008 | 0.256 | 0.105 | -0.336 | -0.246 | 1.000 | 0.611 |
| | Sig. (bilateral) | 0.090 | 0.937 | 0.012 | 0.310 | 0.001 | 0.016 | 0 | 0.000 |
| | N | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |
| Shannon | Coefficiente de correlación | -0.036 | 0.077 | 0.146 | 0.035 | 0.196 | 0.449 | 0.611 | 1.000 |
| | Sig. (bilateral) | 0.730 | 0.455 | 0.155 | 0.734 | 0.056 | 0.000 | 0.000 | 0 |
| | N | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |

como las lluvias influye significativamente en la fauna de macroinvertebrados acuáticos.

Para el caso de la temperatura no hay un rango establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), por lo que se determinó el rango ideal de temperatura para la biota y categorizó en función al alejamiento de la temperatura del valor ideal, en base a la máxima variación de la temperatura durante los muestreos que fue de 1°C. Desde la perspectiva planteada el promedio de temperatura del agua registrado en las lagunas durante el periodo de muestreo fue de 12 ± 1°C, este valor se consideró como la temperatura a la que las especies están adaptadas, categorizando como excelente a las temperaturas entre 11 °C y 13 °C. Al doble de la máxima variación 12 ± 2 °C se le asigna la categoría de buena, una alteración de cuatro veces la máxima variación de la temperatura 12 ± 4 °C, se le asigna la categoría de no conveniente. En base a esta categorización los valores de temperatura registrados en las lagunas están en la categoría de excelente y buena.

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2008) los ECA - categoría 4, establecen como valor mínimo de oxígeno disuelto de agua ≥5 mg/l y conductividad 1.000 µS/cm para aguas no contaminadas, los valores registrados están dentro de los rangos establecidos. En el caso del pH el ECA establece un intervalo de 6.5 a 9 unidades, los valores registrados varían entre 5 a 9

unidades en las lagunas Churuca, Santa Catalina, Lacsacocha, Leoncocha y Canchis en los dos muestreos, lo que limitaría el desarrollo de la biota en sus aguas.

Concentración de metales pesados.

Al comparar los resultados obtenidos (Tabla 5) con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente para agua Categoría 4: Lagos y lagunas; y Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, las lagunas muestreadas superan los estándares de calidad establecidos para 14 de los 22 metales pesados analizados, estos son el aluminio (Al), antimonio (At), boro (B), cadmio (Cd), calcio (Ca), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), mercurio (Hg), molibdeno (Mo), plomo (Pb), selenio (Se), talio (Tl) y zinc (Zn). Estos metales limitan el crecimiento de las plantas al impedir la absorción de nutrientes, ocasionando la muerte y disminución de la vegetación en las zonas ribereñas (Kabat, 2000), que sirve de alimento, refugio y reproducción a una gran variedad de invertebrados acuáticos, incrementando la materia orgánica (Sauquillo *et al.*, 2003), lo que aumenta la toxicidad de estos metales (Prieto-Méndez *et al.*, 2009). Algunos de ellos son esenciales para las células (B, Mo, Mn, Ni, Fe, Se, Zn, Cu y Cr), pero en altas concentraciones como las reportadas en este estudio pueden resultar tóxicas para las plantas y animales (Spain, 2003). De igual forma hay metales

Tabla 5. Lagunas a las que se determinó la concentración de metales pesados en agua (ml/l) en el segundo muestreo (octubre 2015). Se registran valores no detectados (N.D.) relacionados con la sensibilidad del método empleado.

| Parámetro | Análisis de agua (mg/l) | | | | | | ECA |
|-----------|-------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|------------|
| | Laguna Yuracmayo | Laguna Canchis | Laguna Huaroncocha | Laguna Huascacocha | Laguna Santa Catalina | Laguna Lacsacocha | |
| Aluminio | 1.400 | 8.0000 | 0.3650 | 0.4735 | 1.1365 | 0.4440 | **5.0000 |
| Antimonio | <0.010 | <0.010 | <0.010 | 0.023 | <0.010 | 0.147 | *0.640 |
| Arsénico | 0.023 | 0.094 | 0.034 | 0.136 | 0.012 | 0.057 | *0.150 |
| Bario | 0.0500 | <0.0003 | 0.0500 | <0.0003 | 0.0100 | 0.0200 | *0.7000 |
| Berilio | <0.003 | <0.003 | <0.003 | <0.003 | <0.003 | <0.003 | **0.100 |
| Boro | 0.028 | 0.108 | 0.050 | 0.100 | 0.019 | 1.093 | **1.000 |
| Cadmio | N.D. | 0.01500 | N.D. | N.D. | 0.00800 | 0.00600 | *0.00025 |
| Calcio | 35.20 | 46.05 | 25.73 | 260.00 | 11.19 | 272.40 | ****200.00 |
| Cobalto | <0.003 | 0.014 | <0.003 | <0.004 | <0.003 | 0.005 | **0.050 |
| Cobre | 0.016 | 0.900 | 0.012 | 0.137 | 0.031 | 0.300 | *0.100 |
| Cromo | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 0.880 | *0.011 |
| Hierro | 1.567 | 16.220 | 1.953 | 1.434 | 1.350 | 1.054 | **5.000 |
| Magnesio | 3.99 | 3.77 | 2.64 | 22.00 | 3.42 | 3.03 | **250.00 |
| Manganeso | 0.2800 | 1.5510 | 1.1105 | 0.9925 | 3.4200 | 0.4915 | **0.200 |
| Mercurio | < 0.010 | < 0.010 | < 0.010 | < 0.010 | < 0.010 | < 0.010 | *0.0001 |
| Molibdeno | <0.004 | <0.004 | <0.004 | 0.010 | <0.004 | 0.130 | *** 0.070 |
| Níquel | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | <0.0130 | *0.062 |
| Plomo | N.D. | 0.124 | < 0.058 | 0.101 | < 0.058 | 0.300 | *0.0025 |
| Selenio | < 0.010 | < 0.010 | < 0.010 | < 0.010 | < 0.010 | < 0.010 | *0.005 |
| Talio | < 0.0160 | < 0.0160 | < 0.0160 | < 0.0160 | < 0.0160 | < 0.0160 | *0.0008 |
| Vanadio | <0.0020 | 0.0007 | <0.0020 | <0.0020 | <0.0020 | <0.0020 | ***0.120 |
| Zinc | 0.183 | 1.634 | 0.136 | 0.191 | 2.226 | 0.982 | *0.120 |

ECA: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM:

* Categoría 4: Conservación de ambientes acuáticos.

**Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

***Categoría 1: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

****Norma Venezolana COVENIN 2408-86

altamente tóxicos como el Cd, Hg, Pb y Tl, reportados en este trabajo que presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos (García & Dorransoro, 2005), generándose una contaminación por bioacumulación y un efecto multiplicador en la concentración del contaminante en la cadena trófica (Mancera & Álvarez, 2006).

Caracterización de la comunidad de invertebrados bentónicos.

Considerando ambos muestreos, se identificaron un total de cuatro Phylum, 10 Clases, 17 Órdenes y 34 Familias. El Phylum Arthropoda obtuvo la mayor riqueza y abundancia de organismos (72% y 89%), seguidos del Phylum Annelida (13 y 4%) y Mollusca (6% y 5%). En ambos muestreos, la comunidad de

invertebrados bentónicos estuvo representada por la Clase Insecta, con 18 Familias y 5 órdenes, dentro de los cuales el Orden Díptera fue la más representativa con 7 Familias, seguidas del Orden Coleoptera con 5 Familias (Tabla 6).

Los anélidos se registraron en 12 lagunas, principalmente en las lagunas Ticticocha, Marca y Leoncocha (Tabla 7). La familia que predominó fue Lumbriculidae. En las lagunas Canchis, Churuca y Santa Catalina, se registró menor abundancia de anélidos; esto podría estar relacionado con el pH, ya que el mismo en estas lagunas es un pH ácido (Tabla 4). En el Phylum Platyhelminthes se identificó una familia: Planariidae, llegando a identificar hasta genero *Dugesia* sp. Esta especie se registró en 12 lagunas,

Tabla 6. Clases de estado ecológico ABI para ríos altoandinos aplicadas en las lagunas muestreadas en la época de seca.

| Calidad ABI (Perú) | Muy Buena > 74 | Buena 45 - 74 | Moderado 27 - 44 | Malo 14 -26 | Pésimo < 11 |
|--------------------|----------------|---------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| | | | Laguna Marca | Laguna Lacsacocha | Laguna Huascacocha |
| | | | Laguna Huaroncocha | Laguna Pomacocha | Laguna Canchis |
| | | | Laguna Ticticocha | Laguna Yuracmayo | Laguna Churuca |
| Lagunas | Ninguna | Ninguna | Laguna Yananyacu | Laguna Leoncocha | |
| | | | Laguna Huacracocha | Laguna Alcacocha | |
| | | | | Laguna Huicro | |
| | | | | Laguna Santa Catalina | |
| | | | | Laguna Huascocha | |

siendo más abundante en las lagunas Leoncocha, Lacsacocha y Ticticocha. Los moluscos se registraron en 12 lagunas, siendo más abundantes en laguna Huicro, Pomacocha y Ticticocha, predominando la familia Planorbidae (Tabla 7). En este trabajo se observó que el pH no es un factor determinante en la distribución de los moluscos, ya que se registraron a pH entre 5 a 9 unidades, contradiciendo lo señalado por Pinilla (2000), quien refiere que estos organismos viven restringidos a pH ligeramente alcalinos (> 7 unidades). Alternativamente, se pudo observar que a mayor pH, la abundancia de moluscos fue mayor (Tabla 7). Hay una tendencia a disminuir la abundancia de anélidos, platelmintos y moluscos en el segundo muestreo que podría estar relacionada a la disminución del nivel de agua en la zona litoral por la escasez de lluvias y a que estas zonas son empleadas para pastoreo del ganado por los pobladores de la zona.

Considerando ambos muestreos, dentro del Phylum Arthropoda, las órdenes Díptera presento los mayores valores de riqueza con 7, seguido de Coleóptera y Hemíptera ambas con 5 familias, lo cual es corroborado por Balian *et al.*, (2008), quienes resaltan a estos órdenes como los más representativos en ecosistemas dulceacuícolas pertenecientes a la Clase Insecta (Tabla 7). El Phylum Arthropoda represento el 86% de la abundancia relativa, siendo las familias Chironomidae, Cyprididae, Corixidae y Hyalellidae las que aportaron con el mayor número de organismos (32%, 18%, 15% y 14%).

En el orden Díptera, destaca la familia Chironomidae que se registra en todas las lagunas muestreadas (Tabla 7). Dentro de la familia Chironomidae se han identificado las subfamilias Chironominae, Orthoclaadiinae, Podonominae y Tanyptodinae. En la Subfamilia Chironominae se han identificado las especies *Chironomus tentas*, *Chironomus* sp. y dentro de la subfamilia Podominidae a la especie *Podonomus* sp.

La dominancia de la familia Chironomidae se debe a sus múltiples estrategias de alimentación (Merritt *et al.*, 2008), por estar adaptado a diferentes factores ambientales o de stress (Domínguez & Fernández, 2009); lo que le ha permitido ser considerado como indicador de contaminación por materia orgánica (Roldán, 1996) y metales pesados (Loayza *et al.*, 2010). Al respecto Medina & Paggi (2004) señalan que *Chironomus* sp., es una especie más tolerantes a condiciones químicas extremas, concordando con lo reportado en el proyecto registrándose a pH de 5 a 8 unidades. Antagónicamente Terneus *et al.* (2012), refiere que dentro de esta familia existen varios géneros que se encuentran en aguas limpias con altas concentraciones de oxígeno, como es el caso del género *Chironomus* sp.

Varios autores como Acosta *et al.* (2009), Epele *et al.* (2012), Rodríguez *et al.* (2015), Scheibler *et al.* (2008, 2014) señalan un patrón biogeográfico

frecuente entre las riquezas de las subfamilias de Chironomidae, observándose una variación en proporciones de las especies estenotérmicas frías (Diamesinae, Podonominae y Orthoclaadiinae) y las especies euritérmicas cálidas (Chironominae), esto es concordante con lo registrado en el proyecto para las subfamilia Orthoclaadiinae y Podonominae, presentes en las lagunas altoandinas muestreadas, disminuyendo en las zonas tropicales, tal como lo reporta Medina & Paggi (2004) y Medina *et al.* (2008). Pero contrasta con lo reportando para la subfamilia Chironominae que fue la que presento la mayor abundancia relativa (Tabla 7), al respecto Zanotto *et al.* (2015) señalan que la proporción de las subfamilias varía entre los hábitats y estaciones del año, Orthoclaadiinae presenta abundancia más baja en invierno y en otoño la más elevada, mientras que Chironominae muestra un patrón inverso. Orthoclaadiinae se caracteriza por estar adaptada a temperaturas bajas y sus adultos pueden emerger a menores temperaturas, lo que estaría explicaría el por qué se registró en el proyecto un aumento de la subfamilia Chironominae en invierno y una disminución de la subfamilia Orthoclaadiinae (Tabla 7).

En el proyecto la familia Chironomidae presenta un aumento en especial de la especie *Chironomus* sp. en los puntos más contaminados, pudiendo considerarse tolerante a la presencia de metales pesados, sin embargo se ha observado una gran reducción de su diversidad aunque esto no afecta la abundancia. Concordando con lo reportado por Winner *et al.* (1980) quienes observaron que los organismos pertenecientes a la familia Chironomidae componían numéricamente el 80% de la fauna total en una sección de un pequeño arroyo en Ohio altamente contaminado con Cu, Cr y Zn, mientras que en una sección no contaminada constituían menos del 10%. El número de especies se había reducido en las áreas contaminadas, siendo reemplazadas por especies tolerantes en comparación con las estaciones control. De igual forma con lo reportado por Krantzberg & Stokes (1989), quienes en experimentos de laboratorio han mostrado bioacumulación de metales pesados en *Chironomus* sp. bajo diferentes condiciones de exposición, adquiriendo una selectividad a la captura de ciertos metales.

Dentro de los Artrópodos, el segundo grupo con mayor abundancia es la clase Ostrácoda, registrada en 10 lagunas y representada por una sola familia Cyprididae, este grupo se llegó a identificar hasta especie *Eucypres* sp. Los estudios sobre Ostrácodos son a nivel paleontológico como los reportados por Ayress *et al.* (2004) y Brand & Würzberg (2014). Pinilla (2000) señala que estos se caracterizan por presentar un caparazón bivalvo que encierra al organismo y es parte integral del cuerpo, lo que permite que en el caparazón se preserven diversas características que proveen información sobre las adaptaciones fisiológicas de los mismos, es por ello su uso en estudios paleontológicos.

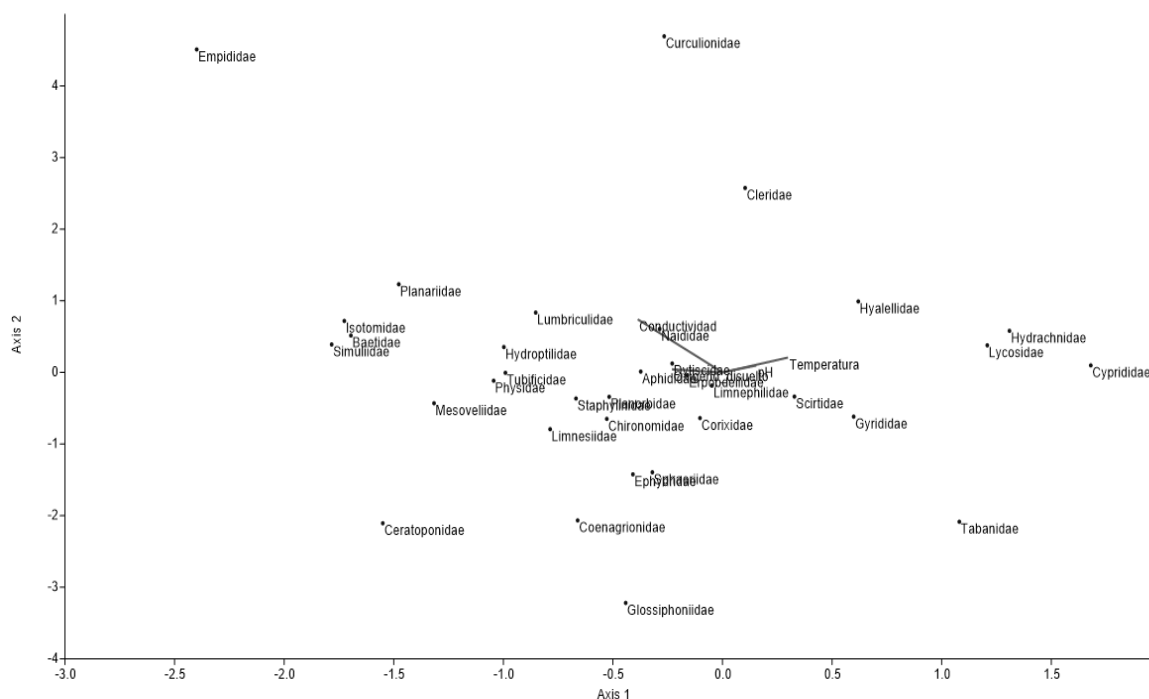


Figura 1. Análisis de Correspondencia Canónica entre los parámetros físico-químicos y la variable biótica familia de invertebrados bentónicos, presentes en las lagunas de la Cuenca del Río Rímac y Cuenca del Río Mantaro en junio y octubre del 2015, durante la época de seca.

Sobre el tema Echeverría-Galindo (2016) refiere la estrecha relación de los ostrácodos con el medio, lo que les permite ser utilizados como indicadores de diversos parámetros ambientales como la temperatura, salinidad, tipo de sustrato, y la concentración de ciertos elementos en agua y sedimento. El mismo autor refiere que al cambio de las condiciones ambientales, los ostrácodos responden a cambios en su composición taxonómica, forma o composición química de los caparzones al involucrar en ellos elementos contaminantes. Al respecto Martin (2000), determino los efectos de la contaminación por hidrocarburos en los ostrácodos, obteniendo como resultados que hay mayor abundancia de ostrácodos en zonas con alta contaminación, relacionado por la presencia de alta materia orgánica. Esto explicaría su presencia en lagunas con alta contaminación como Huascacocha, Canchis y Santa Catalina (Tabla 7), sin embargo la mayor abundancia se ha registrado en las lagunas Marca, Huicro, Ticticocha, por lo que no podrían ser considerados como organismos de aguas contaminadas, concordando con lo reportado por Locascio *et al.* (2005) y Pinilla (2000) quienes señalan que los ostrácodos habitan en ambientes muy oxigenados y poco contaminados. Presentando esta especie un amplio rango de tolerancia a la contaminación.

La alta diversidad y abundancia, indican que las familias Chironomidae, Cyprididae, Corixidae y Hyalellidae tienen un amplio rango de tolerancia a ambientes contaminados, lo que favorece su distribución. Al respecto Butakka *et al.* (2002), Fittkau (2001) y Moretto *et al.* (2002), señalan que las familias Chironomidae y Corixidae, se caracterizan por estar presentes en ambientes contaminados por metales pesados, coincidiendo con lo reportado por los autores, al registrarse en lagunas con elevados niveles de metales pesados (Tabla 5). De La Lanza-Espino *et al.* (2000) destacan en la familia Chironomidae a organismos tolerantes a contaminación por materia orgánica e inorgánica como metales pesados a la Subfamilia Tanypodinae, Orthocladiinae y *Chironomus* sp., reportadas en el estudio (Tabla 6 y Tabla 7).

Análisis multivariados.

El análisis de similitud (ANOSIM) mostró que a nivel espacial existen diferencias significativas entre las lagunas estudiadas ($R= 0.4845$ y $p= 0.0001$). El Análisis de Similitud Porcentual (SIMPER) encontró disimilitudes a nivel espacial y temporal, en donde las familias Corixidae (Hemiptera), Chironomidae (Diptera) y Hyalellidae (Amphipoda) son los que más influyen en la estructura de la comunidad.

El Análisis de Correspondencia Canónica mostro que el primer eje explica 53.86% de la varianza,

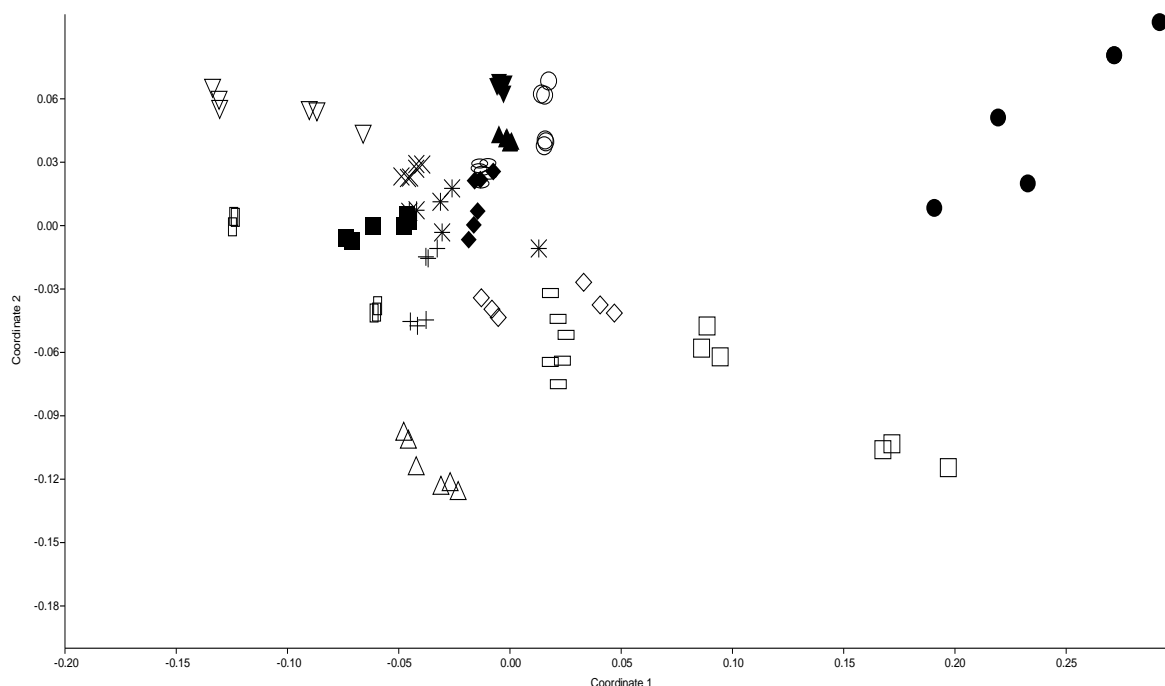


Figura 2. Análisis de Escalamiento Multidimensional no paramétrico (NMDS) por lagunas y muestreo, en junio y octubre del 2015, durante la época de seca. Laguna Alcacocha (+), Canchis (●), Churuca (○), Huacracocha (◆), Huaron (■), Huaroncocha (*), Huascacocha (◇), Huascocha (▽), Huicro (○) Leoncocha (Δ), Marca (▽), Pomacocha (▽), Santa Catalina (◆), Ticticocha (□), Yananyacu (x) y Yuracmayu (●).

mientras que el segundo eje explica el 29.91% de la varianza (Figura 1). Las variables conductividad, temperatura, pH y oxígeno disuelto se correlacionan con el eje 1. La Figura 1 muestra la predominancia de los insectos, bivalvos, gasterópodos y oligoquetos respecto a valores elevados de conductividad, pH, temperatura y oxígeno disuelto.

El análisis de Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (NMDS) por lagunas y muestreo obtuvo un estrés de $2D = 0.12$. La Figura 2 evidencia que las lagunas Canchis y Churuca están alejadas del resto, en estas lagunas se registró la menor abundancia y riqueza de especies, así como pH ácidos y presencia de metales pesados.

Índice Biótico Andino (por sus siglas en inglés ABI).

Según los valores del ABI obtenidos, las lagunas muestreadas presentaron un estado ecológico desde pésimo hasta moderado. Las lagunas Marca, Huaroncocha, Ticticocha, Yananyacu y Huacracocha presentaron el mayor valor, consideradas con el estado ecológico de moderado, y tres lagunas presentaron el menor valor (Huascacocha, Canchis y Churuca), catalogadas como estado ecológico pésimo (Tabla 6). Estos resultados coinciden con el análisis de Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (NMDS).

Conclusiones.

- Las familias Corixidae, Chironomidae, y Hyalellidae son resistentes a las condiciones ambientales alteradas por materia orgánica y metales pesados.
- Los parámetros conductividad, pH, temperatura y oxígeno disuelto influyen en la distribución y abundancia de invertebrados.

Agradecimientos.

Esta investigación fue financiada Innóvate Perú, Convenio N° 391-PNICP-PIAP-2014, dentro del Proyecto: “Monitoreo y evaluación de la calidad del agua en cabecera de cuenca del Río Rímac, lagos y lagunas de la Región Central del Perú para determinar organismos indicadores y marcadores moleculares de contaminación por metales pesados”.

Literatura citada.

Acosta C.R. 2001. Patrones de diversidad espacio-temporal de insectos acuáticos y caracterización limnológica en la quebrada Cantón, Tributaria del Río Rímac (Huarochirí, Lima). Libro de Resúmenes de la XLIII Convención Nacional de Entomología. Huancayo, Perú.

- Acosta C.R., Ríos B.P., Rieradevall S.M. & Prat N. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación en dos cuencas del Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28 (1), 35 – 64.
- Aguirre J.F. 2011. Validación de los indicadores biológicos (macroinvertebrados) para el monitoreo de la cuenca del río Yanuncay. (Tesis pregrado). Universidad Politécnica salesiana sede cuenca. Ecuador.
- ANA (Autoridad Nacional de Agua) 2014. Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas.
- Ayress M.A., De Deckker P. & Coles G.P. 2004. Una encuesta taxonómica y distribucional de Ostracoda bentónica marina de las islas Kerguelen y Heard, Océano Índico meridional. *Journal of Micropalaeontology*, 23 (1), 15-38. DOI: doi.org/10.1144/jm.23.1.15.
- Balian E.V., Segers H., Martens K. & Lévêque C. 2008. An introduction to the Freshwater Animal Diversity Assessment (FADA) project. In: Balian E.V., Lévêque C., Segers H., Martens K. (Eds). *Freshwater Animal Diversity Assessment. Developments in Hydrobiology* (pp. 3-8). Springer, Dordrecht.
- Bonada N., Prat N., Resh V.H. & Statzner B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol*, 51, 495 - 523. DOI: doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124.
- Borkent A. & Spinelli G.R. 2007. Neotropical Ceratopogonidae (Diptera: Insecta). In: Adis J., Arias J.R., Rueda-Delgado G. & K.M. Wantzen (Eds.). *Aquatic Biodiversity in Latin America (ABLA)* (pp.198). Sofia, Moscow: Pensoft Publishers.
- Brandt A. & Würzberg L. 2014. The Southern Ocean Deep sea: A benthic view to pelagic processes. *Deep Sea Research Part II. Topical Studies in Oceanography*. 108:1–5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2014.07.011>.
- Buss D.F., Baptista D.F., Nessimian J.L. & Egler M. 2004. Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 518(1-3), 179-188.
- Butakka C.M.M., Komatsu E.H. & Takeda A.M. 2002. Composição da fauna bentônica da lagoa Ventura, sistema rio Ivinhema, bacia do Alto Rio Parana (MS, PR). XXIV Congresso Brasileiro de Zoologia: A Zoologia e os Ecossistemas Costeiros. Santa Catarina, Brazil.
- Cota L., Goulart M., Moreno P. & Callisto M. 2002. Rapid assessment of river water quality using an adapted BMWP index: a practical tool to evaluate ecosystem health. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Verein Limnol*, 28, 1713-1716. DOI: doi.org/10.1080/03680770.2001.11901915.
- Chaves T. J., Oliveira E. & Maciel M. C. M. 2002. Estudo dos macroinvertebrados do Parque Regional do Iguacu Zoológico. Resumos. XXIV Congresso Brasileiro de Zoologia. Curitiba, Brasil.
- De la Lanza-Espino G., Hernández S. & Carbajal, J. (Eds.). 2000. Organismos indicadores de la calidad de agua y de la contaminación (Bioindicadores). Editorial Plaza y Valdez, S.A. de C.V. México.
- Domínguez E. & Fernández H. R. (Eds.). 2009. *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología*. Tucumán, Argentina. Fundación Miguel Lillo.
- Domínguez E., Molineri C., Pescador M. L., Hubbard M. D. & Nieto C. 2006. Ephemeroptera of South America. In: Adis, J., Arias, J.R., Rueda-Delgado, G. & K.M. Wantzen (Eds.): *Aquatic Biodiversity in Latin America (ABLA)*. Pensoft, Sofia-Moscow.
- Echeverría-Galindo P. 2016. Ostrácodos (Crustacea: Ostracoda) en lagos kársticos (Montebello, Selva Lacandona y El Petén) en el norte de los Neo trópicos en relación a un gradiente altitudinal: diversidad, distribución y ecología. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Epele L.B., Miserendino M.L. & Brand C. 2012. Does nature and persistence of substrate at a mesohabitat scale matter for Chironomidae assemblages? A study of two perennial mountain streams in Patagonia, Argentina. *Journal of Insect Science*, 12, 68.
- Figueroa R., Araya E. & Valdovinos C. 2000. Deriva de macroinvertebrados bentónicos en un sector de ritrón: Río Rucúe, Chile centro-sur. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción*, 71, 23-32.
- Fittkau E.J. 2001. Amazonian Chironomidae (Díptera: Chironomidae): A contribution to chironomid research in the neotropics. *Amazoniana*, 16, 313-324.
- García I. & Dorronsoro C. 2005. Contaminación por Metales Pesados. En *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Recuperado de: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>.
- Gonzales-Zuarth C., Vallerino A., Pérez J. & Low A. (Eds.). 2014. Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiente. Recuperado de <https://agua.org.mx/biblioteca/bioindicadores-guardianes-nuestro-ambiental/>.
- Gutiérrez-Fonseca P. E. & Ramírez A. 2016. Ecological evaluation of streams in Puerto Rico: major threats and evaluation tools. *Hidrobiológica*, 26(3), 433-441.
- Hammer Ø., Harper D.A.T. & Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4 (1), 1-9p.
- Heink U. & Kowarik I. 2010. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators* 10, 584-593.
- Huamantínco A. & Ortiz W. 2010. Clave de géneros de larvas de Trichoptera (Insecta) de la Vertiente Occidental de los Andes, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 75 – 80.
- Iannacone J. A., Alvaríño L., Moreno R., Reyes M. & Chauca J. 2000. Culicidas (Diptera) del río Chillón y áreas adyacentes de la Provincia Constitucional de Callao, Perú, durante el evento "El Niño" 1997-1998. *Acta Entomológica Chilena*, 24, 51-60.
- Jacobsen D. 1998. The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams. *Arch. Hydrobiology*, 143(2), 179 – 195.
- Kabatas A. 2000. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, USA: CRC Press, Inc.
- Krantzberg G. & Stokes P. 1989. Metal regulation, tolerance, and body burdens in the larvae of the genus *Chironomus*. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 46, 389-398.

- Loayza M., Elías R., Marticoren R., Palomino J., Duivenvoorden J., Kraak M. & Admiraal W. 2010. Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in Andean high altitude streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(12), 2761 - 2768.
- Locascio M., Villagra C., Juárez J. & Ceraolo M. 2005. Características limnológicas y zooplancton de cinco lagunas de la Puna - Argentina. *Ecología en Bolivia*, 40(1), 10-24.
- MacNeil C., Dick J., Bigsby E., Elwood R., Montgomey W., Gibbins C. & Kelly D. 2002. The validity of the Gammarus: Asellus ratio as an index of organic pollution: abiotic and biotic influences. *Water Res*, 36 (1), 75-84.
- Mancera N. & Álvarez R. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23.
- Manzo V. & Archangelsky M. 2008. A key to known larvae of South American Elmidae (Coleoptera: Byrrhoidea), with a description of the mature larva of *Macrelmis saltensis*. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 44(1), 63 - 74.
- 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: doi.org/10.1080/01650520500140619.
- Martin R.E. (Ed.). 2000. *Environmental Micropaleontology The application of microfossils to environmental geology*. DOI: [10.1007/978-1-4615-4167-7](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4167-7).
- Martin T.D., Brockhoff C.A., Creed J.T. & E. M. M. C. Word Group. 1992. *Methods for the determination of metals in environmental samples*. U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio.
- Medina A.I., Schibler E.E. & Paggi A.C. 2008. Distribución de Chironomidae (Diptera) en dos sistemas fluviales ritrónicos (Andino-Serrano) de Argentina. *Revista Sociedad Entomología*, 67(1-2), 69-79.
- Medina A.I. & Paggi A.C. 2004. Composición y abundancia de Chironomidae (Diptera) en un río serrano de zona semiárida (San Luis, Argentina). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 63 (3-4), 107-118
- Merrit R. W., Cummins K.W. & Berg M.B. 2008. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt: Fourth Edition.
- MINAM (Ministerio del Ambiente) 2008). Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Decreto Supremo 002-2008-MINAM.
- Monge A.S. & More M.B. 2007. Contaminación del agua. *Revista Biocenosis*, 20 (1-2), 137-139.
- Moreno C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA. Sociedad Entomológica Aragonesa. Madrid, España.
- Moretto Y., Takeda A.M. & Butaca C.M.M. 2002. Distribuição espacial de larvas de Chironomidae (Diptera) em seis diferentes ambientes da planície aluvial do Rio Paraná. XXIV Congresso Brasileiro de Zoologia: A Zoologia e os Ecossistemas Costeiros. Santa Catarina, Brazil.
- Orrego N., Londoño F. & Rojas E. 1999. Manejo eficiente del recurso hídrico en las microcuencas. (Tesis de pregrado). Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.
- Parsons M., Thoms M.C. & Norris R. H. 2003. Scales of macroinvertebrate distribution in relation to hierarchical organization of river systems. *Journal of the North American Benthological Society*, 22:105-122.
- Pinilla G.A. 2000. *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia*. Santa Fe de Bogotá, Colombia. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Prat N., Rieradevall M., Acosta R. & Villamarín C. 2011. *Guía para el reconocimiento de larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú*. Barcelona, España: Grupo de Investigación F.E.M.
- Prieto-Méndez J., González-Ramírez C.A., Román-Gutiérrez A.D., & Prieto-García F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.
- Rodríguez G., Gretel N. & Paggi A.C. 2015. Chironomidae (Diptera) en cursos de agua de Puna y Chaco Serrano de Catamarca (Argentina): primeros registros y distribución de géneros y especies. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 74(1-2), 15-25.
- Roldán G. 1996. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Bogotá, Colombia. Pama Editores Ltda.
- Sauquillo A., Rigol A. & Rauret G. 2003. Overview of the use of Leaching Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. *Trends in Analytical Chemistry*, 22, 152-159. DOI: [doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)00303-0](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)00303-0).
- Scheibler E.E., Pozo V. & Paggi A.C. 2008. Distribución espacio-temporal de larvas de Chironomidae (Diptera) en un arroyo andino (Uspallata, Mendoza, Argentina). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 67(3-4), 45-58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=322028483005>.
- Scheibler E.E., Roig-Juñent S.A. & Claps M.C. 2014. Chironomidae (Insecta: Diptera) assemblages along an Andean altitudinal gradient. *Aquatic Biology*, 20, 169-184. DOI: doi.org/10.3354/ab00554.
- Spain A. 2003. Implications of microbial heavy metals tolerance in the environment. *Reviews In Undergraduate Research*, 2, 1-6.
- Terneus E., Hernández L. & Racines M. 2012. Evaluación ecológica del río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, Pastaza-Ecuador. *Revista de Ciencias*, 16, 31-45. DOI: doi.org/10.25100/rc.v16i0.501.
- Villamarín C., Prat N. & Rieradevall M. 2014. Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(5), 1072 - 1086. DOI: doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-12.
- Winner R.W., Boesel M.W. & Farrel M.P. 1980. Insect community structure as an index of heavy-metal pollution in lotic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37(4), 647-655. DOI: doi.org/10.1139/f80-081.
- Zanotto J.P., Principe R.E., Oberto A.M. & Gualdoni C.M. 2015. Variación espacio-temporal de Chironomidae (Diptera) bentónicos y derivantes en un arroyo serrano en Córdoba, Argentina. *Iheringia Série Zoología*, 105(1), 41-52. DOI: [10.1590/1678-4766201510514152](https://doi.org/10.1590/1678-4766201510514152).

Apéndice.

Tabla 7. Abundancia relativa de la comunidad de invertebrados bentónicos presentes en las lagunas de la cuenca del río rímac y cuenca del río mantaro en junio y octubre del 2015, durante la época de seca.

| Laguna | Phylum | Familia | 05/06/2015 | 24/10/2015 | Total | |
|-----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------|-----|
| ALCACOCHA | Arthropoda | Aphididae | 16 | 4 | 20 | |
| | | Chironomidae | 84 | 37 | 121 | |
| | | Corixidae | 168 | 116 | 284 | |
| | | Hyalellidae | 49 | 20 | 69 | |
| | Total | | 317 | 177 | 494 | |
| | Mollusca | Physidae | 4 | 0 | 4 | |
| | | Planorbidae | 28 | 11 | 39 | |
| | | Sphaeriidae | 20 | 7 | 27 | |
| | Total | | 52 | 18 | 70 | |
| | CANCHIS | Annelida | Lumbriculidae | 1 | 0 | 1 |
| Naididae | | | 2 | 0 | 2 | |
| Tubificidae | | | 16 | 5 | 21 | |
| Total | | | 19 | 5 | 24 | |
| Arthropoda | | Chironomidae | 2 | 0 | 2 | |
| | | Cyprididae | 1 | 0 | 1 | |
| | | Hydrachnidae | 2 | 0 | 2 | |
| Total | | | 6 | 0 | 6 | |
| Mollusca | | Physidae | 1 | 0 | 1 | |
| | | Planorbidae | 2 | 0 | 2 | |
| Total | | 3 | 0 | 3 | | |
| CHURUCA | Annelida | Lumbriculidae | 2 | 0 | 2 | |
| | | Total | 2 | 0 | 2 | |
| | Arthropoda | Chironomidae | 21 | 0 | 21 | |
| | | Corixidae | 4 | 0 | 4 | |
| | | Cyprididae | 7 | 0 | 7 | |
| | | Hydrachnidae | 22 | 6 | 28 | |
| | | Limnesiidae | 29 | 7 | 36 | |
| | | Staphylinidae | 22 | 4 | 26 | |
| | Total | | 107 | 17 | 124 | |
| | Mollusca | Physidae | 4 | 0 | 4 | |
| Planorbidae | | 5 | 0 | 5 | | |
| Sphaeriidae | | 2 | 0 | 2 | | |
| Total | | 11 | 0 | 11 | | |
| Platyhelminthes | Planariidae | 3 | 0 | 3 | | |
| Total | | 3 | 0 | 3 | | |
| HUACRACOCHA | Arthropoda | Ceratoponidae | 6 | 4 | 10 | |
| | | Chironomidae | 191 | 93 | 284 | |
| | | Coenagrionidae | 28 | 4 | 32 | |
| | | Corixidae | 34 | 101 | 135 | |
| | | Dytiscidae | 9 | 9 | 18 | |
| | | Gyrididae | 5 | 4 | 9 | |
| | | Hydrachnidae | 38 | 3 | 41 | |
| | | Isotomidae | 10 | 3 | 13 | |
| | | Limnesiidae | 12 | 5 | 17 | |
| | | Scirtidae | 3 | 5 | 8 | |
| | | Staphylinidae | 3 | 3 | 6 | |
| | | Total | | 339 | 234 | 573 |
| | | LACSACOCHA | Annelida | Erpobdellidae | 5 | 7 |
| | Tubificidae | | | 7 | 11 | 18 |
| Total | | | 12 | 18 | 30 | |
| Arthropoda | Aphididae | 15 | 4 | 19 | | |
| | Chironomidae | 48 | 117 | 165 | | |
| | Cleridae | 102 | 86 | 188 | | |
| | Corixidae | 156 | 128 | 284 | | |
| | Curculionidae | 17 | 4 | 21 | | |
| Dytiscidae | 14 | 4 | 18 | | | |

INVERTEBRADOS BENTONICOS COMO BIOINDICADORES

Julio - Diciembre 2018

Tabla 7. Abundancia relativa de la comunidad de invertebrados bentónicos presentes en las lagunas de la cuenca del río rímac y cuenca del río mantaro en junio y octubre del 2015, durante la época de seca.

| Laguna | Phylum | Familia | 05/06/2015 | 24/10/2015 | Total | |
|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|------------|-------|-------|
| HUARONCOCHA | | Empididae | 23 | 6 | 29 | |
| | | Hyalellidae | 288 | 225 | 513 | |
| | Total | 663 | 574 | 1 237 | | |
| | Mollusca | Planorbidae | 71 | 41 | 112 | |
| | Total | | 71 | 41 | 112 | |
| | Platyhelminthes | Planariidae | 58 | 37 | 95 | |
| | Total | | 58 | 37 | 95 | |
| | Annelida | Erpobdellidae | 5 | 2 | 7 | |
| | | | Glossiphoniidae | 2 | 8 | 10 |
| | | | Lumbriculidae | 2 | 38 | 40 |
| | | | Tubificidae | 8 | 2 | 10 |
| | Total | | 17 | 50 | 67 | |
| | Arthropoda | Chironomidae | 120 | 207 | 327 | |
| | | | Cleridae | 90 | 3 | 93 |
| | | | Corixidae | 23 | 111 | 134 |
| | | | Cyprididae | 3 | 15 | 18 |
| | | | Dytiscidae | 4 | 21 | 25 |
| | | | Empididae | 2 | 11 | 13 |
| | | | Hyalellidae | 124 | 180 | 304 |
| | | | Hydrachnidae | 3 | 7 | 10 |
| Hydroptilidae | | | 2 | 121 | 123 | |
| Limnesiidae | | | 4 | 3 | 7 | |
| Total | | | | 375 | 679 | 1 054 |
| Mollusca | Planorbidae | 25 | 33 | 58 | | |
| | | Sphaeriidae | 2 | 9 | 11 | |
| | | Total | 27 | 42 | 69 | |
| Platyhelminthes | Planariidae | 25 | 2 | 27 | | |
| Total | | 25 | 2 | 27 | | |
| HUASCARCOCHA | Annelida | Erpobdellidae | 3 | 2 | 5 | |
| | | Lumbriculidae | 38 | 50 | 88 | |
| | | Total | 41 | 52 | 93 | |
| Arthropoda | Chironomidae | 56 | 92 | 148 | | |
| | | Corixidae | 8 | 9 | 17 | |
| | | Cyprididae | 18 | 12 | 30 | |
| | | Hydrachnidae | 6 | 13 | 19 | |
| | | Isotomidae | 8 | 5 | 13 | |
| | | Total | 96 | 131 | 227 | |
| Platyhelminthes | Planariidae | 6 | 5 | 11 | | |
| Total | | 6 | 5 | 11 | | |
| HUASCOCHA | Annelida | Lumbriculidae | 27 | 30 | 57 | |
| Total | | 27 | 30 | 57 | | |
| Arthropoda | Chironomidae | 21 | 5 | 26 | | |
| | | Corixidae | 47 | 24 | 71 | |
| | | Cyprididae | 17 | 6 | 23 | |
| | | Dytiscidae | 13 | 5 | 18 | |
| | | Empididae | 138 | 106 | 244 | |
| | | Total | 236 | 146 | 382 | |
| Platyhelminthes | Planariidae | 28 | 10 | 38 | | |
| Total | | 28 | 10 | 38 | | |
| HUICRO | Arthropoda | Chironomidae | 321 | 288 | 609 | |
| | | Corixidae | 159 | 163 | 322 | |
| | | Cyprididae | 63 | 33 | 96 | |
| | | Dytiscidae | 41 | 23 | 64 | |
| | | Hydrachnidae | 26 | 5 | 31 | |
| | | Limnesiidae | 31 | 7 | 38 | |
| Total | 641 | 519 | 1 160 | | | |
| Mollusca | Planorbidae | 255 | 318 | 573 | | |
| | Sphaeriidae | 27 | 15 | 42 | | |

Tabla 7. Abundancia relativa de la comunidad de invertebrados bentónicos presentes en las lagunas de la cuenca del río rímac y cuenca del río mantaro en junio y octubre del 2015, durante la época de seca.

| Laguna | Phylum | Familia | 05/06/2015 | 24/10/2015 | Total |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------|------------|-------|
| LEONCOCHA | Total | | 282 | 333 | 615 |
| | Platyhelminthes | Planariidae | 29 | 10 | 39 |
| | Total | | 29 | 10 | 39 |
| | Annelida | Glossiphoniidae | 13 | 5 | 18 |
| | | Lumbriculidae | 35 | 35 | 70 |
| | | Tubificidae | 20 | 17 | 37 |
| | Total | | 68 | 57 | 125 |
| | Arthropoda | Chironomidae | 470 | 541 | 1 011 |
| | | Corixidae | 26 | 19 | 45 |
| | | Dytiscidae | 4 | 7 | 11 |
| | | Hyalellidae | 78 | 71 | 149 |
| | | Hydrachnidae | 49 | 36 | 85 |
| | | Isotomidae | 292 | 238 | 530 |
| | | Limnesiidae | 34 | 25 | 59 |
| Total | | 953 | 937 | 1 890 | |
| Mollusca | Planorbidae | 46 | 44 | 90 | |
| Total | | 46 | 44 | 90 | |
| Platyhelminthes | Planariidae | 90 | 77 | 167 | |
| Total | | 90 | 77 | 167 | |
| MARCA | Annelida | Erpobdellidae | 52 | 0 | 52 |
| | | Lumbriculidae | 56 | 23 | 79 |
| | | Naididae | 4 | 15 | 19 |
| | Total | | 112 | 38 | 150 |
| | Arthropoda | Aphididae | 9 | 10 | 19 |
| | | Chironomidae | 390 | 143 | 533 |
| | | Cleridae | 6 | 5 | 11 |
| | | Corixidae | 335 | 72 | 407 |
| | | Cyprididae | 3 422 | 506 | 3 928 |
| | | Dytiscidae | 4 | 13 | 17 |
| | | Gyrididae | 9 | 4 | 13 |
| | | Hyalellidae | 843 | 99 | 942 |
| | | Hydrachnidae | 177 | 685 | 862 |
| | | Isotomidae | 4 | 84 | 88 |
| | | Limnesiidae | 3 | 4 | 7 |
| | | Scirtidae | 8 | 4 | 12 |
| | | Staphylinidae | 9 | 3 | 12 |
| | Total | | 5 224 | 1 642 | 6 866 |
| | Mollusca | Physidae | 168 | 7 | 175 |
| | | Planorbidae | 4 | 4 | 8 |
| | | Sphaeriidae | 4 | 3 | 7 |
| | Total | | 176 | 14 | 190 |
| | Platyhelminthes | Planariidae | 10 | 0 | 10 |
| Total | | 10 | 0 | 10 | |
| POMACOCHA | Annelida | Lumbriculidae | 19 | 18 | 37 |
| | | Naididae | 17 | 14 | 31 |
| | Total | | 36 | 32 | 68 |
| | Arthropoda | Baetidae | 99 | 76 | 175 |
| | | Ceratoponidae | 0 | 0 | 0 |
| | | Chironomidae | 691 | 771 | 1 462 |
| | | Empididae | 107 | 83 | 190 |
| | | Hydroptilidae | 383 | 255 | 638 |
| | | Limnesiidae | 6 | 2 | 8 |
| | | Simuliidae | 20 | 18 | 38 |
| | Total | | 1 306 | 1 205 | 2 511 |
| | Mollusca | Physidae | 178 | 186 | 364 |
| | | Planorbidae | 67 | 78 | 145 |
| | Total | | 245 | 264 | 509 |
| | Annelida | Erpobdellidae | 1 | 0 | 1 |

INVERTEBRADOS BENTONICOS COMO BIOINDICADORES

Julio - Diciembre 2018

Tabla 7. Abundancia relativa de la comunidad de invertebrados bentónicos presentes en las lagunas de la cuenca del río rímac y cuenca del río mantaro en junio y octubre del 2015, durante la época de seca.

| Laguna | Phylum | Familia | 05/06/2015 | 24/10/2015 | Total |
|-----------------|---------------|-----------------|------------|------------|-------|
| SANTA CATALINA | | Glossiphoniidae | 1 | 0 | 1 |
| | | Lumbriculidae | 1 | 0 | 1 |
| | | Naididae | 2 | 0 | 2 |
| | | Tubificidae | 1 | 0 | 1 |
| | | Total | 6 | 0 | 6 |
| | Arthropoda | Chironomidae | 316 | 170 | 486 |
| | | Corixidae | 298 | 265 | 563 |
| | | Cyprididae | 3 | 0 | 3 |
| | | Hyalellidae | 20 | 3 | 23 |
| | | Hydrachnidae | 21 | 6 | 27 |
| | Limnesiidae | 7 | 3 | 10 | |
| | Total | 667 | 447 | 1 114 | |
| Mollusca | Physidae | 2 | 0 | 2 | |
| | Planorbidae | 1 | 0 | 1 | |
| | Sphaeriidae | 2 | 0 | 2 | |
| | Total | 5 | 0 | 5 | |
| Platyhelminthes | Planariidae | 2 | 0 | 2 | |
| | Total | 2 | 0 | 2 | |
| TICTICOCHA | Annelida | Erpobdellidae | 35 | 67 | 102 |
| | | Lumbriculidae | 45 | 38 | 83 |
| | | Total | 80 | 105 | 185 |
| | Arthropoda | Chironomidae | 35 | 53 | 88 |
| | | Cleridae | 4 | 4 | 8 |
| | | Corixidae | 111 | 19 | 130 |
| | | Cyprididae | 4 | 35 | 39 |
| | | Ephydriidae | 4 | 4 | 8 |
| | | Hyalellidae | 19 | 842 | 861 |
| | | Limnephilidae | 22 | 22 | 44 |
| | Mesoveliidae | 2 | 4 | 6 | |
| | Simuliidae | 2 | 0 | 2 | |
| | Staphylinidae | 4 | 0 | 4 | |
| | Total | 207 | 983 | 1 190 | |
| Mollusca | Physidae | 125 | 95 | 220 | |
| | Planorbidae | 7 | 3 | 10 | |
| | Sphaeriidae | 19 | 5 | 24 | |
| | Total | 151 | 103 | 254 | |
| Platyhelminthes | Planariidae | 47 | 9 | 56 | |
| | Total | 47 | 9 | 56 | |
| YANANYACU | Arthropoda | Aphididae | 61 | 0 | 61 |
| | | Chironomidae | 159 | 220 | 379 |
| | | Coenagrionidae | 9 | 6 | 15 |
| | | Corixidae | 565 | 579 | 1 144 |
| | | Cyprididae | 7 | 15 | 22 |
| | | Dytiscidae | 68 | 57 | 125 |
| | | Hyalellidae | 149 | 139 | 288 |
| | | Hydrachnidae | 100 | 144 | 244 |
| | | Isotomidae | 11 | 9 | 20 |
| | | Limnephilidae | 4 | 40 | 44 |
| | Limnesiidae | 5 | 4 | 9 | |
| | Total | 1 138 | 1 213 | 2 351 | |
| Mollusca | Planorbidae | 49 | 67 | 116 | |
| | Sphaeriidae | 6 | 5 | 11 | |
| | Total | 55 | 72 | 127 | |
| YURACMAYO | Annelida | Erpobdellidae | 5 | 4 | 9 |
| | | Glossiphoniidae | 362 | 4 | 366 |
| | | Lumbriculidae | 8 | 24 | 32 |
| | | Tubificidae | 28 | 5 | 33 |
| | Total | 403 | 37 | 440 | |
| Arthropoda | Chironomidae | 974 | 680 | 1 654 | |

Tabla 7. Abundancia relativa de la comunidad de invertebrados bentónicos presentes en las lagunas de la cuenca del río rímac y cuenca del río mantaro en junio y octubre del 2015, durante la época de seca.

| Laguna | Phylum | Familia | 05/06/2015 | 24/10/2015 | Total |
|--------|-----------------|--------------|------------|------------|--------|
| | | Cyprididae | 5 | 23 | 28 |
| | | Dytiscidae | 5 | 4 | 9 |
| | | Ephydriidae | 4 | 4 | 8 |
| | | Hyalellidae | 9 | 4 | 13 |
| | | Hydrachnidae | 14 | 75 | 89 |
| | | Isotomidae | 6 | 6 | 12 |
| | | Limnesiidae | 6 | 30 | 36 |
| | | Tabanidae | 3 | 4 | 7 |
| | Total | | 1 026 | 830 | 1 856 |
| | Platyhelminthes | Planariidae | 8 | 26 | 34 |
| | Total | | 8 | 26 | 34 |
| Total | | | 15 554 | 11 265 | 26 819 |

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú, ltapiau@unmsm.edu.pe.

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú, tsanchezr@unmsm.edu.pe.

³ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú, mbaylonc@unmsm.edu.pe.

⁴ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú, ejarap@unmsm.edu.pe.

⁵ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú, caren.artega15@gmail.com.

⁶ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú, diegomacedozer014@gmail.com.

⁷ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú, alansevillano@gmail.com.