

Macroinvertebrados acuáticos y caracterización ecológica de los ambientes dulceacuícolas del área de influencia del gasoducto PERÚ LNG en los departamentos de Ica y Huancavelica

Aquatic macroinvertebrates and ecological characterization of freshwater environments in the area of influence of the PERU LNG gas pipeline in the departments of Ica and Huancavelica

Jerry Arana Maestre¹, Carlos Cabrera Carranza²

Recibido: Agosto 2015 - Aprobado: Diciembre 2015

RESUMEN

Se evaluaron quince estaciones de muestreo en quebradas y ríos en el área de influencia del gasoducto de PERÚ LNG en los departamentos de Ica y Huancavelica, para ello se tomaron parámetros fisicoquímicos del agua y se colectaron macroinvertebrados acuáticos. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos fueron aceptables para el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos, con valores de oxígeno disuelto por debajo de la normativa legal en los ríos Matagente y Pisco, durante la época seca (Mayo, 2010), donde también los macroinvertebrados acuáticos estuvieron compuestos por 34 taxones, con una abundancia total de 3671 organismos/m², a diferencia de la época húmeda (Noviembre, 2010), donde los macroinvertebrados acuáticos estuvieron compuestos por 26 taxones, con una abundancia total de 1623 organismos/m². Los organismos más representativos fueron los artrópodos, principalmente aquellos perteneciente a la clase Insecta. Las estaciones ubicadas entre los 3985 y 4210 msnm presentaron una mayor riqueza de taxones, debido a que presentaron condiciones más apropiadas para el desarrollo de la comunidad bentónica, como concentraciones óptimas de oxígeno disuelto y mayor diversidad de sustratos. Según el Índice Biótico Andino (ABI), la calidad del agua varió de malo a bueno para ambas épocas. Además del derecho de vía del ducto de gas, los impactos observados en el área de estudio fueron la ganadería, la agricultura, los pasivos mineros y las descargas orgánicas de los centros poblados ubicados en las riberas de los cuerpos acuáticos evaluados.

Palabras clave: Macroinvertebrados acuáticos; área de influencia; Ica; Huancavelica; ducto de gas; Camisea; parámetros fisicoquímicos.

ABSTRACT

Fifteen sampling stations were evaluated in streams and rivers in the influence area of the pipeline PERÚ LNG in the departments of Ica and Huancavelica, for this physicochemical parameters of water were taken, habitat type described and aquatic macroinvertebrates were collected. The results of physicochemical parameters were acceptable to the development of aquatic macroinvertebrates, with dissolved oxygen values below the legal regulations in the Matagente and Pisco rivers during the dry season (May, 2010), which also aquatic macroinvertebrates were composed of 34 taxa, with a 3671 total abundance of organisms/m², unlike the wet season (November, 2010), where aquatic macroinvertebrates were composed of 26 taxa, with a total abundance of 1623 organisms/m². The most representative organisms were arthropods, mainly those belonging to the class Insecta. The stations between 3985 and 4210 meters above sea level had higher taxa richness, because they had more appropriate for the development of the benthic community as optimal concentrations of dissolved oxygen and greater variety of substrates conditions. According to the Andean Biotic Index (ABI), water quality ranged from bad to good for both seasons. In addition to the pipeline gas, the impacts observed in the study area were stockbreeding, agriculture, mining and organic discharges from towns located on the banks of water bodies assessed.

Keywords: Aquatic macroinvertebrates; influence area; Ica; Huancavelica; gas pipeline; Camisea; physicochemical parameters.

1. Departamento de Limnología, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

2. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Email: jerry.arana@unmsm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Los macroinvertebrados acuáticos son animales invertebrados que tienen tamaños superiores a 0.5 mm de largo, siendo visibles a simple vista, como las esponjas, hidras, planarias, anélidos, insectos, arácnidos, crustáceos y moluscos. Para el neotrópico, el conocimiento de los macroinvertebrados es aún escaso y su información es dispersa en muchas publicaciones europeas, norteamericanas y sudamericanas (Roldán y Ramírez, 2008). La distribución y composición de los macroinvertebrados acuáticos está en función de la estacionalidad; al parecer ante estos cambios estacionales, los organismos evolucionaron en diversas estrategias de vida para poder afrontarlos de la mejor manera (Ortiz, 2012). El uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua está basado en que dichos organismos ocupan un hábitat con características ambientales específicas, y cualquier cambio en las condiciones ambientales se reflejará, por tanto, en las estructuras de estas comunidades. El oxígeno disuelto, el grado de acidez o basicidad (pH), la temperatura del agua y la cantidad de iones disueltos (conductividad) son muchas veces, las principales variables a las cuales estos organismos son más sensibles. Dichas variables cambian fácilmente por contaminación industrial y doméstica (Roldán y Ramírez, 2008).

El gasoducto de PERÚ LNG tiene 408 kilómetros de longitud, y transporta gas natural desde Chiquintirca, ubicado en el departamento de Ayacucho, hasta la planta Melchorita, a 170 kilómetros al sur de Lima.

Setuvo como objetivo conocer la distribución altitudinal y la composición taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos y la evaluación de los parámetros fisicoquímicos de los ambientes acuáticos del área de influencia del gasoducto Perú LNG en los departamentos de Ica y Huancavelica, durante la época seca (mayo) y húmeda (noviembre) del año 2010; así como determinar la calidad de agua utilizando a los macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Campo.

Se determinaron 15 estaciones de muestreo en los cuerpos de agua cercanos o adyacentes al gasoducto PERÚ LNG, pertenecientes a los departamentos de Ica y Huancavelica (Figura 1), las cuales fueron georreferenciadas mediante un GPS Garmin. Para la ubicación de las estaciones de muestreo se tomaron en consideración los principales cuerpos acuáticos y la accesibilidad del terreno. Se realizaron dos muestreos, uno en época seca (Mayo, 2010) y otro en época húmeda (Noviembre, 2010).

Muestreo de los parámetros fisicoquímicos.

Para cada estación de muestreo se evaluaron las siguientes variables fisicoquímicas del agua, a nivel medio de la columna de agua: temperatura del agua, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza, salinidad, fosfatos, nitratos, nitritos, conductividad eléctrica, pH y CO₂.

Muestreo biológico de macroinvertebrados.

El muestreo biológico se realizó utilizando la metodología descrita por Roldán (1996); y Domínguez y Fernández

(2009). Se hicieron tres repeticiones por estación de muestreo. Las muestras fueron compuestas o multihabitat, considerándose los microhábitats y el tipo de sustrato presente en las estaciones de muestreo. Los macroinvertebrados se colectaron con una red Surber de 900 cm² de área y 200 um de diámetro de malla, posteriormente el material colectado se trasvasó a frascos plásticos de 500 ml, preservados con alcohol al 70% y rotulados.

Laboratorio.

Las muestras colectadas se trasladaron al Departamento de Limnología del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde se procedió a la separación de los organismos mediante tamices de 200 um, para luego ser identificados hasta el menor nivel taxonómico posible utilizando claves taxonómicas especializadas y actualizadas; luego los organismos fueron cuantificados para los cálculos de los índices comunitarios como la diversidad de Shannon-Wiener (H'), Riqueza de Margalef (d'), Dominancia de Simpson (D) y Equidad de Pielou (E). Así mismo las estaciones de muestreo se agruparon y compararon según áreas con similar composición taxonómica, utilizando para ello el índice de similaridad Bray Curtis (1975) y el método de la media ponderada para construir el dendrograma o clúster (UPGMA). También se realizó el Análisis de Similaridad (ANOSIM) entre las épocas de muestreo para poder determinar si existieron diferencias significativas de las poblaciones de macroinvertebrados. Del mismo modo, se calculó el Análisis de Porcentaje de Similaridades (SIMPER), que permite determinar las especies con mayor aporte a la disimilaridad entre las épocas de muestreo. Finalmente se determinó la calidad de agua según el índice biótico ABI (Acosta et al., 2009).



Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en el área de estudio.

Fuente. Instituto Geográfico Nacional, Perú LNG.

III. RESULTADOS

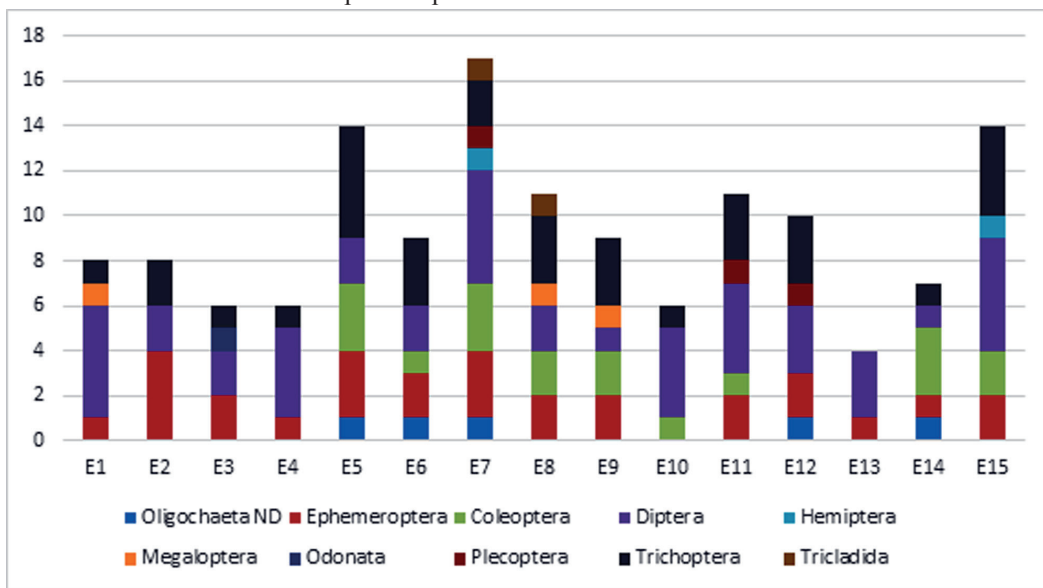
Según el análisis de los parámetros fisicoquímicos, en la época seca, los valores para el oxígeno disuelto (mg/l) dieron valores menores a lo estipulado como mínimo (D.S. 015-2015-MINAM) en las estaciones E1 (Río Matagente) = 4.56 mg/l, E2 (Río Matagente) = 4.85 mg/l, E3 (Río Pisco) = 4.90 mg/l y E4 (Río Pisco) = 4.76 mg/l. Con respecto a la conductividad, la estación E4 (Río Pisco) presentó un valor ligeramente superior a lo mínimo legal (1102.33 us/cm de 1000 us/cm); todo esto para la época seca (Mayo, 2010). En la época húmeda todos los parámetros fisicoquímicos estuvieron dentro de los valores permitidos del mencionado ECA, es decir, no hubo indicios de probable contaminación.

Según el análisis de los macroinvertebrados acuáticos, para la época seca se contabilizó de 34 taxones, con una abundancia total de 3671 organismos/m²; y para la época húmeda, dicha comunidad estuvo compuesta por 26

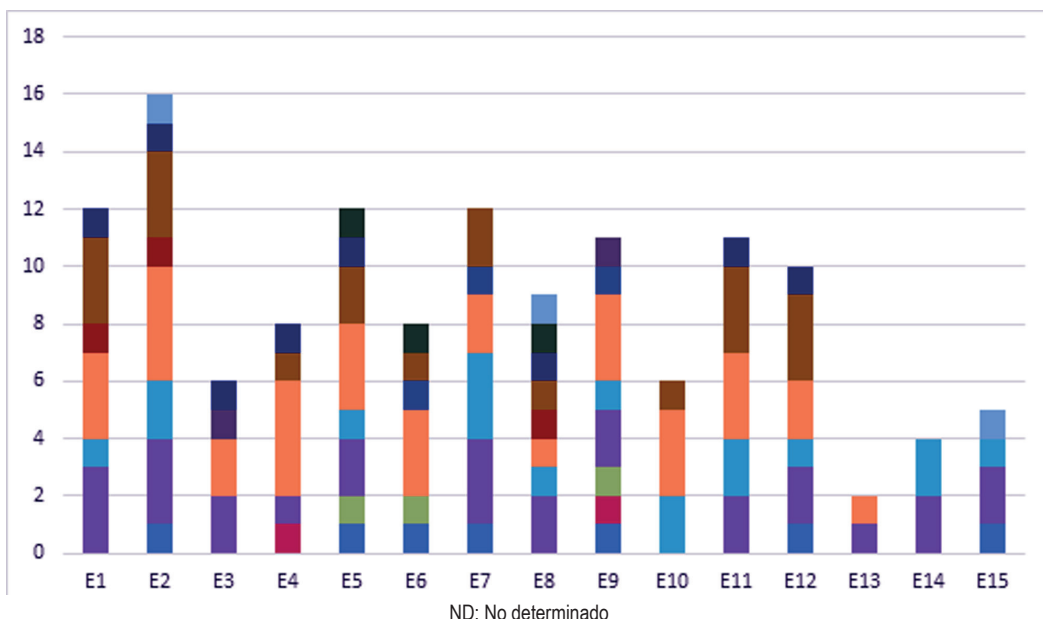
taxones, con una abundancia total de 1623 organismos/m², observándose una disminución tanto en riqueza como en abundancia.

Durante la época seca, se registraron 34 taxones, distribuidos en 3 phyla: Arthropoda (32), Annelida (1) y Platyhelminthes (1); y en tres clases: Insecta (32), Oligochaeta (1) y Turbellaria (1). A nivel de orden se registraron 10 órdenes (Figura 2). A nivel de familia, Baetidae estuvo presente en todas las estaciones evaluadas con excepción de la estación E13 (Río Tambomachay).

Para la época húmeda se registraron 32 taxones, cifra ligeramente menor (2 taxones menos) a la época seca, y estuvieron distribuidos en 4 phyla: Arthropoda (27), Annelida (2), Mollusca (2) y Nematomorpha (1); y en 6 clases: Insecta (26), Gastropoda (2), Arachnoidea (1), Oligochaeta (1), Hirudinea (1) y Nematopomorpha (1); y se registraron 13 órdenes (Figura 3).



ND: No determinado
Figura 2. Riqueza de macroinvertebrados acuáticos según orden (Mayo, 2010)



ND: No determinado
Figura 3. Riqueza de macroinvertebrados acuáticos según orden (Noviembre, 2010)

En términos de abundancia, el phylum Arthropoda fue el más representativo de los macroinvertebrados acuáticos evaluados para ambas épocas. Así tenemos que para la época seca (Mayo, 2010), representó el 97.09% del registro total en término de abundancia relativa; seguido de Annelida con 2.51% y Platyhelminthes con 0.41% (Figura 4). Para la época húmeda (Noviembre, 2010), Arthropoda representó el 78%, seguido de Mollusca con 13.74%, Annelida con 7.33% y Nematomorpha con 0.92% (Figura 5).

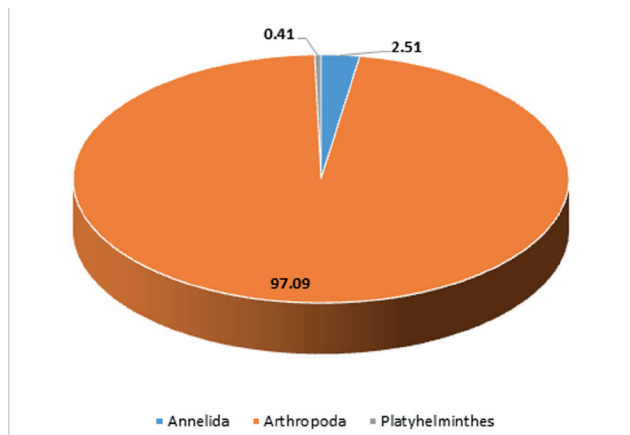


Figura 4. Abundancia Relativa por Phylum (Mayo, 2010)

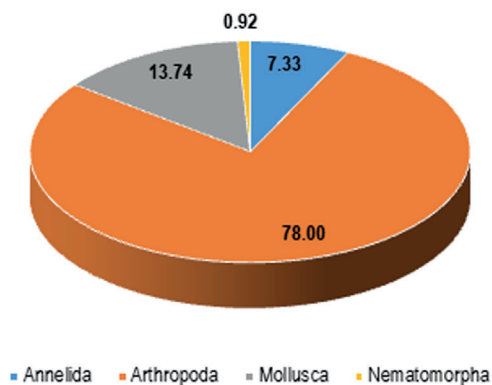


Figura 5. Abundancia Relativa por Phylum (Noviembre, 2010)

También se observó una gran disminución de la abundancia de los macroinvertebrados acuáticos en la época húmeda con respecto a la época seca. Así por ejemplo tenemos que la abundancia de los organismos del orden Diptera decreció de 1406 organismos/m² a 380 organismos/m²; para Trichoptera de 964 organismos/m² a 270 organismos/m², y para Ephemeroptera de 895 organismos/m² a 332 organismos/m², es decir en más del 50%.

Se hizo también un análisis de distribución altitudinal de macroinvertebrados acuáticos, para ello, las quince estaciones de muestreo se agruparon en tres grupos, así tenemos que las estaciones E1 (Río Matagente), E2 (Río Matagente), E3 (Río Pisco) y E4 (Río Pisco) conformaron el primer grupo comprendido ente los 164 msnm hasta los 245 msnm; el segundo grupo estuvo conformado por las estaciones E5 (Quebrada Pampahuasi), E6 (Quebrada Pampahuasi), E7 (Quebrada Teperumi), E10 (Quebrada Huaycahuaycco), E11 (Río Pampas), E12 (Río Pampas), E13 (Río Tambomachay), E14 (Río Tambomachay) y E15

(Quebrada Huayco Corral), cuyas altitudes fluctuaron entre los 3985 msnm hasta los 4210 msnm; finalmente, el tercer grupo estuvo compuesto por las estaciones E8 (Quebrada Leche-leche) y E9 (Río Leche-leche), cuyas altitudes variaron desde los 4292 hasta los 4472 msnm. Para la época seca (Mayo, 2010), las especies comunes para los tres grupos altitudinales fueron Baetodes sp., Simulium sp., Smicridea sp. y Ochrotrichia sp. El grupo (164 - 245 msnm) registró como especie particular a Camelobaetidius sp.; y el grupo (3985-4210 msnm) registró a diferencia de los demás grupos a Oligochaeta ND, Heterelmis sp., Scirtes sp., Alluaudomyia sp., Tanytarsus sp., Tabanus sp., Tipula sp., Centrocorisa sp., Claudiperla sp., Atanatolica sp., Helicopsyche sp., Atopsyche sp. y Chimarra sp. Por el contrario, para la época húmeda (Noviembre, 2010), las especies comunes para los tres grupos altitudinales fueron Oligochaeta ND, Americabaetis sp., Trychorythodes sp., Stenelmis sp., Dricotendripes sp., Polypedilum sp., Limnophora sp., Atopsyche sp. Physa sp. y Gordioidea ND. El grupo (164 - 245 msnm) registró como taxones particulares a Baetodes sp. y Chironomidae; el grupo (3985-4210 msnm) registró a diferencia de los demás grupos a Baetidae ND, Heterelmis sp., Psephenops sp., Pelocoris sp. y Atanatolica sp. Finalmente el grupo (4292-4472 msnm) registró como especie particular a Thraulodes sp. El término ND significa “No Determinado”. Finalmente, para ambas épocas de muestreo se tuvo que el segundo grupo altitudinal presentó una mayor riqueza de taxones: Seca (Mayo, 2010): 30 taxones; húmeda (Noviembre, 2010): 26 taxones, con respecto a los otros grupos altitudinales.

En ambas épocas se observó similares comportamientos del índice de diversidad de Shannon-Wiener (Log₂) con el de riqueza de Margalef; y del índice de dominancia de Simpson con la equidad de Pielou (Figura 6 y 7).

Los valores de los índices de diversidad están en función de múltiples factores ambientales tales como los físicos (velocidad de corriente, caudal, tipo de sustrato), así como de los fisicoquímicos (oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad eléctrica, etc.), biológicos (predación, competencia intra e interespecifica) y antrópicos (agricultura, ganadería, urbanizaciones, mantenimiento del ducto); así por ejemplo tenemos que los valores bajos de diversidad en las estaciones E3 (Río Pisco) y E4 (Río Pisco) se deberían principalmente a los bajos valores de oxígeno disuelto (< 5 mg/l).

También se realizó un análisis clúster para ambas épocas de muestreo (seca y húmeda), para ello a las estaciones correspondientes a la época seca se le agregó al final del código de la estación “(s)” y a las correspondientes a la época húmeda, “(h)” (Figura 8). Se observó dos grupos con aproximadamente 15% de similaridad, y que las estaciones tendieron a agruparse diferenciando la estacionalidad, es decir entre aquellas que fueron muestreadas durante la época seca (Mayo, 2010) y aquellas de la época húmeda (Noviembre, 2010).

Según el análisis ANOSIM se comprobó una diferencia significativa entre las estaciones para cada época de muestreo (R: 0.49; p=0.01). Esto nos permite inferir que la estacionalidad o temporalidad (seca y húmeda) influyó en el ordenamiento o agrupamiento de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el área de estudio.

Así mismo en el Análisis SIMPER, los dos grupos observados del clúster (Figura 8) generado entre ambas épocas (seca y húmeda), presentaron una disimilaridad promedio de 85.63%, lo cual indica una influencia muy significativa de la temporalidad o estacionalidad en el ordenamiento de los macroinvertebrados acuáticos en el área de estudio. Las principales especies que contribuyeron a dicha disimilaridad fueron Smicridea sp.

(27.32%), Polypedilum (25.08%), Baetodes sp. (22.04%), Simulium sp. (21.88%), Americabaetis sp. (11.20) y Stenelmis sp. (11.00%).

Adicionalmente el Índice Biótico Andino (ABI), arrojó de mala a buena calidad de agua para ambas épocas de muestreo; las estaciones que resultaron de mala calidad según este índice estuvieron por encima de los 4 000 msnm.

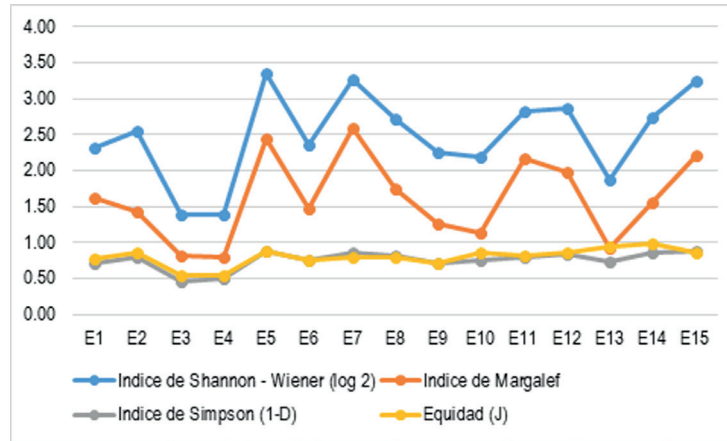


Figura 6. Índices de diversidad de los macroinvertebrados acuáticos registrados en el área de estudio durante la época seca (Mayo, 2010)

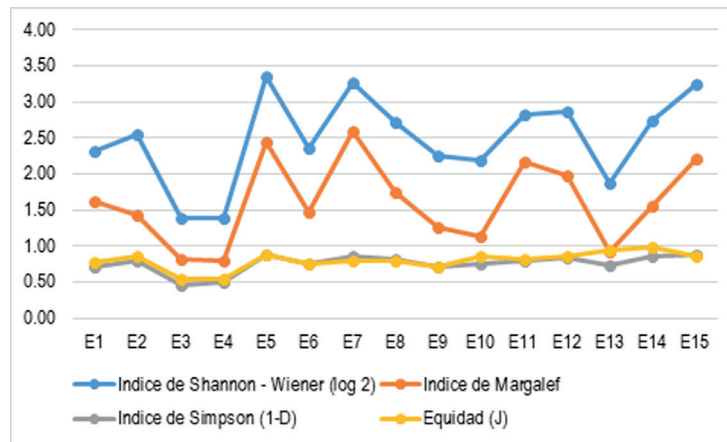


Figura 7. Índices de diversidad de los macroinvertebrados acuáticos registrados en el área de estudio durante la época húmeda (Noviembre, 2010)

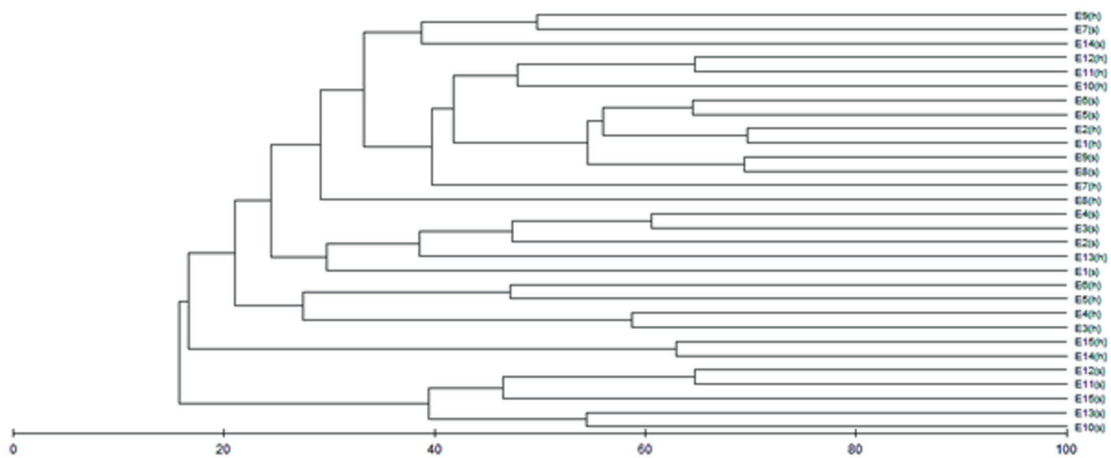


Figura 8. Dendrograma de asociación de las estaciones de muestreo según el índice de similitud de Bray-Curtis de las abundancias específicas para ambas épocas

IV. DISCUSIÓN

Según el análisis de los parámetros fisicoquímicos, los valores por debajo del ECA (D.S. N° 015-2015-MINAM) en las estaciones E1 (Río Matagente), E2 (Río Matagente), E3 (Río Pisco) y E4 (Río Pisco) se debería a la presencia de contaminantes orgánicos provenientes de las poblaciones aledañas y de la agricultura adyacente que se realiza en las riberas (principalmente cultivos de algodón), y que con el aumento del caudal durante la época húmeda (Mayo, 2010), tendrían un efecto de dilución por la que los valores en dicha época se normalicen con lo estipulado por la norma. Es importante señalar respecto a la conductividad que dicho parámetro está basado en la capacidad que tiene una solución para conducir una corriente eléctrica según la concentración de iones que contiene. Por tanto, se espera que una solución con mayor concentración iónica presente mayor conductividad y, por tanto, una menor resistencia, como por ejemplo, ambientes acuáticos muy oligotróficos, presentarán bajas conductividades y una alta resistencia (Roldán y Ramírez, 2008).

En cuanto a los macroinvertebrados acuáticos, la disminución de la riqueza de taxones, así como en la abundancia entre ambas épocas se debería a las diferencias en los factores físicos y fisicoquímicos para cada época, tales como los cambios en la concentración de oxígeno disuelto, conductividad, velocidad de corriente, caudal, etc.; así como en los ciclos biológicos de los organismos en estudio (Roldán y Ramírez, 2008; Domínguez y Fernández, 2009).

El dominio de los estados preimaginales de dípteros para ambas épocas se debería a la variedad de hábitats acuáticos que ocupan, los cuales es muy superior a otros ordenes de insectos (Wirth y Stone, 1968). Así mismo, la dominancia del phylum Arthropoda en el presente estudio corroboran la afirmación de que los artrópodos, representado principalmente por los insectos acuáticos, representan del 70 al 90% de los macroinvertebrados dulceacuícolas (Rosenberg y Resh, 1993).

La disminución de la abundancia de macroinvertebrados en los cambios estacionales de época seca a húmeda se debería a factores físicos como el incremento del caudal, la velocidad de corriente y de sólidos en suspensión, principalmente (Roldán y Ramírez, 2008). También algunas familias registradas como las más abundantes, tales como Chironomidae (Diptera), Baetidae (Ephemeroptera) y Elmidae (Coleoptera), coincidieron con estudios previos en otras regiones andinas de Sudamérica (Jacobsen et al. 2008, Barber-James et al. 2008). Es importante señalar que Baetidae se distribuye en casi todo el planeta, exceptuando Nueva Zelanda y Antártida. En América del Sur, es después de Leptophlebiidae la segunda familia más diversa para esta región (Domínguez y Fernández, 2009).

En el análisis de distribución altitudinal de macroinvertebrados, el segundo grupo altitudinal (3985-4210 msnm) presentó una mayor riqueza de taxones. Esto se debería a que las estaciones ubicadas en ese rango altitudinal presentaron condiciones más apropiadas para el desarrollo de la comunidad bentónica, como concentraciones altas de oxígeno disuelto. Las fuentes de oxígeno son la precipitación pluvial, la difusión del aire con el agua, la fotosíntesis, los afluentes y la agitación

moderada (Roldán y Ramírez, 2008), esto último está relacionado con la altitud y la pendiente del cauce. Además, los ensambles de macroinvertebrados como de peces tienden a seguir un patrón general de disminución de riqueza de especies en zonas muy altas, como se demuestra en anteriores investigaciones (Jacobsen, 2004; Albert et al., 2011; Lujan et al., 2013).

También es importante señalar que investigaciones anteriores, han señalado al fuerte gradiente altitudinal de la Cordillera de los Andes como el factor más importante y determinante de la variabilidad, tanto de las características físicas como químicas, en los ríos altoandinos (Jacobsen et al., 1998; Carrera y Gunkel, 2003). Se menciona además, que la variabilidad natural de estos ríos puede estar modificada por actividades antrópicas que repercute en los valores del pH, la conductividad, el oxígeno disuelto, la concentración de fosfatos, nitritos, nitratos, amonio y de metales pesados, así como en las características hidromorfológicas de los ecosistemas lóticos (Maddock, 1999; Buytaert et al., 2006; Acosta et al., 2009, Prat et al., 2009), siendo los más comunes las actividades que reducen la vegetación ribereña, las aguas servidas, las malas prácticas agrícolas y ganaderas, así como la explotación minera sin control (Carrera y Gunkel, 2003; Segnini y Chacón, 2005; Mena y Hofstede, 2006; Prat et al., 2009; Villamarín et al., 2014). Cabe mencionar también que el ensamble y la dinámica de los macroinvertebrados están muy relacionados a la estacionalidad (Roldán y Ramírez, 2008; Esteves, 2011).

En el área de estudio se observó cultivos de algodón, ganadería bovina, derecho de vía del ducto de gas y centros poblados en los sectores bajos de las subcuencas del río Matagente y Pisco, así como varios centros poblados y ganadería ovina y de alpacas en los sectores altos sobre los 3800 msnm; además un pasivo ambiental (relavera) aguas abajo del centro poblado de Licapa, ubicada aguas abajo de las estaciones E13 (Río Tambomachay), E14 (Río Tambomachay) y E15 (Quebrada Huayco Corral).

La heterogeneidad del hábitat fluvial es muy importante en la ecología de los ríos y ha sido estudiado en climas templados (Pringle et al., 1988, Beisel et al., 2000; Taniguchi y Tokeshi, 2004) y tropicales (Rincón, 1996; Ramírez et al., 1998). La baja heterogeneidad de hábitats en las punas se debería a una escasa oferta de nichos ecológicos, y que a su vez condiciona una escasa diversidad de macroinvertebrados bentónicos de manera natural (Acosta et al., 2009), esto se demostró con los bajos números de familias y valores del índice ABI para varias estaciones de muestreo ubicadas sobre los 4 000 msnm.

Es importante mantener la conservación de las riberas así como el cauce natural de los ríos para que la comunidad de macroinvertebrados puedan desarrollarse con normalidad y por tanto, mantener la cadena trófica de los ríos andinos; así mismo proponer y ejecutar medidas correctivas a los efluentes domésticos que drenan directamente a los ambientes acuáticos así como el desarrollo de una agricultura orgánica para evitar el ingreso de sustancias químicas que puedan afectar a las comunidades biológicas acuáticas así como a la calidad del agua.

V. AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a Roberto Quispe, Jessica Espino, Darío Faustino, Soraya Martínez, Isabel Gamboa, Isabel Omonte, Lourdes Quispe, Saira Salazar, Javier Ponce, Iris Samanez y Hernán Ortega.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, C., Ríos B., Rieradevall, M. y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28 (1): 35-64.
- Albert, J.S., Petry, P. y Reis, R.E. (2011). Major biogeographic and phylogenetic patterns. En J.S. Albert y R.E. Reis (Ed.), *Historical biogeography of neotropical freshwater fishes* (pp. 21–57). Berkeley, EEUU.: University of California Press, Berkeley, CA.
- Barber-James, H.M., Gattolliat, J. L., Sartori, M. y Hubbard, M.D. (2008). Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 339–350.
- Beisel, J-N., Usseglio-Polatera, P. y Moreteau, J. C. (2000). The Spatial Heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia*, 422 (423): 163-171.
- Bray, J. y Curtis, J. (1975). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, (27): 325-349.
- Buytaert, W., Celleri, R., Debievre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J. y Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean paramos. *Earth-Science*, 79 (1-2): 53-72.
- Carrera, P. y Gunkel, G. (2003). Ecology of a high Andean stream, Rio Itambi, Otavalo, Ecuador. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 33: 29-43.
- Cummig, K. y Klug, J. (1979). Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review Ecology and Systemic*, 10: 147-172.
- Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.
- Domínguez, E. y Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. San Miguel de Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Esteves, F. (Tercera Edición). (2011). *Fundamentos de Limnología*. Río de Janeiro, Brasil: Editorial Interciencia.
- Jacobsen, D. (1998). The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams. *Arch. Hydrobiol.*, 143: 179-195
- Jacobsen, D. (2004). Contrasting patterns in local and zonal family richness of stream invertebrates along an Andean altitudinal gradient. *Freshwater Biology*, 49: 1293-1305.
- Jacobsen, D. (2008). Low oxygen pressure as a driving factor for the altitudinal decline in taxon richness of stream macroinvertebrates. *Oecologia*, 154:795–807.
- Lujan, N. K., Roach, K. A., Jacobsen, D., Winemiller, K. O., Meza, V., Rimarachin, V. y Arana, J. (2013). Aquatic community structure across an Andes-to-Amazon fluvial gradient. *Journal of Biogeography*, (2013): 1-14.
- Maddock, I. (1999). The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. *Freshwater Biol.*, 41(2): 373-391.
- Mena, P. y Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. En M. Moraes, B. Ollgaard, L. Kvist, F. Borchsenius, y H. Balslev. (Ed.), *Botánica económica de los Andes Centrales*. (pp. 557). La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- Ortiz, W. L. (2012). *Distribución Espacio – Temporal de la Comunidad de Trichoptera (Insecta) en tributarios de pequeño orden del río Rímac, Huarochirí, Lima*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta R. y Rieradevall, M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En E. Domínguez y H. Fernández (Ed.), *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología* (pp. 631-654). San Miguel de Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Pringle, C. M., Naiman, R. J., Bretschko, G., Karr, J. R., Oswald, M. W., Webster, J. R., Welcomme, R. L. y Winterbourn, M. J. (1988). Patch dynamics in lotic streams: The stream as a mosaic. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7: 503-524.
- Ramírez, A., Paaby, P., Pringle, C. M. y Agüero, G. (1998). Effect of habitat type on benthic macroinvertebrates in two lowland tropical streams, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop. Supl.*, 6: 201-213.
- Rincón, M. E. (1996). Aspectos Bioecológicos de los tricópteros de la quebrada Carrizal (Boyaca, Colombia). *Rev. Colomb. Entomol.*, 22(1): 53-60.
- Roldán, G. y Ramírez, J. (Segunda edición). (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Rosenberg, D. y Resh, V. (1993). *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrate*. Publicación N° 420- (13): 330-354.
- Segnini, S. y Chacón, M. M. (2005). Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de los ríos andinos en la cordillera de Mérida, Venezuela. *Ecotropicos*, 18(1): 38-61.
- Taniguchi, H. y Tokeshi. M. (2004). Effects of Habitat Complexity on Benthic Assemblages in a variable environment. *Freshwat. Biol.*, 49: 1164-1178.
- Villamarín, C., Prat, N. y Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 42(5): 1072-1086.
- Wirth, W. W. y Stone, A. (1968). *Aquatic Diptera*. En R. Usinger (Ed.), *Aquatic Insects of California* (pp. 372-482). Los Angeles, EEUU: University California-Press.

