

Artículo Original

Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de la Calidad del Agua de un Sistema
Fluvial Alto Andino Ecuatoriano
Benthic Macroinvertebrates as Bioindicators of Water Quality of a High Andean Ecuadorian
Fluvial System

Ángel R. Quishpi Guallo, Pedro N. Pérez Villafuerte, Marco V. Rodríguez Llerena, Guido P.
Santillán Lima

Universidad Nacional de Chimborazo

Celso G. Recalde Moreno y Diego A. Damián Carrión

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

La correspondencia sobre este artículo debe ser dirigido a Marco Vinicio Rodríguez Llerena.

E-mail: marviny_rodriguez@yahoo.es

Fecha de recepción: 6 de octubre de 2017.

Fecha de aceptación: 15 de marzo de 2018.

¿Cómo citar este artículo? (Normas APA): Quishpi Guallo, A. R., Pérez Villafuerte, P. N., Rodríguez Llerena, M. V., Santillán Lima G. P., Recalde Moreno C. G., y Damián Carrión, D. A. (2018). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad del agua de un sistema fluvial Alto Andino Ecuatoriano. *Revista Científica Hallazgos21*, 3 (Suplemento Especial). Recuperado de <http://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/>

Revista Científica Hallazgos21. ISSN 2528-7915. Indexada en Latindex.

Periodicidad: cuatrimestral (marzo, julio, noviembre).

Director: José Suárez Lezcano. Teléfono: (593)(6) 2721459, extensión: 163.

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas. Calle Espejo, Subida a Santa Cruz, Esmeraldas. CP 08 01 00 65. Email: revista.hallazgos21@pucese.edu.ec.

<http://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/>

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar la calidad del agua mediante macroinvertebrados bentónicos y parámetros físicos en la microcuenca del río Nagsiche, ubicada al oeste del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi - Ecuador. Las muestras fueron recolectadas en 5 puntos de monitoreo por duplicado, durante los meses de mayo-junio del año 2016, en un transecto de 10 - 30 m. El estudio registro 396 individuos, distribuidos en 8 órdenes y 15 familias. No se encontraron diferencias significativas ($p= 0.23$) entre puntos de monitoreo, pero si hubo una correlación del 91 % entre ellos. Las familias que sobresalieron fueron: Baetidae con 67.17 %, Chironomidae con 7.83%, seguida de Ceratopogonidae con 7.32 %, y Simuliidae con 7.07%. Las restantes se encuentran por debajo del 3% de representatividad. La calidad del agua mediante el índice biológico ABI, es regular en los puntos Verde Pamba (VP) y Puente California (PC); buena en el punto Yana Urcu (YU); y, mala en los puntos Hacienda la Playa (HP) y Panzaleo (PANZ). De las variables físicas analizadas, la conductividad y los sólidos totales disueltos, muestran efectos de perturbación, por lo que el agua no ingresa para consumo humano. La variabilidad en los resultados evidencia que la actividad antrópica en nuestra área de estudio se está convirtiendo en una amenaza a la estabilidad de los ecosistemas montañoso alto andinos.

Palabras clave: adaptabilidad; bioindicadores; calidad del agua; macroinvertebrados bentónicos; parámetros físicos.

Abstract

The objective of the present investigation was to determine the quality of the water by means of benthic macroinvertebrates and physical parameters in the microbasin of the Nagsiche River, located west of Salcedo canton, province of Cotopaxi - Ecuador. The samples were collected in 5 monitoring points in duplicate during the months of May-June 2016, in a transect of 10 - 30 m. The study registered 396 individuals, distributed in 8 orders and 15 families; no significant differences were found ($p = 0.23$) between monitoring points; but there was a 91% correlation between them. The families that stood out were: Baetidae with 67.17%, Chironomidae with 7.83%, followed by Ceratopogonidae with 7.32% and Simuliidae with 7.07%; the remaining others are below 3% representativeness. Water quality through the ABI biological index is regular in the points Pamba Verde (VP) and Puente California (PC), good in the Yana Urcu (YU) point and bad in the points Hacienda la Playa (HP) and Panzaleo (PANZ). Of the physical variables analyzed, the conductivity and total dissolved solids show perturbation effects, so that water does not enter for human consumption. The variability in the results makes it clear that the anthropic activity in our study area is becoming a threat to the stability of the high Andean mountainous ecosystems.

Keywords: adaptability; bio-indicators; water quality; benthic macroinvertebrates; physical parameters.

Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua, de un sistema fluvial Alto Andino Ecuatoriano

El agua es considerada el líquido vital para los seres bióticos de la tierra, pero cada vez más escaso. Con el planeta aumentando su población y enfrentándose al cambio climático, ocasiona estragos en diversas zonas del mundo. La gestión, conservación y acceso al agua en buenas condiciones, es cada vez más difícil, sobre todo en los países en desarrollo (Jiménez, et al., 2015). Esta creciente demanda aumenta la presión sobre los escasos recursos hídricos del mundo. Para González-Cabrera et al. (2014), el 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial; el 30% a consumo agrícola; y, un 11% a gasto doméstico. Ramírez y Yépes (2011) mencionan que solo el 2.5% del agua en el mundo es potable.

Las tierras altas de los Andes Ecuatorianos son ecosistemas que regulan el régimen hidrológico de los ríos andinos. Estos son sistemas dinámicos y multifuncionales, caracterizados por la presencia de redes de drenaje, y alto grado de diversidad ambiental (Custodio & Chanamé, 2016). Las grandes ciudades dependen de la cantidad y calidad del agua proporcionada por estos sistemas, al tiempo que suministran agua para diferentes usos como el agrícola, industrial y de recreación (Herrera & Burneo, 2017). En las últimas décadas se han ido alterando, producto de diferentes actividades antrópicas (Simon, et al., 2017).

Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos se utilizan comúnmente para evaluar el deterioro de la calidad del agua, principalmente debido a su amplia respuesta a diferentes gradientes de estrés. En las últimas décadas se han desarrollado para analizar las consecuencias de las actividades

humanas sobre el ecosistema acuático, donde se evalúan parámetros Físicos-Químicos, y también Índices Biológicos (Álvarez-Cabria, et al., 2017).

En este estudio, se evaluó el cambio en la calidad del agua a partir de macroinvertebrados bentónicos, mediante el estudio de la calidad de las masas de agua descendente situadas en la microcuenca hidrográfica del río Nagsiche y sus principales afluentes. Para una mayor comprensión del estado de calidad de la microcuenca, se plantearon dos objetivos de estudio: (1) determinar la calidad ecológica del agua de la microcuenca del río Nagsiche, a partir de índices de macroinvertebrados. (2) Identificar variables que afecten, elocuentemente, la calidad del agua en la zona. Los resultados de este estudio pueden utilizarse para aportar futuros manejos hídricos de la microcuenca del río Nagsiche, y cuencas similares, ubicadas en las tierras altas de la cordillera de los Andes.

Método

Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la microcuenca del río Nagsiche, ubicado al Oeste del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi – Ecuador. Este pertenece a la subcuenca del río Pastaza, que desemboca en el río Amazonas –con coordenadas referenciales de 752267,89 en X, y 9880669,84 en Y. Tiene una superficie de 256.9 km², un rango altitudinal que va de 2.660 hasta 4.500 m.s.n.m. (Figura 1), una temperatura media anual es de 13,8 °C, con variaciones que van desde los 8,6 a 20,4 °C, y una precipitación anual de 493,3 mm (INAMHI, 2012). La longitud del río principal es de 30,51 Km y sus corrientes de cuarto orden. Sus aguas recorren buena parte de los territorios del cantón Salcedo y sus parroquias (Cusubamba, Mulalillo y Panzaleo). El índice de compacidad es de

1,42 con forma oval-redonda a oval oblonga.

Weinmannia, *Chusquea*, *Baccharis caespitosa*.

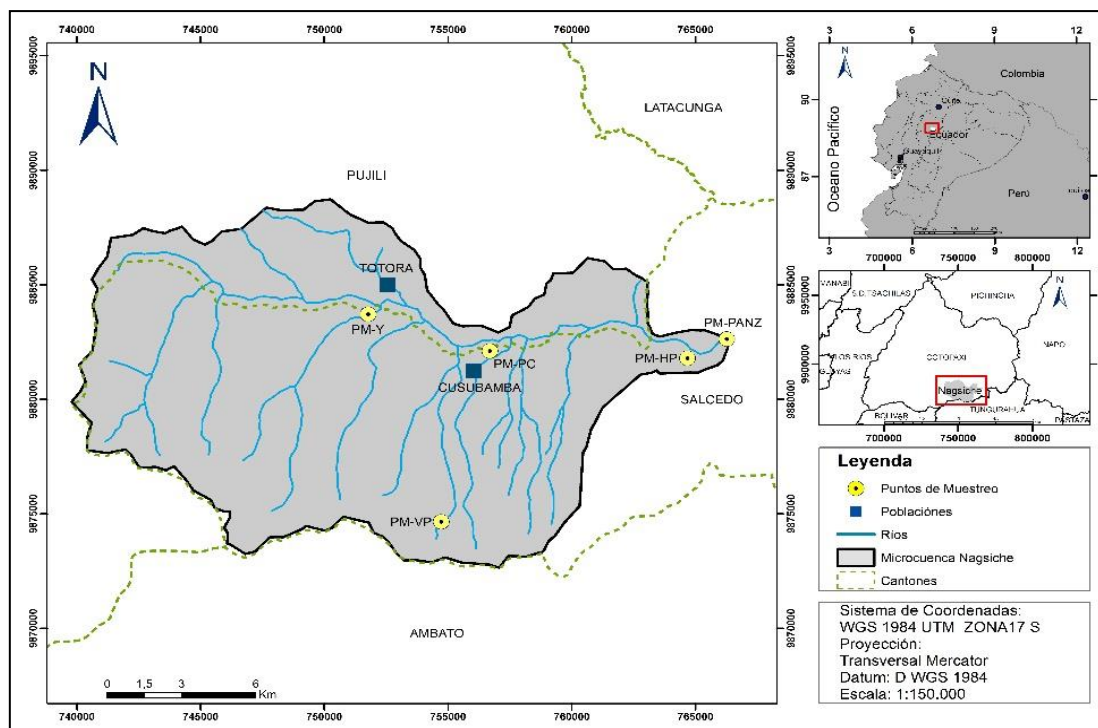


Figura 1. Ubicación de la microcuenca del río Nagsiche - Ecuador.
 Fuente. Instituto Geográfico Militar Ecuador (2016).

La principal fuente de ingresos económicos para el cantón Salcedo es el comercio, la actividad agrícola y ganadera, con sus principales productos como patatas (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.) (GAD Salcedo, 2017). La clasificación ecológica (MAE, 2012) corresponde al Bosque siempreverde montano alto, Arbustal siempre verde montano alto superior, y subnival de páramo. Las especies vegetales predominantes en este tipo de ecosistemas son: *Gynoxys*, *Ilex*, *Miconia*, *Myrsine*, *Oreopanax*, *Rubus*, *Styloceras*,

Muestreo

Se elaboró un plan de monitoreo que consistió en muestrear durante los meses de mayo y junio del 2016, recolectando una muestra por cada mes. Se establecieron 5 puntos de muestreo, que fueron seleccionados mediante un recorrido de campo, considerando las fuentes de

contaminación y la accesibilidad (ver Tabla 1).

Tabla 1

Puntos de muestreo distribuidos en la microcuenca del río Nagsiche

| Puntos de muestreo | Código | Coordenadas UTM WGS 1984 Zona 17 S | | |
|--------------------|--------|------------------------------------|---------|----------------|
| | | X | Y | Altitud (msnm) |
| Verde Pamba | VP | 754724 | 9874655 | 3808 |
| YanaUrcu | YU | 751768 | 9883713 | 3259 |
| Puente California | PC | 756691 | 9882111 | 2972 |
| Hacienda La Playa | HP | 764680 | 9881794 | 2649 |
| Panzaleo | PANZ | 766267 | 9882631 | 2610 |

Fuente: Quishpi, Pérez, Rodríguez, Recalde, Santillán y Damián (2017).

Las muestras fueron recolectadas utilizando una red suber tipo "D" de 500 µ de diametro. Para atrapar los macroinvertebrados, se agito el sustrato del fondo del río durante 10 a 15 minutos; la red se colocó en contracorriente para que los macroinvertebrados removidos quedaran atrapados en la red (Custodio & Chanamé,

Tabla 2
 Valores de referencia de los índices EPT y ABI

| Índice ETP | | Índice ABI | |
|------------|------------------|------------|------------------|
| Valor | Calidad del agua | Valor | Calidad del agua |
| 75 – 100 % | Muy buena | >74 | Muy buena |
| 50 – 74 % | Buena | 45 – 74 | Buena |
| 25 – 49 % | Regular | 27 – 44 | Regular |
| 0 – 24 % | Mala | < 27 | Mala |

Fuente: Quishpi, et al. (2017).

2016). Las muestras fueron tomadas en tres elementos importantes del río (posa, rápido y corriente). Se consideraron los fangos, hojas, troncos y piedras, en un transecto de 10 a 30 m., con el objetivo de obtener una muestra representativa y homogénea (Acosta, et al., 2009).

Las muestras se colocaron en una bandeja de fondo blanco y con la ayuda de una pinza se separaron los macroinvertebrados de piedras, madera y sustrato. Los especímenes fueron colocados en envases plásticos de boca ancha de 1 litro, debidamente etiquetados. Estos contenían alcohol al 70%, ideal para su conservación (Carmona-Jiménez & Caro-Borrero, 2017) y posterior traslado al laboratorio. Se tomaron parámetros físicos *in situ* como: pH, conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2/\text{l}$), y sólidos disueltos totales (mg/l) mediante el equipo HACH HQ40D.

Fase de Laboratorio

La identificación y cuantificación de los macroinvertebrados bentónicos fue realizada en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo. Utilizando un estereoscopio y la guía de Roldán (1996), se identificaron los individuos hasta nivel de familia. Para el análisis de los macroinvertebrados se aplicó el Índice Biológico Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera (EPT) propuesto por Carrera y Fierro (2001), donde el grupo de

los EPT son los primeros en desaparecer cuando hay contaminación del agua. El Índice Biológico Andino (ABI) planteado por Acosta et al. (2009), establece puntuaciones que van de 1 a 10; donde los valores más altos son los más sensibles a la presencia de contaminantes. Los valores de referencia para los índices EPT y ABI se exponen en la Tabla 2.

Análisis de Datos

Para determinar la diversidad biológica de los macroinvertebrados bentónicos, se utilizaron índices alfa (α), riqueza específica de Margalef, dominancia de Simpson, y equidad de Shannon-Wiener, mediante el programa PAST 2.17. Para detectar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los sitios muestreados, se aplicó ANOVA no paramétrico, y también se realizó su correlación empleando el Programa R (Gómez-Anaya, et al., 2017).

Resultados y Discusión

Parámetros Físicos in Situ

El oxígeno disuelto evidencia valores entre 101,25 a 102,35%, que se encuentra entre los límites permisibles, según el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente –TULSMA– (MAE, 2014). Este menciona que la saturación no debe ser menor al 80%, y no menor a 6 mg/l para aguas de consumo humano; que está relacionado con el cambio de temperatura que oscila entre -0.01 a 2.02 $^{\circ}\text{C}$ (ver Tabla 3). Para el TULSMA, en condiciones naturales, el agua para consumo humano debe estar máximo entre $+ 0 - 3$, concentrándose dentro de los límites permisibles.

Las aglutinaciones altas de oxígeno se deben principalmente al flujo turbulento, lo

Tabla 3

Variables Físicas promedio de la microcuenca del río Nagsiche, determinadas in situ

| Parámetro | Puntos de Muestreo | | | | | TULSMA |
|----------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | VP | YU | PC | HP | PANZ | Consumo |
| Oxígeno Disuelto (%) | 101.55 | 101.63 | 101.73 | 102.35 | 101.25 | LP |
| pH | 8.23 | 8.12 | 8,08 | 8.16 | 8.15 | LP |
| Temperatura (°C) | 11.80 | 11.85 | 12.80 | 13.83 | 14.90 | LP |
| Cambio de Temperatura (°C) | 2.02 | 1.97 | 1.02 | -0.01 | -1.08 | LP |
| Conductividad (µs/cm) | 41.15 | 123.08 | 119.38 | 127.90 | 195.85 | NI |
| Sólidos Totales Disueltos (mg/l) | 24.26 | 73.33 | 70.75 | 74.30 | 114.45 | NI |

VP (Verde Pamba); YU (YanaUrcu); PC (Puente California); HP (Hacienda La Playa); PANZ (Panzaleo); LP (Límite Permisible de consumo humano); NI (No ingresa en agua de consumo humano). Fuente: Quishpi, et al. (2017).

que contribuye a una elevada densidad biológica y el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos (Guerrero, et al., 2003). El pH obtenido es 8, evidenciado una uniformidad del parámetro. Estos valores se encuentran dentro de los rangos para aguas de consumo humano, según el TULSMA, que lo establece entre 6-9.

Los valores promedio de la conductividad eléctrica presentan una variación considerable en los cuatro puntos de monitoreo (YU, PC, HP y PANZ), con valores que oscilan entre 119,38 µs/cm a 195,85 µs/cm, debido a una mayor presencia de sólidos totales disueltos (SDT) (70,75 a 114,45 mg/l). En el punto VP, ubicado en la parte alta de la microcuenca, su valor es de 41,15 µs/cm. Por presentar valores de SDT de 24,26 mg/l, para el estudio los SDT se ven afectados por las actividades agrícolas y ganaderas presentes en esta microcuenca, así como por la falta de vegetación ribereña que permita el arrastre de la materia orgánica con la escorrentía.

Análisis de Macroinvertebrados Bentónicos

Se encontraron 396 individuos de macroinvertebrados bentónicos, distribuidos en 15 familias y 8 órdenes (Tabla 4). El

punto de muestreo VP, registró 32 individuos con 7 familias; YU, 46 individuos con 7 familias; PC, 65 individuos con 5 familias; HP, 129 individuos con 4 familias; y, PANZ, un total de 124 individuos con 4 familias. La familia *Baetidae* del orden *Ephemeroptera*, es la más relevante en los puntos YU, PC, HP y PANZ. En segundo lugar está la familia *Ceratopogonidae* del orden *Diptera*, en el punto PANZ. En tercer lugar *Simuliidae* del orden *Diptera* en el punto PANZ. Las familias restantes presentan un número de individuos similar.

Los resultados del ANOVA mostraron que no hay diferencias significativas ($p=0.23$) para un nivel de significación de 5%, entre los 5 puntos de muestreo. Ello demuestra que los géneros de las comunidades de macroinvertebrados no varían significativamente a lo largo de la microcuenca, pero si entre cada punto de monitoreo, teniendo mayor variación el punto de muestreo HP con un mayor número de individuos, seguido de PANZ. Por el contrario, VP y YU obtuvieron la menor variación como se muestra en la Figura 2.

Tabla 4

Macroinvertebrados Bentónicos identificados en la microcuenca del río Nagsiche durante los dos periodos de monitoreo

| Orden | Familia | PUNTOS DE MUESTREO | | | | | ANÁLISIS ESTADÍSTICO | | | |
|----------------------------|------------------------|--------------------|-----------|-----------|------------|------------|----------------------|----------|------|-----|
| | | VP | YU | PC | HP | PANZ | SE | Varianza | SD | Cv |
| <i>Ampipoda</i> | <i>Hyalellidae</i> | 1 | | | | | | | | |
| | | 4 | | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| <i>Coleóptera</i> | <i>Ptilodactylidae</i> | | 1 | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| | <i>Scirtidae</i> | 4 | 1 | | | | 1.5 | 4.5 | 2.1 | 84 |
| | <i>Elmidae</i> | | | 3 | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| | <i>Blephariceridae</i> | | | 1 | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| | <i>Ceratopogonidae</i> | | 1 | | | 28 | 13.5 | 364.5 | 19.1 | 131 |
| <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> | 1 | 3 | 6 | 11 | 10 | 1.9 | 18.7 | 4.3 | 69 |
| | <i>Muscidae</i> | | | 7 | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| | <i>Simuliidae</i> | | | | 5 | 23 | 9.0 | 162.0 | 12.7 | 90 |
| <i>Ephemeroptera</i> | <i>Baetidae**</i> | 1 | 33 | 48 | 112 | 63 | 17.1 | 1463.7 | 38.3 | 71 |
| | <i>Leptophlebiidae</i> | 1 | | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| <i>Oligochaeta</i> | <i>Haplotaixidae</i> | 1 | 6 | | | | 2.5 | 12.5 | 3.5 | 101 |
| <i>Plecoptera</i> | <i>Gripopterygidae</i> | | 1 | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| <i>Trichoptera</i> | <i>Hydrobiosidae</i> | | | | 1 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| <i>Tricladida</i> | <i>Planariidae</i> | 1 | | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| Total de Familias | | 7 | 7 | 5 | 4 | 4 | | | | |
| Total de Individuos | | 32 | 46 | 65 | 129 | 124 | | | | |

VP (Verde Pamba); YU (YanaUrcu); PC (Puente California); HP (Hacienda La Playa); PANZ (Panzaleo); SE (Error estandar); SD (Desviación estandar); Cv (Coeficiente de variación). Fuente: Quishpi, et al. (2017).

En las comunidades de macroinvertebrados se encontraron diferencias altamente significativas ($p=0.0001$), para un nivel de significancia de 5%, entre la familia *Baetidae* y las familias *Hylellidae*, *Ptilodactylidae*, *scirtidae*, *Elmidae*, *Blephariceridae*, *Ceratopogonidae*, *Chironomidae*, *Muscidae*, *Simuliidae*, *Leptophlebiidae*, *Haplotaixidae*, *Gripopterygidae*, *Hydrobiosidae*, *Planariidae*.

Conjuntamente, se empleó el método no paramétrico de

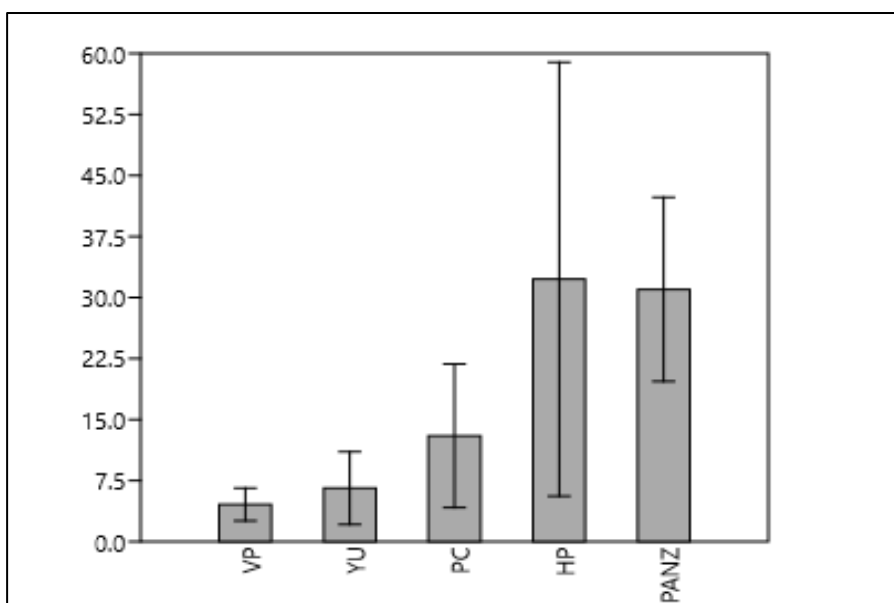


Figura 2. Puntos de muestreo de la microcuenca del río Nagsiche - Ecuador. Tipo de bigote error estándar. Fuente: Quishpi, et al. (2017).

Kruskal-Wallis para las comunidades de macroinvertebrados, que indicó las diferencias significativas entre la especie *Baetidae* y las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la especie *Chironomidae* y las especies *Ptilodactylidae*, *Scirtidae*, *Elmidae*, *Blephariceridae*, *Leptophlebiidae*, *Gripopterygidae*, *Hydrobiosidae* y *Planariidae* (Tabla 4).

A través del análisis cluster, obtenido del coeficiente de similitud de Jaccard, se identificaron cuatro grupos. Entre estos, presentan mayor similitud las especies de *Haplotaixidae* - *Scirtidae* con *Ptilodactylidae* - *Gripopterygidae*, quienes poseen una similitud de 0.51, que se asemejan a las especies de *Ceratopogonidae* (0.43) y a las especies de *Chironomidae* - *Baetidae* (0.35). Las especies que menor similitud poseen son *Elmidae* - *Blephariceridae* - *Muscidae*, con 0,04 (Figura 3).

La mayor similitud entre puntos de monitoreo fue entre HP - PANZ (60%), donde existe una mayor alteración antrópica por encontrarse colindando con la ciudad de Salcedo. Se identificó la descarga de agua de un parque acuático y sobre todo de las ganaderías aledañas. PC obtuvo una similitud de 28% con los anteriores puntos de monitoreo, y estos con YU - VP (23%), encontrando que estas zonas no muestran mayor alteración antrópica, lo que podría

deberse a la mayor altitud presentan, lo que dificulta su colonización. En general, la correlación de las especies y los puntos de monitoreo fue del 91%.

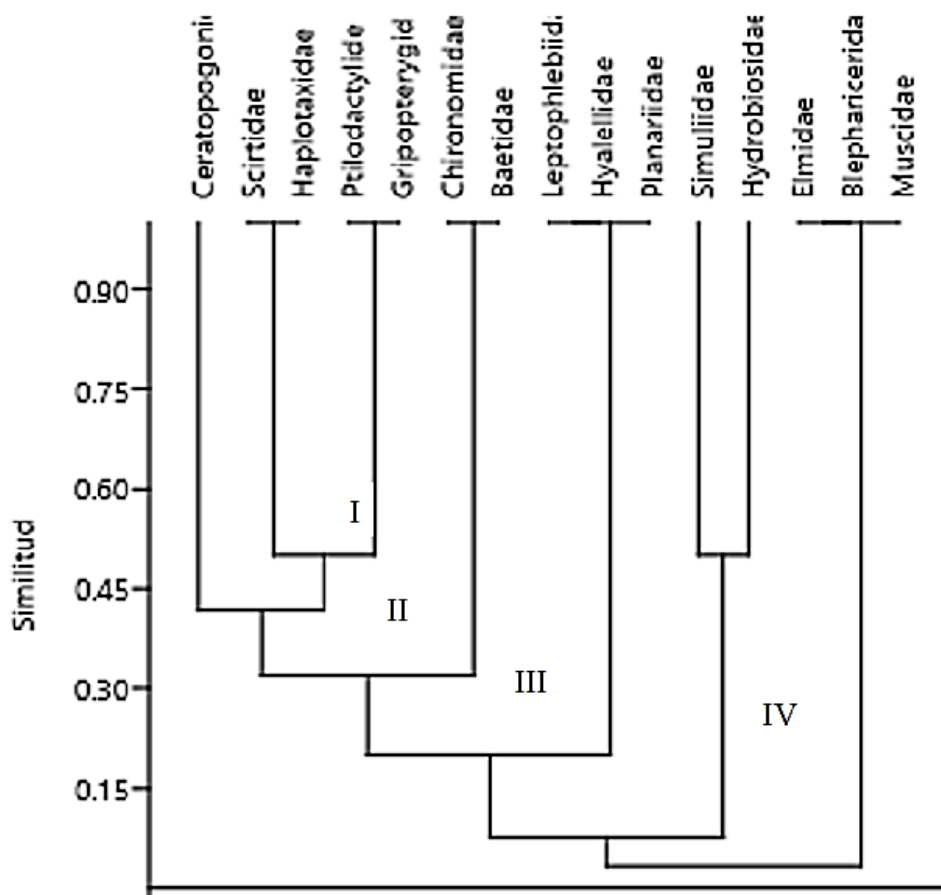


Figura 3. Análisis clúster de macroinvertebrados bentónicos de microcuenca del río Nagsiche. Fuente: Quishpi, et al. (2017).

Índices de Diversidad Biológica

El índice de Dominancia de Simpson muestra resultados entre 0 y 1. Los valores cercanos a 1 indican la dominancia de una especie sobre las demás (Campo & Dual, 2014). La equidad de Shannon-Wiener adquiere valores de 0 cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S cuando todas las especies tienen el mismo número de individuos (Moreno, 2001). Con el índice de diversidad de Margalef, los valores inferiores a 2 representan zonas de baja diversidad; y, valores superiores a 5 indican una alta biodiversidad en una zona específica (Margalef, 1995).

Analizando los índices de diversidad biológica alfa (α), representados en la Tabla

forman un continuo temporal de reemplazos de especies sincronizadas. Entretanto, las

Tabla 5

Índices de diversidad biológica alfa (α)

| Índices | | Puntos de Muestreo | | | | |
|--------------------------|------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | VP | YU | PC | HP | PANZ |
| Simpson | Dominancia | 0.309 | 0.538 | 0.568 | 0.763 | 0.350 |
| | Diversidad | 0.691 | 0.462 | 0.432 | 0.237 | 0.650 |
| Shannon-Wiener (Equidad) | | 1.418 | 1.015 | 0.890 | 0.496 | 1.196 |
| Margalef (Riqueza) | | 1.731 | 1.567 | 0.958 | 0.617 | 0.622 |

VP (Verde Pamba); YU (YanaUrcu); PC (Puente California); HP (Hacienda La Playa); PANZ (Panzaleo). Fuente: Quishpi, et al. (2017).

5, muestran que el punto VP presenta una dominancia baja, equidad alta y riqueza baja. En el punto YU, del mismo modo, se encontró una dominancia alta, equidad alta y riqueza baja. En el punto PC su dominancia es alta, equidad alta y riqueza baja. En el punto HP la dominancia es alta, más significativa que los demás puntos de muestreo, con un valor de 0,763, la equidad es baja y la riqueza es baja. En el punto PANZ la dominancia es baja, la equidad es alta, mientras que la riqueza tiene un valor de 0,622 siendo un valor bajo. Estos índices están estrechamente relacionados con la calidad de agua.

Las características ecológicas de las familias de macroinvertebrados muestran resultados de la diversidad biológica. En general, los valores de menor riqueza de macroinvertebrados bentónicos se relacionaron con sitios que han sufrido transformaciones en el cauce del río. Probablemente, como resultado de cambios en la heterogeneidad del sustrato, disminución en el flujo de agua, y contaminación. Estos resultados son consistentes con el concepto de "Río continuo", que establece que en los sistemas naturales, las comunidades biológicas de las cabeceras (parte alta de la microcuenca)

comunidades de aguas abajo están adaptadas para capitalizar las ineficiencias del proceso de remodelación de aguas arriba (representada por la

intervención antrópica y la contaminación orgánica), como los ajustes de aguas abajo pueden predecirse a partir de la estructura de macroinvertebrados (Young, et al., 2014).

Se encontró que las comunidades de macroinvertebrados bentónicos más dominantes se encuentran en el punto YU, PC, y HP, donde la familia *Baetidae* es la dominante sobre el resto de especies, con un total de 33,48 y 112 individuos, respectivamente. El análisis del índice de equidad de Shannon-Wiener en el punto VP, presenta un valor que oscilan entre 0,496 – 1,418. El índice de Margalef registró un valor que oscilan entre 0,622 – 1,731; obteniendo el mayor resultado en el punto VP (Tabla 5), los cuales están correlacionados directamente con la calidad del agua.

Calidad del Agua Mediante los Índices Biológicos EPT y ABI

La Tabla 6, muestra los resultados del punto VP, con calidad de agua regular para los dos índices. Las actividades antrópicas y el desmedido avance de la frontera agropecuaria –ya que una de las principales actividades en el sector es la ganadería–, han incidido en la disminución de los macroinvertebrados bentónicos, en los

órdenes *Ephemeroptera*, *Trichoptera*, *Plecoptera*.

Tabla 6
 Índice Biológico Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera (EPT) e Índice Biológico Andino (ABI).

| Código | ETP (%) | Calidad | ABI | Calidad |
|--------|---------|---------|-----|---------|
| VP | 36 | Regular | 28 | Regular |
| YU | 74 | Buena | 45 | Buena |
| PC | 72 | Buena | 29 | Regular |
| HP | 69 | Buena | 15 | Mala |
| PANZ | 49 | Regular | 11 | Mala |

VP (Verde Pamba); YU (YanaUrcu); PC (Puente California); HP (Hacienda La Playa); PANZ (Panzaleo). Fuente: Quishpi, et al. (2017).

De acuerdo con Carrera y Fierro (2001), estos órdenes son los más sensibles a la presencia de contaminantes en el agua. En este punto de muestreo se pudo observar una mayor presencia de individuos (14) de la familia *Hyaletellidae*, orden *Ampipoda*. En el punto YU no se identificaron impactos, encontrando agua de buena calidad, en términos de los índices ETP y ABI. En el punto PC se observaron descargas de agua residuales de viviendas ubicadas en las orillas del río. La calidad de agua en este punto es buena, según el índice EPT, y regular en términos del ABI. Esto demuestra que la presencia de individuos de la familia *Baetidae*, orden *Ephemeroptera*, es un buen indicador de la calidad del agua. Según Carmona-Jiménez y Caro-Borrero (2017) puede colonizar diversos sub-estratos, usualmente asociados con corrientes de agua rápidas, y con valores más altos calidad de agua. Se alimenta de microalgas y materia orgánica en partículas.

Existen otras familias que influyen directamente en la evaluación de la calidad del agua, como son: *Blephariceridae*, *Chironomidae* y *Muscidae* del orden *Diptera*,

a quienes se les asigna valores inferiores a cinco, a excepción de *Blephariceridae* que tiene la máxima puntuación, diez. En el punto HP se evidenció evacuación de aguas residuales de la hacienda "La Playa", que se dedica a las actividades agropecuarias. Se encontró que, para el índice ETP, la calidad de agua es buena, lo que contrasta con el resultado del índice ABI, que es mala.

Finalmente, en el punto PANZ, la calidad del agua es regular para el índice ETP, y mala para el índice ABI, evidenciando descargas de aguas residuales, producto de las actividades agropecuarias de las haciendas ubicadas en la parte baja de la microcuenca, y del parque acuático del sector. Esto se suma a la poca vegetación en el sector, y material pétreo en las orillas del río, que afecta a la población de macroinvertebrados acuáticos.

En general, la calidad del agua en la mayoría de puntos muestreados va de regular a buena. El análisis del ANOVA no encontró diferencias significativas entre puntos de muestreo, debido a que la topografía del sector favorece la oxigenación y recuperación del río.

El dominio de especies del orden *Ephemeroptera*, es un indicador del buen estado de la calidad del agua. Nuestros resultados concuerdan con los estudios realizados por Mancilla et al. (2009), quienes mencionan que en la cabecera de la cuenca, la calidad del agua es buena, y en la parte baja es de tipo regular a mala.

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede afirmar que existe una concordancia con lo que indican Flowers y De la Rosa (2010), que mencionan que familias como *Baetidae*, *Caenidae* y *Leptohyphidae*, son tolerantes a continuos

cambios de temperatura y a cierto grado de contaminación. Sin embargo, ninguna especie del orden *Ephemeroptera* sobrevive a niveles altos de contaminación.

En el mismo punto, se evidenció la presencia de especímenes de las familias *Ceratopogonidae*, *Simuliidae* y *Chironomidae*, del orden *Diptera*, en grandes números, y en cantidades casi similares. Estos indican una baja calidad del agua, concordando con estudios realizados por Zanotto-Arpellino et al. (2015).

Dominguez-Granda et al. (2011) mencionan que, a pesar que la mayoría de las medidas bióticas se comportan bastante bien, es preferible utilizar un índice con un área similar de Fauna macrobentónica, hasta que Ecuador desarrolle su propio índice, ya que los datos pueden diferir, como los observados en la tabla 6.

Conclusiones

El agua de la microcuenca del río Nagsiche se caracterizó por tener niveles altos de oxigenación, lo que es buen indicador de la calidad de agua. La mayor presencia de especímenes de macroinvertebrados pertenece a la familia *Baetidae*. Su presencia muestra un tipo de

calidad de agua de Regular a Muy buena, según quedó evidenciado en los puntos de muestreo YU – PC – VP. Por el contrario, las especies *Chironomidae*, *Ceratopogonidae* y *Simuliidae*, son indicadoras de mala calidad del agua, en los puntos de HP y PANZ. Estas se encuentran asociadas al grado de colonización de cada uno de los puntos de monitoreo, alterando la calidad de agua.

De acuerdo al análisis de los resultados del índice biológicos ABI, señala mayor pertinencia en términos de la realidad de nuestra zona de estudio. Se recomienda su uso en zonas con similares características, aumentando los puntos de monitoreo, de ser posible. Esto para mejorar la calidad de los resultados, contribuyendo a aumentar los conocimientos sobre la calidad de agua en sistemas alto-andinos.

Referencias

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. & 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.
- Álvarez-Cabria, M., González-Ferreras, A. M., Peñas, F. J. & Barquín, J., 2017. Modelling macroinvertebrate and fish biotic indices: From reaches to entire river networks. *Science of the Total Environment*, Volumen 577, 308-318.
- Carmona-Jiménez, J. & Caro-Borrero, A., 2017. The last peri-urban rivers of the Mexico Basin: establishment of potential reference conditions through the evaluation of ecological quality and biological indicators. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2), 425-436.
- Carrera, C. & Fierro, K., 2001. Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. En: s.l.:s.n., 11-67.
- Custodio Villanueva, M. & Chanamé Zapata, F. C., 2016. Analysis of benthic macroinvertebrates biodiversity of Cunas river by means of environmental indicators, Junin-Peru. *Scientia Agropecuaria*, 7(1), 33 - 44.
- Dominguez-Granda, L., Lock, K. & Goethals, P. L., 2011. Using multi-target clustering trees as a tool to predict biological water quality indices based on benthic macroinvertebrates and environmental parameters in the Chaguana watershed (Ecuador). *Ecological Informatics*, Volumen 6, 303-308.
- GAD Salcedo, 2017. *Gobierno autonomo descentralizado de Salcedo*. [En línea] Available at: <http://www.salcedo.gob.ec/el-canton/>
- Gómez-Anaya, J. A., Novelo-Gutiérrez, R. & Astudillo-Aldana, M. R., 2017. Effect of domestic and coffee mill discharges on the water quality and the Odonata (Insecta) larval diversity

in a mountain cloud forest stream in Veracruz, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Volumen 88, 372-80.

González-Cabrera, O. y otros, 2014. A study of patenting on water and wastewater treatment technologies. *Transformação*, 26(3), 339-347.

Herrera, I. J. & Burneo, P. C., 2017. Environmental flow assessment in Andean rivers of Ecuador, case study: Chanlud and El Labrado dams in the Machángara River. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 17(2), 103-112.

Jiméneza, A., Molinaa, M. F. & Le Deunffa, H., 2015. Indigenous peoples and industry water users: Mapping the conflicts worldwide. *Aquatic Procedia*, Volumen 5, 69-80.

MAE, TULSMA, 2014. TULSMA: Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua; Libro VI (Anexo I). En: Quito: s.n.

Ramírez, M. F. & Yépes, M. J., 2011. Geopolítica de los Recursos Estratégicos, conflictos por el agua en America Latina. *Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad*, 6(1), 149 - 165.

Simon, H., Kelemen, S. & Begy, R. C., 2017. Anthropic influences on the sedimentation rates of lakes situated in different geographic areas. *Journal of Environmental Radioactivity*, Volumen 173, 11 - 17.

Young, S. y otros, 2014. Using benthic macroinvertebrate and fish communities as bioindicators of the Tanshui River Basin around the greater Taipei area—multivariate analysis of spatial variation related to levels of water pollution. *International journal of environmental research and public health*, 11(7), 7116-7143.