



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
**Universidad del Perú. Decana de América**  
**Facultad de Ciencias Biológicas**  
**Escuela Académico Profesional de Ciencias Biológicas**

**Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en la  
cuenca alta del Río Chillón (Lima, Perú) y su uso como  
indicadores biológicos**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Biólogo con mención en  
Hidrobiología y Pesquería

**AUTOR**

Raúl Fernando GARCÍA RÍOS

**ASESOR**

Iris Margot SAMANEZ VALER

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

García, R. (2016). *Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del Río Chillón (Lima, Perú) y su uso como indicadores biológicos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Académico Profesional de Ciencias Biológicas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

1039



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ACTA DE SESIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO CON MENCIÓN EN HIDROBIOLOGÍA Y PESQUERÍA (MODALIDAD: SUSTENTACIÓN DE TESIS)**

17

119

Siendo las 12:08 horas del 26 de agosto de 2016, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Biológicas y en presencia del jurado formado por los profesores que suscriben, se dio inicio a la sesión para optar al Título Profesional de Biólogo con mención en **Hidrobiología y Pesquería** de **RAÚL FERNANDO GARCÍA RÍOS**.

Luego de dar lectura y conformidad al expediente N° 042-EAPCB-2015, el titulando expuso su tesis: **“DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHILLÓN (LIMA, PERÚ) Y SU USO COMO INDICADORES BIOLÓGICOS”**, y el Jurado efectuó las preguntas del caso calificando la exposición con la nota 18, calificativo: Sobresaliente.

Finalmente, el expediente será enviado a la Escuela Académico Profesional de Ciencias Biológicas y al Consejo de Facultad para que se apruebe otorgar el Título Profesional de Biólogo con mención en **Hidrobiología y Pesquería** a **RAÚL FERNANDO GARCÍA RÍOS** y se eleve lo actuado al Rectorado para conferir el respectivo título, conforme a ley.

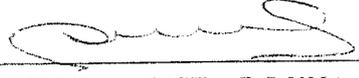
Siendo las 13:20 horas se levantó la sesión.

Ciudad Universitaria, 26 de agosto de 2016.

  
Dra. ANA HUAMANTINCO ARAUJO  
(PRESIDENTA)

  
Mg. IRIS SAMANEZ VALER  
(ASESORA)

  
Blga. MARIBEL BAYLON CORITOMA  
(MIEMBRO)

  
Blga. SILVIA AGUILAR LUNA  
(MIEMBRO)

*A mi madre Ana, por todo su apoyo incondicional, paciencia y por ser mi principal fuente de motivación.*

*A mi hermano Diego, por su amistad, confianza y el apoyo permanente que me brinda.*

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre Ana, por su apoyo y severidad mostrados desde mis épocas de colegio, las cuales me enrumbaron por el camino correcto.

A mi hermano Diego, por su invaluable apoyo en la primera colecta y su asesoría en la redacción del resumen en inglés.

A mi asesora, Mg. Iris Samanez Valer, quien en el 2011 me recibió en el Departamento de Limnología del Museo de Historia Natural - UNMSM con los brazos abiertos para desarrollar mis prácticas pre-profesionales y empezar el estudio de los macroinvertebrados bentónicos hasta el día de hoy; por sus críticas constructivas y sugerencias que enriquecieron la presente tesis, así como por el préstamo de equipos necesarios para el trabajo de campo.

Al profesor Hernán Ortega Torres, jefe del Departamento de Ictiología del Museo de Historia Natural – UNMSM, por el préstamo del medidor multiparámetro.

A las profesoras miembros del Jurado Revisor, Dra. Ana Huamantínco, Blga. Maribel Baylón y Blga. Silvia Aguilar, por sus correcciones y recomendaciones en pos de la mejora del presente trabajo.

A la Dra. María Marcela Ronderos, docente e investigadora de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM), Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina, por proporcionar material bibliográfico para la identificación de subfamilias pertenecientes a la familia Ceratopogonidae.

A Diana López, por el préstamo de coolers y material bibliográfico complementario necesario para el análisis estadístico de los datos.

A mis compañeros Ángel Romaní y Luis Valdez, por su apoyo en la segunda colecta y por su amistad, la cual espero que permanezca viva siempre.

A Jose Meléndez, por su apoyo en las dos colectas realizadas y en la toma de fotografías de los taxa registrados.

A la Srta. Lourdes Quispe, por su apoyo en la elaboración del mapa de ubicación de la cuenca en estudio.

A la Sra. Mirtha Falconi, por el confortable servicio de hospedaje prestado en los dos periodos de colecta en el distrito de Canta.

Al Sr. Walter Contreras, por el servicio de transporte prestado para el viaje de reconocimiento de la zona de estudio y los dos periodos de muestreo.

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Los ríos altoandinos: Importancia y estado actual de estudio en Sudamérica</b>	<b>3</b>
<b>2.2. La cuenca alta del río Chillón: Estado actual de estudio</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en ríos altoandinos</b>	<b>7</b>
<b>3. HIPÓTESIS</b>	<b>10</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
<b>5. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>11</b>
<b>5.1. Área de estudio</b>	<b>11</b>
<b>5.2. Diseño de estudio</b>	<b>14</b>
<b>5.3. Descripción de las estaciones de muestreo</b>	<b>17</b>
<b>5.4. Periodos de estudio</b>	<b>29</b>
<b>5.5. Caracterización ambiental</b>	<b>29</b>
<b>5.6. Caracterización fisicoquímica del agua</b>	<b>31</b>
<b>5.7. Colecta de macroinvertebrados bentónicos y su tratamiento en el laboratorio</b>	<b>31</b>
<b>5.8. Análisis de datos</b>	<b>33</b>
<b>5.8.1. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos</b>	<b>33</b>
<b>5.8.2. Riqueza específica (S) y abundancia (N) de individuos por estaciones de muestreo</b>	<b>33</b>

<b>5.8.3. Estructura comunitaria</b>	<b>34</b>
<b>5.8.3.1. Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H')</b>	<b>34</b>
<b>5.8.3.2. Índice de equidad de Pielou (J')</b>	<b>35</b>
<b>5.8.4. Análisis multivariado</b>	<b>35</b>
<b>5.8.5. Métricas de bioindicación</b>	<b>36</b>
<b>5.8.5.1. Métricas simples</b>	<b>36</b>
<b>5.8.5.1.1. Diversidad de Shannon-Wiener (H')</b>	<b>36</b>
<b>5.8.5.2. Índices bióticos</b>	<b>36</b>
<b>5.8.5.2.1. Índice de Monitoreo Biológico</b>	
adaptado para Bolivia (por sus siglas	
en inglés BMWP/Bol)	<b>36</b>
<b>5.8.5.2.2. Puntaje Promedio por Taxón (por sus</b>	
siglas en inglés ASPT)	<b>38</b>
<b>5.8.5.2.3. Índice Biótico Andino (por sus siglas</b>	
en inglés ABI)	<b>39</b>
<b>5.8.5.3. Relación entre el Índice de Hábitat Fluvial (IHF) y</b>	
las métricas de bioindicación	<b>40</b>
<b>5.8.6. Relación entre los factores bióticos y abióticos</b>	<b>40</b>
<b>6. RESULTADOS</b>	<b>41</b>
<b>6.1. Caracterización de las estaciones de muestreo</b>	<b>41</b>
<b>6.2. Caracterización fisicoquímica del agua</b>	<b>45</b>
<b>6.3. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos</b>	<b>47</b>
<b>6.4. Riqueza específica (S) y abundancia (N) por estaciones de</b>	
muestreo	<b>54</b>
<b>6.5. Estructura comunitaria</b>	<b>60</b>
<b>6.5.1. Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H')</b>	<b>60</b>

6.5.2. Índice de equidad de Pielou (J')	61
6.6. Análisis multivariado	62
6.7. Métricas de Bioindicación	64
6.7.1. Métricas simples	64
6.7.1.1. Diversidad de Shannon-Wiener (H')	64
6.7.2. Índices bióticos	65
6.7.2.1. Índice de Monitoreo Biológico adaptado para Bolivia (por sus siglas en inglés BMWP/Bol)	65
6.7.2.2. Puntaje Promedio por Taxón (por sus siglas en inglés ASPT)	66
6.7.2.3. Índice Biótico Andino (por sus siglas en inglés ABI)	67
6.7.3. Correlación entre el Índice de Hábitat Fluvial (IHF) y las métricas de bioindicación	68
6.8. Relación entre los factores abióticos y bióticos	69
7. DISCUSIÓN	70
8. CONCLUSIONES	84
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
10. ANEXOS	95
<b>Anexo 1.</b> Protocolo de condiciones de referencia en ríos andinos	95
<b>Anexo 2.</b> Índice de Hábitat Fluvial (IHF) (Adaptado de Pardo <i>et al.</i> 2002)	96
<b>Anexo 3.</b> Índice de calidad de la vegetación de ribera andina (QBR-And)	97
<b>Anexo 4.</b> Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático	99
<b>Anexo 5.</b> Prueba estadística de Wilcoxon-Mann-Whitney (diferencias significativas a nivel temporal)	101

<b>Anexo 6.</b> Prueba estadística de Kruskal-Wallis (diferencias significativas a nivel de rangos de altitud)	<b>101</b>
<b>Anexo 7.</b> Análisis SIMPER. Porcentaje de disimilitud entre épocas de estudio (seca y lluviosa).	<b>102</b>
<b>Anexo 8.</b> Análisis SIMPER. Porcentajes de disimilitud entre rangos de altitud (época seca).	<b>103</b>
<b>Anexo 9.</b> Análisis SIMPER. Porcentajes de disimilitud entre rangos de altitud (época lluviosa).	<b>106</b>
<b>Anexo 10.</b> Análisis SIMPER. Porcentajes de similitud entre estaciones de muestreo (época seca y lluviosa).	<b>109</b>
<b>Anexo 11.</b> Correlación de Spearman entre las variables abióticas y bióticas. Época seca (julio 2014).	<b>114</b>
<b>Anexo 12.</b> Correlación de Spearman entre las variables abióticas y bióticas. Época lluviosa (enero 2015).	<b>114</b>
<b>Anexo 13.</b> Algunos macroinvertebrados encontrados en la zona de estudio.	<b>115</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ubicación y descripción de las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú).	<b>14</b>
<b>Tabla 2.</b> Rangos de calidad de conservación de la vegetación de ribera propuestos para el QBR-And.	<b>31</b>
<b>Tabla 3.</b> Esquema de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los valores del índice de Shannon-Wiener (H') (Segnini 2003).	<b>36</b>
<b>Tabla 4.</b> Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BMWP/Bol (MMAyA 2011).	<b>37</b>
<b>Tabla 5.</b> Clases de calidad de agua, valores del BMWP/Bol, significado y colores para representaciones cartográficas (MMAyA 2011).	<b>38</b>
<b>Tabla 6.</b> Valores de ASPT y escala de calidad del agua (MMAyA 2011).	<b>38</b>
<b>Tabla 7.</b> Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice ABI (Acosta <i>et al.</i> 2009).	<b>39</b>
<b>Tabla 8.</b> Clases de estado ecológico según ABI para ríos altoandinos de Ecuador y Perú (Acosta <i>et al.</i> 2009).	<b>40</b>
<b>Tabla 9.</b> Parámetros físicos de las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón. Época seca (julio 2014).	<b>41</b>
<b>Tabla 10.</b> Parámetros físicos de las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón. Época lluviosa (enero 2015).	<b>42</b>
<b>Tabla 11.</b> Valores del Protocolo CERA (Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos) y del índice de hábitat fluvial (IHF) por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón.	<b>43</b>
<b>Tabla 12.</b> Parámetros fisicoquímicos del agua por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época seca (julio 2014).	<b>45</b>

<b>Tabla 13.</b> Parámetros fisicoquímicos del agua por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época lluviosa (enero 2015).	<b>46</b>
<b>Tabla 14.</b> Composición y abundancia de macroinvertebrados bentónicos en la zona alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (julio 2014) y lluviosa (enero 2015).	<b>49</b>
<b>Tabla 15.</b> Número de taxa colectados en las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (julio 2014) y lluviosa (enero 2015).	<b>51</b>
<b>Tabla 16.</b> Riqueza y abundancia de macroinvertebrados bentónicos por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época seca (julio 2014).	<b>56</b>
<b>Tabla 17.</b> Riqueza y abundancia de macroinvertebrados bentónicos por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época lluviosa (enero 2015).	<b>58</b>
<b>Tabla 18.</b> Correlación de Spearman entre el índice IHF (Pardo <i>et al.</i> 2002) y las cuatro métricas de bioindicación. Épocas seca (julio 2014) y lluviosa (enero 2015).	<b>68</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de las 12 estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú).	<b>12</b>
<b>Figura 2.</b> Ubicación de las estaciones de muestreo localizadas entre 2600 y 2800 m.s.n.m. (rango 1) en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú) (Fuente: Google Earth).	<b>15</b>
<b>Figura 3.</b> Ubicación de las estaciones de muestreo localizadas entre los 3300 y 3800 m.s.n.m. (rango 2) en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú) (Fuente: Google Earth).	<b>15</b>
<b>Figura 4.</b> Ubicación de las estaciones de muestreo localizadas a partir de los 4000 m.s.n.m. (rango 3) en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú) (Fuente: Google Earth).	<b>16</b>
<b>Figura 5.</b> Estación E-1. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>17</b>
<b>Figura 6.</b> Estación E-2. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>18</b>
<b>Figura 7.</b> Estación E-3. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>19</b>
<b>Figura 8.</b> Estación E-4. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>20</b>
<b>Figura 9.</b> Estación E-5. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>21</b>
<b>Figura 10.</b> Estación E-6. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>22</b>
<b>Figura 11.</b> Estación E-7. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>23</b>
<b>Figura 12.</b> Estación E-8. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>24</b>
<b>Figura 13.</b> Estación E-9. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>25</b>
<b>Figura 14.</b> Estación E-10. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>26</b>
<b>Figura 15.</b> Estación E-11. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>27</b>
<b>Figura 16.</b> Estación E-12. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).	<b>28</b>
<b>Figura 17.</b> Valores del índice QBR-And para las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón.	<b>44</b>

<b>Figura 18.</b> Porcentajes de abundancia por clase taxonómica de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época seca (julio 2014).	<b>52</b>
<b>Figura 19.</b> Porcentaje de abundancia por órdenes de Insecta en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época seca (julio 2014).	<b>52</b>
<b>Figura 20.</b> Porcentajes de abundancia por clase taxonómica de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época lluviosa (enero 2015).	<b>53</b>
<b>Figura 21.</b> Porcentajes de abundancia por órdenes de Insecta en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época lluviosa (enero 2015).	<b>53</b>
<b>Figura 22.</b> Riqueza específica (S) por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (julio 2014) y lluviosa (enero 2015).	<b>55</b>
<b>Figura 23.</b> Abundancia de individuos (N) por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (julio 2014) y lluviosa (enero 2015).	<b>55</b>
<b>Figura 24.</b> Comparación del índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) por estaciones entre épocas de estudio.	<b>60</b>
<b>Figura 25.</b> Comparación del índice de equidad de Pielou ( $J'$ ) por estaciones entre épocas de estudio.	<b>61</b>
<b>Figura 26.</b> Análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS) por estaciones de muestreo y rangos de altura para la época seca.	<b>63</b>
<b>Figura 27.</b> Análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS) por estaciones de muestreo y rangos de altura para la época lluviosa.	<b>63</b>
<b>Figura 28.</b> Diversidad de Shannon-Wiener de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua en las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (2014) y lluviosa (2015).	<b>64</b>

**Figura 29.** Valores del BMWP/Bol utilizando los macroinvertebrados bentónicos y calidad de agua en las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (2014) y lluviosa (2015). **65**

**Figura 30.** Valores del ASPT utilizando los macroinvertebrados bentónicos y calidad de agua en las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (2014) y lluviosa (2015). **66**

**Figura 31.** Valores del ABI utilizando los macroinvertebrados bentónicos y estado ecológico en las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (2014) y lluviosa (2015). **67**

## RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue estimar la diversidad de macroinvertebrados bentónicos y su uso como indicadores biológicos en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú), ubicada desde los 2500 hasta los 4850 m.s.n.m. Se establecieron doce estaciones de muestreo localizadas a lo largo del río principal para evaluar la diversidad de la fauna bentónica durante las épocas seca (julio 2014) y lluviosa (enero 2015). Se identificaron 47 taxa de macroinvertebrados, siendo el orden Diptera el más diverso (17 taxa) y con el más amplio rango de distribución. Analizando los valores de riqueza y abundancia, la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos (diversidad de Shannon-Wiener y equidad de Pielou) y los análisis de similitud (ANOSIM) y de agrupamiento utilizando el método no paramétrico de escalamiento multidimensional (nMDS) determinaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a nivel temporal y espacial en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. La variación temporal es explicada por el cambio del caudal (factor hidrológico), el cual tuvo una gran influencia sobre la fisicoquímica del agua y la estabilidad del hábitat, y la variación espacial es explicada por las diferencias altitudinales de las estaciones de muestreo. Además, el análisis de similitud porcentual (SIMPER) identificó los taxa que más influyeron en la estructura comunitaria de macroinvertebrados en la zona de estudio. Según el análisis de correlación no paramétrico de Spearman entre el índice de hábitat fluvial (IHF) y las cuatro métricas de bioindicación aplicadas, los índices H', BMWP/Bol y ABI serían los más apropiados para estimar la calidad ecológica en la cuenca alta del río Chillón, ya que demostraron su validez estadística ( $p < 0,05$ ) para la época de mayor estabilidad ambiental (julio 2014). En este estudio se comprueba que los cambios ambientales juegan un rol importante sobre los patrones de riqueza y distribución de la comunidad bentónica en la zona de estudio.

**Palabras clave:** macroinvertebrados bentónicos, ríos altoandinos, diversidad, ecología, indicadores biológicos.

## ABSTRACT

The main objective of this study was to estimate the benthic macroinvertebrates diversity in the high-altitude basin of the river Chillón (Lima, Peru), located between 2500 to 4850 m.a.s.l., and their use as biological indicators. Twelve sampling stations were established along the main stream to evaluate the benthic fauna diversity during the dry season (July 2014) and the rainy season (January 2015). Forty-seven benthic macroinvertebrates taxa were identified, being the order Diptera the most diverse and with the widest distribution range. The richness and abundance values, the community structure of benthic macroinvertebrates (Shannon-Wiener's diversity and Pielou equitability) and similarity analysis (ANOSIM) and clustering using the non-parametric method multidimensional scaling (nMDS) determined significant differences ( $p < 0,05$ ) at temporal and spatial level of the benthic macroinvertebrates community. The temporal variation is explained by the caudal change (hydrological factor), which had a big influence on water physicochemical parameters and habitat stability, and the spatial variation is explained by altitude differences of sampling stations. In addition, the analysis of similarity percentage (SIMPER) identified the more influencing taxa on the community structure of macroinvertebrates at the area of study. According to the non-parametric Spearman correlation analysis between the fluvial habitat index (IHF) and the four bioindication metrics applied, the indexes  $H'$ , BMWP/Bol and ABI would be the most appropriate to estimate the ecological quality in the high-altitude basin of the river Chillón, demonstrated by their statistic validity ( $p < 0,05$ ) for the season of greatest environmental stability (July 2014). It has been proved that environmental changes play an important role on richness and distribution patterns of the benthic macroinvertebrates community.

**Key words:** benthic macroinvertebrates, high-altitude rivers, diversity, ecology, biological indicators.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el departamento de Lima se ubican tres ríos importantes para el desarrollo y mantenimiento de Lima Metropolitana: Rímac, Lurín y Chillón, de los cuales el río Chillón es de suma importancia, puesto que conserva la mayor área agrícola, la cual proporciona alimento a toda la población limeña (MINAM 2010), es una fuente importante de agua y energía para la zona norte de Lima Metropolitana y una zona turística, recreativa y de descanso para la población. En sus zonas altas, comprendiendo los distritos de Canta y Huaros, se lleva a cabo la crianza de *Oncorhynchus mykiss* "Trucha arco iris", la cual es una importante fuente de proteína.

Pese a su importancia económica y ecológica, en la cuenca alta del río Chillón se observa la presencia de actividades piscícolas y ganaderas (crianza de ganado vacuno, ovino y equino) y el vertimiento de aguas servidas provenientes de las zonas urbanas aledañas a lo largo de su recorrido. Todas esas actividades causan efectos negativos sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, la cual se ve afectada por los cambios en las características fisicoquímicas del agua (disminución de la concentración de oxígeno disuelto, cambio del pH, etc.) y en la modificación del hábitat y el canal fluvial (erosión de la ribera, acumulación de sedimentos, etc.). Todas estas alteraciones conllevan a una disminución de la riqueza y abundancia de especies.

La presente investigación fue realizada en la zona alta del río Chillón (departamento de Lima, provincia de Canta), ecosistema lótico considerado como altoandino según Acosta *et al.* (2009), por ubicarse a una altitud superior a los 2000 m.s.n.m. El estudio se centró en los macroinvertebrados bentónicos, puesto que constituyen importantes comunidades biológicas que caracterizan a los sistemas lóticos en las regiones altoandinas (Molina *et al.* 2008); son ubicuos, y su sensibilidad a los cambios ambientales los hacen buenos indicadores de la condición del agua (Ríos *et al.* 2014) y son muy utilizados en bioindicación debido a su versatilidad de uso, lo que los convierte en una herramienta adecuada en el monitoreo de la calidad del agua (Walteros y Paiba 2010, Hussain y Pandit 2012). El estudio se llevó a cabo en dos épocas establecidas por la hidrología del río: época seca (junio - noviembre) y época lluviosa (diciembre - mayo), las cuales se dan por la naturaleza irregular del caudal a lo largo del año. Teniendo en cuenta esta dinámica del flujo del agua, el primer muestreo se realizó durante la época seca (julio 2014) y el segundo durante la época lluviosa (enero 2015).

Teniendo en cuenta que los ecosistemas fluviales altoandinos son uno de los menos estudiados en el Perú, el principal aporte de esta investigación es el de contribuir con el conocimiento de la fauna de macroinvertebrados bentónicos en la región altoandina y los factores que influyen en su distribución, riqueza y abundancia (específicamente en la zona alta del río Chillón), así como su potencial uso como indicadores de calidad del agua, mediante métodos estadísticos aplicados en el estudio de la estructura comunitaria y las métricas de bioindicación. Por ello, este trabajo es considerado como el primero en estudiar la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Chillón teniendo en cuenta un rango de altitud considerable, comparable con el estudio realizado por Acosta (2009) en el río Cañete.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Los ríos altoandinos: Importancia y estado actual de estudio en Sudamérica**

Cerca del 27% de la superficie terrestre está cubierta por regiones montañosas las cuales contienen reservas glaciares y de agua dulce que proveen servicios ecosistémicos a las poblaciones humanas, y la diversidad ecosistémica y climática que surgen de sus gradientes altitudinales los hace únicos (Loayza-Muro 2013). En ese contexto nacen los ríos altoandinos, que en su camino adoptan las características químicas de los terrenos que recorren (Encalada *et al.* 2011), presentando una variabilidad regional dependiendo de la región o país en el que se encuentren y a las presiones y usos a los cuales están sometidos. Debido a la heterogeneidad de factores que influyen en su funcionamiento ecológico, los ríos altoandinos albergan muchas especies nuevas para la ciencia y su ecología e historia natural son aún poco estudiadas, por lo cual su manejo y conservación demandan nuevas estrategias de gestión de estos ecosistemas (Encalada *et al.* 2011).

Los ríos altoandinos son ecosistemas muy importantes debido a la diversidad y trascendencia de las funciones ecosistémicas que en ellos ocurren; además de caracterizarse por presentar un flujo rápido y turbulento, tener una alta oxigenación y por ser hábitat de una gran cantidad de organismos acuáticos, que son piezas fundamentales para su funcionamiento, y por proveer agua a la población para fines económicos (agricultura, ganadería, industria) y de uso recreativo y doméstico (Encalada *et al.* 2011).

Contrastando con la elevada diversidad de ecosistemas andinos existentes y con la creciente explotación de sus recursos hídricos, los estudios de investigación básica y aplicada son sorprendentemente muy escasos, o bien, de restringida difusión tales como tesis, informes técnicos y estudios de impacto ambiental, que representan una extensa literatura gris, la cual no ha sido recopilada ni analizada en conjunto (Acosta 2009). En estos últimos años, los ríos altoandinos ubicados en Ecuador y Perú han sido los más estudiados, encontrándose estudios relacionados con su caracterización física, química e hidromorfológica (Villamarín *et al.* 2014), caracterización abiótica (altitud, geología, hidrología y cobertura vegetal) (Vásconez *et al.* 2002) y la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (Carrera y Gunkel 2003, Arana 2008, Villamarín 2008, Ríos 2008, Acosta 2009 y Gallegos 2013). La mayoría de los estudios realizados hasta el momento en las regiones altoandinas del norte y del centro coinciden en destacar la relativa pobreza de taxa comparada con ríos templados o tropicales de llanuras, situación que se acentúa con el incremento de la altitud (Acosta 2009).

De los estudios realizados en el Perú, sin lugar a dudas, uno de los primeros trabajos hechos en ríos altoandinos que considera un amplio gradiente altitudinal (estaciones localizadas entre 2500 y 4500 m.s.n.m.) fue el realizado por Acosta (2009) en el río Cañete (Perú), en el cual se estudia la relación de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos con los parámetros fisicoquímicos del agua y la gradiente altitudinal, reportando un total de 108 taxa durante las dos épocas de estudio (seca y lluviosa).

En Colombia, los trabajos de Castellanos y Serrato (2008) y Walteros y Paiba (2010) estudian la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos altoandinos y su uso en la evaluación de la calidad del agua por medio del índice BMWP/Colombia, desarrollado por Roldán (1996) en base a un estudio realizado en el río Antioquia.

En Venezuela, Pérez y Segnini (2005) realizaron un estudio sobre la composición y diversidad de ninfas del orden Ephemeroptera (Insecta) en rápidos y remansos del río altoandino La Picón (Estado de Mérida), resaltando la importancia de la calidad del sustrato y la velocidad de la corriente como factores importantes en la distribución y abundancia de estos organismos.

Con respecto a los estudios de ríos altoandinos en Bolivia, Molina *et al.* (2008) estudiaron la variación anual y longitudinal de la estructura comunitaria de los macroinvertebrados en relación a factores ambientales en el río principal del valle de Choquecota (Cochabamba), encontrando 30 taxa distribuidos en tres (3) estaciones de muestreo y evidenciando que existe una relación inversa entre la descarga hidráulica y la riqueza de especies.

## **2.2. La cuenca alta del río Chillón: Estado actual de estudio**

En la actualidad, no existen estudios sobre las comunidades acuáticas presentes en la cuenca alta del río Chillón. Existe información relacionada sobre la fisicoquímica del agua, clima, suelos y relieve, y estudios del componente social y económico de la cuenca. Ninguno de los informes o estudios de línea base (INRENA 2003 y MINAM 2010) incluyen el término “hidrobiología”, a pesar de que en estos últimos años los estudios de la biota acuática de cuerpos de agua lóticos están convirtiéndose en una herramienta importante en el monitoreo y manejo del agua a nivel mundial (Prat *et al.* 2009, Springer 2010).

La presente tesis es considerada como la primera en estudiar la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Chillón, así como estimar la calidad del agua en base a esta comunidad de organismos acuáticos. Con este estudio, se busca aportar al conocimiento de la ecología y distribución de los macroinvertebrados bentónicos, así como de los factores ambientales que más influyen en su diversidad (parámetros fisicoquímicos del agua, actividades humanas, etc.). Además, la aplicación del protocolo CERA (Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos) (Acosta *et al.* 2009) permite relacionarlos con las características del hábitat fluvial (mediante el índice de hábitat fluvial) y con la calidad del agua mediante métricas de bioindicación como BMWP/Bolivia, ABI, entre otros.

### **2.3. Los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en ríos altoandinos**

Los macroinvertebrados bentónicos son animales que habitan el sedimento y otros sustratos sobre el fondo de los ecosistemas de agua dulce, siendo los principales grupos encontrados en estos ambientes los gusanos planos (platelmintos), anélidos, moluscos, crustáceos e insectos, y cuyas respuestas ante los cambios ambientales son útiles en la evaluación de los efectos de la contaminación del agua (APHA 2012). Son un importante componente en los ecosistemas lóticos y son un nexo en la transferencia de materia y energía desde los productores hasta los consumidores superiores (Hussain y Pandit 2012).

Las características más importantes que tienen los macroinvertebrados bentónicos para ser considerados indicadores biológicos, según Bonada *et al.* (2006), son:

- 1) Tener una amplia distribución geográfica en diferentes ambientes.
- 2) Presentar una gran diversidad de especies con gran diversidad de repuestas a los gradientes ambientales.
- 3) Ser en su mayoría sedentarios, lo que permite el análisis espacial de la contaminación.
- 4) Tener ciclos de vida largos, lo cual integra los efectos de la contaminación en el tiempo.
- 5) Ser muestreados de forma sencilla y barata.
- 6) Tener una taxonomía en general bien conocida a nivel de familia y género.
- 7) Tener una sensibilidad bien conocida a diferentes tipos de contaminación.

En el Perú, la información que se tiene sobre el estudio de macroinvertebrados bentónicos en ambientes lóticos (ríos, arroyos, etc.) es escasa, tomándose como referencia estudios realizados en Colombia, Ecuador y Argentina. La caracterización ecológica de los ríos altoandinos se lleva a cabo en base a la aplicación de índices bióticos para conocer la calidad del agua, dejando en un segundo plano la descripción del hábitat y el análisis de los patrones de distribución espacial (por ejemplo, la gradiente altitudinal).

Arana (2008) realizó una caracterización ecológica del río Santa Eulalia (Lima, Perú) mediante el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos, registrando 28 taxa en época seca y 23 taxa en época lluviosa. Además, valoró la calidad de agua mediante el uso del índice BMWP' Modificado, BMWP/Colombia y el IBF (Índice biótico de familia). En general, determinó que la calidad del agua varió entre muy contaminada y ligeramente contaminada.

Acosta *et al.* (2009) realizaron un estudio en los ríos altoandinos de Ecuador (río Guayllabamba) y Perú (río Cañete), en el cual se aplica el protocolo de evaluación de Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos (Protocolo CERA), basándose en estudios realizados en ríos del Mediterráneo, pero que han sido adaptados para la realidad andina. En este protocolo evalúan, además de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados empleando el índice biótico ABI (por sus siglas en inglés, Andean Biotic Index), las características del hábitat fluvial y su grado de conservación.

Loayza *et al.* (2010) analizaron el efecto de la contaminación por metales pesados sobre la composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en 3 ríos ubicados en la región centro-norte de la Cordillera de los Andes (Ancash) localizados entre los 3500 y 4500 m.s.n.m., concluyendo que la clase Collembola y los órdenes Diptera, Coleoptera y Acari son los más resistentes a las condiciones ambientales alteradas por la presencia de metales pesados además de la alta conductividad y el pH ácido.

Walteros y Paiba (2010) caracterizaron la comunidad de macroinvertebrados en relación con la diversidad de microhábitats en la cuenca alta del río Chinchiná, ubicada en la Reserva Forestal Torre Cuatro (Colombia), encontrando en total 44 familias distribuidas en 9 estaciones de muestreo. Además, valoraron la calidad de agua del río por medio del índice BMWP/Colombia, determinando que la calidad de agua varió entre buena y aceptable.

Ortiz (2012) estudió la comunidad de larvas del orden Trichoptera (Insecta) en dos tributarios del río Rímac (Lima, Perú), realizando una caracterización espacio-temporal de este grupo de macroinvertebrados, considerando además su historia de vida, grupos funcionales de alimentación y resaltando la importancia de este orden como indicadores de calidad del agua, colectando un total de 2387 larvas distribuidas en 4 familias (Hydropsychidae, Hydrobiosidae, Hydroptilidae y Limnephilidae).

### **3. HIPÓTESIS**

- La relación que existe entre la diversidad de macroinvertebrados bentónicos, los parámetros fisicoquímicos del agua y el estado de integridad del hábitat fluvial es suficiente para estimar la calidad de agua de la cuenca alta del río Chillón.

### **4. OBJETIVOS**

#### **General:**

- Estimar la diversidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Chillón y su uso como indicadores de calidad de agua.

#### **Específicos:**

- Analizar la diversidad y abundancia de macroinvertebrados bentónicos.
- Caracterizar la comunidad de macroinvertebrados bentónicos a escala espacial y temporal.
- Relacionar la diversidad de macroinvertebrados con los parámetros fisicoquímicos del agua.
- Estimar la calidad de agua considerando la importancia de los macroinvertebrados como indicadores biológicos.

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

### 5.1. Área de estudio

#### Ubicación

La cuenca alta del río Chillón se localiza en los distritos de San Buenaventura, Canta y Huaros, en la provincia de Canta, departamento de Lima. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas  $11^{\circ} 28' 30,10''$  -  $11^{\circ} 24' 34,03''$  LS y  $76^{\circ} 38' 04,03''$  -  $76^{\circ} 25' 46,85''$  LW. Desde el punto de vista altitudinal, la cuenca oscila entre 2500 y 4850 m.s.n.m. (**Figura 1**).

#### Hidrografía

La cuenca alta del río Chillón se ubica en la Vertiente Hidrográfica del Pacífico. Tiene una superficie total aproximada de 456,43 Km<sup>2</sup> y 34,4 Km de largo. Nace en la laguna Chonta, alimentándose de los deshielos de la Cordillera de La Viuda, lagunas altoandinas y de tributarios a lo largo de su recorrido (MINAM 2010).

Tiene un régimen irregular debido a que durante todo el año su caudal experimenta grandes variaciones. Este caudal se ve incrementado en el verano entre los meses de diciembre a marzo (época de creciente o lluviosa) debido a las precipitaciones, para luego disminuir progresivamente durante la temporada de invierno y primavera (época de vaciante, estiaje o seca).



## **Geología**

La cuenca alta del río Chillón está formada principalmente por tres tipos de unidades litoestratigráficas: depósitos aluviales, morrénicos y fluvio-glaciares (pertenecientes al sistema Cuaternario), rodeadas de secuencias volcánicas del grupo Calipuy (INGEMMET 1999, MINAM 2010).

## **Clasificación ecológica**

Según Brack (1986), el área de estudio se encuentra dentro de 2 ecorregiones: la serranía esteparia (ubicada entre los 1000 y 3500 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 11 °C, con lluvias estacionarias, sección del río torrentosa y pendiente pronunciada) y la puna (ubicada por encima de los 3500 – 3800 m.s.n.m., de bajas temperaturas, presencia de relieves llanos que alternan con altas montañas o cerros muy escarpados, destacándose principalmente la Cordillera de La Viuda).

## **Acceso**

El acceso a la cuenca alta del río Chillón desde la ciudad de Lima es por vía terrestre hacia el norte, tomando la Av. Túpac Amaru y su prolongación Carretera Lima – Canta, continuando por una vía afirmada hasta llegar a la Cordillera de La Viuda, pasando por los pueblos de Huaros y Cullhuay. El tiempo de viaje aproximado es de 3 horas.

## 5.2. Diseño de estudio

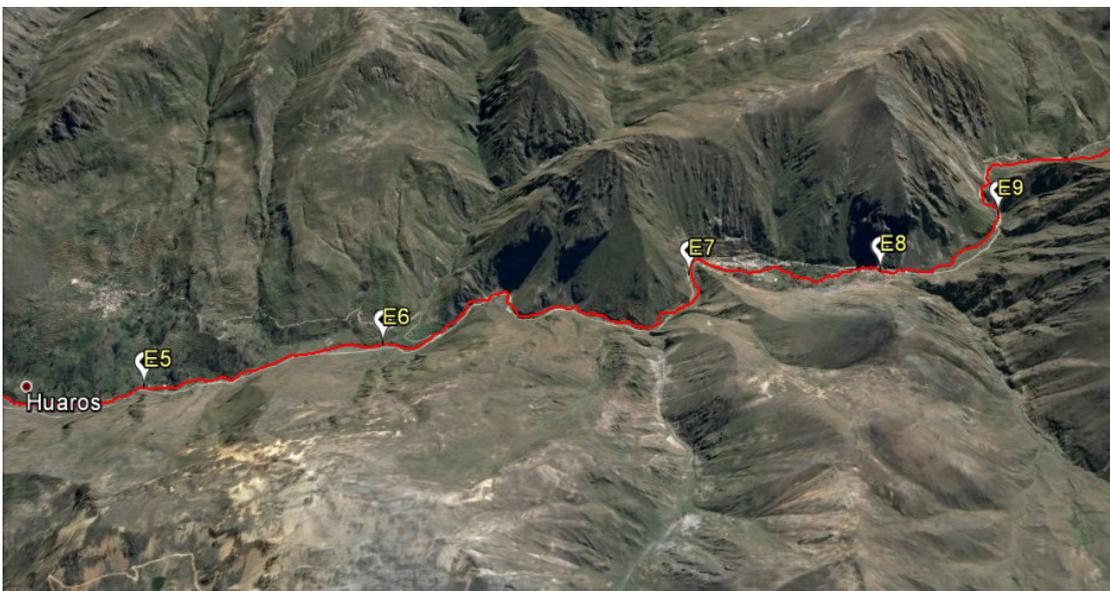
Se establecieron 12 estaciones de muestreo, todas ellas localizadas en el curso principal del río y georreferenciadas según el sistema de coordenadas sexagesimal (Datum WGS 84), tomándose un total de 72 muestras (36 en la época seca y 36 en la época lluviosa). Para la elección de las estaciones se consideró la presencia de tributarios, la gradiente altitudinal, la influencia de actividad antropogénica (desagües, piscigranjas, zonas de ganado, agrícolas y/o de esparcimiento, etc.) y la accesibilidad al río (**Tabla 1**). Con fines prácticos, las estaciones de muestreo se clasificaron de acuerdo al rango de altura en las cuales están ubicadas, teniendo así 3 rangos: Rango #1 (estaciones ubicadas entre 2600 y 2800 m.s.n.m.: E-1, E-2, E-3 y E-4); Rango #2 (estaciones ubicadas entre 3300 y 3800 m.s.n.m.: E-5, E-6, E-7, E-8 y E-9); y Rango #3 (estaciones ubicadas a partir de 4000 m.s.n.m.: E-10, E-11 y E-12) (**Figuras 2, 3 y 4**).

**Tabla 1.** Ubicación y descripción de las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú).

Distrito	Estación	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m.)	Grado de integridad
		Latitud (S)	Longitud (W)		
San Buenaventura	E-1	-11° 27' 18,58"	-76° 37' 23,27"	2699	Bueno
	E-2	-11° 26' 58,20"	-76° 37' 11,05"	2719	Regular
	E-3	-11° 26' 53,01"	-76° 36' 57,26"	2740	Bueno
	E-4	-11° 26' 50,19"	-76° 36' 54,08"	2742	Regular
Canta	E-5	-11° 24' 45,36"	-76° 34' 17,73"	3384	Regular
	E-6	-11° 24' 33,47"	-76° 33' 17,89"	3428	Bueno
Huaros	E-7	-11° 24' 15,34"	-76° 31' 57,01"	3587	Bueno
	E-8	-11° 24' 15,29"	-76° 31' 05,28"	3689	Bueno
	E-9	-11° 23' 56,72"	-76° 30' 30,18"	3776	Regular
	E-10	-11° 23' 08,46"	-76° 27' 21,38"	4040	Bueno
	E-11	-11° 23' 07,60"	-76° 27' 18,44"	4045	Bueno
	E-12	-11° 23' 07,38"	-76° 27' 16,16"	4046	Bueno



**Figura 2.** Ubicación de las estaciones de muestreo localizadas entre 2600 y 2800 m.s.n.m. (rango #1) en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú) (Fuente: Google Earth).



**Figura 3.** Ubicación de las estaciones de muestreo localizadas entre los 3300 y 3800 m.s.n.m. (rango #2) en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú) (Fuente: Google Earth).



**Figura 4.** Ubicación de las estaciones de muestreo localizadas a partir de los 4000 m.s.n.m. (rango #3) en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú) (Fuente: Google Earth).

### 5.3. Descripción de las estaciones de muestreo

#### Estación de muestreo E-1

Estación localizada entre los pueblos de Obrajillo y San Miguel, ubicada a 2699 m.s.n.m. Aproximadamente 100 metros aguas arriba de esta estación existe un punto de descarga de aguas servidas de volumen reducido. La vegetación ribereña, conformada por pastos naturales y plantas arbustivas, está distribuida de forma continua. El sustrato está conformado por roca, canto rodado, grava y arena. No se observó presencia de basura de naturaleza inorgánica ni orgánica. El canal fluvial no muestra signos de haber sido alterado (no hay presencia de estructuras hechas a base de concreto ni obras de canalización) (**Figura 5**).



**Figura 5.** Estación E-1. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

## Estación de muestreo E-2

Estación localizada aguas arriba con respecto al pueblo de Obrajillo, ubicada a 2719 m.s.n.m. y aproximadamente 80 metros aguas abajo de una granja piscícola, que vierte agua residual al río sin ningún tipo de tratamiento previo. La vegetación ribereña, conformada por plantas arbustivas y árboles de “Eucalipto” (vegetación alóctona), está distribuida de forma continua. El sustrato está conformado por roca, canto rodado, grava y una mezcla de arena y limo (en menor proporción). No se observó presencia de basura (inorgánica ni orgánica). El canal fluvial muestra ligeros signos de modificación en uno de sus lados, observándose restos de una estructura sólida hecha a base de piedras superpuestas, sin presencia de concreto (canalización artesanal) (**Figura 6**).



**Figura 6.** Estación E-2. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

### Estación de muestreo E-3

Estación ubicada a 2740 m.s.n.m., aguas arriba con respecto a la central hidroeléctrica “Canta”, que abastece de fluido eléctrico a los pueblos aledaños, y aproximadamente 30 metros aguas abajo del punto de descarga de la quebrada Quinán, la cual mostró un buen estado de conservación (quebrada no alterada). Frente a esta estación existe una zona de camping, concurrida por visitantes en ambos periodos de muestreo. La vegetación ribereña, conformada por pastos naturales y plantas arbustivas, está distribuida de forma continua. El sustrato está conformado por roca, canto rodado, grava y sedimento fino (arena y limo). Se observó la presencia de pequeños montículos de basura de naturaleza inorgánica (utensilios de plástico y botellas). El canal fluvial muestra un evidente grado de alteración en uno de sus lados, observándose la presencia de una estructura sólida hecha a base de piedras, sin presencia de concreto (canalización artesanal) (**Figura 7**).



**Figura 7.** Estación E-3. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

#### Estación de muestreo E-4

Estación ubicada a 2742 m.s.n.m., aguas abajo con respecto al pueblo de Acocacha y aproximadamente 100 metros aguas arriba del punto de descarga de la quebrada Quinán. La vegetación ribereña, conformada por pastos y arbustos, está distribuida en forma continua. El sustrato está conformado por roca, canto rodado, grava y arena. No se observó presencia de basura orgánica, pero se observó presencia de botellas y bolsas plásticas. El canal fluvial muestra un evidente grado de alteración en uno de sus lados, observándose una estructura rígida hecha a base de concreto (**Figura 8**).



**Figura 8.** Estación E-4. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

### Estación de muestreo E-5

Estación ubicada a 3 384 m.s.n.m., aproximadamente 20 metros aguas abajo de una granja piscícola en el distrito de Huaros. La vegetación ribereña está conformada por pastos, arbustos y árboles de “Eucalipto”, estos últimos distribuidos discontinuamente. El sustrato está conformado por roca, canto rodado, grava y arena. No se observó presencia de basura inorgánica ni orgánica. El canal fluvial muestra evidente grado de alteración en uno de sus lados, observándose una estructura sólida hecha a base de piedras, sin presencia de concreto (canalización artesanal) (**Figura 9**).



**Figura 9.** Estación E-5. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

## Estación de muestreo E-6

Estación ubicada a 3428 m.s.n.m., aguas arriba de la granja piscícola de Huaros y aproximadamente 20 metros aguas abajo del punto de descarga de la quebrada Acocancha, la cual mostró un buen estado de conservación (quebrada no alterada). La vegetación ribereña, conformada por pastos y plantas arbustivas, está distribuida de forma continua. El sustrato está conformado por roca, canto rodado, grava y arena. No se observó presencia de basura inorgánica ni orgánica. El canal fluvial no muestra signos de alteración en ambos lados (**Figura 10**).



**Figura 10.** Estación E-6. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

### Estación de muestreo E-7

Estación ubicada a 3587 m.s.n.m., aguas abajo con respecto al pueblo de Cullhuay. La vegetación ribereña, conformada por pastos y plantas arbustivas, está distribuida de forma continua. El sustrato está conformado por roca, canto rodado, grava y arena. No se observó presencia de basura (inorgánica ni orgánica). El canal fluvial no muestra signos de alteración en ambos lados (**Figura 11**).



**Figura 11.** Estación E-7. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

### Estación de muestreo E-8

Estación ubicada a 3689 m.s.n.m., aguas arriba con respecto al pueblo de Cullhuay y aproximadamente a 100 metros del punto de descarga de la quebrada Pasora. La vegetación ribereña, conformada por pastos y arbustos, está distribuida de forma continua. El sustrato está conformado por roca, canto rodado, grava y arena. No se observó presencia de basura inorgánica ni orgánica. El canal fluvial muestra una ligera alteración debido a la presencia de una estructura hecha a base de piedras, sin concreto (canalización artesanal) (**Figura 12**).



**Figura 12.** Estación E-8. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

### Estación de muestreo E-9

Estación ubicada a 3776 m.s.n.m., aproximadamente 50 metros aguas abajo de una granja piscícola. La vegetación ribereña, conformada por pastos y plantas arbustivas, está distribuida a modo de parches (discontinua). El sustrato está conformado por roca, canto rodado, grava y arena. No se reportó presencia de basura inorgánica ni orgánica. El canal fluvial no muestra signos de alteración en ambos lados (**Figura 13**).



**Figura 13.** Estación E-9. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

### Estación de muestreo E-10

Estación ubicada a 4040 m.s.n.m., aproximadamente 30 metros aguas abajo con respecto al punto de descarga de un curso de agua de 1° orden proveniente de lagunas altoandinas de la zona noreste. La vegetación ribereña, restringida a pastos andinos propios de la zona, está distribuida de forma continua. El sustrato está conformado por canto rodado, grava y arena. No se observó presencia de basura inorgánica; sin embargo, esta estación está influenciada por la presencia de ganado vacuno y equino, observándose materia orgánica (heces) en ambos lados del río. El canal fluvial no muestra signos de alteración en ambos lados (**Figura 14**).



**Figura 14.** Estación E-10. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

### Estación de muestreo E-11

Estación ubicada a 4045 m.s.n.m., aproximadamente 20 metros aguas abajo con respecto al punto de descarga de un curso de agua de 1° orden proveniente de un área de pastoreo de ganado vacuno. La vegetación ribereña, restringida a pastos andinos, está distribuida de forma continua. El sustrato está conformado por canto rodado, grava y arena. Se observó presencia de materia orgánica (heces) en ambos lados del río. El canal fluvial no muestra signos de alteración en ambos lados (**Figura 15**).



**Figura 15.** Estación E-11. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

## Estación de muestreo E-12

Estación ubicada a 4046 m.s.n.m., aproximadamente 30 metros aguas abajo con respecto al punto de descarga de un curso de agua proveniente de la laguna Chunchun, la cual se alimenta del deshielo de la Cordillera de la Viuda y de precipitaciones. La vegetación ribereña, restringida a pastos andinos, está distribuida de forma continua. El sustrato está conformado por canto rodado, grava y arena. No se observó presencia de basura inorgánica (plásticos) ni orgánica (heces de ganado vacuno y/o equino). El canal fluvial no muestra signos de alteración en ambos lados (**Figura 16**).



**Figura 16.** Estación E-12. Épocas seca (izquierda) y lluviosa (derecha).

#### **5.4. Periodos de estudio**

Considerando la hidrografía de la cuenca, el estudio se llevó a cabo en dos épocas. La primera, perteneciente a la época seca (junio-noviembre) se desarrolló los días 19 y 20 de julio del 2014; la segunda, perteneciente a la época lluviosa (diciembre-mayo), los días 17 y 18 de enero 2015. En ambas épocas se establecieron los mismos puntos de muestreo.

#### **5.5. Caracterización ambiental**

En cada una de las estaciones de muestreo, se registraron datos relacionados con la hidrología del río: profundidad del punto de muestreo, ancho del río y el tipo de sustrato predominante. Además, se aplicaron protocolos e índices para caracterizar ambientalmente a las estaciones de muestreo.

##### **5.5.1. Protocolo de Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos (CERA)**

La evaluación de las condiciones de referencia de las estaciones de estudio en la cuenca alta del río Chillón fue realizada mediante el protocolo CERA (Acosta *et al.* 2009), el cual se basa en la cuenca, hidrología, tramo y lecho del río. El valor máximo del índice es de 120 y el mínimo es de 24. Para que la estación sea considerada de referencia, debe alcanzar más de 100 puntos y obtener como mínimo 20 puntos en cada apartado (**Anexo 1**).

### 5.5.2. Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

La calidad del hábitat fue evaluada mediante el Índice de Hábitat Fluvial (IHF), donde se ha establecido que valores por debajo de 40 indican serias limitaciones de la calidad del hábitat para el desarrollo de una comunidad bentónica diversa, siendo el óptimo superior a 75 (Pardo *et al.* 2002) (**Anexo 2**).

### 5.5.3. Índice de la calidad de la vegetación de la ribera andina (QBR-And)

Para la evaluación de la vegetación de ribera andina, se utilizó el índice QBR-And, donde se consideran cuatro apartados: el grado de cubierta de la ribera, la estructura de la cubierta, la calidad de la cubierta y el grado de naturalidad del canal fluvial. En este índice se toma en consideración las principales formaciones vegetales andinas y sus tipos de riberas definidas en tres tipos:

Tipo 1: Ribera de tipo rocoso, que no permite el desarrollo de una comunidad vegetal.

Tipo 2: Ribera típica de páramos y punas, conformada por pajonal de gramíneas, en algunos casos con matorrales bajos, almohadillas y turberas de altura (bofedales).

Tipo 3: Ribera conformada por una comunidad arbórea y/o arbustiva muy diversa.

Este tipo de ribera es la más frecuente entre los 2000 y 4000 m.s.n.m. y en algunos de los bosques relictos sobre los 4000 m.s.n.m. en los páramos y punas.

La puntuación máxima por apartado es de 25 y el total del QBR-And para una ribera de tipo 3 es de 100. Los rangos de calidad y conservación de las riberas, propuestos para el índice QBR-And se presentan en la **Tabla 2** y **Anexo 3**.

**Tabla 2.** Rangos de calidad de conservación de la vegetación de ribera propuestos para el QBR-And.

<b>Nivel de calidad</b>	<b>QBR-And</b>	<b>Color representativo</b>
Vegetación de ribera sin alteraciones. Calidad muy buena. Estado natural.	≥ 96	<b>AZUL</b>
Vegetación ligeramente perturbada. Calidad buena.	76 - 95	<b>VERDE</b>
Inicio de alteración importante. Calidad intermedia.	51 - 75	<b>AMARILLO</b>
Alteración fuerte. Mala calidad.	26 - 50	<b>NARANJA</b>
Degradación extrema. Calidad pésima.	≤ 25	<b>ROJO</b>

### 5.6. Caracterización fisicoquímica del agua

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

### 5.7. Colecta de macroinvertebrados bentónicos y su tratamiento en el laboratorio

Los macroinvertebrados bentónicos fueron colectados utilizando una red Surber (0,09 m<sup>2</sup> de área; 200 µm de abertura de malla), cuyo marco se coloca sobre el fondo del río, en contra de la corriente, y con la mano se remueve el área demarcada, de manera que los organismos quedan atrapados en la red, repitiendo esta operación tres veces en cada estación de muestreo (Roldán 2008). Esta metodología está restringida a ambientes lóticos de una profundidad no mayor a 30 cm., es decir zonas

someras (Merrit *et al.* 2008; APHA 2012; Barbour *et al.* 1999), por lo que el muestreo se llevó a cabo en rápidos someros de sustrato inorgánico, siendo canto rodado y grava los dominantes y altamente colonizables (Domínguez y Fernández 2009, Barbour *et al.* 1999), teniendo en cuenta la presencia de algas filamentosas y musgos. Tanto en la época seca (julio 2014) como en la época lluviosa (enero 2015) se tomaron 36 muestras, sumando un total de 72 muestras. El material colectado se fijó en alcohol al 70% y se almacenó en frascos de polietileno de 500 mL debidamente rotulados.

La separación e identificación de los macroinvertebrados bentónicos se realizó en el Departamento de Limnología, Museo de Historia Natural (UNMSM), con la ayuda de un estereoscopio de 40X. La identificación taxonómica se hizo hasta el nivel más bajo posible. Los organismos se almacenaron en tubos de ensayo con alcohol al 70%. Finalmente, se cuantificó el número de organismos por taxón identificado, creándose una matriz de datos para los análisis estadísticos correspondientes.

La identificación en clases, órdenes, subfamilias y familias, en general, de macroinvertebrados bentónicos se realizó de acuerdo a Domínguez y Fernández (2009), Roldán (1996), Merrit *et al.* (2008) y Borkent y 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 y Ortiz (2010). La identificación de géneros de Coleoptera, de acuerdo a Manzo (2005) y Manzo y Archangelsky (2008).

## **5.8. Análisis de datos**

### **5.8.1. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos**

Cada organismo fue identificado hasta el nivel taxonómico más bajo posible, presentando un inventario faunístico por cada época de estudio (seca y lluviosa) con el fin de analizar la variación temporal. Se contabilizó el número total de individuos de cada taxón por cada época de estudio.

### **5.8.2. Riqueza específica (S) y abundancia (N) de individuos por estaciones de muestreo**

La riqueza específica de macroinvertebrados bentónicos fue obtenida mediante el conteo total de las especies (o taxa) identificadas (Moreno 2001). Para obtener esta medida de diversidad se utilizó el software Primer 6. Versión 6.1.6.

La abundancia de macroinvertebrados bentónicos fue obtenida mediante el conteo del número de individuos por cada taxón identificado (Moreno 2001). Para obtener esta medida se utilizó el software Primer 6 Versión 6.1.6.

Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) tanto en riqueza específica como en abundancia a nivel espacial (entre rangos de altitud) en cada una de las épocas de estudio (seca y lluviosa). Además, se aplicó la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney para determinar si existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) tanto en riqueza específica como en abundancia a nivel temporal (entre épocas de estudio). Para realizar estas pruebas se utilizó el programa estadístico IBM SPSS 19.

### 5.8.3. Estructura comunitaria

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos fue analizada a través del índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y del índice de equidad de Pielou ( $J'$ ). Ambos índices fueron calculados mediante el software estadístico Primer 6 Versión 6.1.6.

Para ambos índices, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a nivel espacial (entre rangos de altitud) en cada una de las épocas de estudio (seca y lluviosa). Además, se aplicó la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney para determinar si existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a nivel temporal (entre épocas de estudio). Para realizar estas pruebas se utilizó el programa estadístico IBM SPSS 19.

#### 5.8.3.1. Índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ )

El índice de diversidad de Shannon-Wiener expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Moreno 2001). Se determinó según la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i) (\text{Log}_2 p_i)$$

Donde:  $H'$ : índice de diversidad de Shannon-Wiener

$S$ : Número de especies

$p_i$ : Abundancia proporcional de la especie "i" ( $n_i/N$ )

### 5.8.3.2. Índice de equidad de Pielou (J')

El índice de equidad de Pielou mide la proporción de la diversidad observada en relación a la máxima diversidad esperada. Su valor está comprendido entre 0 y 1 (Moreno 2001). Se determinó según la siguiente fórmula:

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Donde: J': Índice de equidad de Pielou

H': Diversidad de Shannon-Wiener observada

H'<sub>max</sub>: Máxima diversidad de Shannon-Wiener esperada

### 5.8.4. Análisis multivariado

Mediante este análisis se determinó si existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos entre los rangos de altitud en las que se encuentran las estaciones de muestreo (diferencia espacial) y entre las dos épocas de estudio (diferencia temporal). Para ello se realizó el análisis de similitud (ANOSIM) creando una matriz de similaridad a partir del índice de Bray-Curtis como medida de similitud (Brower & Zar 1984). Para el análisis gráfico de los patrones de distribución espacial y temporal de las estaciones de muestreo en base a la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos se aplicó el método de Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS) (Correa *et al.* 2010). Estos análisis fueron complementados con el análisis SIMPER (Porcentaje de Similaridad), el cual permitió identificar los taxa que más influyen en los patrones comunitarios (Correa *et al.* 2010). Para realizar estos análisis se utilizó el software estadístico Primer 6 Versión 6.1.6.

## 5.8.5. Métricas de bioindicación

### 5.8.5.1. Métricas simples

#### 5.8.5.1.1. Diversidad de Shannon-Wiener (H')

El índice de diversidad de Shannon-Wiener permite enfocarse en los cambios de los patrones de riqueza y abundancia de especies como una manera de evaluar el impacto de los diferentes tipos de perturbaciones ambientales sobre las comunidades biológicas (Segnini 2003).

**Tabla 3.** Esquema de clasificación de la calidad del agua de acuerdo a los valores del índice de Shannon-Wiener (H') (Segnini 2003).

H' (Log <sub>2</sub> )	Calidad del agua
> 3	Limpia
1 - 3	Moderadamente poluida
< 1	Fuertemente poluida

### 5.8.5.2. Índices bióticos

#### 5.8.5.2.1. Índice de Monitoreo Biológico adaptado para Bolivia (por sus siglas en inglés BMWP/Bol)

Se aplicó el índice BMWP/Bol considerando a los macroinvertebrados bentónicos para determinar la calidad del agua en las estaciones de muestreo. Este índice combina el número total de taxa 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 (MMAyA 2011).

**Tabla 4.** Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Bol (MMAyA 2011).

<b>Familias</b>	<b>Puntajes</b>
Oligoneuriidae, Gripterygidae, Perlidae, Odontoceridae, Psephenidae, Athericidae, Blephariceridae	10
Calamoceratidae, Hydrobiosidae, Leptoceridae, Xiphocentronidae, Ptilodactylidae, Leptophlebiidae, Euthyplociidae, Polymitarcyidae	9
Helicopsychidae, Psychomyiidae, Glossosomatidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Simuliidae, Gomphidae, Polythoridae, Megapodagrionidae	8
Leptohyphidae, Hydraenidae, Scirtidae, Corydalidae, Calopterygidae, Limnephilidae, Hydroptilidae	7
Aeshnidae, Coenagrionidae, Libellulidae, Ancyliidae, Corixidae, Naucoridae, Notonectidae, Mesoveliidae, Hebridae, Dixidae, Psychodidae, Dryopidae, Lutrochidae	6
Baetidae, Elmidae, Staphylinidae, Dytiscidae, Noteridae, Pyralidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Belostomatidae, Gerridae, Nepidae, Veliidae, Hydrobiidae, Ampullariidae	5
Caenidae, Hydrophilidae, Haliplidae, Heteroceridae, Gyrinidae, Ceratopogonidae, Dolichopodidae, Empididae, Tabanidae, Stratiomyidae, Pleidae, Gelastocoridae, Hydracarina, Planorbiidae, Physidae, Lymnaeidae, Aeglidae, Palaemonidae, Sphaeriidae, Amphipoda, Ostracoda, Planariidae, Nematoda	4
Muscidae, Glossiphoniidae	3
Chironomidae, Culicidae, Ephyridae, Hyriidae	2
Oligochaeta	1

**Tabla 5.** Clases de calidad del agua, valores del BMWP/Bol, significado y colores para representaciones cartográficas (MMAyA 2011).

<b>Clase</b>	<b>Calidad</b>	<b>BMWP/Bol</b>	<b>Significado</b>	<b>Color</b>
I	Buena	> 120 101 - 120	Aguas muy limpias. No contaminadas	<b>AZUL</b>
II	Aceptable	61 - 100	Se evidencia algún efecto de contaminación	<b>VERDE</b>
III	Dudosa	36 - 60	Aguas contaminadas	<b>AMARILLO</b>
IV	Crítica	16 - 35	Aguas muy contaminadas	<b>NARANJA</b>
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	<b>ROJO</b>

#### 5.8.5.2.2. Puntaje Promedio por Taxón (por sus siglas en inglés ASPT)

Se aplicó el índice ASPT considerando los macroinvertebrados bentónicos para determinar la calidad del agua en las estaciones de muestreo. Este índice representa la tolerancia promedio de los taxa dentro de la comunidad. El nivel taxonómico mínimo requerido es el de familia y el valor final se obtiene de la división del valor de BMWP/Bol y el número total de familias (MMAyA 2011).

**Tabla 6.** Valores de ASPT y escala de calidad del agua (MMAyA 2011).

<b>ASPT</b>	<b>Calidad del agua</b>
> 6.0	Excelente
5,5 - 6,0	Muy buena
5,0 - 5,5	Buena
4,5 - 5,0	Moderada
4,0 - 4,5	Moderadamente pobre
< 4,0	Pobre

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

Se aplicó el Índice Biótico Andino (ABI) considerando los macroinvertebrados bentónicos que habitan ríos altoandinos (ubicados a más de 2000 m.s.n.m.) para determinar la calidad ecológica en las estaciones de muestreo. Este índice combina el número total de taxa 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 (Acosta *et al.* 2009) (**Tablas 7 y 8**).

**Tabla 7.** Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice ABI

(Acosta *et al.* 2009).

Orden	Familia	Puntuación	Orden	Familia	Puntuación
Turbellaria		5	Lepidoptera	Pyrilidae	4
Hirudinea		3	Coleoptera	Ptilodactylidae	5
Oligochaeta		1		Lampyridae	5
Gasteropoda	Ancylidae	6		Psephenidae	5
	Physidae	3		Scirtidae	
	Hydrobiidae	3		(Helodidae)	5
	Limnaeidae	3		Staphylinidae	3
	Planorbidae	3		Elmidae	5
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Dryopidae	5
Amphipoda	Hyalellidae	6		Gyrinidae	3
Ostracoda		3		Dytiscidae	3
Hydracarina		4		Hydrophilidae	3
Ephemeroptera	Baetidae	4	Diptera	Hydraenidae	5
	Leptophlebiidae	10		Blepharoceridae	10
	Leptohyphidae	7		Simuliidae	5
	Oligoneuriidae	10		Tabanidae	4
Odonata	Aeshnidae	6		Tipulidae	5
	Gomphidae	8		Limoniidae	4
	Libellulidae	6		Ceratopogonidae	4
	Coenagrionidae	6		Dixidae	4
	Calopterygidae	8		Psychodidae	3
	Polythoridae	10		Dolichopodidae	4
Plecoptera	Perlidae	10		Stratiomyidae	4
	Gripopterygidae	10		Empididae	4
Heteroptera	Veliidae	5		Chironomidae	2
	Gerridae	5		Culicidae	2
	Corixidae	5		Muscidae	2
	Notonectidae	5		Ephydriidae	2
	Belostomatidae	4		Athericidae	10
	Naucoridae	5		Syrphidae	1
Trichoptera	Helicopsychidae	10			
	Calamoceratidae	10			
	Odontoceridae	10			
	Leptoceridae	8			
	Polycentropodidae	8			
	Hydroptilidae	6			
	Xiphocentronidae	8			
	Hydrobiosidae	8			
	Glossosomatidae	7			
	Hydropsychidae	5			
	Anomalopsychidae	10			
	Philopotamidae	8			
	Limnephilidae	7			

**Tabla 8.** Clases de estado ecológico según ABI para ríos altoandinos de Ecuador y Perú (Acosta *et al.* 2009).

	Ecuador	Perú
Muy bueno	> 96	> 74
Bueno	59 - 96	45 - 74
Moderado	35 - 58	27 - 44
Malo	14 - 34	11 - 26
Pésimo	< 14	< 11

### 5.8.5.3. Relación entre el Índice de Hábitat Fluvial (IHF) y las métricas de bioindicación

Para establecer si existe correlación significativa ( $p < 0,05$ ) entre las métricas de bioindicación calculadas (índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), BMWP/Bol, ASPT y ABI) y el Índice de Hábitat Fluvial (IHF) y seleccionar las métricas que caracterizarían mejor las condiciones ambientales de la zona de estudio, se llevó a cabo el análisis de correlación no paramétrico de Spearman. El Índice de Hábitat Fluvial (IHF) fue usado para calcular esta correlación puesto que evalúa la calidad del hábitat para el desarrollo de una comunidad bentónica diversa (Pardo *et al.* 2002). Para realizar estos análisis se utilizó el programa estadístico IBM SPSS 19.

### 5.8.6. Relación entre los factores bióticos y abióticos

Para establecer qué tipo de relación presentan las variables fisicoquímicas con respecto a las variables bióticas (riqueza y abundancia) se empleó la correlación no paramétrica de Spearman. Este análisis se realizó mediante el programa estadístico IBM SPSS 19.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Caracterización de las estaciones de muestreo

Se observaron cambios notables en la profundidad del punto de muestreo en cada estación y del ancho del río, debido al aumento del volumen del agua. Con respecto al sustrato, canto rodado y grava fueron los más representativos entre las estaciones de muestreo, sin reportarse variaciones entre la época seca y lluviosa (**Tablas 9 y 10**). En ambos periodos de estudio, la transparencia del agua fue total, sin presencia de espuma ni de olores desagradables.

**Tabla 9.** Parámetros físicos de las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón. Época seca (julio 2014).

Estación	Profundidad del punto de muestreo (cm)	Ancho del cauce (m)	Tipo de sustrato predominante
E-1	29	10,5	Canto rodado
E-2	23	12,2	Canto rodado
E-3	20	10,4	Grava
E-4	15	8,5	Canto rodado
E-5	16,5	8,6	Canto rodado
E-6	25	11,4	Grava
E-7	13	9,3	Canto rodado
E-8	24	9,2	Grava
E-9	22	8,9	Grava
E-10	19	7,8	Canto rodado
E-11	19	7,3	Canto rodado
E-12	17	6,3	Grava

**Tabla 10.** Parámetros físicos de las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón. Época lluviosa (enero 2015).

Estación	Profundidad del punto de muestreo (cm)	Ancho del cauce (m)	Tipo de sustrato predominante
E-1	35,8	15,7	Canto rodado
E-2	29,8	14,6	Canto rodado
E-3	29,7	13,3	Grava
E-4	26,2	11,3	Canto rodado
E-5	36,6	10,2	Canto rodado
E-6	24,5	14,5	Grava
E-7	26,6	11,6	Canto rodado
E-8	32,6	11,3	Grava
E-9	30,6	9,7	Grava
E-10	27,6	10,3	Canto rodado
E-11	34,8	8,8	Canto rodado
E-12	33,3	8,1	Grava

#### 6.1.1. Protocolo de Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos (CERA)

Según el protocolo CERA para la evaluación de las condiciones de referencia de ríos altoandinos, 11 estaciones de muestreo son consideradas como de referencia, salvo la estación E-2 ya que obtuvo un puntaje de 98, siendo el mínimo requerido 100. No hubo diferencias en los puntajes con respecto a las épocas de estudio (seca y lluviosa) (**Anexo 1** y **Tabla 11**). No hubo variaciones de este índice entre épocas de estudio, siendo los valores iguales en ambos periodos de muestreo.

### 6.1.2. Índice de hábitat fluvial (IHF)

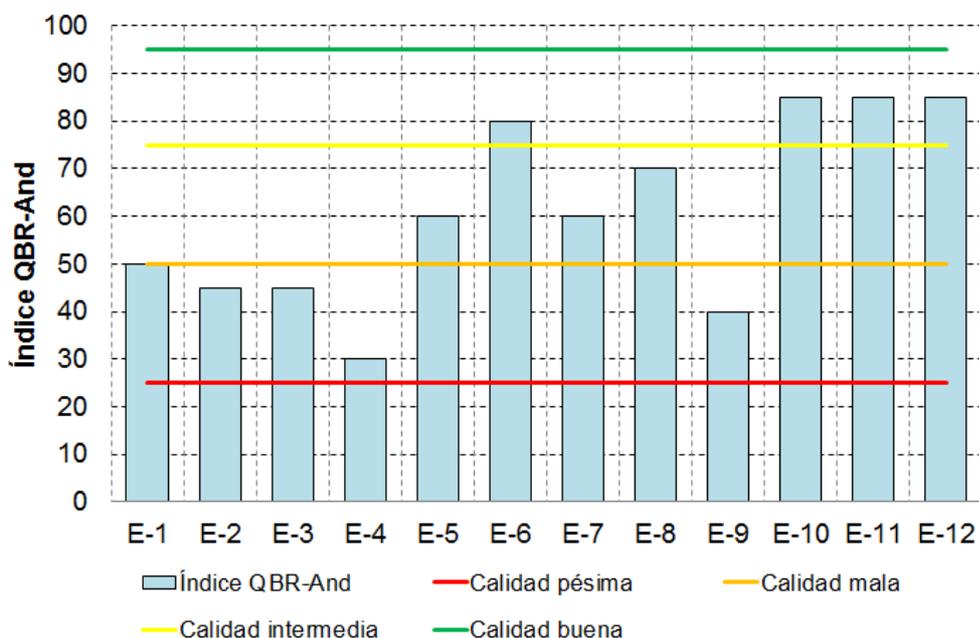
Según el Índice de Hábitat Fluvial (IHF), las estaciones ubicadas entre 2600 y 3800 m.s.n.m. (desde E-1 hasta E-9) mostraron valores por encima de los 40 puntos, considerándose como estaciones con condiciones para albergar una comunidad de macroinvertebrados bentónicos diversa (**Anexo 2 y Tabla 11**). No hubo variaciones de este índice entre épocas de estudio, siendo los valores iguales en ambos periodos de muestreo.

**Tabla 11.** Valores del Protocolo CERA (Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos) y del índice de hábitat fluvial (IHF) por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón.

Estación	Protocolo CERA (Puntaje)	Índice de Hábitat Fluvial (IHF)
E-1	112	49
E-2	98	58
E-3	108	50
E-4	108	49
E-5	104	44
E-6	110	49
E-7	120	49
E-8	118	47
E-9	118	44
E-10	118	35
E-11	118	35
E-12	118	35

### 6.1.3. Índice de calidad de la vegetación de la ribera andina (QBR-And)

Según este índice, las estaciones de muestreo tuvieron puntuaciones desde 30 (E-4) hasta 80 (E-6), para las estaciones ubicadas entre los 2600 y 3800 m.s.n.m., presentando comunidades vegetales representadas por arbustos autóctonos, salvo la estación E-2, en la cual se observó una elevada densidad de árboles de *Eucalyptus*. En el caso de las estaciones ubicadas a más de 4000 m.s.n.m. (E-10, E-11 y E-12), el puntaje fue de 85 para cada una. Se observaron los tres tipos de ribera en la zona de estudio: Tipo 1 (ribera de tipo rocoso) (estación E-9), Tipo 2 (ribera típica de páramos y punas) (estaciones E-10, E-11 y E-12) y Tipo 3 (ribera conformada por una comunidad arbórea y/o arbustiva diversa) (estaciones E-1, E-2, E-3, E-4, E-5, E-6, E-7 y E-8). Para las dos épocas de estudio (seca y lluviosa) no se observaron diferencias notables en los resultados de las evaluaciones y/o índices (**Anexo 3 y Figura 17**).



**Figura 17.** Valores del índice QBR-And para las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú).

## 6.2. Caracterización fisicoquímica del agua

En la primera época de estudio (seca, julio 2014), los valores de la temperatura del agua oscilaron entre 7,4 °C (E-7) y 14,3 °C (E-4). La concentración de oxígeno disuelto varió entre 5,6 ppm (E-1 y E-2) y 6,2 ppm (E-6, E-11 y E-12). El pH varió entre 7,62 (E-6 y E-12) y 7,96 (E-1). La conductividad eléctrica varió entre 188  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  (E-12) y 810  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  (E-5). Finalmente, la concentración de sólidos totales disueltos (STD) varió entre 93 ppm (E-12) y 405 ppm (E-5) (**Tabla 12**).

**Tabla 12.** Parámetros fisicoquímicos del agua por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época seca (julio 2014).

Estación	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (ppm)	pH	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ )	Sólidos Totales Disueltos (ppm)
E-1	10,6	5,6	7,96	400	333
E-2	11,7	5,6	7,85	797	401
E-3	13,5	5,8	7,88	712	359
E-4	14,3	5,8	7,80	674	333
E-5	10,8	5,7	7,73	810	405
E-6	11,7	6,2	7,62	790	395
E-7	7,4	6,0	7,87	615	307
E-8	7,6	6,0	7,77	584	293
E-9	7,9	5,8	7,67	524	261
E-10	10,0	6,0	7,68	197	99
E-11	11,8	6,2	7,63	195	96
E-12	12,3	6,2	7,62	188	93

En la segunda época de estudio (lluviosa, enero 2015), los valores de la temperatura del agua fluctuaron entre 8,5 °C (E-5) y 14,3 °C (E-1). La concentración de oxígeno disuelto varió entre 8,2 ppm (E-7, E-11 y E-12) y 10,0 ppm (E-4). El pH varió entre 8,33 (E-6) y 8,76 (E-12). La conductividad eléctrica varió entre 213  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  (E-11 y E-12) y 588  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  (E-6). Finalmente, la concentración de sólidos totales disueltos (STD) varió entre 104 ppm (E-11) y 291 ppm (E-5) (**Tabla 13**).

**Tabla 13.** Parámetros fisicoquímicos del agua por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época lluviosa (enero 2015).

Estación	Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (ppm)	pH	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ )	Sólidos Totales Disueltos (ppm)
E-1	14,3	9,2	8,58	505	250
E-2	13,4	9,0	8,56	550	276
E-3	13,1	8,6	8,54	558	279
E-4	13,0	10,0	8,50	567	285
E-5	8,5	9,4	8,54	583	291
E-6	9,3	9,2	8,33	588	281
E-7	8,8	8,2	8,45	454	224
E-8	9,6	8,6	8,58	427	211
E-9	10,4	8,6	8,66	376	185
E-10	12,5	8,6	8,70	216	109
E-11	12,3	8,2	8,70	213	104
E-12	13,4	8,2	8,76	213	105

### **6.3. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos**

Considerando ambas épocas de estudio (seca y lluviosa), se identificaron un total de 47 taxa, de los cuales 1 fue a nivel de phylum, 5 a nivel de clase, 17 a nivel de familia, 7 a nivel de subfamilia y 17 a nivel de género. En ambas épocas, la comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo representada por la clase Insecta, con 35 taxa distribuidos en 5 órdenes, dentro de los cuales el orden Diptera fue el más representativo con 17 taxa, seguido del orden Coleoptera con 7 taxa identificados (**Tabla 14**).

Considerando ambas épocas de estudio, se contabilizaron un total de 32613 individuos, de los cuales 27112 pertenecieron a la clase Insecta, siendo el orden Diptera el que presentó la mayor abundancia con 19859 individuos, con 11 familias, de las cuales Chironomidae presentó la mayor abundancia con 18670 individuos. El orden Ephemeroptera fue el segundo más abundante con 4044 individuos, distribuidos en 3 familias (**Tabla 14**).

#### **Época Seca**

Se identificaron un total de 46 taxa, siendo la clase Insecta la más representativa, aportando el 73,91% del total de taxa. Dentro de esta clase, el orden Diptera presentó la mayor diversidad (17 taxa), seguido del orden Coleoptera (7 taxa).

La abundancia total fue de 26563 individuos, siendo la clase Insecta la más abundante con 22608 individuos. Dentro de esta clase, el orden Diptera fue el más abundante, representando el 67,13% del total (**Tabla 15, Figuras 18 y 19**).

Teniendo en cuenta los rangos de altitud, los organismos pertenecientes al phylum Mollusca y a la clase Hydrozoa sólo fueron encontrados en el rango #1 (2600-2800 m.s.n.m.). El orden Amphipoda mostró el menor valor de abundancia en el rango #1 (3 individuos en total), siendo más abundante en los rangos de mayor altitud (rangos #2 y #3). Con respecto a la clase Insecta, todos los órdenes se distribuyeron en los tres rangos de altitud, con diferencias a nivel de familia y/o género.

### **Época lluviosa**

Se identificaron un total de 37 taxa, siendo la clase Insecta la más representativa, aportando el 70,27% del total. Dentro de esta clase, el orden Diptera presentó la mayor diversidad (12 taxa), seguido del orden Trichoptera (6 taxa).

La abundancia total fue de 6050 individuos, siendo la clase Insecta la más abundante con 4504 individuos. Dentro de esta clase, el orden Diptera fue el más abundante, representando el 33,5% del total (**Tabla 15, Figuras 20 y 21**).

Teniendo en cuenta los rangos de altitud, los organismos pertenecientes al phylum Mollusca sólo fueron encontrados en el rango #1 (2600-2800 m.s.n.m.). En esta época de estudio, así como en la época seca, todos los órdenes pertenecientes a la clase Insecta se distribuyeron en los tres rangos de altitud, con diferencias a nivel de familia y/o género.

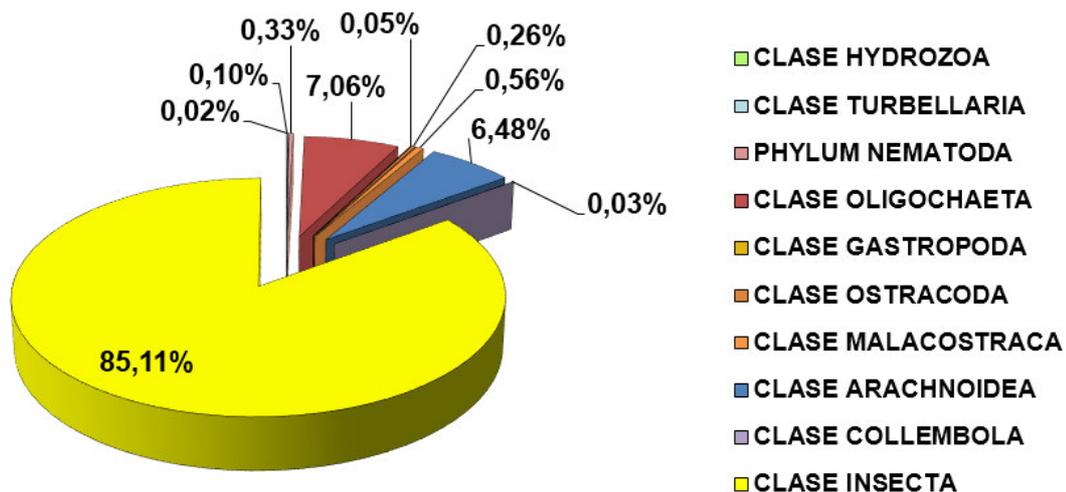
**Tabla 14.** Composición y abundancia de macroinvertebrados bentónicos en la zona alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (julio 2014) y lluviosa (enero 2015).

Phylum Clase Orden	Familia Subfamilia o Especie	ABUNDANCIA		
		Época seca	Época lluviosa	TOTAL
<b>Cnidaria</b> Hydrozoa	No determinada	5	10	15
<b>Platyhelminthes</b> Turbellaria	No determinada	27	205	232
<b>Nematoda</b>	No determinada	88	54	142
<b>Annelida</b> Oligochaeta	No determinada	1876	1113	2989
<b>Mollusca</b> Gastropoda	<b>Lymnaeidae</b>	10	6	16
<b>Basommatophora</b>	<b>Physidae</b>	4	11	15
<b>Arthropoda</b>				
<b>Ostracoda</b>	No determinada	69	45	114
<b>Malacostraca</b> Amphipoda	<b>Hyalellidae</b> <i>Hyalella</i> sp. Smith, 1874	148	67	215
<b>Arachnida</b> Acarina	No determinada	1721	28	1749
<b>Collembola</b>	No determinado 1	4	3	7
	No determinado 2	1	0	1
	No determinado 3	2	4	6
<b>Insecta</b>				
<b>Ephemeroptera</b>	<b>Baetidae</b>			
	<i>Andesiops</i> sp. Lugo-Ortiz & McCafferty, 1999	2472	1048	3520
	<i>Baetodes</i> sp. Needham & Murphy, 1924	199	177	376
	<b>Leptophlebiidae</b>			
	<i>Meridialaris</i> sp. Peters & Edmunds, 1972	72	55	127
	<b>Leptoxyphidae</b>			
<b>Plecoptera</b>	<i>Tricorythodes</i> sp. Ulmer, 1920	17	4	21
	<b>Gripopterygidae</b> <i>Claudioperla</i> sp. Illies, 1963	294	101	395
<b>Trichoptera</b>	<b>Helicopsychoidea</b>			
	<i>Helicopsyche</i> sp. Siebold, 1856	0	22	22
	<b>Hydropsychidae</b>			
	<i>Smicridea</i> sp. McLachlan, 1871	4	5	9
	<b>Hydrobiosidae</b>			
	<i>Atopsyche</i> sp. Banks, 1905	37	40	77
	<i>Cailloma</i> sp. Ross & King, 1951	91	64	155
	<b>Hydroptilidae</b>			
	<i>Metrichia</i> sp. Ross, 1938	364	119	483
<b>Limnephilidae</b>				
<i>Anomalocosmoecus</i> sp. Schmid, 1957	40	91	131	
<b>Coleoptera</b>	<b>Staphylinidae</b>	5	3	8
	<b>Elmidae</b>			
	<i>Austrelmis</i> sp. Brown, 1984	1165	747	1912
	<i>Austrolimnius</i> sp. Carter & Zeck, 1829	1	0	1
	<i>Cyloepus</i> sp. Erickson, 1847	1	0	1
	<i>Neoelmis</i> sp. Musgrave, 1935	5	0	5
	<i>Stethelmis</i> sp. Hinton, 1945	7	1	8
	<b>Curculionidae</b>	2	0	2

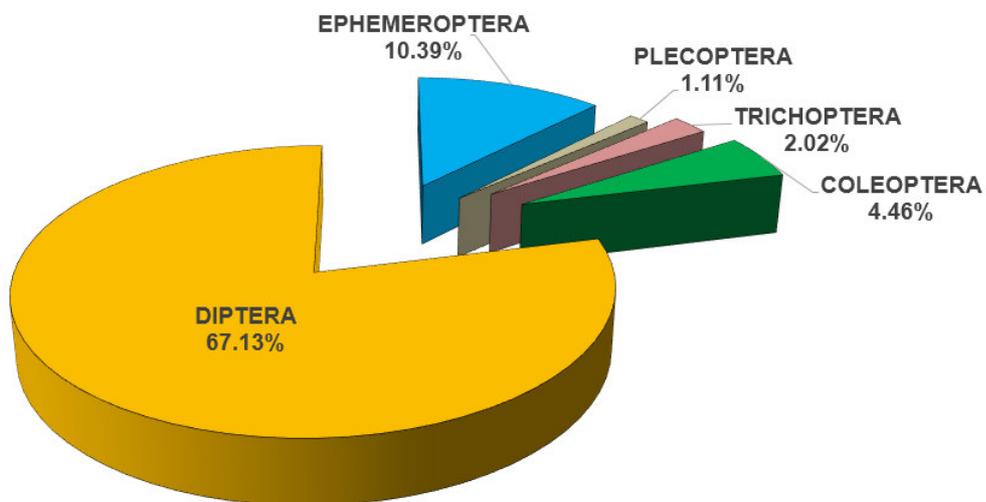
<b>Diptera</b>	<b>Blephariceridae</b>	9	22	31	
	<b>Simuliidae</b>	316	94	410	
	<b>Tabanidae</b>	27	3	30	
	<b>Limoniidae</b>	3	1	4	
	<b>Tipulidae</b>	4	1	5	
	<b>Ceratopogonidae</b>				
	Ceratopogoninae 1	1	1	2	
	Ceratopogoninae 2	15	10	25	
	Forcipomyiinae	1	0	1	
	Leptoconopinae	7	0	7	
	<b>Psychodidae</b>	9	0	9	
	<b>Empididae</b>	598	27	625	
	<b>Chironomidae</b>				
	Tanypodinae	27	1	28	
	Podonominae	700	6	706	
	Chironominae	1236	15	1251	
	Orthocladiinae	14839	1846	16685	
	<b>Muscidae</b>	8	0	8	
	<b>Ephydriidae</b>	32	0	32	
		<b>RIQUEZA</b>	<b>46</b>	<b>37</b>	<b>47</b>
		<b>ABUNDANCIA</b>	<b>26563</b>	<b>6050</b>	<b>32613</b>

**Tabla 15.** Número de taxa colectados en las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (julio 2014) y lluviosa (enero 2015).

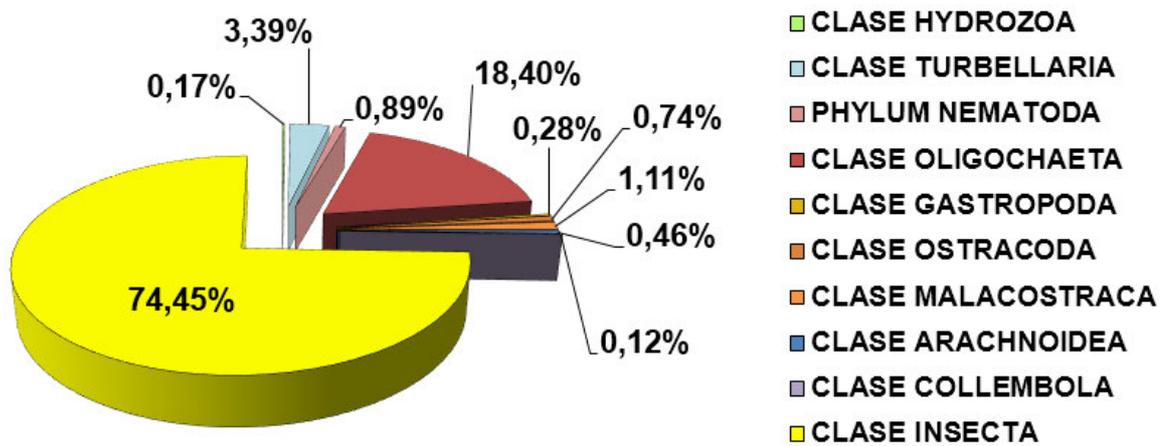
Phylum/Clase	Época seca		Época lluviosa	
	Número de taxa	Porcentaje (%)	Número de taxa	Porcentaje (%)
Cnidaria/Hydrozoa	1	2,17	1	2,70
Platyhelminthes/Turbellaria	1	2,17	1	2,70
Nematoda	1	2,17	1	2,70
Annelida/Oligochaeta	1	2,17	1	2,70
Mollusca/Gastropoda	2	4,35	2	5,41
Arthropoda/Ostracoda	1	2,17	1	2,70
Arthropoda/Malacostraca	1	2,17	1	2,70
Arthropoda/Arachnoidea	1	2,17	1	2,70
Arthropoda/Collembola	3	6,52	2	5,41
<b>Arthropoda/Insecta</b>	<b>34</b>	<b>73,91</b>	<b>26</b>	<b>70,27</b>
Ephemeroptera	4	8,70	4	10,81
Plecoptera	1	2,17	1	2,70
Trichoptera	5	10,87	6	16,22
Coleoptera	7	15,22	3	8,11
Diptera	17	36,96	12	32,43
<b>Total</b>	<b>46</b>	<b>100</b>	<b>37</b>	<b>100</b>



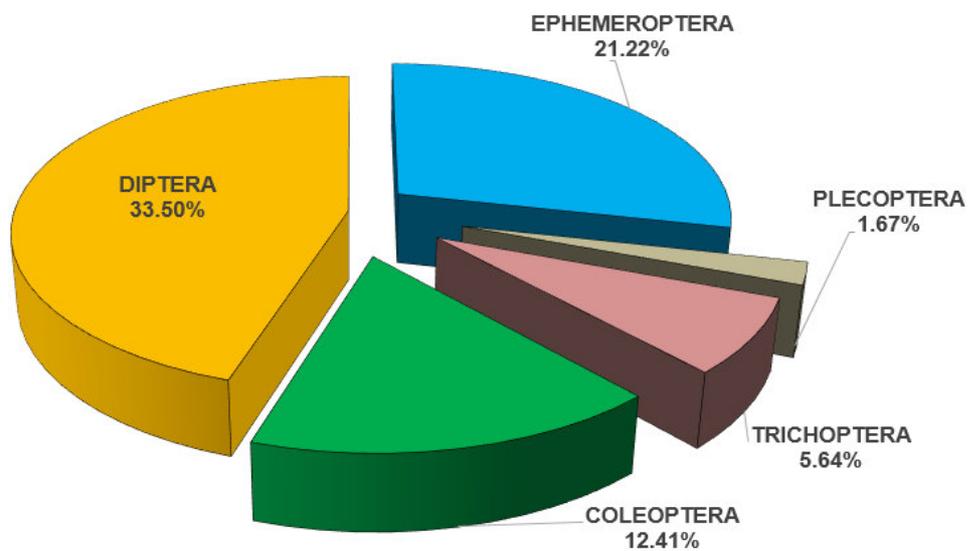
**Figura 18.** Porcentajes de abundancia por clase taxonómica de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época seca (julio 2014).



**Figura 19.** Porcentaje de abundancia por órdenes de Insecta en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época seca (julio 2014).



**Figura 20.** Porcentajes de abundancia por clase taxonómica de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época lluviosa (enero 2015).



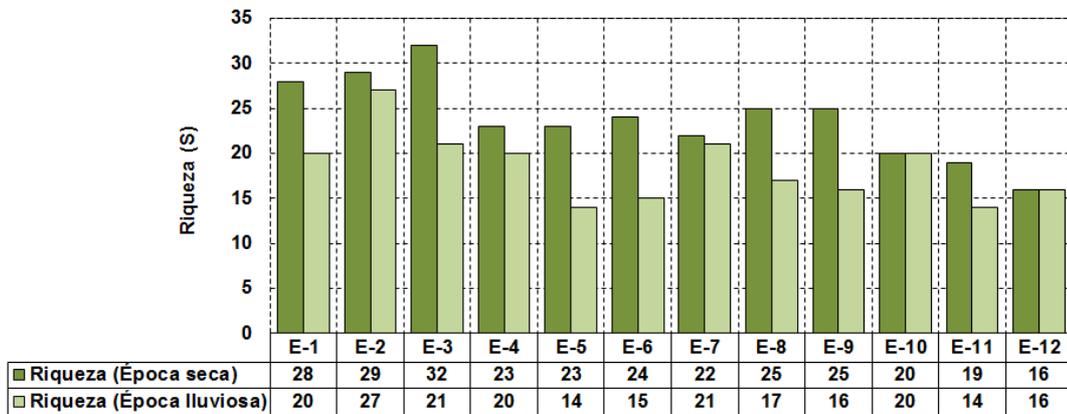
**Figura 21.** Porcentajes de abundancia por órdenes de Insecta en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época lluviosa (enero 2015).

#### 6.4. Riqueza específica (S) y abundancia (N) por estaciones de muestreo

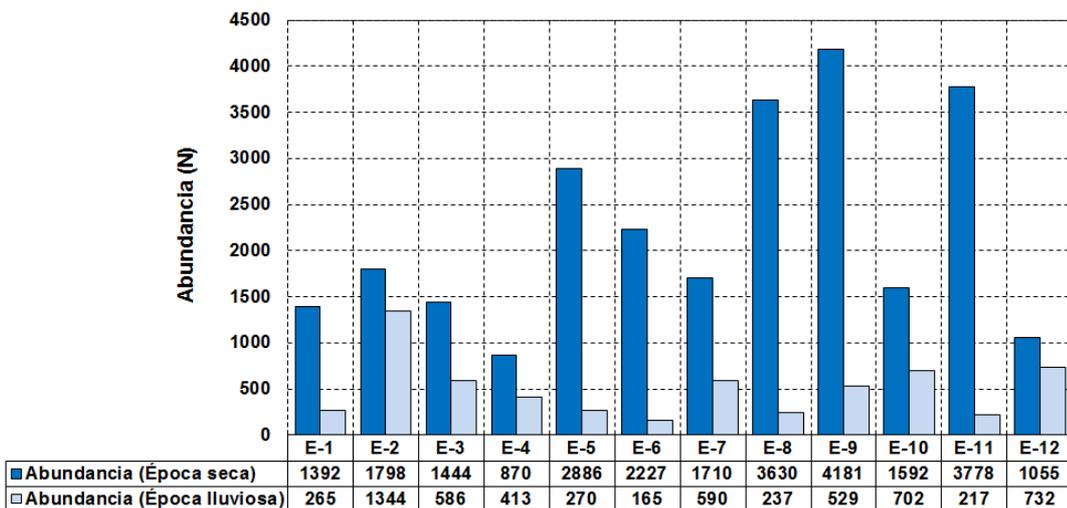
En la época seca (julio 2014), la estación de muestreo que presentó un mayor número de taxa fue E-3 con 32 taxa. En contraste, la estación que presentó un menor número de taxa fue E-12 con 16 taxa. Con respecto a la abundancia, la estación que presentó el mayor número de individuos fue E-9 con 4181 individuos, mientras que la estación que presentó el menor número de individuos fue E-4 con 870 individuos (**Figuras 22 y 23, Tabla 16**). Considerando los rangos de altitud, las estaciones agrupadas en el rango #1 (2600-2800 m.s.n.m.) mostraron los mayores valores de riqueza (28 taxa en promedio), en contraste con las estaciones ubicadas en los rangos #2 (3300-3800 m.s.n.m.) y #3 (4000-4100 m.s.n.m.), las cuales presentaron 24 y 18 taxa en promedio, respectivamente. Según la prueba de Kruskal-Wallis, existen diferencias significativas con respecto a la riqueza específica ( $p=0,021$ ) entre los rangos de altitud, mientras que en el caso de la abundancia, no existen diferencias significativas ( $p=0,091$ ).

En la época lluviosa (enero 2015), la estación de muestreo que presentó un mayor número de taxa fue E-2 con 27 taxa. En cambio, las estaciones que presentaron un menor número de taxa fueron E-5 y E-11 con 14 taxa. Con respecto a la abundancia, la estación que presentó el mayor número de individuos fue E-2 con 1344 individuos, mientras que la estación que presentó el menor número de individuos fue E-6 con 165 individuos (**Figuras 22 y 23, Tabla 17**). Considerando los rangos de altitud, las estaciones agrupadas en el rango #1 mostraron los mayores valores de riqueza (22 taxa en promedio), mientras que las estaciones ubicadas en los rangos #2 y #3 presentaron 17 taxa en promedio. Según la prueba de Kruskal-Wallis, no existen diferencias significativas tanto para la riqueza específica ( $p=0,098$ ) como para la abundancia ( $p=0,475$ ) entre los rangos de altitud.

A nivel temporal, según la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney, existen diferencias significativas tanto para la riqueza específica ( $p=0,006$ ) como para la abundancia ( $p=0,000$ ) entre épocas de estudio (seca y lluviosa).



**Figura 22.** Riqueza específica (S) por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (julio 2014) y lluviosa (enero 2015).



**Figura 23.** Abundancia de individuos (N) por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (julio 2014) y enero (2015).

**Tabla 16.** Riqueza y abundancia de macroinvertebrados bentónicos por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época seca (julio 2014).

	ESTACIONES DE MUESTREO												TOTAL
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	
Altitud (m.s.n.m.)	2699	2719	2742	2740	3384	3428	3587	3689	3776	4040	4045	4046	
Categoría taxonómica													
<b>HYDROZOA</b>			2	3									<b>5</b>
<b>TURBELLARIA</b>			9	5	2		9	1	1				<b>27</b>
<b>NEMATODA</b>	7	1	4	1	12	30	9	2	7	5	9	1	<b>88</b>
<b>OLIGOCHAETA</b>	15	11	88	56	80	21	252	553	541	96	143	20	<b>1876</b>
<b>MOLLUSCA</b>													
Lymnaeidae	2	1	7										<b>10</b>
Physidae	4												
<b>OSTRACODA</b>	6	8	7	13	5	10	6		7		7		<b>69</b>
<b>AMPHIPODA</b>													
<i>Hyalella</i> sp.		1	2		1	1	33	26	35	3	29	17	<b>148</b>
<b>Hydracarina</b>	18	29	24	13	116	373	194	422	376	31	102	23	<b>1721</b>
<b>COLLEMBOLA</b>													
Collembola 1										4			<b>4</b>
Collembola 2										1			<b>1</b>
Collembola 3	1		1										<b>2</b>
<b>EPHEMEROPTERA</b>													
<b>Baetidae</b>													
<i>Andesiops</i> sp.	609	565	745	279	163	32	24	16	19	10	4	6	<b>2472</b>
<i>Baetodes</i> sp.	126	45	20	8									<b>199</b>
<b>Leptophlebiidae</b>													
<i>Meridialaris</i> sp.	1	1	3	3	1	10	1	6	5	13	9	19	<b>72</b>
<b>Leptohyphidae</b>													
<i>Tricorythodes</i> sp.	5	5	1	6									<b>17</b>
<b>PLECOPTERA</b>													
<b>Gripopterygidae</b>													
<i>Claudioperla</i> sp.	1	4	3	19	25	128	11	24	20	13	26	20	<b>294</b>

<b>TRICHOPTERA</b>													
<b>Hydropsychidae</b>													
<i>Smicridea</i> sp.		2	2										4
<b>Hydrobiosidae</b>													
<i>Atopsyche</i> sp.	6	10	9	1	1	2		8					37
<i>Cailloma</i> sp.	2	2	1		5	11		30	32	2	4	2	91
<b>Hydroptilidae</b>													
<i>Metrichia</i> sp.	8	11	11	2	9	30	2	78	213				364
<b>Limnephilidae</b>													
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.			4		7	10	1	3		5	2	8	40
<b>COLEOPTERA</b>													
<b>Staphylinidae</b>	1				1			2	1				5
<b>Elmidae</b>													
<i>Austrelmis</i> sp.	27	48	82	83	174	166	93	116	128	70	107	71	1165
<i>Austrolimnius</i> sp.	1												1
<i>Cylloepus</i> sp.			1										1
<i>Neoelmis</i> sp.	1	2	1	1									5
<i>Stethelmis</i> sp.										4	3		7
<b>Curculionidae</b>					2								2
<b>DIPTERA</b>													
<b>Blephariceridae</b>	6	1	2										9
<b>Simuliidae</b>	127	115	29	3		6	6	11	19				316
<b>Tabanidae</b>	1		3		13	2	1	6	1				27
<b>Limoniidae</b>		1								1	1		3
<b>Tipulidae</b>			1			2		1					4
<b>Ceratopogonidae</b>													
Ceratopogoninae 1								1					1
Ceratopogoninae 2		2	6	1				1	5				15
Forcipomyiinae		1											1
Leptoconopinae	1				1	1		3	1				7
<b>Psychodidae</b>		1				1		1	6				9
<b>Empididae</b>	15	37	32	25	19	101	8	134	88	51	45	43	598
<b>Chironomidae</b>													
Tanypodinae	1	4	10	2		1			2	1	5	1	27
Podonominae		5	2	1	37	30	125	207	190	29	23	51	700
Chironominae	40	101	19	12	363	53	94	38	475	15	22	4	1236
Orthocladiinae	359	782	313	332	1848	1205	818	1935	2006	1240	3235	766	14839
<b>Muscidae</b>					1			2	3	1	1		8
<b>Ephydriidae</b>	1	2		1		1	19	4	2	1	1		32
<b>RIQUEZA</b>	28	29	32	23	23	24	22	25	25	20	19	16	46
<b>ABUNDANCIA</b>	1392	1798	1444	870	2886	2227	1710	3630	4181	1592	3778	1055	26563

**Tabla 17.** Riqueza y abundancia de macroinvertebrados bentónicos por estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Época lluviosa (enero 2015).

	ESTACIONES DE MUESTREO												TOTAL
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	
<b>Altitud (m.s.n.m.)</b>	<b>2699</b>	<b>2719</b>	<b>2742</b>	<b>2740</b>	<b>3384</b>	<b>3428</b>	<b>3587</b>	<b>3689</b>	<b>3776</b>	<b>4040</b>	<b>4045</b>	<b>4046</b>	
<b>Categoría taxonómica</b>													
<b>HYDROZOA</b>	1	1	1	4	1	1				1			<b>10</b>
<b>TURBELLARIA</b>	7	116	17	7	3	2	20	13	6	6	4	4	<b>205</b>
<b>NEMATODA</b>	4	16	13	1	1			5		4		10	<b>54</b>
<b>OLIGOCHAETA</b>	24	177	221	66	45	7	140	5	11	180	12	225	<b>1113</b>
<b>MOLLUSCA</b>													
<b>Lymnaeidae</b>		3	3										<b>6</b>
<b>Physidae</b>	2	9											
<b>OSTRACODA</b>	6	29	4	3		1	1				1		<b>45</b>
<b>AMPHIPODA</b>													
<i>Hyalella</i> sp.	1	6	1	1	2		23	6	7	19		1	<b>67</b>
<b>Hydracarina</b>		4	1	3	1	3	6	3	3	2	2		<b>28</b>
<b>COLLEMBOLA</b>													
<b>Collembola 1</b>			1							1	1		<b>3</b>
<b>Collembola 3</b>	1		2								1		<b>4</b>
<b>EPHEMEROPTERA</b>													
<b>Baetidae</b>													
<i>Andesiops</i> sp.	88	254	155	169	149	99	42	23	34	20	8	7	<b>1048</b>
<i>Baetodes</i> sp.	69	28	10	70									<b>177</b>
<b>Leptophlebiidae</b>													
<i>Meridialaris</i> sp.						1	2	5	1	20	19	7	<b>55</b>
<b>Leptohyphidae</b>													
<i>Tricorythodes</i> sp.		4											<b>4</b>
<b>PLECOPTERA</b>													
<b>Gripopterygidae</b>													
<i>Claudioperla</i> sp.		3			15	1	9	7	1	13	1	51	<b>101</b>

<b>TRICHOPTERA</b>													
<b>Helicopsychidae</b>													
<i>Helicopsyche</i> sp.		20	1	1									<b>22</b>
<b>Hydropsychidae</b>													
<i>Smicridea</i> sp.		4	1										<b>5</b>
<b>Hydrobiosidae</b>													
<i>Atopsyche</i> sp.	5	8	11	11		1	2	2					<b>40</b>
<i>Cailloma</i> sp.	5			4	7	7	12	7	12	7		3	<b>64</b>
<b>Hydroptilidae</b>													
<i>Metrichia</i> sp.	1	103	5	6			2				1	1	<b>119</b>
<b>Limnephilidae</b>													
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.		1				2	4		2	17		65	<b>91</b>
<b>COLEOPTERA</b>													
<b>Staphylinidae</b>	2							1					<b>3</b>
<b>Elmidae</b>													
<i>Austrelmis</i> sp.	3	470	40	17	19	19	45	11	20	66	7	30	<b>747</b>
<i>Stethelmis</i> sp.										1			<b>1</b>
<b>DIPTERA</b>													
<b>Blephariceridae</b>	2	1	3	3	9		1	3					<b>22</b>
<b>Simuliidae</b>	7	16		12	5	2	3		4	12	7	26	<b>94</b>
<b>Tabanidae</b>			2					1					<b>3</b>
<b>Limoniidae</b>							1						<b>1</b>
<b>Tipulidae</b>		1											<b>1</b>
<b>Ceratopogonidae</b>													
Ceratopogoninae 1										1			<b>1</b>
Ceratopogoninae 2		5					1	1	2	1			<b>10</b>
<b>Empididae</b>	3	6	2	4			2	3	1	2	1	3	<b>27</b>
<b>Chironomidae</b>													
Tanypodinae									1				<b>1</b>
Podonominae	1	1		1			1		1			1	<b>6</b>
Chironominae		2		1	2	2	2			2		4	<b>15</b>
Orthoclaadiinae	33	56	92	29	11	17	271	141	423	327	152	294	<b>1846</b>
<b>RIQUEZA</b>	20	27	21	20	14	15	21	17	16	20	14	16	<b>37</b>
<b>ABUNDANCIA</b>	265	1344	586	413	270	165	590	237	529	702	217	732	<b>6050</b>

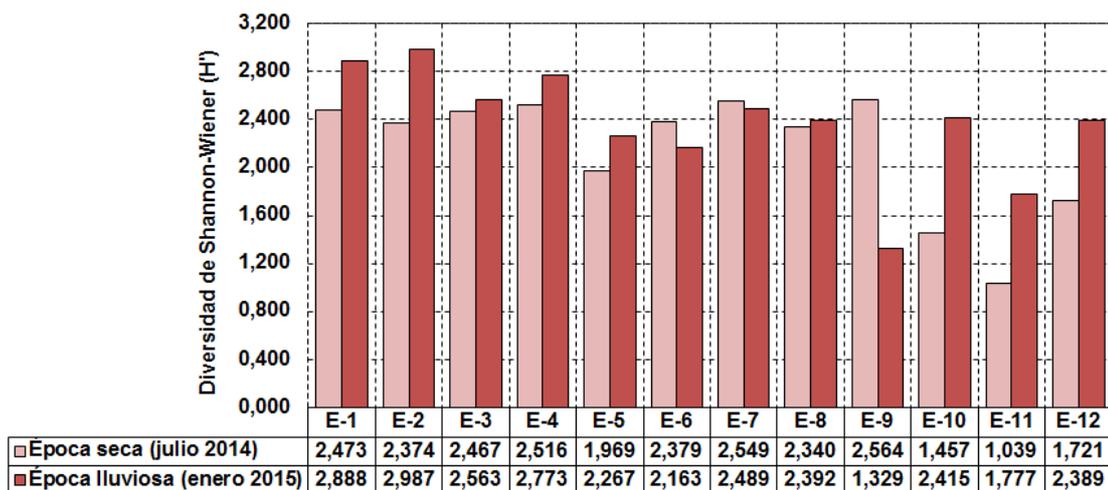
## 6.5. Estructura comunitaria

### 6.5.1. Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H')

En la época seca (julio 2014) la estación de muestreo que presentó el mayor valor del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') fue E-9 con 2,564 bitios/individuo. En contraste, la estación que presentó el menor valor de H' fue E-11 con 1,039 bitios/individuo (**Figura 24**). Según la prueba de Kruskal-Wallis, existen diferencias significativas con respecto a este índice ( $p=0,044$ ) entre los rangos de altitud.

En la época lluviosa (enero 2015) la estación que presentó el mayor valor de H' fue E-2 con 2,987 bitios/individuo. En contraste, la estación que presentó el menor valor de H' fue E-9 con 1,329 bitios/individuo (**Figura 24**). Según la prueba de Kruskal-Wallis, existen diferencias significativas con respecto a la diversidad ( $p=0,025$ ) entre los rangos de altitud.

A nivel temporal, según la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney, no existen diferencias significativas para este índice ( $p=0,326$ ) entre épocas de estudio (seca y lluviosa).



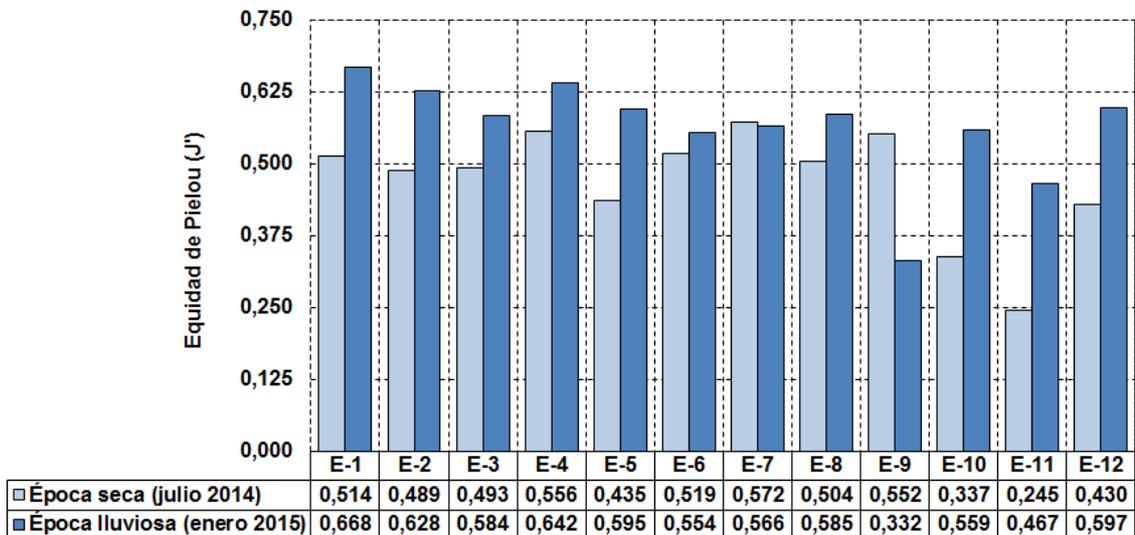
**Figura 24.** Comparación del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') por estaciones entre épocas de estudio.

### 6.5.2. Índice de equidad de Pielou (J')

En la época seca (julio 2014) la estación de muestreo que presentó el mayor valor del índice de equidad de Pielou (J') fue E-7 con 0,572. En contraste, la estación que presentó el menor valor de J' fue E-11 con 0,245 (**Figura 25**). Según la prueba de Kruskal-Wallis, existen diferencias significativas con respecto a este índice ( $p=0,041$ ) entre los rangos de altitud.

En la época lluviosa (enero 2015) la estación que presentó el mayor valor de J' fue E-1 con 0,668. En contraste, la estación que presentó el menor valor de J' fue E-9 con 0,332 (**Figura 25**). Según la prueba de Kruskal-Wallis, no existen diferencias significativas con respecto este índice ( $p=0,087$ ) entre los rangos de altitud.

A nivel temporal, según la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney, existen diferencias significativas para este índice ( $p=0,005$ ) entre épocas de estudio (seca y lluviosa).



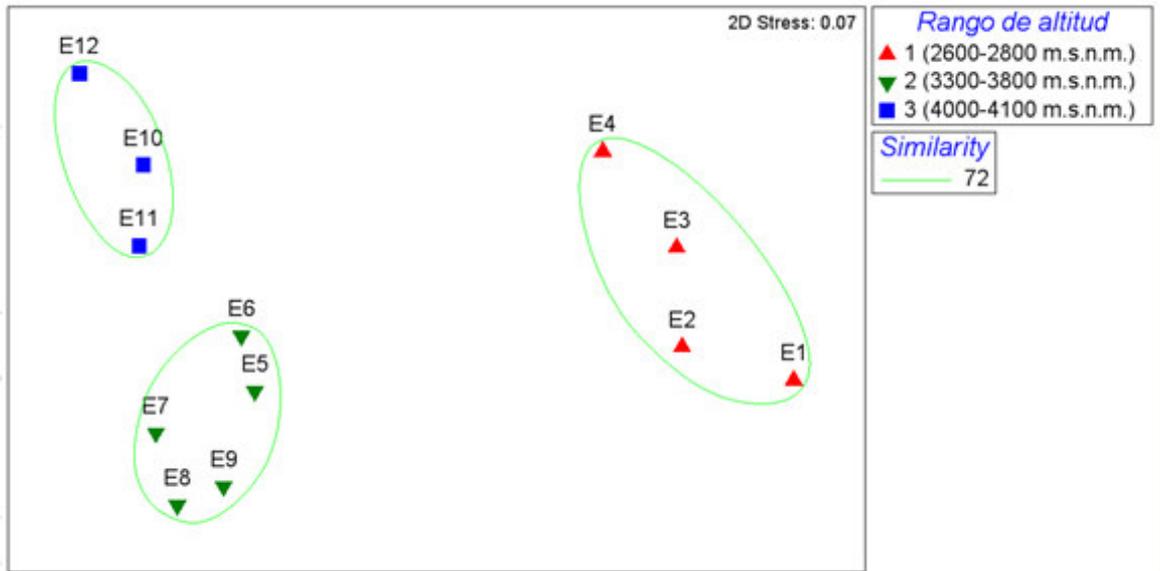
**Figura 25.** Comparación del índice de equidad de Pielou (J') por estaciones entre épocas de estudio.

## 6.6. Análisis multivariado

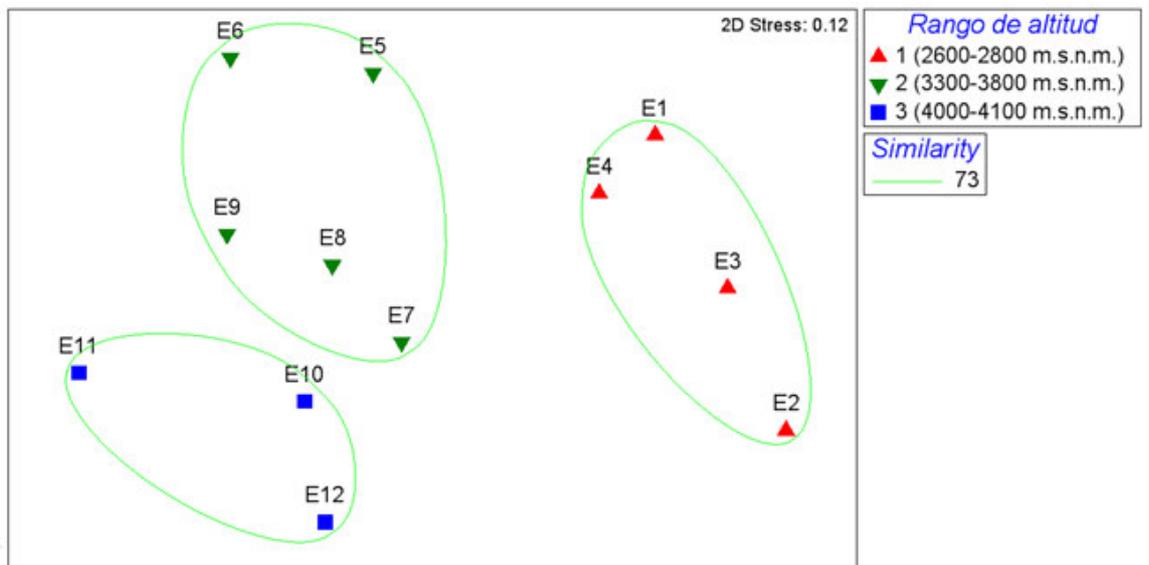
A nivel temporal, el análisis de similitud ANOSIM mostró que sí existen diferencias significativas entre las dos épocas de estudio (seca y lluviosa) ( $R=0,621$  y  $p=0,001$ ). A nivel espacial, el análisis de similitud ANOSIM mostró diferencias significativas entre los rangos de altura en la época seca ( $R=0,948$  y  $p=0,001$ ) y en la época lluviosa ( $R=0,781$  y  $p=0,001$ ).

Este análisis fue complementado con el análisis SIMPER, el cual para la época seca presentó valores de similaridad de 62,5% (rangos #1 y #2), 58,37% (rangos #1 y #3) y 70,73% (rangos #2 y #3). Para la época lluviosa, los valores de similaridad fueron 56,24% (rangos #1 y #2), 52,55% (rangos #1 y #3) y 63,83% (rangos #2 y #3) (**Anexos 8, 9, 10 y 11**).

El análisis de agrupamiento de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos utilizando el método no paramétrico de Escalamiento Multidimensional (nMDS), para las estaciones de muestreo durante la época seca (julio 2014), muestra tres (3) grupos con un nivel de similitud del 72% y un valor de stress de 0,07 (**Figura 26**). Esto evidencia la heterogeneidad espacial de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos explicada por las diferencias a nivel de la gradiente altitudinal. Para las estaciones de muestreo durante la época lluviosa (enero 2015), el análisis nMDS muestra tres (3) grupos con un nivel de similitud del 73% y un valor de stress de 0,12 (**Figura 27**). Esto evidencia que la heterogeneidad espacial es más fuerte entre las estaciones, puesto que el grado de agrupamiento es menor, mostrándose más distanciadas entre sí, pero manteniendo el patrón observado en la época seca.



**Figura 26.** Análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS) por estaciones de muestreo y rangos de altura para la época seca.



**Figura 27.** Análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS) por estaciones de muestreo y rangos de altura para la época lluviosa.

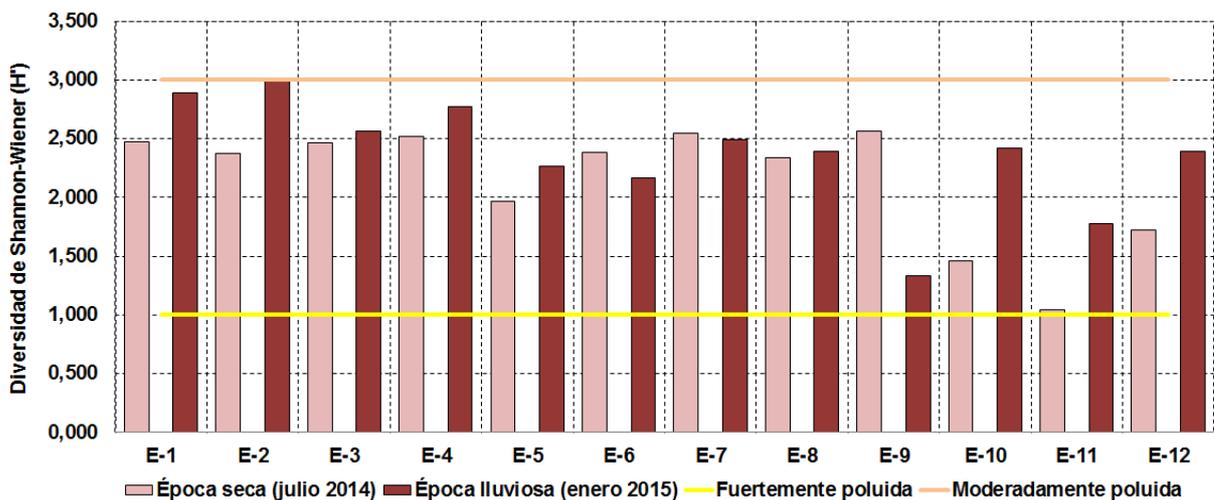
## 6.7. Métricas de bioindicación

### 6.7.1. Métricas simples

#### 6.7.1.1. Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ )

Según los valores de diversidad de Shannon-Wiener, tanto en la época seca (julio 2014) como en la época lluviosa (enero 2015), las estaciones de muestreo presentaron una calidad del agua considerada como moderadamente poluida.

En la época seca, la estación que presentó el mayor valor fue la estación E-9, y la estación que presentó el menor valor fue E-11; mientras que en la época lluviosa, la estación que presentó el mayor valor fue E-2, y la estación que presentó el menor valor fue E-9 (**Figura 28**).



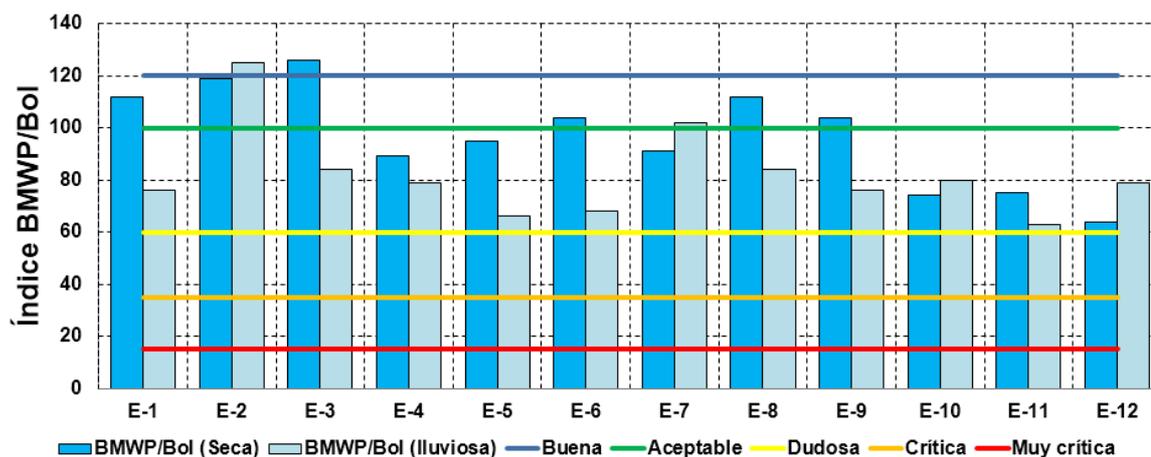
**Figura 28.** Diversidad de Shannon-Wiener de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua en las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (2014) y lluviosa (2015).

## 6.7.2. Índices bióticos

### 6.7.2.1. Índice de Monitoreo Biológico adaptado para Bolivia (por sus siglas en inglés BMWP/Bol)

Según los valores del BMWP/Bol obtenidos en la época seca (julio 2014), las estaciones de muestreo presentaron una calidad del agua desde buena hasta aceptable. Las estaciones que presentaron los mayores valores fueron E-3 y E-2, calificadas como estaciones con calidad de agua aceptable, y la que presentó el menor valor fue la estación E-12, considerada como estación de calidad de agua aceptable (**Figura 29**).

En la época lluviosa (enero 2015), las estaciones de muestreo presentaron una calidad del agua desde buena hasta aceptable. La estación que presentó el mayor valor fue E-2, calificada como una estación con buena calidad de agua, y la que presentó el menor valor fue E-11, considerada como estación de calidad de agua aceptable (**Figura 29**).

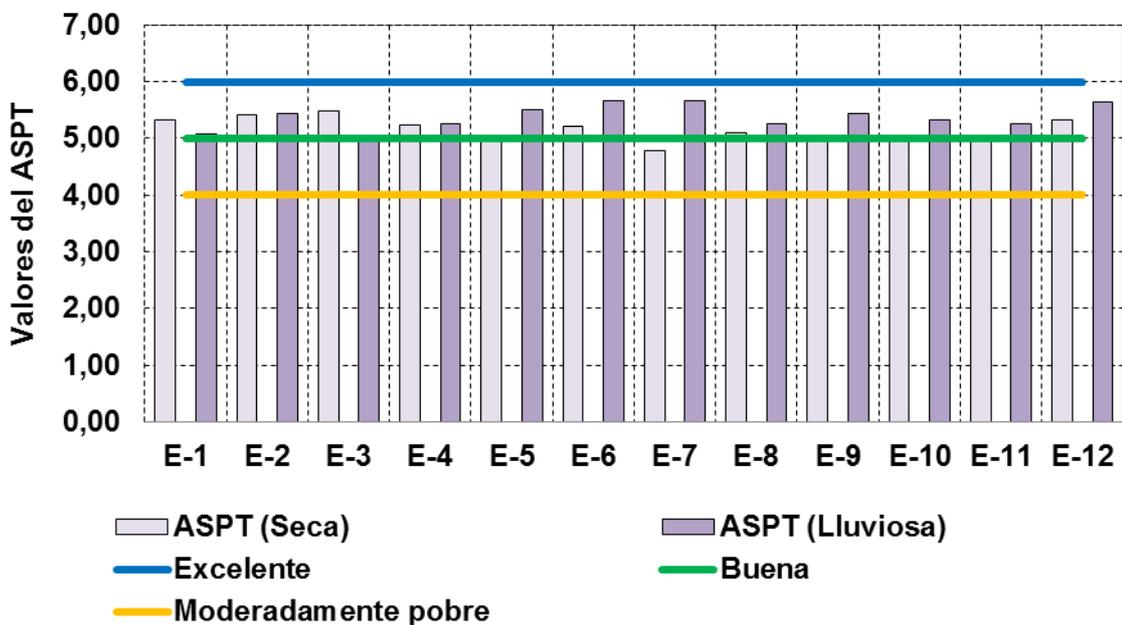


**Figura 29.** Valores del BMWP/Bol utilizando los macroinvertebrados bentónicos y calidad de agua en las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú). Épocas seca (2014) y lluviosa (2015).

### 6.7.2.2. Puntaje Promedio por Taxón (por sus siglas en inglés ASPT)

Según los valores del ASPT obtenidos en la época seca (julio 2014), las estaciones de muestreo presentaron una calidad del agua desde buena hasta moderada. La estación que presentó el mayor valor fue E-3, considerada como estación de calidad del agua buena, y la estación que presentó el menor valor fue E-7, calificada como estación de calidad de agua moderada (**Figura 30**).

En la época lluviosa (enero 2015), las estaciones de muestreo presentaron una calidad del agua desde muy buena hasta moderada. Las estaciones que presentaron los mayores valores fueron E-6 y E-7, calificadas como estaciones de calidad del agua muy buena, y la estación que presentó el menor valor fue E-3, considerada como estación de calidad de agua moderada (**Figura 30**).



**Figura 30.** Valores del ASPT utilizando los macroinvertebrados bentónicos y calidad de agua en las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú).  
Épocas seca (2014) y lluviosa (2015).

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

Según los valores del ABI obtenidos en la época seca (julio 2014), las estaciones de muestreo presentaron un estado ecológico desde muy bueno hasta bueno. La estación que presentó el mayor valor fue E-3, considerada como estación con estado ecológico muy bueno, y la estación que presentó el menor valor fue E-12, catalogada como estación con estado ecológico bueno (Figura 31).

En la época lluviosa (enero 2015), las estaciones de muestreo presentaron un estado ecológico desde muy bueno hasta bueno. La estación que presentó el mayor valor fue E-2, considerada como estación con estado ecológico muy bueno, y las estaciones que presentaron los menores valores fueron E-5 y E-11, catalogadas como estaciones con estado ecológico bueno (Figura 31).

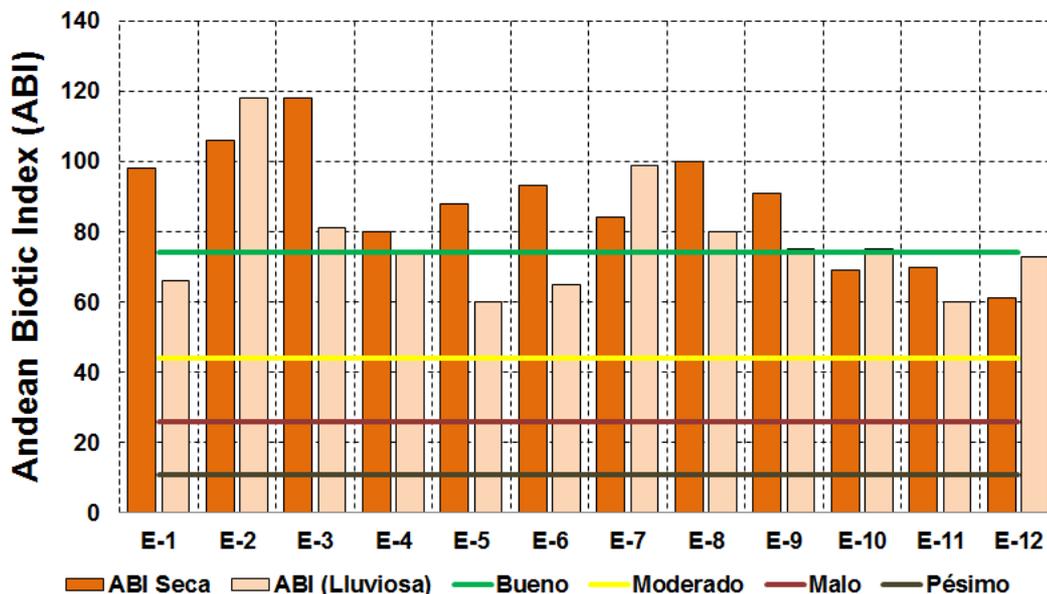


Figura 31. Valores del ABI utilizando los macroinvertebrados bentónicos y estado ecológico en las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Chillón (Lima, Perú).

Épocas seca (2014) y lluviosa (2015).

### 6.7.3. Correlación entre las métricas de bioindicación y el índice de hábitat fluvial

En la época seca (julio 2014), las métricas que presentaron una significativa y positiva correlación con el índice IHF fueron H' (0,585), BMWP/Bol (0,777) y ABI (0,779) (**Tabla 18**).

En la época lluviosa (enero 2015), la métrica que presentó una significativa y positiva correlación con el índice IHF fue H' (0,679) (**Tabla 18**).

**Tabla 18.** Correlación de Spearman entre el índice IHF (Pardo *et al.* 2002) y las cuatro métricas de bioindicación. Épocas seca (julio 2014) y lluviosa (enero 2015).

Rho de Spearman		H'	BMWP/Bol	ASPT	ABI
IHF (Época seca)	Coeficiente de correlación	0,585*	0,777**	0,544	0,779**
	Sig. (bilateral)	0,045	0,003	0,067	0,003
IHF (Época lluviosa)	Coeficiente de correlación	0,679*	0,515	-0,121	0,53
	Sig. (bilateral)	0,015	0,087	0,708	0,076

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

## 6.8. Relación entre los factores abióticos y bióticos

Según la correlación no paramétrica de Spearman, en la época seca se observó correlación positiva y significativa entre la riqueza de especies (S) y el pH ( $R=0,615$ ;  $p=0,033$ ) y entre la riqueza de especies y los sólidos totales disueltos (STD) ( $R=0,624$ ;  $p=0,030$ ), y correlación negativa y significativa entre la riqueza de especies y el oxígeno disuelto (OD) ( $R=-0,682$ ;  $p=0,014$ ). La correlación entre la riqueza de especies y la temperatura del agua fue negativa y no significativa ( $R=-0,032$ ;  $p=0,922$ ) (**Anexo 11**).

En la época lluviosa se observó correlación positiva entre la riqueza de especies (S) y la temperatura del agua ( $R=0,452$ ;  $p=0,140$ ), la conductividad eléctrica ( $R=0,113$ ;  $p=0,725$ ) y los sólidos totales disueltos (STD) ( $R=0,149$ ;  $p=0,645$ ); sin embargo, las correlaciones no fueron significativas. Además, se observó correlación negativa entre la riqueza de especies (S) y el pH ( $R=-0,240$ ;  $p=0,452$ ) y entre la riqueza de especies y el oxígeno disuelto ( $R=-0,011$ ;  $p=0,973$ ); sin embargo, las correlaciones no fueron significativas (**Anexo 12**).

## 7. DISCUSIÓN

### Caracterización ambiental

Con respecto a las características hidrológicas en ambas épocas de estudio, se evidenció cambios notorios en el nivel del agua en todas las estaciones de muestreo tanto en el ancho como en la profundidad, lo cual es una característica propia de los ríos altoandinos, cuyos patrones de variabilidad temporal en el flujo de agua tienen impactos notables sobre la estructura y función en el ecosistema fluvial (Ríos 2008). En todas las estaciones de muestreo, el tipo de sustrato estuvo conformado principalmente por una mezcla de canto rodado y grava, con porcentajes promedio de 40% cada uno, siendo los más representativos en la zona de estudio y, por lo tanto, los más habitados por los macroinvertebrados bentónicos. Esta composición del sustrato fluvial coincide con lo reportado por Villamarín *et al.* (2014) en ríos altoandinos de Ecuador y Perú.

Según el protocolo CERA (Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos) (Acosta *et al.* 2009), todas las estaciones de muestreo fueron catalogadas como de referencia, excepto la estación E-2, puesto que obtuvo un puntaje por debajo del mínimo requerido para ser considerada como tal. De las estaciones de muestreo consideradas como de referencia, E-7, E-8, E-9, E-10, E-11 y E-12 mostraron las mejores condiciones ambientales. En la estación E-4 se evidenció cierto grado de canalización al observarse una estructura hecha a base de concreto y extendiéndose hacia el lecho del río, sin embargo esta estructura no denota una fuerte modificación del caudal ni del ambiente acuático. De modo general, en todas las estaciones se registraron perturbaciones (uso del agua para piscicultura, ganadería, punto de descarga de desagües, etc.); sin embargo esto no denotó cambios drásticos ni fuerte degradación en la zona de estudio.

Según el Índice de Hábitat Fluvial (IHF) (Pardo *et al.* 2002), desde la estación E-1 hasta E-9 presentaron valores de índice por encima de los 40 puntos, los cuales son necesarios para que las estaciones sean consideradas como puntos con una diversidad de macroinvertebrados diversa. Las estaciones E-10, E-11 y E-12 presentaron los valores más bajos debido a que en los apartados “Porcentaje de sombra en el cauce” y “Elementos de heterogeneidad” obtuvieron el menor puntaje (3 y 2 puntos, respectivamente) debido a que a esa altitud en la que se encuentran (más de 4000 m.s.n.m.) no hay desarrollo de vegetación que proporcione sombra, tal como arbustos y/o árboles, existiendo principalmente pastos andinos los cuales suponen además una escasa incorporación de material vegetal alóctono colonizable por los macroinvertebrados bentónicos (Acosta *et al.* 2009). A pesar de que ninguna de las estaciones de muestreo registró valores superiores a 75 puntos (considerados como puntajes óptimos), se observó en campo que el grado de integridad ecológica osciló entre regular y buena, representada por comunidades de macroinvertebrados diversas en la zona de estudio.

Los valores del índice de calidad de vegetación de ribera andina (QBR-And) evidenciaron las diferencias en la composición de la vegetación a lo largo del gradiente altitudinal, influenciada principalmente por la temperatura (Jacobsen *et al.* 2003). Los resultados coinciden con los reportados por Acosta *et al.* (2010) y Villamarín *et al.* (2014), donde resaltan las grandes diferencias de la cobertura vegetal debido a la gradiente altitudinal: gramíneas y arbustos pequeños en la puna y árboles y arbustos de mayor tamaño en zonas de menor altitud, como por ejemplo la presencia de *Eucalyptus* spp., especie cuya introducción parece ser generalizada en zonas altoandinas entre los 2000 y 3800 m.s.n.m. aproximadamente.

En general, los porcentajes de cobertura vegetal reportados por Acosta *et al.* (2010) y Villamarín *et al.* (2014) son similares a los reportados en la zona de estudio: >80% de la cubierta vegetal representada por gramíneas y arbustos propios de puna en estaciones ubicadas a más de los 4000 m.s.n.m. En las estaciones ubicadas entre los 2500 y 4000 m.s.n.m. los valores difieren de los estudios citados anteriormente debido a que el uso de la tierra varía de localidad en localidad, dependiendo de la actividad económica a la que se dediquen sus habitantes.

### **Caracterización fisicoquímica del agua**

Con respecto a los parámetros fisicoquímicos del agua en las estaciones de muestreo, en ambas épocas, los valores de oxígeno disuelto (OD) se encontraron dentro de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (DS 002-2008-MINAM) para la categoría 4 (Conservación del Ambiente Acuático) ( $\geq 5$  mg/L) (**Anexo 4**), lo cual demuestra una buena oxigenación producto de la turbulencia del agua y las bajas temperaturas propias de la zona. En cuanto al pH, tanto en la época seca como en la época lluviosa, todas las estaciones de muestreo presentaron valores considerados ligeramente alcalinos (entre 7,62 y 8,76), los cuales no suponen una condición adversa para el desarrollo de la comunidad bentónica, ubicándose dentro del rango de aceptabilidad según los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (**Anexo 4**). Con respecto a la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos (STD), se observó que los valores reportados para la época seca fueron en general mayores en comparación con la época lluviosa, siendo más elevados en las estaciones ubicadas en los rangos #1 y #2, las cuales tienen impacto directo por parte de efluentes domésticos y piscícolas y prácticas agrícolas, siendo principales fuentes de contaminación en ambientes acuáticos continentales (Jacobsen 1998).

## **Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos**

En general, se observó que la composición de órdenes y familias de macroinvertebrados bentónicos fue similar en ambas épocas de estudio (seca y lluviosa); sin embargo, hubo diferencias notables con respecto a los valores de abundancia puesto que los niveles altos de agua (aumento del caudal) condicionan una baja abundancia de organismos en las comunidades de macroinvertebrados, y los niveles bajos (disminución del caudal) permiten la recuperación del número de individuos (Molina *et al.* 2008), y una posterior estabilidad de la comunidad. Además, la composición de macroinvertebrados bentónicos en ambientes lóticos está influenciada principalmente por la calidad y naturaleza mineral del sustrato y la velocidad de corriente (Jacobsen 1998, Pérez y Segnini 2005).

Con respecto a los macroinvertebrados bentónicos “no insectos”, la clase Hydrozoa es incluida en los resultados de este estudio. Según Roldán (1996), los organismos de esta clase son habitantes típicos de aguas corrientes poco profundas (someras) bien oxigenadas, adheridas a la vegetación y/o rocas. Esta clase, en la época seca, se distribuyó en el rango de altitud #1 (2600-2800 m.s.n.m.), mientras que en la época lluviosa se encontró en todos los rangos de altitud establecidos, posiblemente influenciada por el aumento de la turbulencia, lo cual conlleva al aumento en los niveles de oxígeno disuelto. Caso parecido es el reportado para la clase Turbellaria, organismos llamados vulgarmente “planarias”. Este grupo, presentó los mayores valores de abundancia en la época lluviosa. Según Roldán (1996) estos organismos viven en aguas bien oxigenadas, asociadas a sustratos rocosos. Las dos familias de moluscos encontradas, Physidae y Lymnaeidae, se encuentran restringidas al rango de altitud #1 en ambas épocas de estudio, rango en el cual los valores de conductividad eléctrica y pH son mayores con respecto a los valores obtenidos en los rangos de altitud #2 y #3. Esto concuerda con lo explicado por Roldán (1996), el cual sostiene que los organismos pertenecientes al phylum Mollusca viven por lo general

en ambientes con muchas sales, considerándolos como indicadores de aguas duras y alcalinas. El phylum Nematoda y las clases Oligochaeta, Ostracoda y Arachnoidea (Hydracarina) se distribuyeron de manera continua a los largo de los tres rangos de altitud, con diferencias a nivel temporal (mayor abundancia en la época seca). Con respecto a su importancia como bioindicadores, la clase Oligochaeta es típica de ambientes acuáticos con cierto grado de polución orgánica (Encalada *et al.* 2011), lo cual pudo constatarse en campo por la presencia de vertimiento de aguas de desagüe al río. El orden Amphipoda (clase Malacostraca), representado por *Hyalella* sp., también mostró un patrón de distribución similar, pero presentó menores valores de abundancia en el rango #1 en ambas épocas de estudio. Resultados similares mostraron los estudios realizados por Villamarín (2008) y Acosta (2009), los cuales destacan que *Hyalella* es un organismo representativo de zonas de mayor altitud (por encima de los 3500 m.s.n.m.), en la cual se ubican ambientes con alta concentración de oxígeno disuelto y bajas temperaturas.

En el caso de los macroinvertebrados bentónicos pertenecientes al phylum Arthropoda, Collembola fue la clase que presentó los menores valores de abundancia en ambas épocas de estudio con respecto a otros órdenes. No se reportaron organismos de esta clase en el rango de altitud #2 (3300-3800 m.s.n.m.). El hecho de que estos organismos sean considerados terrestres, habitando hojarasca y vegetación ribereña con adaptaciones para vivir en la superficie del agua ya que pueden ser llevados al ambiente acuático por acción del viento (Hanson *et al.* 2010 y Merrit *et al.* 2008), explica los bajos valores de abundancia de este grupo en la zona de estudio.

Con respecto al orden Ephemeroptera, las 3 familias reportadas en este estudio (Baetidae, Leptophlebiidae y Leptohyphidae) fueron también encontradas dentro de los mismos rangos de altitud en el río Cañete por Acosta (2009). Dentro de la familia Baetidae, la dominancia y amplia distribución de *Andesiops* y el restringido rango de distribución (2600-2800 m.s.n.m.) de *Baetodes* en ambos periodos de estudio también es reportado por Villamarín (2008) y Acosta (2009) en ríos altoandinos de Ecuador y Perú, lo cual confirma la influencia de la temperatura en la distribución de estos organismos. Este patrón de distribución también se observó en *Tricorythodes* (familia Leptohyphidae), el cual se reportó sólo en el rango de altitud #1 y en *Meridialaris* (familia Leptophlebiidae), género que presentó mayores valores de abundancia en ambas épocas de estudio en los rangos de altitud #2 y #3, los cuales presentaron altos valores de oxígeno disuelto, aguas frías y turbulentas, y sustrato rocoso. Con respecto a su importancia como bioindicadores, este orden de insectos ha sido considerado por muchos autores como uno de los órdenes más sensibles a la contaminación del agua junto con Plecoptera y Trichoptera; sin embargo, existen familias que muestran una gran variedad de tolerancias a las condiciones ambientales, tales como Baetidae y Leptohyphidae, las cuales toleran un amplio rango de temperatura y, hasta cierto punto, contaminación orgánica (Flowers y De la Rosa 2010). Esto explica la alta abundancia del género *Andesiops* observada en las estaciones del rango de altitud #1 (influenciadas por el vertimiento de aguas residuales de uso doméstico y piscícola), en comparación con las estaciones localizadas en los rangos de altitud #2 y #3.

Dentro del orden Plecoptera, *Claudioperla*, perteneciente a la familia Gripopterygidae, es el único que se reportó en este estudio y, en base a los estudios realizados por Villamarín (2008) y Acosta (2009) en ríos altoandinos de Ecuador y Perú, al parecer es el único que se encuentra en ríos altoandinos de la región occidental de los Andes. Este género es representativo de ambientes lóticos bien oxigenados, turbulentos y de fondo pedregoso (Roldán 1996), condiciones que cumplen las estaciones de muestreo ubicadas en los rangos de altitud #2 y #3.

Dentro del orden Trichoptera, 4 de las 5 familias encontradas en este estudio fueron reportadas también por Ortiz (2012) en dos tributarios del río Rímac (Curipata y Chucumayo): Hydroptilidae, Hydrobiosidae, Hydropsychidae y Limnephilidae. La presencia del género *Smicridea* (familia Hydropsychidae) en el rango de altitud #1 podría deberse a que este rango de altitud estuvo influenciado por el vertimiento de aguas residuales de uso doméstico y piscícola, lo cual coincide con lo propuesto por Encalada *et al.* (2011), quienes señalan que estos organismos toleran contaminación orgánica y se les considera como indicadores de aguas oligo a eutróficas. Acosta (2009) reporta también este género para la cuenca altoandina del río Cañete en un rango de altitud similar al del presente estudio (2500-3000 m.s.n.m.). Con respecto a la familia Hydrobiosidae, fueron registrados los géneros *Atopsyche* y *Cailloma*, únicos géneros reportados para el Perú (Huamantínco y Ortiz 2010). *Atopsyche* se distribuyó en los rangos de altitud #1 y #2 en ambas épocas de estudio, siendo más abundante en la época seca que en la lluviosa. El género *Cailloma* fue encontrado en todas las estaciones de muestreo en ambas época de estudio. Ambos géneros fueron reportados también por Acosta (2009) en la cuenca altoandina del río Cañete. Los datos de abundancia obtenidos en el presente estudio muestran una dominancia de *Cailloma* sobre *Atopsyche*, en ambas época de estudio, lo cual no coincide con lo expuesto por Huamantínco y Ortiz (2010), en donde reportan una dominancia de

*Atopsyche* sobre *Cailloma* en estaciones ubicadas entre 2172 y 3700 m.s.n.m. El género *Metrichia* (familia Hydroptilidae), fue el único reportado en este estudio, distribuyéndose en los rangos #1 y #2 en la época seca, y los tres rangos establecidos en la época lluviosa, asociado en ambas épocas a algas filamentosas, lo cual coincide con lo reportado por Huamantínco y Ortiz (2010), quienes encontraron larvas de este género asociadas a algas filamentosas y en zonas de rápidos. Finalmente, el género *Anomalocosmoecus*, perteneciente a la familia Limnephilidae, mostró bajos valores de abundancia en el rango de altitud #1, pero altos valores en los rangos de altitud #2 y #3, para ambas épocas de estudio, lo cual coincide con lo expuesto por Huamantínco & Ortiz (2010), en donde señalan que la distribución de este género está fuertemente influenciado por la altitud y habitando sustratos de piedras.

El orden Coleoptera estuvo representado por tres familias: Staphylinidae, Curculionidae y Elmidae. Staphylinidae mostró bajos valores de abundancia en los rangos de altitud #1 y #2, en ambas épocas de estudio, puesto que es un grupo primordialmente terrestre, pero hay algunas especies que son riparias, otras que se las puede encontrar sobre la superficie del agua y unas pocas que son acuáticas (Domínguez & Fernández 2009, Merritt *et al.* 2008). La familia Curculionidae, considerada poco común en muestras de bentos (Domínguez *et al.* 2009), fue registrada sólo en la época seca y en el rango de altitud #2. La familia Elmidae, conocida por ocupar hábitats de fuerte corriente, buena oxigenación y sustrato pedregoso, presentó los mayores valores de abundancia en el rango de altitud #2 en la época seca. El género *Austrelmis* presentó los mayores valores de abundancia en la zona de estudio, distribuyéndose a lo largo de todo el gradiente altitudinal. Acosta (2009) también reportó ese amplio rango de distribución para este género. Los géneros *Austrolimnius*, *Cylloepus* y *Neoelmis* presentaron un rango de distribución limitado (reportados sólo en el rango de altitud #1) y únicamente en la época seca.

El orden Diptera, en comparación con el resto de órdenes pertenecientes a la clase Insecta, fue el que aportó con el mayor número de taxa, 17 en total. De las familias encontradas pertenecientes a este orden, destacan Blephariceridae (consideradas como indicadora de aguas limpias y oxigenadas (Encalada *et al.* 2011)), Simuliidae (con alta sensibilidad a contaminantes (Domínguez *et al.* 2009)) y algunos géneros pertenecientes a Chironomidae, indicador de contaminación orgánica (Roldán 1996). En general, este orden se distribuyó a lo largo de toda la gradiente altitudinal, puesto que es un grupo diversificado, con múltiples estrategias de alimentación y muy bien adaptado a diferentes factores ambientales o de stress (Merritt *et al.* 2008 y Domínguez *et al.* 2009). Las familias Psychodidae, Ephyridae y Muscidae estuvieron presentes sólo en la época seca (julio 2014), ya que habitan zonas en donde el flujo de agua no es turbulento (Encalada *et al.* 2010). En la época seca se reportó un número elevado de individuos de la familia Empididae, lo cual puede deberse a que esta familia, a pesar de estar distribuida mundialmente, es más diversa y abundante en regiones montañosas (Smith 2012), donde la temperatura del agua es baja. Estudios en ambientes acuáticos, principalmente lóticos, han sido llevados a cabo en el hemisferio norte, los cuales incluyen listas detalladas de especies (Ivković, Miliša & Mihaljević 2010; Ivković, Gračan & Horvat 2013; Ivković, Zamora, Sainz & Sinclair 2014), mientras que muchas especies permanecen sin ser descritas en muchas regiones del mundo, especialmente en el hemisferio sur y poco se conoce sobre su ecología (Wagner *et al.* 2008). Según Encalada *et al.* (2011) esta familia es indicadora de aguas en estado de oligotrofia.

Considerando ambas épocas de estudio (seca y lluviosa), los órdenes Diptera, Coleoptera y Trichoptera mostraron los mayores valores de riqueza de taxa (17, 7 y 6, respectivamente), lo cual es corroborado con los estudios realizados por Ríos (2008), Villamarín (2008) y Acosta (2009), además de ser respaldado por Balian *et al.* (2008), quienes resaltan a estos órdenes como los más representativos en ecosistemas dulceacuícolas del total de taxa pertenecientes a la clase Insecta.

### **Ecología y distribución de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos**

Comparando los valores de riqueza específica y abundancia, los índices de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y de equidad de Pielou ( $J'$ ) y del análisis de similitud (ANOSIM), se observan diferencias significativas a nivel temporal determinadas por la hidrología de la cuenca. Se encontró una mayor riqueza de taxa y abundancia de individuos en la época seca, ya que en esta época el caudal del río es más estable, lo cual es compatible con los resultados obtenidos por Ríos (2008), Villamarín (2008) y Acosta (2009).

Según el análisis SIMPER, a nivel temporal, el mayor porcentaje de contribución mostrado por la subfamilia Orthoclaadiinae (Chironomidae, Diptera) en la zona de estudio, tanto en la época seca como en la lluviosa, también fue reportado por Acosta (2009) en el río Cañete, lo cual demuestra su dominancia en la comunidad de macroinvertebrados y su mejor adaptabilidad a las temperaturas bajas y mayores altitudes (Paggi 2009), lo cual es corroborado en la época seca, demostrando el amplio rango de distribución de esta subfamilia a lo largo de la cuenca alta, sobre todo en las estaciones ubicadas aguas abajo de las piscigranjas (E-5, E-7 y E-9), en las cuales se observó un gran desarrollo de algas filamentosas que podría deberse a la gran cantidad de nutrientes producto de la actividad piscícola, acumulados a causa

del bajo caudal. Por otra parte, en la época lluviosa, destacó *Andesiops* en todos los rangos de altitud debido a que este organismo está adaptado a vivir en zonas donde el sustrato es rocoso, la corriente es fuerte y con buena oxigenación, característica propia de ríos altoandinos (Pérez y Segnini 2005, Domínguez *et al.* 2006).

Con respecto a los resultados obtenidos mediante el análisis nMDS, el agrupamiento de las estaciones en 3 grupos, los cuales coinciden con los rangos de altitud en las que están ubicadas, sugiere que la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados en cada rango de altura se mantiene, teniendo en cuenta la gradiente altitudinal, la cual juega un rol importante en la distribución de los organismos y, que a pesar de que los ríos altoandinos pueden ser más susceptibles a la disminución de oxígeno a causa de la contaminación orgánica (Jacobsen 1998), la entrada de aguas residuales provenientes del uso doméstico y piscicultura, no supone una disminución de oxígeno disuelto debido a que la turbulencia de las aguas del río no permite la acumulación de materia orgánica ni una elevada concentración de nutrientes. Por lo tanto, este análisis pone en evidencia que a pesar de los impactos observados, se puede considerar el estado de integridad del río entre regular y bueno, ya que si el grado de contaminación fuese más fuerte, la comunidad de macroinvertebrados no sería diversa, siendo dominada enteramente por organismos tolerantes a la contaminación orgánica.

## **Métricas de bioindicación**

Del análisis de la métrica simple, se observó que el índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) caracterizó la calidad del agua de las estaciones de muestreo como “moderadamente poluida”, mostrando una correlación alta y positiva con el índice de hábitat fluvial (IHF) para ambas épocas de estudio (0,600 y 0,687, respectivamente). Sin embargo, la estimación de la calidad del agua por medio de este índice no concuerda con las características fisicoquímicas ni con los valores de riqueza específica registrados en cada estación de muestreo.

Analizando los tres índices bióticos aplicados en la estimación de la calidad del agua, el índice ABI fue el que mostró una correlación alta y significativa con el índice de hábitat fluvial (IHF), aunque la correlación fue mayor en la época seca (0,785) que en la lluviosa (0,544), puesto que la primera supone una mayor estabilidad ambiental. El índice BMWP/Bol mostró una correlación alta y significativa con el índice de hábitat fluvial (IHF), siendo mayor en la época seca (0,783) que en la época lluviosa (0,530). A pesar de que el BMWP/Bol fue desarrollado para ecosistemas lóticos de Bolivia, país con el cual se comparte similitudes con respecto a la región andina, este índice fue elaborado en base a macroinvertebrados bentónicos pertenecientes a las cuencas del Altiplano (Vertiente del Titicaca) y del Amazonas (Vertiente del Atlántico) (MMAyA 2011). El Puntaje Promedio por Taxón (ASPT) mostró una correlación alta y positiva (0,558) en la época seca (de mayor estabilidad ambiental), pero en la época lluviosa tuvo una correlación baja y negativa (-0,086), ya que en esta época se apreció una clara disminución del número de familias adaptadas a vivir en corrientes lentas (Ephydriidae, Psychodidae, Muscidae, entre otras) en las estaciones de muestreo.

Teniendo en cuenta que los Andes distan de ser un conjunto uniforme (Acosta 2009), con factores regionales y locales propios de cada sistema fluvial, como la fisicoquímica del agua (Rocabado y Wasson 1999), el uso de la tierra (Monaghan *et al.* 2000) y la heterogeneidad fluvial y vegetación de ribera (Miserendino 2001), debemos considerar que el ABI se adecúa mejor a la realidad observada no solamente en la composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, sino también en el estado de conservación de las estaciones de muestreo. Además, este índice fue desarrollado en base al estudio de una cuenca altoandina de los Andes Centrales (río Cañete).

### **Relación entre los factores abióticos y bióticos**

La correlación positiva y significativa entre la riqueza de especies y el pH ( $R=0,615$ ;  $p=0,033$ ) y los sólidos totales disueltos (STD) ( $R=0,624$ ;  $p=0,030$ ) en la época seca puede explicarse por la influencia que tienen sobre el desarrollo de perifiton, ya que los valores de pH ligeramente alcalinos registrados (entre 7,62 y 7,96) condicionan una mejor disponibilidad de nutrientes (Roldán & Ramírez 2008). Las algas del perifiton sirven tanto de alimento como de refugio a los diferentes grupos de macroinvertebrados bentónicos.

Con respecto a la relación entre la riqueza de especies y el oxígeno disuelto en la época seca, es conocido que con el aumento de la altitud, la temperatura del agua disminuye, de esta manera aumenta la solubilidad de oxígeno en el agua; sin embargo, esto no conduce a mejores condiciones de oxígeno en zonas altas porque la presión parcial atmosférica de oxígeno disminuye con el aumento de la altitud (Jacobsen 1998). Se observó que los valores de oxígeno disuelto tendieron a incrementarse con el aumento de la altitud, mientras que los valores de riqueza de especies disminuyeron. Jacobsen (2000) comprobó que la temperatura del agua y la

presión atmosférica se equilibran, manteniéndose casi constante la concentración de oxígeno con respecto al aumento de la altitud, destacando la influencia de la viscosidad cinemática del agua (que tiene relación directa con la temperatura) y del coeficiente de difusión de oxígeno (que tiene relación inversa con la temperatura) en la disponibilidad de oxígeno en ambientes acuáticos de elevada altitud. Los 18 taxa reportados en las estaciones del rango de altitud #3 (localizadas a más de 4000 m.s.n.m.) se caracterizan por ser de tamaño pequeño y no presentar un gran desarrollo de branquias o, si presentan, son pequeñas, lo que significa que sus tasas metabólicas son bajas y, en consecuencia, sus requerimientos de oxígeno son menores en comparación con organismos de zonas bajas (Jacobsen *et al.* 2003).

## 8. CONCLUSIONES

Se identificaron un total de 47 taxa y se contabilizaron un total de 32613 de macroinvertebrados bentónicos, agrupados en 9 clases, siendo Insecta la clase dominante y más diversa dentro de la comunidad, representada por 11 familias.

El pH, los sólidos totales disueltos (STD) y el oxígeno disuelto fueron los parámetros fisicoquímicos que más influyeron en la riqueza de macroinvertebrados bentónicos. Además, los protocolos e índices de caracterización ambiental (protocolo Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos (CERA), índice de hábitat fluvial (IHF) y el índice de calidad de la vegetación de ribera (QBR-And)), mostraron que las estaciones de muestreo presentan las condiciones adecuadas para el desarrollo y mantenimiento de una fauna bentónica moderadamente diversa.

A escala espacial, la gradiente altitudinal juega un rol importante en las características del ambiente y en la fisicoquímica del agua en cada una de las estaciones de muestreo, los cuales influyen sobre los patrones de riqueza, abundancia y distribución de los macroinvertebrados bentónicos. El análisis de similitud porcentual (SIMPER) permitió identificar los taxa que tuvieron mayor influencia en la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos a esta escala, resaltando a la subfamilia Orthoclaadiinae (Chironomidae, Diptera) como el taxón con más amplio rango de distribución en la zona de estudio, encontrado desde los 2600 hasta los 4100 m.s.n.m.

A escala temporal, el cambio del caudal (factor hidrológico) tuvo una gran influencia sobre la fisicoquímica del agua y la estabilidad del hábitat, siendo la época seca (julio 2014) la de mayor estabilidad ambiental, ya que en esa época se reportaron los mayores valores de riqueza y abundancia, en comparación con la época lluviosa. El análisis de similitud porcentual (SIMPER) permitió identificar los taxa que tuvieron mayor influencia en la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos a esta escala, resaltando al género *Andesiops* (Ephemeroptera, Insecta) y a la subfamilia Orthocladiinae como los que presentan una mejor adaptación a los cambios del caudal (aumento del volumen del agua) en la zona de estudio.

Según el análisis de correlación no paramétrico de Spearman entre el índice de hábitat fluvial (IHF) y las cuatro métricas de bioindicación aplicadas, los índices H', BMWP/Bol y ABI serían los más apropiados para estimar la calidad ecológica en la zona de estudio, ya que demostraron su validez estadística para la época de mayor estabilidad ambiental (época seca, julio 2014).

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta R., C.R. 2009. Estudio de la cuenca altoandina del río Cañete (Perú): Distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas. Asesor: Narcís Prat i Fornells. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, España.

Acosta, R., Ríos-Touma, B., Rieradevall, 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*. Vol. 28 (1): 35 – 64.

APHA, WEF, AWWA. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22<sup>th</sup> Edition. American Public Health Association. Washington, D .C.

Arana M., J. 2008. Caracterización ecológica del río Santa Eulalia, Lima (Perú) mediante el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos. Asesor(a): Iris Samanez V. Tesis Título Profesional. UNMSM, EAP Ciencias Biológicas, Lima.

Balian, E.V., Segers, H., Lévèque, C. & Martens, K. 2008. The Freshwater Animal Diversity Assessment: an overview of the results. *Hydrobiologia*, Vol. 595: 627 – 637.

Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. & Stribling, J.B. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U. S. Environmental Protection Agency; Office of Water, Washington, D. C.

Bonada, N.; Prat, N.; Resh, V. H. & Statzner, B. 2006. Developments in Aquatic Insect Biomonitoring: A Comparative Analysis of Recent Approaches. *Annu. Rev. Entomol.*, Vol. 51: 495 – 523.

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)*. Vol. 4. Pensoft, Sofia-Moscow, 198 pp.

Brack, A. 1986. Ecología de un país complejo, pp. 175 – 319. En: *Gran Geografía del Perú. Naturaleza y Hombre. Volumen II*. Manfer – Juan Mejía Baca, Barcelona, España.

Brower, J.E. & J.H. Zar. 1984. *Field and laboratory methods for General Ecology*. Wm. C. Brown Co. Dubuque, Iowa. 226 pp.

Carrera, C. & Fierro, K. 2001. *Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua*. EcoCiencia. Quito.

Carrera, P. & Gunkel, G. 2003. Ecology of a high stream, Rio Itambi, Otavalo, Ecuador. *Limnologica*, Vol. 33: 29 – 43.

Castellanos, P. & Serrato, C. 2008. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. 32(122): 79 – 86.

Correa, F., Rivera, R., Urrutia, J., De los Ríos, P., Contreras, A. y Encina, F. 2010. Efectos de una zona urbana sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de un ecosistema fluvial del sur de Chile. *Limnetica*. Vol. 29 (2): 183 – 194.

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)*. Vol. 2. Pensoft, Sofia-Moscow, 646 pp.

Domínguez, E. & H.R. Fernández (Eds.). 2009. *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. 655pp.

Encalada, A.C., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N. & Prat, N. 2011. Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S). USFQ, UB, AECID, FONAG, Quito, 83 pp.

Flowers, R. W. & De la Rosa, C. 2010. Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 58(4): 63 - 93.

Gallegos S., S.A. 2013. Effect of riparian vegetation cover and season on aquatic macroinvertebrate assemblages in the Ecuadorian Andes. Asesor: Torbjørn Haugaasen. Tesis de Maestría. Universidad Noruega de Ciencias de la Vida. Departamento de Ecología y Manejo de Recursos Naturales. Noruega.

Hanson, P., Springer, M. & Ramírez, A. 2010. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 58(4): 3 – 37.

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*. Vol. 17(1): 075 – 080.

Hussain, Q.A. & Pandit, A.K. 2012. Macroinvertebrates in streams: A review of some ecological factors. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, Vol. 4(7): 114 – 123.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). 1999. Mapa geológico del Perú. Ministerio de Energía y Minas. Lima – Perú.

Ivković, M., Gračan, R. & Horvat, B. 2013. Croatian Aquatic dance flies (Diptera: Empididae: Clinocerinae and Hemerodromiinae): species diversity, distribution and relationship to surrounding countries. *Zootaxa* 3686 (2): 255- 276.

Ivković, M., Miliša, M. & Mihaljević, Z. 2010. The aquatic dance flies fauna (Diptera, Empididae: Hemerodromiinae and Clinocerinae) of The Plitvice Lakes National Park. *Nat. Croat.* Vol. 19(1): 133 – 139.

Ivković, M., Zamora-Muñoz, C., Sainz-Bariaín, M. & Sinclair, B. 2014. Aquatic Empididae (Diptera: Hemerodromiinae and Clinocerinae) of the Sierra Nevada, Spain, with the description of five new species. *Zootaxa* 3786 (5): 541 – 556.

Jacobsen, D. 1998. The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams. *Arch. Hydrobiol.* 143(2): 179 – 195.

Jacobsen, D. 2000. Gill size of trichopteran larvae and oxygen supply in streams along a 4000-m gradient of altitude. *Journal of the North American Benthological Society*, Vol. 19(2): 329 – 343.

Jacobsen, D., Rostgaard, S. & Vásconez, J. J. 2003. Are macroinvertebrates in high altitude streams affected by oxygen deficiency? *Freshwater Biology*, Vol. 48: 2025 – 2032.

Loayza M., R.A. 2013. Life at the edge: benthic invertebrates in high altitude Andean streams. Asesor: W. Admiraal. Tesis Doctoral. Universidad de Amsterdam, Holanda.

Loayza M., R., Elías L., R., Marticorena R., J., Palomino, E., Duivenvoorden, J., Kraak, M. & Admiraal, W. 2010. Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in Andean high altitude streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Vol. 29(12): 2761 - 2768.

Manzo, V. 2005. Key to the South America genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera) with distributional data. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. Vol. 40(3): 201 – 208.

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* Manzo. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*. Vol. 44(1): 63 – 74.

Merritt, R.W., Cummins, K.W. & Berg, M.B. 2008. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Fourth Edition. Kendall/Hunt. Co. 1218pp.

Ministerio del Ambiente (MINAM). 2008. Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Decreto Supremo 002-2008-MINAM.

Ministerio del Ambiente (MINAM). 2010. Estudio Línea Base Ambiental de la Cuenca del Río Chillón. Proyecto Línea Base Ambiental de Cuenca de Ríos. Servicio de Consultoría para la elaboración de Línea Base Ambiental de Cuenca de Ríos. Lima, Perú.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). 2011. Guía para la Evaluación de la Calidad Acuática mediante el índice BMWP/Bol. Estado Plurinacional de Bolivia. 85 pp.

Miserendino, M.L. 2001. Macroinvertebrate assemblages in Andean Patagonian rivers and streams. *Hydrobiologia*, Vol. 444:147-158.

Molina, C. I., Gibon, F., Pinto, J. & Rosales, C. 2008. Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la Cordillera Real, Bolivia: Variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. *Ecología Aplicada*, Vol. 7(1,2): 105 – 116.

Monaghan, K., M. Peck, P. Brewin, M. Masiero, E. Zarate, P. Turcotte & S. Ormerod. 2000. Macroinvertebrate distribution in Ecuadorian hill streams: the effects of altitude and land use. *Archiv für Hydrobiologie*, Vol. 149 (3): 421-440.

Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA. Sociedad Entomológica Aragonesa. Ed. Madrid, España.

Ortiz M., W.L. 2012. Distribución espacio-temporal de la comunidad de Trichoptera (Insecta) en tributarios de pequeño orden del río Rímac, Huarochirí, Lima. Asesor(a): Ana Huamantínco A. Tesis Título Profesional. UNMSM, EAP Ciencias Biológicas, Lima.

Paggi, A.C. 2009. Diptera: Chironomidae. 383 – 409. En: Domínguez, E. & H. R. Fernández (Eds.). Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. 655pp.

Pardo, I., M. Alvarez, J. L. Moreno, S. Vivas, N. Bonada, J. Alba-Tercedor, P. Jaimez-Cuellar, G. Moya, N. Prat, N. Robles, M. Toro & M. R. Vidal-Abarca. 2002. El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21(3-4): 115-134.

Pérez, B. & Segnini, S. 2005. Variación espacial de la composición y diversidad de géneros de Ephemeroptera (Insecta) en un río tropical altiandino. *Sociedad Venezolana de Entomología. ENTOMOTROPICA*, Vol. 20(1): 49 – 57.

Prat, N., Rieradevall, M., Villamarín, C. & Acosta, R. 2014. Guía para el reconocimiento de larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Grupo de Investigación F.E.M. Departamento de Ecología. Universidad de Barcelona. 78pp.

Ríos T., B. P. 2008. Comunidades de macroinvertebrados en un río altoandino: Importancia del microhábitat, dinámica de la deriva, papel de la materia orgánica y relevancia de la ovoposición. Asesor: Narcís Prat i Fornells. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, España.

Ríos T., B., Acosta, R. & Prat, N. 2014. The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, Vol. 62(2): 249 – 273.

Rocabado, G. & J.G. Wasson. 1999. Regionalización de la Fauna bentónica en la cuenca andina del río Beni (Bolivia). *Revista Boliviana de Ecología*, Vol. 6: 121-132.

Roldán, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo Fen. Colciencias. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 217 pp.

Roldán, G. & Ramírez, J. J. 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. 440 pp.

Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Sociedad Venezolana de Ecología. ECOTROPICOS*, Vol. 16(2): 45 – 63.

Smith, K.G. 2012. Family Empididae. In: Evenhuis, N.L. (Ed.), *Catalog of the Diptera of the Australasian and Oceanian Regions* (online version). Available at: <http://hbs.bishopmuseum.org/aocat/pdf/43empididae.pdf>

Springer, M. 2010. Biomonitoring acuático. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 58(4): 53-59.

Vásconez, J.J., G. Remache, F. Cuesta, E. Terneus, M. Peralvo & B. Ríos. 2002. Caracterización de ecosistemas acuáticos a través de variables abióticas de la vertiente oriental de la Reserva Ecológica Cayambe-Coca, Ecuador. EcoCiencia/Fundación Agua. 41 pp.

Villamarín F., C.P. 2008. Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos. Asesores: Narcís Prat i Fornells y María Rieradevall i Sant. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, España.

Villamarín, F., 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*, Vol. 42(5): 1072 – 1086.

Wagner, R., Barták, M., Borkent, A., Courtney, G., Goddeeris, B., Haenni, J.P., Knutson, L., Pont, A., Rotheray, G., Rozkošný, R., Sinclair, B., Woodley, N., Zatwarnicki, T. & Zwick, P. 2008. Global diversity of dipteran families (Insecta: Diptera) in freshwater (excluding Simuliidae, Culicidae, Chironomidae, Tipulidae and Tabanidae). *Hydrobiologia* 595: 489 – 519.

Walteros, J.M. & Paiba, J.E. 2010. Estudio preliminar de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la Reserva Forestal Torre Cuatro (Colombia). *Boletín Científico del Museo de Historia Natural*, Vol. 14(1): 137 – 149.

## 10. ANEXOS

### Anexo 1. Protocolo de condiciones de referencia en ríos andinos.

# CONDICIONES DE REFERENCIA EN RÍOS ANDINOS



Apartado	Poco	Medio	Mucho
<b>CUENCA</b>			
1.1 Cobertura de especies introducidas (Eucaliptos y Pinos especialmente)	5	3	1
1.2 Porcentaje de cobertura en pastos artificiales	5	3	1
1.3 Porcentaje de cobertura en usos urbanos	5	3	1
1.4 Ausencia de vegetación autóctona	5	3	1
1.5 Explotaciones mineras	5	3	1
1.6 Explotaciones ganaderas intensivas (intensivas)	5	3	1
<b>HIDROLOGÍA</b>			
2.1 Presencia de grandes presas aguas arriba del lugar	5	3	1
2.2 Derivaciones de agua para hidroeléctricas azudes < 10m	5	3	1
2.3 Trasvases a otras cuencas o desde otras cuencas	5	3	1
2.4 Derivaciones para usos en agricultura y ganadería	5	3	1
2.5 Derivaciones para uso en minería	5	3	1
2.6 Derivaciones para uso urbano (usos domésticos e industriales)	5	3	1
<b>TRAMO (Incluye ribera y zona inundación)</b>			
3.1 Canalización del río por infraestructuras rígidas (escolleras, etc...)	5	3	1
3.2 Canalización del río por terraplenes	5	3	1
3.3 Presencia de cultivos i/ovacas y pasto en la llanura de inundación	5	3	1
3.4 Infraestructuras laterales (carreteras, construcciones...)	5	3	1
3.5 Falta de cubierta de la zona de ribera (árboles o arbustos)	5	3	1
3.6 % Cubierta vegetal por especies introducidas (árboles o arbustos)	5	3	1
<b>LECHO</b>			
4.1 Sustrato del lecho totalmente artificial (p.e. cemento, escollera...)	5	3	1
4.2 Infraestructuras transversales (p.e. azudes, vados)	5	3	1
4.3 Presencia de efluentes directos al río	5	3	1
4.4 Contaminación orgánica evidente	5	3	1
4.5 Contaminación minera evidente	5	3	1
4.6 Presencia de basuras y escombros (sea en la ribera o en el mismo lecho)	5	3	1

El valor máximo del índice es de 120, el mínimo de 24.

Se considera que valores superiores a 100 son necesarios para poder considerar un punto como de referencia.

De todas formas un punto de referencia debe obtener como mínimo 20 puntos en cada apartado.

Anexo 2. Índice de Hábitat Fluvial (IHF) (Adaptado de Pardo *et al.* 2002).

Bloques		Puntuación	
<b>1. Inclusión rápidos</b>			
Rápidos	Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión 0 - 30%.	10	
	Piedras, cantos y gravas poco fijadas por sedimentos finos. Inclusión 30 - 60%.	5	
	Piedras, cantos y gravas medianamente fijadas por sedimentos finos. Inclusión > 60%.	0	
		<b>TOTAL (una categoría)</b>	
<b>2. Frecuencia de rápidos</b>			
	Alta frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río < 7	10	
	Escasa frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 7 - 15	8	
	Ocurrencia ocasional de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 15 - 25	6	
	Constancia de flujo laminar o rápidos someros. Relación distancia entre rápidos/anchura del río >25	4	
	Sólo pozas	2	
		<b>TOTAL (una categoría)</b>	
<b>3. Composición del sustrato (en caso de ausencia absoluta el valor debe ser 0 para cada apartado)</b>			
	% Bloques y piedras	1 - 10% > 10%	2 5
	% Cantos y gravas	1 - 10% > 10%	2 5
	% Arena	1 - 10% > 10%	2 5
	% Limo y arcilla	1 - 10% > 10%	2 5
		<b>TOTAL (sumar categorías)</b>	
<b>4. Regímenes de velocidad / profundidad</b>			
	<i>somero</i> : < 0.5 m 4 categorías. Lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero.	10	
	<i>lento</i> : < 0.3 m/s Sólo 3 de las 4 categorías	8	
	Sólo 2 de las 4	6	
	Sólo 1 de las cuatro	4	
		<b>TOTAL (una categoría)</b>	
<b>5. Porcentaje de sombra en el cauce</b>			
	Sombreado con ventanas	10	
	Totalmente en sombra	7	
	Grandes claros	5	
	Expuesto	3	
		<b>TOTAL (una categoría)</b>	
<b>6. Elementos heterogeneidad (si hay ausencia de hojarasca el valor debe ser 0 puntos)</b>			
	Hojarasca	> 10% ó < 75% < 10% ó > 75%	4 2
	Presencia de troncos y ramas	2	
	Raíces expuestas	2	
	Diques naturales	2	
		<b>TOTAL (una categoría)</b>	
<b>7. Cobertura de vegetación acuática (en caso de ausencia absoluta el valor debe ser cero para cada apartado)</b>			
	% Plocon + briófitos	10 - 50% < 10% ó > 50% Ausencia absoluta	10 5 0
	% Pecton	10 - 50% < 10% ó > 50% Ausencia absoluta	10 5 0
	% Fanerógamas	10 - 50% < 10% ó > 50% Ausencia absoluta	10 5 0
		<b>TOTAL (sumar categorías)</b>	
		<b>PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones anteriores)</b>	

### Anexo 3. Índice de calidad de la vegetación de ribera andina (QBR-And).

**ÍNDICE QBR-And**  
*Calidad de la ribera para*  
*Comunidades arbóreas*  
**Protocolo CERA**



<b>La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25 puntos</b>		Estación
		Observador
		Fecha
<b>Grado de cubierta de la zona de ribera</b>		<b>Puntuación bloque 1</b>
<b>Puntuación</b>		
<b>25</b>	> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan)	
<b>10</b>	50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
<b>5</b>	10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
<b>0</b>	< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
+ 10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total	
+ 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%	
- 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre el 25 y 50%	
- 10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%	
<b>Estructura de la cubierta (se contabiliza toda la zona de ribera)</b>		<b>Puntuación bloque 2</b>
<b>Puntuación</b>		
<b>25</b>	recubrimiento de árboles superior al 75 %	
<b>10</b>	recubrimiento de árboles entre el 50 y 75 % o recubrimiento de árboles entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %	
<b>5</b>	recubrimiento de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %	
<b>0</b>	sin árboles y arbustos por debajo del 10 %	
+ 10	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %	
+ 5	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %	
+ 5	si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y árboles con un sotobosque.	
- 5	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %	
- 5	si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad	
- 10	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %	
<b>Calidad de la cubierta</b>		<b>Puntuación bloque 3</b>
<b>Puntuación</b>		
<b>25</b>	Todos los árboles de la zona de ribera autóctonos	
<b>10</b>	Como máximo un 25% de la cobertura es de especies de árboles introducidas	
<b>5</b>	26 a 50% de los árboles de ribera son especies introducidas	
<b>0</b>	Más del 51% de los árboles de la ribera son especies introducidas	
+ 10	>75% de los arbustos son de especies autóctonas.	
+ 5	51-75% o más de los arbustos de especies autóctonas	
- 5	26-50% de la cobertura de arbustos de especies autóctonas	
- 10	Menos del 25% de la cobertura de los arbustos de especies autóctonas	
<b>Grado de naturalidad del canal fluvial</b>		<b>Puntuación bloque 4</b>
<b>Puntuación</b>		
<b>25</b>	el canal del río no ha estado modificado	
<b>10</b>	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal	
<b>5</b>	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río	
<b>0</b>	río canalizado en la totalidad del tramo	
- 10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río	
- 10	si existe alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río	
- 5	si hay basuras en el tramo de muestreo de forma puntual pero abundantes	
- 10	si hay un basurero permanente en el tramo estudiado	
<b>Puntuación final</b> (suma de las anteriores puntuaciones)		

**ÍNDICE QBR-And**  
Calidad de la ribera de  
Comunidades de Pajonales de  
Páramos y Punas  
Protocolo CERA

**La puntuación de cada uno de los 3 apartados  
no puede ser negativa ni exceder de 25 puntos**

Estación	
Observador	
Fecha	

**Grado de cubierta de la zona de ribera**

Puntuación bloque 1

Puntuación	
<b>25</b>	> 80 % de cubierta vegetal de la ribera (Gramíneas y/o matorral y/o "almohadillas")
<b>10</b>	50-80 % de cubierta vegetal de la ribera
<b>5</b>	10-50 % de cubierta vegetal de la ribera
<b>0</b>	< 10 % de cubierta vegetal de la ribera
+ 10	si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es total
+ 5	si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es >50%
- 5	Si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es entre el 25-50%
-5	Si se presentan evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera <50%
-10	Si se presentan evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera >50%

**Calidad de la cubierta**

Puntuación bloque 2

Puntuación	
<b>25</b>	Todas las especies vegetales de ribera autóctonas (gramíneas, matorral o almohadillas)
<b>10</b>	Ribera con <25% de la cobertura con especies de introducidas ( <i>Eucalyptus spp.</i> , <i>Pinus spp.</i> ) o especies arbustivas secundarias (por efecto de sobrepastoreo)
<b>5</b>	Ribera entre 25-80% de la cobertura con especies introducidas o con arbustivas secundarias
<b>0</b>	Ribera con >80% de especies introducidas o arbustivas secundarias

**Grado de naturalidad del canal fluvial**

Puntuación bloque 3

Puntuación	
<b>25</b>	El canal del río no ha estado modificado
<b>10</b>	Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal
<b>5</b>	Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río
<b>0</b>	Río canalizado en la totalidad del tramo
- 10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río
- 10	si existe alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río
-5	si hay basuras en el tramo de muestreo de forma puntual pero abundantes
-10	si hay un basurero permanente en el tramo estudiado

**Puntuación final** (suma de las anteriores puntuaciones)

**Anexo 4.** Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (MINAM 2008).

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3°C
Oxígeno disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	Unidad	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5		6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25 - 100	30,00
<b>INORGÁNICOS</b>						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	-
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	-
Clorofila A	mg/L	10	-	-	-	-
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	-
Fosfatos totales	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031- 0,093
Hidrocarburos aromáticos de petróleo totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	5	10	10	10	0,07-0,28
Nitrógeno total	mg/L	1,6	1,6		-	-
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	-	-	-	-	0,14 - 0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S indisociable)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081

MICROBIOLÓGICOS					
Coliformes termotolerantes	(NMP/100mL)	1000	2000	1000	≤30
Coliformes totales	(NMP/100mL)	2000	3000	2000	

**Nota:** Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se deben reportar cuando se dispone del análisis.

**Dureza:** Medir “dureza” del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método/técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C).

**Nitrógeno total:** Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (nitrógeno orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO).

**Amonio:** Como NH<sub>3</sub> no ionizado.

**NMP/100mL:** Número más probable de 100mL.

**Ausente:** No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

**Anexo 5.** Prueba estadística de Wilcoxon-Mann-Whitney (diferencias significativas a nivel temporal).

	<b>Riqueza (S)</b>	<b>Abundancia (N)</b>	<b>Diversidad de Shannon-Wiener (H')</b>	<b>Equidad de Pielou (J')</b>
<b>U de Mann-Whitney</b>	24,5	2	55	23
<b>W de Wilcoxon</b>	102,5	80	133	101
<b>Z</b>	-2,753	-4,041	-0,981	-2,829
<b>Significancia asintótica (bilateral)</b>	0,006	0	0,326	0,005

**Anexo 6.** Prueba estadística de Kruskal-Wallis (diferencias significativas a nivel de rangos de altitud).

		<b>Riqueza (S)</b>	<b>Abundancia (N)</b>	<b>Diversidad de Shannon-Wiener (H')</b>	<b>Equidad de Pielou (J')</b>
<b>Época seca</b>	<b>Chi-cuadrado</b>	7,747	4,788	6,265	6,369
	<b>Significancia asintótica</b>	0,021	0,091	0,044	0,041
<b>Época lluviosa</b>	<b>Chi-cuadrado</b>	4,648	1,487	7,395	4,881
	<b>Significancia asintótica</b>	0,098	0,475	0,025	0,087

**Anexo 7.** Análisis SIMPER. Porcentaje de disimilitud entre épocas de estudio (seca y lluviosa).

<b>Similaridad = 53,12%</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época húmeda</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
Hydracarina	4,29	1,06	6,95	6,95
Chironominae	3,81	0,65	6,79	13,74
Podonominae	3,05	0,35	6,04	19,78
Empididae	3,66	1,03	5,85	25,63
Orthoclaadiinae	6,87	4,50	5,26	30,89
<i>Andesiops</i> sp.	4,05	3,97	3,91	34,8
<i>Metrichia</i> sp.	2,07	0,96	3,88	38,68
<i>Claudioperla</i> sp.	2,71	1,43	3,79	42,47
<i>Baetodes</i> sp.	1,16	1,19	3,60	46,07
Simuliidae	1,98	1,78	3,58	49,65
Turbellaria	0,74	2,26	3,55	53,2
Oligochaeta	4,33	3,86	3,39	56,59
<i>Austrelmis</i> sp.	4,48	3,27	3,37	59,96
<i>Hyaella</i> sp.	1,77	1,33	3,16	63,12
Ostracoda	1,60	0,87	2,88	66,00
<i>Meridalaris</i> sp.	1,63	1,03	2,79	68,79
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.	1,10	1,10	2,72	71,51
Nematoda	1,78	1,19	2,65	74,16
<i>Cailloma</i> sp.	1,49	1,52	2,60	76,76
<i>Atopsyche</i> sp.	0,94	0,99	2,30	79,06
Tanypodinae	0,90	0,06	1,90	80,96
Ephydriidae	0,86	0,00	1,84	82,80
Blephariceridae	0,31	0,75	1,7	84,50
Tabanidae	0,76	0,15	1,57	86,07
Ceratopogoninae 2	0,52	0,41	1,32	87,39
<i>Tricorythodes</i> sp.	0,52	0,13	1,25	88,64
Hydrozoa	0,21	0,48	1,17	89,81
Lymnaeidae	0,32	0,23	0,94	90,75

**ANEXO 8.** Análisis SIMPER. Porcentajes de disimilitud entre rangos de altitud (época seca).

<b>Similaridad = 62,50%</b>	<b>Rango 1 (2600-2800 m.s.n.m.)</b>	<b>Rango 2 (3300-3800 m.s.n.m.)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
Podonominae	0,90	4,50	7,45	7,45
<i>Baetodes</i> sp.	3,48	0,00	7,16	14,61
<i>Andesiops</i> sp.	6,25	3,53	5,55	20,16
Hydracarina	3,05	5,59	5,24	25,40
Simuliidae	3,60	1,87	4,37	29,77
<i>Hyalella</i> sp.	0,45	2,36	4,11	33,88
Oligochaeta	3,45	5,13	3,92	37,80
<i>Cailloma</i> sp.	0,72	2,24	3,68	41,47
<i>Claudioperla</i> sp.	1,67	3,37	3,57	45,04
<i>Metrichia</i> sp.	2,07	3,31	3,39	48,43
<i>Tricorythodes</i> sp.	1,56	0,00	3,27	51,70
Chironominae	3,47	4,85	3,23	54,93
Orthocladiinae	6,03	7,30	2,62	57,55
<i>Atopsyche</i> sp.	1,83	0,80	2,56	60,11
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.	0,40	1,31	2,50	62,61
Nematoda	1,27	2,30	2,48	65,09
Tanypodinae	1,45	0,36	2,32	67,41
Empididae	3,29	3,84	2,32	69,73
Tabanidae	0,52	1,41	2,23	71,96
Turbellaria	1,02	0,96	2,22	74,18
Ephydridae	0,62	1,28	1,99	76,17
Lymnaeidae	0,97	0,00	1,93	78,10
Blephariceridae	0,93	0,00	1,89	79,99
<i>Austrelmis</i> sp.	4,02	4,89	1,80	81,79
Ceratopogoninae 2	0,93	0,50	1,75	83,54
<i>Neoelmis</i> sp.	0,79	0,00	1,64	85,18
Muscidae	0,00	0,77	1,60	86,78
<i>Meridialaris</i> sp.	1,04	1,50	1,52	88,30
Ostracoda	2,22	1,64	1,40	89,70
Hydrozoa	0,62	0,00	1,31	91,01

<b>Similaridad = 58,37%</b>	<b>Rango 1 (2600-2800 m.s.n.m.)</b>	<b>Rango 3 (4000-4100 m.s.n.m.)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Andesiops</i> sp.	6,25	1,98	9,29	9,29
Simuliidae	3,60	0,00	7,76	17,05
<i>Baetodes</i> sp.	3,48	0,00	7,57	24,62
Podonominae	0,90	3,51	5,80	30,42
<i>Hyalella</i> sp.	0,45	2,56	4,67	35,09
<i>Metrichia</i> sp.	2,07	0,00	4,45	39,54
<i>Atopsyche</i> sp.	1,83	0,00	3,93	43,47
<i>Meridialaris</i> sp.	1,04	2,65	3,54	47,01
Ostracoda	2,22	0,69	3,50	50,51
<i>Tricorythodes</i> sp.	1,56	0,00	3,47	53,98
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.	0,40	1,70	3,11	57,09
<i>Claudioperla</i> sp.	1,67	2,99	2,95	60,04
Orthocladiinae	6,03	7,28	2,72	62,76
Oligochaeta	3,45	4,20	2,50	65,26
Chironominae	3,47	2,51	2,48	67,74
Turbellaria	1,02	0,00	2,25	69,99
<i>Stethelmis</i> sp.	0,00	1,00	2,18	72,17
Lymnaeidae	0,97	0,00	2,02	74,19
Blephariceridae	0,93	0,00	2,00	76,19
Ceratopogoninae 2	0,93	0,00	1,99	78,18
<i>Neoelmis</i> sp.	0,79	0,00	1,73	79,91
Nematoda	1,27	1,60	1,66	81,57
Hydracarina	3,05	3,76	1,63	83,20
Tanypodinae	1,45	1,06	1,54	84,74
Hydrozoa	0,62	0,00	1,39	86,13
Empididae	3,29	3,85	1,25	87,38
<i>Cailloma</i> sp.	0,72	1,27	1,22	88,60
Collembola 1	0,00	0,54	1,18	89,78
<i>Smicridea</i> sp.	0,55	0,00	1,14	90,92

<b>Similaridad = 70,73%</b>	<b>Rango 2 (3300-3800 m.s.n.m.)</b>	<b>Rango 3 (4000-4100 m.s.n.m.)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Metrichia</i> sp.	3,31	0,00	9,47	9,47
Chironominae	4,85	2,51	6,95	16,42
Simuliidae	1,87	0,00	5,37	21,79
Hydracarina	5,59	3,76	5,36	27,15
<i>Andesiops</i> sp.	3,53	1,98	4,59	31,74
Oligochaeta	5,13	4,20	4,30	36,04
<i>Cailloma</i> sp.	2,24	1,27	4,26	40,30
Tabanidae	1,41	0,00	4,16	44,46
<i>Hyalella</i> sp.	2,36	2,56	3,86	48,32
Ostracoda	1,64	0,69	3,84	52,16
<i>Meridialaris</i> sp.	1,50	2,65	3,50	55,66
Podonominae	4,50	3,51	3,14	58,80
Ephydriidae	1,28	0,46	3,01	61,81
Empididae	3,84	3,85	2,95	64,76
Nematoda	2,30	1,60	2,95	67,71
<i>Stethelmis</i> sp.	0,00	1,00	2,91	70,62
Turbellaria	0,96	0,00	2,88	73,50
<i>Anomalocosmoecus</i> sp	1,31	1,70	2,53	76,03
Tanypodinae	0,36	1,06	2,35	78,38
<i>Atopsyche</i> sp.	0,80	0,00	2,30	80,68
Leptoconopinae	0,69	0,00	1,98	82,66
<i>Claudioperla</i> sp.	3,37	2,99	1,87	84,53
Muscidae	0,77	0,23	1,86	86,39
Psychodidae	0,67	0,00	1,85	88,24
Orthocladiinae	7,30	7,28	1,74	89,98
Collembola 1	0,00	0,54	1,58	91,56

**ANEXO 9.** Análisis SIMPER. Porcentajes de disimilitud entre rangos de altitud (época lluviosa).

<b>Similaridad = 56,24%</b>	<b>Rango 1 (2600-2800 m.s.n.m.)</b>	<b>Rango 2 (3300-3800 m.s.n.m.)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Baetodes</i> sp.	3,57	0,00	10,74	10,74
<i>Metrichia</i> sp.	2,27	0,22	5,72	16,46
Oligochaeta	4,50	3,03	5,27	21,73
Ostracoda	2,09	0,28	5,12	26,85
<i>Atopsyche</i> sp.	2,24	0,58	4,99	31,84
<i>Claudioperla</i> sp.	0,35	1,71	4,53	36,37
Nematoda	1,94	0,50	4,50	40,87
Orthocladiinae	3,88	4,40	4,35	45,22
<i>Austrelmis</i> sp.	3,54	3,07	3,98	49,20
<i>Cailloma</i> sp.	0,85	2,27	3,96	53,16
Simuliidae	1,87	1,18	3,72	56,88
Turbellaria	2,95	2,02	3,44	60,32
<i>Hyalella</i> sp.	1,01	1,66	3,35	63,67
<i>Andesiops</i> sp.	5,05	4,02	3,09	66,76
<i>Helicopsyche</i> sp.	1,11	0,00	2,83	69,59
Empididae	1,51	0,64	2,70	72,29
Blephariceridae	1,14	0,88	2,55	74,84
<i>Meridialaris</i> sp.	0,00	0,86	2,50	77,34
Physidae	0,85	0,00	2,25	79,59
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.	0,17	0,76	2,14	81,73
Hydracarina	0,92	1,36	2,04	83,77
Hydrozoa	0,92	0,28	1,90	85,67
Ceratopogoninae 2	0,45	0,50	1,90	87,57
Lymnaeidae	0,69	0,00	1,87	89,44
Chironominae	0,45	0,66	1,73	91,17

<b>Similaridad = 52,55%</b>	<b>Rango 1 (2600-2800 m.s.n.m.)</b>	<b>Rango 3 (4000-4100 m.s.n.m.)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Baetodes</i> sp.	3,57	0,00	9,39	9,39
<i>Meridialaris</i> sp.	0,00	2,71	7,10	16,49
<i>Andesiops</i> sp.	5,05	2,44	6,77	23,26
<i>Atopsyche</i> sp.	2,24	0,00	5,82	29,08
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.	0,17	2,36	5,57	34,65
<i>Claudioperla</i> sp.	0,35	2,43	5,53	40,18
Ostracoda	2,09	0,23	4,50	44,68
Orthoclaadiinae	3,88	5,50	4,19	48,87
<i>Metrichia</i> sp.	2,27	0,46	4,15	53,02
<i>Austrelmis</i> sp.	3,54	3,24	3,99	57,01
Oligochaeta	4,50	4,39	3,36	60,37
Nematoda	1,94	1,34	3,14	63,51
Blephariceridae	1,14	0,00	3,05	66,56
Turbellaria	2,95	1,72	2,87	69,43
<i>Hyaella</i> sp.	1,01	1,23	2,74	72,17
Simuliidae	1,87	2,65	2,69	74,86
<i>Cailloma</i> sp.	0,85	1,16	2,51	77,37
<i>Helicopsyche</i> sp.	1,11	0,00	2,49	79,86
Physidae	0,85	0,00	1,98	81,84
Chironominae	0,45	0,90	1,92	83,76
Hydrozoa	0,92	0,23	1,90	85,66
Hydracarina	0,92	0,73	1,76	87,42
Lymnaeidae	0,69	0,00	1,64	89,06
Empididae	1,51	1,06	1,29	90,35

<b>Similaridad = 63,83%</b>	<b>Rango 2 (3300-3800 m.s.n.m.)</b>	<b>Rango 3 (4000-4100 m.s.n.m.)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.	0,76	2,36	8,27	8,27
<i>Meridialaris</i> sp.	0,86	2,71	7,91	16,18
Oligochaeta	3,03	4,39	7,45	23,63
<i>Andesiops</i> sp.	4,02	2,44	6,88	30,51
Orthocladinae	4,40	5,50	6,10	36,61
<i>Hyalella</i> sp.	1,66	1,23	5,93	42,54
Simuliidae	1,18	2,65	5,92	48,46
<i>Claudioperla</i> sp.	1,71	2,43	5,79	54,25
<i>Cailloma</i> sp.	2,27	1,16	5,14	59,39
Nematoda	0,50	1,34	4,71	64,10
<i>Austrelmis</i> sp.	3,07	3,24	3,69	67,79
Blephariceridae	0,88	0,00	3,62	71,41
Hydracarina	1,36	0,73	2,89	74,30
Chironominae	0,66	0,90	2,86	77,16
Turbellaria	2,02	1,72	2,76	79,92
Empididae	0,64	1,06	2,60	82,52
<i>Atopsyche</i> sp.	0,58	0,00	2,33	84,85
<i>Metrichia</i> sp.	0,22	0,46	2,14	86,99
Collembola 1	0,00	0,46	2,01	89,00
Ceratopogoninae 2	0,50	0,23	1,87	90,87

**ANEXO 10.** Análisis SIMPER. Porcentajes de similitud entre estaciones de muestreo (época seca y lluviosa).

<b>Similaridad promedio = 63,45%</b>		<b>E1 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Andesiops</i> sp.	5,45	9,30	14,66	14,66
<i>Baetodes</i> sp.	4,55	8,81	13,88	28,54
Orthocladiinae	4,71	7,31	11,52	40,06
Oligochaeta	3,00	5,75	9,06	49,12
Simuliidae	3,47	4,31	6,79	55,91
Ostracoda	1,95	4,03	6,36	62,27
<i>Atopsyche</i> sp.	1,87	3,71	5,85	68,12
Nematoda	1,84	3,34	5,26	73,38
<i>Austrelmis</i> sp.	2,36	2,87	4,53	77,91
Empididae	2,08	2,87	4,53	82,44
Physidae	1,35	2,28	3,59	86,03
<i>Cailloma</i> sp.	1,45	2,28	3,59	89,62
Blephariceridae	1,52	2,28	3,59	93,21
<b>Similaridad promedio = 63,83%</b>		<b>E2 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Andesiops</i> sp.	5,94	8,35	13,08	13,08
Orthocladiinae	5,35	6,09	9,55	22,63
<i>Austrelmis</i> sp.	5,02	5,87	9,19	31,82
<i>Baetodes</i> sp.	3,60	5,08	7,95	39,77
Simuliidae	3,79	4,27	6,69	46,46
Oligochaeta	3,83	3,75	5,87	52,33
<i>Metrichia</i> sp.	3,56	3,75	5,87	58,20
Ostracoda	2,80	3,31	5,19	63,39
<i>Atopsyche</i> sp.	2,30	3,31	5,19	68,58
Empididae	2,79	2,93	4,59	73,17
Hydracarina	2,51	2,43	3,80	76,97
<i>Tricorythodes</i> sp.	1,70	2,43	3,80	80,77
<i>Claudioperla</i> sp.	1,50	2,09	3,27	84,04
<i>Smicridea</i> sp.	1,35	1,66	2,59	86,63
Ceratopogoninae 2	1,45	1,66	2,59	89,22
Chironominae	2,86	1,66	2,59	91,81

<b>Similaridad promedio = 67,29%</b>		<b>E3 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Andesiops</i> sp.	5,83	8,95	13,31	13,31
Orthoclaadiinae	5,14	8,04	11,94	25,25
Oligochaeta	4,95	7,96	11,83	37,08
<i>Austrelmis</i> sp.	4,07	6,58	9,79	46,87
<i>Baetodes</i> sp.	2,72	4,25	6,32	53,19
Turbellaria	2,60	4,08	6,07	59,26
<i>Atopsyche</i> sp.	2,39	4,08	6,07	65,33
<i>Metrichia</i> sp.	2,14	3,18	4,72	70,05
Nematoda	2,12	2,85	4,24	74,29
Ostracoda	1,84	2,85	4,24	78,53
Lymnaeidae	1,73	2,46	3,65	82,18
Blephariceridae	1,24	1,95	2,9	85,08
Tabanidae	1,24	1,95	2,9	87,98
Empididae	2,30	1,95	2,9	90,88
<b>Similaridad promedio = 66,35%</b>		<b>E4 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Andesiops</i> sp.	5,39	11,18	16,85	16,85
Oligochaeta	4,12	8,80	13,26	30,11
Orthoclaadiinae	4,60	7,40	11,16	41,27
<i>Austrelmis</i> sp.	3,66	6,29	9,48	50,75
<i>Baetodes</i> sp.	3,23	4,78	7,21	57,96
Turbellaria	1,94	3,90	5,88	63,84
Empididae	2,43	3,50	5,28	69,12
Hydrozoa	1,50	3,02	4,55	73,67
Ostracoda	2,01	3,02	4,55	78,22
Hydracarina	2,01	3,02	4,55	82,77
Simuliidae	1,98	3,02	4,55	87,32
<i>Metrichia</i> sp.	1,52	2,39	3,60	90,92

<b>Similaridad promedio = 50,80%</b>		<b>E5 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Andesiops</i> sp.	5,06	10,99	21,63	21,63
Oligochaeta	4,11	8,4	16,53	38,16
<i>Austrelmis</i> sp.	4,08	6,57	12,93	51,09
<i>Claudioperla</i> sp.	3,02	6,08	11,97	63,06
Orthoclaadiinae	5,00	5,45	10,73	73,79
<i>Cailloma</i> sp.	1,94	3,93	7,74	81,53
Turbellaria	1,24	2,41	4,74	86,27
Chironominae	3,50	2,41	4,74	91,01
<b>Similaridad promedio = 46,26%</b>		<b>E6 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
<i>Andesiops</i> sp.	4,05	7,70	16,65	16,65
<i>Austrelmis</i> sp.	4,06	6,60	14,27	30,92
Orthoclaadiinae	4,99	6,37	13,77	44,69
Oligochaeta	2,59	4,58	9,90	54,59
<i>Cailloma</i> sp.	2,28	4,58	9,90	64,49
Hydracarina	3,66	3,05	6,60	71,09
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.	1,75	2,42	5,23	76,32
Simuliidae	1,52	2,42	5,23	81,55
Chironominae	2,54	2,42	5,23	86,78
Ostracoda	1,55	1,53	3,30	90,08
<b>Similaridad promedio = 68,78%</b>		<b>E7 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
Orthoclaadiinae	6,16	10,87	15,80	15,80
Oligochaeta	5,24	9,59	13,95	29,75
<i>Austrelmis</i> sp.	4,19	7,42	10,79	40,54
<i>Andesiops</i> sp.	3,49	6,24	9,07	49,61
<i>Hyaella</i> sp.	3,35	6,16	8,96	58,57
Turbellaria	2,67	4,46	6,49	65,06
<i>Claudioperla</i> sp.	2,39	4,46	6,49	71,55
Hydracarina	3,61	3,77	5,48	77,03
Simuliidae	1,67	2,69	3,91	80,94
<i>Metrichia</i> sp.	1,10	2,13	3,10	84,04
Empididae	1,65	2,13	3,10	87,14
Chironominae	2,83	2,13	3,10	90,24

<b>Similaridad promedio = 50,75%</b>		<b>E8 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
Orthoclaadiinae	6,26	9,31	18,35	18,35
<i>Andesiops</i> sp.	3,01	5,32	10,49	28,84
<i>Austrelmis</i> sp.	3,62	4,67	9,20	38,04
<i>Claudioperla</i> sp.	2,65	3,91	7,70	45,74
<i>Cailloma</i> sp.	2,76	3,91	7,70	53,44
<i>Hyaella</i> sp.	2,62	3,66	7,20	60,64
Oligochaeta	4,05	3,37	6,63	67,27
<i>Meridialaris</i> sp.	1,87	3,37	6,63	73,90
Hydracarina	3,72	2,60	5,13	79,03
Empididae	3,15	2,60	5,13	84,16
Nematoda	1,45	2,06	4,07	88,23
<i>Atopsyche</i> sp.	1,65	2,06	4,07	92,30
<b>Similaridad promedio = 50,96%</b>		<b>E9 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
Orthoclaadiinae	6,83	11,22	22,02	22,02
<i>Austrelmis</i> sp.	3,95	5,65	11,08	33,1
<i>Andesiops</i> sp.	3,28	5,56	10,90	44,00
<i>Cailloma</i> sp.	3,03	4,76	9,34	53,34
Oligochaeta	4,39	4,61	9,05	62,39
<i>Hyaella</i> sp.	2,83	3,86	7,57	69,96
Simuliidae	2,30	2,99	5,86	75,82
Hydracarina	3,66	2,57	5,05	80,87
Ceratopogoninae 2	1,45	2,04	4,00	84,87
Turbellaria	1,32	1,29	2,52	87,39
<i>Meridialaris</i> sp.	1,24	1,29	2,52	89,91
<i>Claudioperla</i> sp.	1,87	1,29	2,52	92,43
<b>Similaridad promedio = 68,98%</b>		<b>E10 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
Orthoclaadiinae	6,46	12,44	18,03	18,03
Oligochaeta	4,89	9,82	14,24	32,27
<i>Austrelmis</i> sp.	4,23	9,03	13,09	45,36
<i>Meridialaris</i> sp.	2,84	5,67	8,22	53,58
<i>Claudioperla</i> sp.	2,64	5,67	8,22	61,8
<i>Andesiops</i> sp.	2,72	5,15	7,46	69,26
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.	2,34	3,85	5,58	74,84
Nematoda	1,70	3,46	5,01	79,85
<i>Hyaella</i> sp.	2,19	2,98	4,32	84,17
Hydracarina	2,28	2,36	3,42	87,59
<i>Cailloma</i> sp.	1,59	2,36	3,42	91,01

<b>Similaridad promedio = 42,54%</b>		<b>E11 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
Orthoclaadiinae	6,56	12,77	30,01	30,01
Oligochaeta	3,77	6,51	15,3	45,31
<i>Meridialaris</i> sp.	2,65	5,84	13,73	59,04
<i>Austrelmis</i> sp.	3,38	5,28	12,4	71,44
<i>Andesiops</i> sp.	1,90	4,08	9,6	81,04
Hydracarina	2,87	2,79	6,55	87,59
Ostracoda	1,39	1,76	4,13	91,72
<b>Similaridad promedio = 65,70%</b>		<b>E12 (Época seca y lluviosa)</b>		
<b>Taxa</b>	<b>Abundancia prom.</b>	<b>Similaridad prom.</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Acum. %</b>
Orthoclaadiinae	6,16	13,53	20,60	20,60
<i>Austrelmis</i> sp.	3,86	8,17	12,44	33,04
Oligochaeta	4,23	7,25	11,03	44,07
<i>Claudioperla</i> sp.	3,50	7,25	11,03	55,10
<i>Anomalocosmoecus</i> sp.	3,19	5,23	7,96	63,06
<i>Meridialaris</i> sp.	2,54	4,95	7,53	70,59
<i>Andesiops</i> sp.	2,01	4,63	7,05	77,64
Chironominae	1,61	3,83	5,83	83,47
Empididae	2,59	3,30	5,02	88,49
<i>Cailloma</i> sp.	1,24	2,61	3,98	92,47

**Anexo 11.** Correlación de Spearman entre las variables abióticas y bióticas. Época seca (julio 2014).

Rho de Spearman		Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (ppm)	pH	Conductividad eléctrica (µS/cm <sup>2</sup> )	Sólidos Totales Disueltos (STD)
<b>Riqueza</b>	Coeficiente de correlación	-0,032	-0,682*	0,615*	0,544	0,624*
	Sig. (bilateral)	0,922	0,014	0,033	0,068	0,03
<b>Abundancia</b>	Coeficiente de correlación	-0,48	0,136	-0,357	0,105	-0,021
	Sig. (bilateral)	0,114	0,673	0,254	0,746	0,948

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

**Anexo 12.** Correlación de Spearman entre las variables abióticas y bióticas. Época lluviosa (enero 2015).

Rho de Spearman		Temperatura del agua (°C)	Oxígeno disuelto (ppm)	pH	Conductividad eléctrica (µS/cm <sup>2</sup> )	Sólidos Totales Disueltos (STD)
<b>Riqueza</b>	Coeficiente de correlación	0,452	-0,011	-0,24	0,113	0,149
	Sig. (bilateral)	0,14	0,973	0,452	0,725	0,645
<b>Abundancia</b>	Coeficiente de correlación	0,403	-0,277	0,239	-0,263	-0,168
	Sig. (bilateral)	0,194	0,384	0,454	0,409	0,602

**Anexo 13.** Algunos macroinvertebrados encontrados en la zona de estudio.

➤ No insectos



Hydrozoa



Oligochaeta



*Hyalella* sp.



Turbellaria



Hydracarina



Physidae



Lymnaeidae

➤ Insectos



*Andesiops* sp.



*Baetodes* sp.



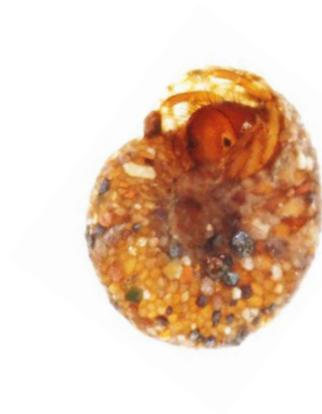
*Meridialaris* sp.



*Tricorythodes* sp.



*Claudioperla* sp.



*Helicopsyche* sp.



*Metrichia* sp.



*Atopsyche* sp.



*Cailloma* sp.



*Smicridea* sp.



*Anomalocosmoecus* sp.



Staphylinidae



*Austrelmis* sp.



Blephariceridae



Simuliidae



Tipulidae



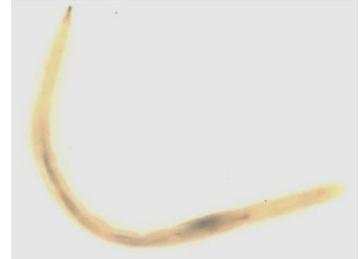
Limoniidae



Ceratopogoninae



Psychodidae



Leptoconopinae



Tanypodinae



Chironominae



Orthoclaadiinae



Podonominae



Tabanidae



Ephyridae



Empididae