

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL**



**TESIS**

**Evaluación de macroinvertebrados acuáticos, como indicadores del estado ecológico del río Tingo, Provincia de Hualgayoc, Cajamarca – 2019.**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**  
**Calidad Ambiental**

**Autor**

Tarrillo Campos, Elvis Eli

**Asesor**

Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza

**Co-asesor**

Ing. Ever Nuñez Bustamante

---

*Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza*  
DOCENTE NOMBRADO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

**CHOTA – PERÚ**  
**2020**



**Universidad Nacional Autónoma de Chota**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

ACTA N° 005-2021/EPIFA - FCA/UNACH

Siendo las 10:05 horas, del día 28 de mayo de 2021, en video conferencia del aplicativo Meet Google (enlace de sustentación: <https://meet.google.com/ksn-sddw-mih>; enlace de grabación:

[https://drive.google.com/file/d/1YSzdzqYV9ZbCDQsK5SmkxKrikQZhAsaPi/view?usp=drive\\_s](https://drive.google.com/file/d/1YSzdzqYV9ZbCDQsK5SmkxKrikQZhAsaPi/view?usp=drive_s)), los miembros del Jurado de Tesis titulada: "Evaluación de macroinvertebrados acuáticos, como indicadores del estado ecológico del río Tingo, Provincia de Hualgayoc, Cajamarca – 2019", integrado por:

- |                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| 1. Dr. Marco Antonio Añaños Bedriñana | Presidente |
| 2. M. Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito  | Secretario |
| 3. Dr. Héctor Orlando Chávez Angulo   | Vocal      |

Sustentada por Bach Elvis Elí Tarrillo Campos, con la finalidad de obtener el título profesional en Ingeniería Forestal y Ambiental

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda APROBAR la tesis, calificándola con la nota de: **16 (DIECISEÍIS)**, se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el GRADO DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

Firmado en: Chota, 28 de mayo del 2021.

  
.....  
Presidente

  
.....  
Vocal

  
.....  
Secretaria

A Jehová, nuestro creador, que cada día nos guía en nuestra vida y nos brinda la sabiduría que necesitamos para cumplir lo que nos proponemos.

A mis padres por su guía, amor, comprensión y apoyo en todo momento, ya que gracias a ellos ha sido posible realizar este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

*A mi asesora de tesis, Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza, por su guía y orientación en el desarrollo de esta tesis.*

*A mi coasesor de tesis, Ing. Ever Núñez Bustamante, por todo su apoyo desde el inicio de mi proyecto de tesis, hasta la finalización.*

*Al Blgo. Jesús Rascón Barrios, por su apoyo en la etapa de campo, en la identificación de los macroinvertebrados y su guía durante la visita al laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.*

*A mis padres Epifanio Tarrillo Ruiz y Aidé Gloria Campos Vásquez, que siempre me brindaron apoyo incondicional en todo el trabajo realizado y a todas las personas que de alguna forma me apoyaron para cumplir con este trabajo.*

# ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN .....	11
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	12
2.1.    Antecedentes Del Estudio .....	12
2.2.    Bases Teórico Científicas .....	14
2.2.1. <i>Clasificación de las Aguas Superficiales</i> .....	14
2.2.2. <i>Calidad de Agua</i> .....	14
2.2.3. <i>Monitoreo de Características Químicas del Agua</i> .....	15
2.2.4. <i>Monitoreo de Características Biológicas del Agua</i> .....	16
2.2.5. <i>Deterioro de la Calidad del Agua</i> .....	18
2.2.6. <i>Patrones Longitudinales de Macroinvertebrados</i> .....	19
2.2.7. <i>Distribución de Macroinvertebrados Debido a Características Funcionales</i> .....	20
2.2.8. <i>Ventajas del Uso de Macroinvertebrados Acuáticos</i> .....	21
2.2.9. <i>Principales Órdenes de Macroinvertebrados Acuáticos</i> .....	22
2.2.10. <i>Parámetros Físicoquímicos</i> .....	23
2.2.11. <i>Monitoreo de Características Físicas del Agua</i> .....	23
2.2.12. <i>Índice Biótico para los ríos del norte del Perú</i> .....	24
2.2.13. <i>Río Tingo</i> .....	26
2.3.    Definición de Conceptos .....	26
2.3.1. <i>Agua</i> .....	26
2.3.2. <i>Bioindicadores</i> .....	27
2.3.3. <i>Macroinvertebrados Acuáticos</i> .....	27
2.3.4. <i>Monitoreo de Aguas.</i> .....	27
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO .....	28
3.1.    Ubicación .....	28
3.1.1. <i>Localización</i> .....	28
3.1.2. <i>Clasificación ecológica</i> .....	29
3.1.3. <i>Clima</i> .....	29
3.1.4. <i>Extensión y altitud</i> .....	29
3.1.5. <i>Superficie y topografía</i> .....	29
3.2.    Población y Muestra .....	30

3.3.	Equipos, Materiales e Insumos .....	30
3.3.1.	<i>Materiales e Insumos</i> .....	30
3.3.2.	<i>Equipos</i> .....	30
3.4.	Metodología de la Investigación.....	31
3.4.1.	<i>Variable Independiente</i> .....	31
3.4.2.	<i>Variable Dependiente</i> .....	31
3.4.3.	<i>Recolección de Datos</i> .....	31
3.5.	Análisis Estadístico .....	34
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		35
4.1.	Parámetros Físicoquímicos .....	35
4.1.1.	<i>pH</i> .....	39
4.1.2.	<i>Temperatura (T°)</i> .....	40
4.1.3.	<i>Oxígeno Disuelto (OD)</i> .....	41
4.1.4.	<i>Aluminio (Al)</i> .....	42
4.1.5.	<i>Cadmio (Cd)</i> .....	43
4.1.6.	<i>Cobre (Cu)</i> .....	44
4.1.7.	<i>Hierro (Fe)</i> .....	45
4.1.8.	<i>Manganeso (Mn)</i> .....	46
4.1.9.	<i>Comportamiento del plomo (Pb)</i> .....	47
4.2.	Macroinvertebrados.....	48
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		51
5.1.	Conclusiones.....	51
5.2.	Recomendaciones .....	51
CAPÍTULO VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		52
CAPÍTULO VII ANEXOS .....		59

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Calificación de familias de macroinvertebrados según índice biótico para los ríos del norte del Perú (nPeBMWP).</i> .....	25
<b>Tabla 2</b> <i>Puntos de monitoreo de la calidad de agua en la cuenca del río Tingo.</i> .....	32
<b>Tabla 3</b> <i>Fechas de tomas de muestras físico químicas y biológicas.</i> .....	32
<b>Tabla 4</b> <i>Valores del índice biótico para ríos del norte del Perú (nPeBMWP) según rangos de calidad.</i> ....	34
<b>Tabla 5</b> <i>Parámetros físico-químicos del agua de los tres puntos de monitoreo.</i> .....	35
<b>Tabla 6</b> <i>ANOVA y Tukey para los parámetros físico-químicos del agua del río Tingo.</i> .....	36
<b>Tabla 7</b> <i>Correlación de variables.</i> .....	37
<b>Tabla 8</b> <i>Abundancia y nPeBMWP de macroinvertebrados registrados en el punto de monitoreo E1.</i> .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Ubicación de los puntos de monitoreo en el río Tingo.</i> .....	28
<b>Figura 2</b> <i>Comportamiento del pH en los puntos de monitoreo del río Tingo.</i> .....	39
<b>Figura 3</b> <i>Comportamiento de la Temperatura en los puntos de monitoreo del río Tingo.</i> .....	41
<b>Figura 4</b> <i>Oxígeno Disuelto en los puntos de monitoreo del río Tingo.</i> .....	42
<b>Figura 6</b> <i>Al en los puntos de monitoreo del río Tingo.</i> .....	43
<b>Figura 7</b> <i>Cd en los puntos de monitoreo del río Tingo.</i> .....	44
<b>Figura 8</b> <i>Cu en los puntos de monitoreo del río Tingo.</i> .....	45
<b>Figura 9</b> <i>Fe en los puntos de monitoreo del río Tingo.</i> .....	46
<b>Figura 10</b> <i>Mn en los puntos de monitoreo del río Tingo.</i> .....	47
<b>Figura 11</b> <i>pH en los puntos de monitoreo del río Tingo.</i> .....	47
<b>Figura 12</b> <i>Abundancia total de macroinvertebrados en las tres épocas de monitoreo.</i> .....	49
<b>Figura 13</b> <i>Análisis de calidad del agua según índice nPeBNWP.</i> .....	50
<b>Figura 14</b> <i>Familia Muscidae vista en el estereoscopio.</i> .....	59
<b>Figura 15</b> <i>Familia Tabanidae vista en el estereoscopio.</i> .....	59
<b>Figura 16</b> <i>Familia Tipulidae vista en el estereoscopio.</i> .....	60
<b>Figura 17</b> <i>Familia Ceratopogonidae vista en el estereoscopio.</i> .....	60
<b>Figura 18</b> <i>Familia Chironomidae vista en el estereoscopio.</i> .....	60
<b>Figura 19-</b> <i>Familia Dytiscidae vista en el estereoscopio.</i> .....	61
<b>Figura 20</b> <i>Familia Lampyridae vista en el estereoscopio.</i> .....	61
<b>Figura 21</b> <i>Familia Georissidae vista en el estereoscopio.</i> .....	61
<b>Figura 22</b> <i>Familia Odontoceridae vista en el estereoscopio.</i> .....	62
<b>Figura 23</b> <i>Familia Hidrobiosidae vista en el estereoscopio.</i> .....	62
<b>Figura 24</b> <i>Familia Aeshnidae vista en el estereoscopio.</i> .....	62
<b>Figura 25</b> <i>Familia Planariidae vista en el estereoscopio.</i> .....	63
<b>Figura 26</b> <i>Individuo del orden Ephemeroptera (pupa) vista en el estereoscopio.</i> .....	63
<b>Figura 27</b> <i>Individuo del orden Acari vista en el estereoscopio.</i> .....	63
<b>Figura 28</b> <i>Registro de parámetros físico químicos con el multiparámetro.</i> .....	64
<b>Figura 29</b> <i>Medidas de cauce del río.</i> .....	64
<b>Figura 30</b> <i>Toma de muestras de agua.</i> .....	65
<b>Figura 31</b> <i>Muestreo de macroinvertebrados.</i> .....	65



## RESUMEN

En las zonas aledañas al río Tingo, desde décadas atrás, se registra actividad minera que genera impactos ambientales. Se planteó como objetivo de investigación evaluar los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico del río Tingo, en la provincia de Hualgayoc, Cajamarca, mediante la utilización de índices biológicos, complementada con la evaluación de parámetros fisicoquímicos. Se definieron tres puntos de monitoreo y tres épocas de muestreo en las que se recolectaron macroinvertebrados bentónicos utilizando una red Surber y se recolectaron muestras de agua para el análisis de parámetros fisicoquímicos, la información se analizó de acuerdo al Índice Biótico para los Ríos del Norte del Perú (nPeBMWP). Se registró 366 individuos, distribuidos en 3 clases, 7 órdenes y 12 familias. En el punto de monitoreo ubicado al inicio del río se evidencia una calidad biológica regular en la época de lluvia y calidad biológica mala en las épocas de sequía y transición; con respecto a los puntos ubicados después de la desembocadura de aguas residuales de las mineras Coymolache y Goldfields, no se registró presencia de macroinvertebrados, pasando a ser consideradas con una calidad biológica pésima, con aguas extremadamente contaminadas. Realizando una comparación de los resultados fisicoquímicos y los índices biológicos, se observó que ambos presentan tendencias similares, complementándose mutuamente los resultados.

Palabras clave: Calidad del agua, índices bióticos, parámetros fisicoquímicos, macroinvertebrados acuáticos.

## **ABSTRACT**

In the areas surrounding the Tingo River, for decades, mining activity has been recorded that generates environmental impacts. The research objective was to evaluate aquatic macroinvertebrates as indicators of the ecological status of the Tingo River, in the province of Hualgayoc, Cajamarca, through the use of biological indices, complemented with the evaluation of physicochemical parameters. Three monitoring points and three sampling times were defined in which benthic macroinvertebrates were collected using a Surber network and water samples were collected for the analysis of physicochemical parameters, the information was analyzed according to the Biotic Index for the Northern Rivers of the Peru (nPeBMWP). 366 individuals were registered, distributed in 3 classes, 7 orders and 12 families. In the monitoring point located at the beginning of the river, a regular biological quality is evidenced in the rainy season and poor biological quality in the drought and transition seasons; Regarding the points located after the outlet of wastewater from the Coymolache and Goldfields mining companies, there was no presence of macroinvertebrates, and they were considered to have a poor biological quality, with extremely polluted waters. Making a comparison of the physicochemical results and the biological indices, it was observed that both present similar tendencies, complementing each other the results.

Keywords: Water quality, biotic indices, physicochemical parameters, aquatic macroinvertebrates.

## **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

Los macroinvertebrados son considerados indicadores importantes en el campo de la bioindicación, siendo evaluados con el fin de determinar la calidad de agua. La metodología utilizada tiene alta confiabilidad y es de rápida obtención de resultados, brindando referencia acerca de las variaciones en el transcurso del tiempo, siendo estos métodos una alternativa excelente para el monitoreo cotidiano de los ríos, ya que para su evaluación se requiere equipos sencillos y de bajo costo (Gutiérrez et al., 2006).

La mayoría de las familias de macroinvertebrados se distribuyen en variados estratos de condiciones ambientales, los cuales son muy susceptibles a la polución, por lo cual se recomiendan en el monitoreo y control de los ecosistemas hídricos (Roldan, 2016).

El Perú es un país neotropical que afronta rigurosos problemas de polución en sus ríos, entre ellos se encuentran las actividades industriales como la minería en las zonas altoandinas, las cuales generan pasivos ambientales mineros (Iannacone et al., 2001), este es el caso de las mineras ubicadas en los márgenes del río Tingo, las cuales desembocan sus efluentes en dicho río, afectando a los ecosistemas acuáticos presentes.

Siendo el río Tingo un lugar idóneo para aplicar esta metodología, permitiendo obtener información del nivel poblacional y comportamiento de macroinvertebrados, que servirá como complemento al trabajo de monitoreo de calidad de agua de dicho río que viene realizando la Administración Local de Agua Cajamarca, los cuales mencionan que presenta gran alteración de la calidad de sus aguas e la parte alta de su cuenca debido a la gran cantidad de pasivos ambientales mineros presentes en la zona y a vertimientos sin autorización, es por ello que se tiene el propósito de conocer el efecto de las actividades antrópicas en la calidad actual del agua, los cuales pueden afectar el bienestar y así mismo la salud de las personas, de igual forma la flora y fauna.

Por lo cual, se consideró como objetivo general evaluar los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico del río Tingo, en la provincia de Hualgayoc, Cajamarca; y como objetivos específicos, evaluar las propiedades fisicoquímicas del agua (pH, temperatura, oxígeno disuelto y metales pesados) y estimar el estado ecológico del río Tingo a través del Índice Biótico para los Ríos del norte del Perú teniendo. Se planteó como hipótesis de investigación que en la estación de muestreo E1 el estado ecológico del agua es buena en comparación con la estación E2 y E3.

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes Del Estudio**

Eduardo y Sánchez (2014) estudiaron los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad del agua del río Palacagüina, Norte de Nicaragua, planteándose como objetivo evaluar la calidad del agua del río Palacagüina en la parte alta y baja. Obtuvieron como resultado un valor promedio índice biological monitoring working party (BMWP - CR) de 42,9 para la parte alta, indicando que el agua de esta parte está contaminada y un valor promedio de 29,8 para la parte baja indicando que dichas aguas están muy contaminadas, concluyendo que las aguas del Río Palacagüina están contaminadas por las actividades antrópicas asociadas al drenaje urbano.

Roldán (2016) analizó los estudios desarrollados en Latinoamérica referentes a indicadores de calidad del agua los macroinvertebrados, concluyendo en su estudio que, de los grupos como los anélidos, moluscos, ácaros y dípteros, aún falta conocimiento de su taxonomía y requerimientos ecológicos.

Yépez et al. (2017) evaluaron los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador”. Establecieron como objetivos calificar la situación físico-química del agua, identificar la variedad de macroinvertebrados bentónicos como también determinar la calidad del agua en dos lugares urbanos asociados a zonas conocidas de monitoreo del río Quevedo. Se realizaron muestreos en puntos afectados por vertidos de efluentes residenciales, agrícolas e industriales y utilizaron el Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP-Col) para conocer la calidad del agua; determinaron un valor de  $20,0 \pm 7,52$ , por lo que se concluye que el río Quevedo se encuentra altamente alterado como consecuencia de actividades antropogénicas asociadas al urbanismo y actividades industriales, lo cual altera de forma negativa la distribución de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

Vásquez y Medina (2014) evaluaron la calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos de la microcuenca del río Tablachaca (Ancash, Perú) utilizando como indicadores de calidad los macroinvertebrados acuáticos y ciertos parámetros fisicoquímicos como pH, nitritos, nitratos, fosfatos, cromo y aluminio. Según el Índice

biológico para los ríos del norte del Perú (PeBMWP), los ríos Paragón (nPeBMWP = 79) y Puente Hondo (nPeBMWP = 68) muestran una aceptable calidad de agua, mientras que el río Pampas (nPeBMWP = 06) presenta una pésima calidad de agua, concluyendo los parámetros fisicoquímicos cumplen con lo establecido en el DS 0022008-MINAM, a excepción de los fosfatos, cuyas concentraciones sobrepasan los límites permisibles para el agua destinada a riego de vegetales y bebida para animales; asimismo, los ríos Paragón y Puente Hondo presentan agua de calidad biológica aceptable, en tanto que el río Pampas de calidad biológica pésima.

Sotil y Flores (2016) en las aguas del río Mazán – Loreto”, determinaron la calidad biológica del río, relacionando sus características físicas, químicas y bacteriológicas. Registraron una temperatura de 26,70 °C, transparencia 93,78 cm, conductividad 16,77  $\mu$ S/cm, TDS 9,36 mg/L, pH 7,05, oxígeno disuelto 6,57 mg/L, dióxido de carbono 4,14 mg/L, alcalinidad total 21,20 mg/L, coliformes totales 4,66 UFC/100mL, coliformes fecales 1,66 UFC/100 mL y cloruros 15,13 mg/L, concluyendo que el río Mazán, presenta aguas sanas, de aceptable calidad biológica, con signos de polución antropogénica, pero dentro los Límites Máximos permisibles.

García (2016) determinó la calidad de agua del río Shilcayo, Tarapoto, con el propósito de identificar la variabilidad de los parámetros asociados a la calidad del agua en relación a zonas de polución derivadas de aguas residuales debidamente identificadas, analizando la abundancia y estructura en las comunidades de insectos y la alteración de éstas con respecto a zonas de polución identificadas, mostrando resultados con un decrecimiento en la diversidad de insectos posterior a los focos de polución, indicando que el agua resultó de buena calidad río arriba y de mala calidad en la estación última del río.

Polo y Medina (2013) determinaron la calidad biológica del río Amojú, Jaén”, Cajamarca, a través de la clasificación de los parámetros biológicos y considerando como medida la composición y abundancia de macroinvertebrados. Considerando el índice biótico para los ríos del norte del Perú (nPeBMWP), el río Amojú presenta aceptable calidad del agua en la E-1 y E-6 con un valor de 89 y 62, E-2 y E-5 calidad regular con un valor de 52 y 38, E-3 y E-4 calidad mala con un valor de 31 y 20 respectivamente. Concluyeron que la calidad biológica de agua del río Amojú, para las estaciones de muestreo E-1, E-2 y E-6 es de calidad aceptable, obteniéndose un mejor puntaje y una mayor cantidad de familias de macroinvertebrados; las estaciones E-3 y E-4 son de mala calidad, debido a que tiene influencia de muchas actividades

humanas, donde pudo observarse que tanto el puntaje como el número de familias de macroinvertebrados fue pequeño; y la única estación que obtuvo regular calidad fue la estación E-5.

Palomino (2016) evaluó la calidad del agua en el río Mashcón – Cajamarca, a través de macroinvertebrados acuáticos bentónicos (MAB), relacionando los factores vinculados a la calidad del agua con las variaciones en la estructura comunitaria de los MAB, seleccionando cinco estaciones de muestreo para su análisis físico, químico, microbiológico y MAB. Concluyó que el río Mashcón presenta contaminación y que existe una estrecha relación entre los factores de calidad de agua con los MAB; para lo cual tuvo en cuenta el análisis de las comunidades de MAB en relación a la presencia de familias, determinando la calidad del agua, en función a parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se determinaron de acuerdo a cada una de las estaciones de muestreo.

## **2.2. Bases Teórico Científicas**

### **2.2.1. Clasificación de las Aguas Superficiales**

El agua abarca en promedio el 70 % del total de la superficie del planeta, la cual presenta cualidades únicas que la convierten en primordial para la vida, siendo un solvente excelente y reactivo idóneo en la mayoría de reacciones metabólicas; demostrando una alta capacidad calorífica como también la capacidad de expansión al someterse a un proceso de congelamiento, dividiéndose en aguas superficiales (mares, arroyos, ríos, lagos, placas de hielo) y aguas subterráneas que se almacenan bajo la superficie terrestre formando acuíferos (Prieto, 2004).

Por su parte, Fernández (2012), considera que existen dos clases de aguas superficiales, las aguas lólicas o corrientes que se caracterizan por presentar cuerpos de agua que se movilizan en la misma dirección, encontrándose dentro de esta clase los ríos, manantiales, riachuelos y arroyos; y las lénticas que se caracterizan por presentar aguas quietas o estancadas en la que se encuentran los lagos, lagunas, charcas, humedales y pantanos.

### **2.2.2. Calidad de Agua**

En relación con los usos más comunes se encuentra el consumo humano y de animales, para la agricultura, la recreación, entre otros (Correa, 2000).

La calidad del agua es relativa y se encuentra vinculada al uso del recurso; por ejemplo, el agua que sustente la vida acuática podría no ser apta para consumo humano y un agua que es apta para el consumo puede ser considerada no apta para el sector industrial; por lo que, para determinar la idoneidad del agua para un propósito en particular, debemos definir su calidad en correlación al uso que se le asigna (Barrenechea, 2010).

Se considera como indicativos de la calidad de agua a la diversidad y biomasa de la biota, lo cual está relacionada con las concentraciones de sustancias orgánicas e inorgánicas; determinar la calidad del agua a través de especímenes acuáticos es una práctica habitual en la comunidad científica; para ello, se toma en cuenta la composición y estructura, siendo ahí donde nace la terminología de calidad biológica, considerando que un cuerpo de agua tiene una calidad biológica buena en cuanto presente cualidades naturales que permitan el desarrollo de comunidades de organismos acuáticos que le son propios (Barrenechea, 2010).

Desde la perspectiva ambiental, la calidad de agua estaría relacionada a su capacidad de mantener un ecosistema equilibrado, dando cumplimiento a determinados objetivos de calidad ecológica, pero todo esto sin desligarse de las características físicas y químicas que la definen (Barrenechea, 2010).

### ***2.2.3. Monitoreo de Características Químicas del Agua***

El Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (2016) indica que el agua es un solvente universal. Barrenechea (2010) considera importantes los siguientes parámetros en el monitoreo de la calidad de agua:

- **pH:** se expresa en una escala relacionada a las concentraciones de iones de hidrógeno en el agua. Si el pH del agua es inferior a 6 o superior a 9, este recurso tiene el potencial de causar daño eventual en la flora y fauna acuática.
- **Aluminio:** elemento que se puede encontrar de manera natural en el agua, ya sea en forma soluble o coloidal, procede generalmente de las arcillas y causa un pH bajo en el agua.
- **Mercurio:** es uno de los elementos más contaminantes del agua debido a su toxicidad para las personas y organismos acuáticos, se encuentra en mayor proporción de manera inorgánica, y en menor cantidad en forma orgánica debido a la intervención de microorganismos.

- **Plomo:** elemento poco común en el agua superficial; sin embargo, se ha reportado presencia de este elemento en aguas impactadas por vertidos provenientes de la industria. También puede encontrarse en aguas subterráneas, aunque no de forma constante.
- **Hierro:** la concentración con la que se presenta en el agua generalmente no causa trastornos en la salud; sin embargo, en concentraciones que excedan los estándares de calidad ambiental, repercuten en el sabor, color y turbidez del agua. Tiene alta importancia en el ciclo de los fosfatos, haciéndolo esencial desde la perspectiva biológica.
- **Cadmio:** elemento tóxico altamente dispersado en la naturaleza, en su gran mayoría asociado a la industria minera.
- **Cobre:** elemento que es capaz de encontrarse en el ambiente de manera natural, niveles bajos de cobre son esenciales para mantener saludable un ecosistema; no obstante, altos niveles pueden producir efectos perjudiciales en la vida acuática.
- **Manganeso:** elemento reactivo fácilmente combinable con los iones del agua, siendo encontrado en una serie de minerales de diferentes propiedades químicas y físicas; sin embargo, nunca es encontrado como metal libre en la naturaleza.

#### ***2.2.4. Monitoreo de Características Biológicas del Agua***

Según Ten (2015), los parámetros relacionados al monitoreo de la calidad del agua son principalmente fisicoquímicos, parámetros que reflejan la fotografía de un aspecto del ecosistema acuático; por ejemplo, un monitoreo fisicoquímico depende del caudal en el momento de tomar la muestra. Existen contaminantes que se diluyen fácilmente de modo que son indetectables en el momento del muestreo; ante ello, se recomienda el enfoque hidrobiológico en el monitoreo de la calidad del agua, que incorpora metodologías basada en organismos indicadores, siendo un complemento al monitoreo de la calidad físicoquímica que permite hacer un análisis en el tiempo y espacio de la perturbación o contaminación de un ecosistema.

Fernández (2012) y Ten (2015) sostienen que las características biológicas proporcionan una evidencia del estado de un cuerpo de agua en relación a las presiones ambientales presentes. Entre las ventajas encontramos la facilidad de recolección e interpretación de datos, su capacidad de mostrar tendencias temporales debido a que se comportan de acuerdo a las



perturbaciones del ambiente, entre otros. Representan una excelente alternativa para el monitoreo de la calidad de un ecosistema acuático, siendo evaluado los siguientes aspectos:

- **Peces:** evidencian alteraciones a través del tiempo en las masas de agua debido a su longevidad, la cual puede llegar a ser de 20 a 30 años; también son importantes en el seguimiento y detección de las presiones hidromorfológicas capaces de alterar su hábitat (Alva-Tercedor, 1996).
- **Macrófitos:** son utilizadas para determinar los cambios tanto en las presiones fisicoquímicas como en las hidromorfológicas, los macrófitos están compuestos por plantas acuáticas que pueden ser observadas a simple vista, dentro de las que se encuentran muchas comunidades vegetales, están representadas por tres formas principales que son: sumergidos, emergidos y flotantes, de las cuales las más reconocidas son las microalgas y plantas vasculares acuáticas (Alva-Tercedor, 1996).
- **Macroinvertebrados bentónicos:** son considerados útiles para el seguimiento y detección de las presiones ambientales vinculadas a polución térmica, polución orgánica, eutrofización y polución por metales, también son excelentes indicadores de presiones hidromorfológicas relacionadas a alteraciones en el caudal y lecho fluvial (Segnini, 2003).

Son útiles para mostrar alteraciones temporales, de mediano y largo plazo, debido a que sus familias presentan ciclos de vida inferiores a un mes y hasta mayores de un año, convirtiéndoles en excelentes indicadores de la calidad de agua. Se puede complementar con la evaluación de fitobentos y peces, de acuerdo al ámbito temporal que se requiera analizar (Roldan, 2003).

Son considerados macroinvertebrados aquellos organismos acuáticos que presentan un tamaño que va desde 0,5 mm a mayores de 3 mm, caracterizados por vivir adheridos a sustratos en la superficie o en los primeros centímetros del sedimento, los cuales son visibles a simple vista, siendo retenidos en mallas de entre 250 a 300  $\mu\text{m}$  (Alva-Tercedor, 1996).

El grupo de mayor presencia son los artrópodos y conforma el 80%, entre ellos los más numerosos son los insectos en su estadio larvario, seguidos de los oligoquetos, hirudíneas y moluscos y relativamente con escasa presencia se ubican los celentéreos y platelmintos (Segnini, 2003). Estos organismos son los de mayor predominancia en los ríos, lagos, humedales e incluso el litoral (Vásquez et al., 2006).

- **Fitoplancton:** la mayor parte son organismos fotosintéticos de los que destacan los flagelados, cianobacterias y microalgas. Tienen la característica de sobrevivir de forma suspendida en el agua, por lo que se usan como indicadores de contaminación térmica y orgánica, presencia de minerales en el agua y eutrofización. Estos organismos debido a que sus estadios vitales son relativamente cortos, son indicadores de calidad de agua a corto plazo (López et al., 2016).
- **Diatomeas Bentónicas:** se caracterizan por desarrollarse en un sustrato natural, llegando a constituir el mayor número dentro de la comunidad de los perifitos, alcanzando niveles de entre 80 y 90 % de la población, representados en su mayoría por hongos, bacterias y microalgas (López y Siqueiros, 2011).

Representan una alternativa viable de monitoreo ya que son de fácil manipulación y conservación, esto gracias a que están formados por un esqueleto de sílice conocido como frústula, la cual presenta alta resistencia, siendo dichas particularidades morfológicas la clave para que se logre identificar las especies. Presentan una respuesta rápida a las alteraciones que se generan en su hábitat, gracias a esto son considerados de gran importancia en la detección y seguimiento de las presiones fisicoquímicas causadas por eutrofización, incrementos de materia orgánica, salinidad y acidificación (Segnini, 2003).

López y Siqueiros (2011) indican que las microalgas bentónicas presentan baja sensibilidad en relación a las presiones hidromorfológicas, por lo que su uso no es recomendado en la detección de dichas presiones; a pesar de ello, son buenos indicadores de cambios a corto plazo.

### ***2.2.5. Deterioro de la Calidad del Agua***

Uno de los problemas de mayor incremento a nivel global es el deterioro de la calidad del agua, el cual es considerado por la gran mayoría como la primordial dificultad ambiental que enfrenta la humanidad (Monforte y Cantú, 2009). Para Fernández (2012) las principales causas del detrimento en la calidad del agua dulce estarían relacionadas al insuficiente control de los vertidos residuales e industriales, que en muchas ocasiones no presentan tratamiento alguno y en menor proporción se generarían por prácticas agrícolas deficientes, lo cual repercute de forma significativa en la calidad del agua. Sin embargo, Monforte y Cantú (2009), sostienen que dicho deterioro también es determinado por la contaminación

atmosférica, la relativa acumulación de compuestos químicos en el suelo, uso en exceso del agua subterránea, el sector minero e industrias similares de extracción.

Al deteriorarse la calidad del agua, esta pasa a ser considerada como contaminada, trayendo efectos significativos, tanto en los organismos que conforman los ecosistemas acuáticos, la población que la consume y el paulatino deterioro de fertilidad del suelo en relación a la agricultura (Fernández, 2012).

No solo la intervención del hombre trae consecuencias en la calidad del agua, pues también se presenta alteraciones significativas de forma natural, en aguas subterráneas, debido a que éstas pasan por diferentes sustratos en el subsuelo, arrastran contaminantes acumulados de forma natural; en aguas superficiales, las inundaciones arrastran contaminantes de la corteza terrestre. El impacto de la contaminación natural del agua es mucho menor el generado por las actividades humanas (Fernández, 2012).

En las aguas superficiales los principales contaminantes que causan alteración de la calidad están relacionadas a fuentes puntuales, las cuales están conformadas por industrias, urbanismo, minería, ganadería, eutrofización, residuos sólidos, las cuales aportan contaminantes de forma orgánica e inorgánica (Escobar, 2010).

#### ***2.2.6. Patrones Longitudinales de Macroinvertebrados***

La distribución de las especies, a lo largo del canal principal de un río es el resultado de una serie de adaptaciones debido al estrés hidráulico. La corriente es considerada una variable fundamental en cambios críticos, creando y distribuyendo ensamblajes únicos de organismos a lo largo del río (Daza et al., 2016). Para explicar lo anterior, un primer ensamblaje de especies se ubica en la zona de agua con más suspensión, permitiendo que otro ensamblaje de especies adaptadas a corrientes rápidas se distribuya en esta zona de estrés hidráulico, cuando el río entra en la planicie de inundación un nuevo tipo de ensamblaje de especies se ubicará, las especies adaptadas a corrientes lentas se distribuirán en esta zona de depósitos, y como ensamblaje final se encuentran especies de estuarios tolerantes a condiciones salinas (Forero et al., 2007).

Las características térmicas del río también son determinantes importantes en cuanto el patrón de los macro invertebrados, especialmente en la influencia en el ciclo de desarrollo de las especies, en fase de reproducción y dispersión, los adultos están principalmente en

zonas aéreas, estos hábitats son ricos en alimento y actúan como soporte para las fases de crecimiento de ninfas y larvas. Un claro ejemplo es el desarrollo embriológico de Ephemeroptera que están asociados a temperaturas altas pues son especies muy dependientes a la temperatura, mientras que el desarrollo embriológico de Plecoptera pertenecen a aguas más frías y son más independientes a la temperatura en contraste con los Ephemeroptera (Bullón, 2016).

La distribución espacial de las comunidades es muy compleja y depende de la interacción entre dos sets de parámetros: la habilidad de las especies de adaptarse a factores ecológicos tales como la composición y tamaño del sustrato, flujos y la demanda por ciertos recursos alimenticios (escombros alóctonos, alimento por filtración, carnívora, etc.) y la modificación progresiva de las condiciones físicas del río (geomorfología, hidrología) que genera un continuo gradiente de recursos disponibles (Daza et al., 2016). El patrón de distribución de los macroinvertebrados está regulado por las diversas estrategias desarrolladas por las especies aprovechando al máximo los recursos disponibles.

A lo largo del río existe una sucesión de comunidades que fue propuesta como la teoría de río como un continuo por Daza et al. (2016) quien menciona que, en la parte alta, en áreas con bastante vegetación sobre la cuenca predominan los fragmentadores, especies adaptadas para procesar los fragmentos gruesos de materia orgánica. Indican que en la parte media, con el canal del río más amplio y abierto, donde la producción de materia orgánica es mayor a la asimilada, dominan la comunidad de invertebrados colectores (collectors) que juntan y depuran los depósitos encontrados en la superficie, también especies descritas como raspadoras (scrapers) son abundantes, estos consumen el Perifiton (film biológico compuesto de alga y bacteria), el cual crece en la superficie de las plantas y rocas, mientras que río abajo el sistema se vuelve más autotrófico y predominan colectores y filtradores.

Los macroinvertebrados bentónicos se alimentan principalmente de materia orgánica, zooplancton, teniendo un rango de hábitat dependiendo del tipo de alimento y su disponibilidad a lo largo del río (Daza et al., 2016).

### ***2.2.7. Distribución de Macroinvertebrados Debido a Características Funcionales***

De acuerdo a la Water and Rivers Commission (2002), estos organismos presentan susceptibilidad a las variaciones ya sea físicas o químicas que se den en su hábitat, por lo que, al generarse un cambio repentino en la calidad del agua, repercutiría alterando la

composición y estructura de estas comunidades de macroinvertebrados, siendo estas cualidades las utilizadas para calcular la calidad de agua.

La distribución de las especies se debe a una respuesta frente a variables ambientales, la cantidad y calidad del recurso, las características de la corriente y la velocidad, las que limitan el número de especies de macroinvertebrados (Rodríguez et al., 2011).

Aquellas especies que se encuentran en lechos rocosos o de gravas tienen características morfológicas y comportamentales que les permiten ser resistentes a las fuertes corrientes, muchas de ellas adoptan mecanismos que les permiten permanecer en zonas rápidas, tal como los succionadores, un grupo funcional que morfológicamente adaptaron estructuras y órganos especiales para resistir las corrientes, como caparzones, garras musculares que generan succión y permiten la adhesión en estos sustratos irregulares (Domínguez y Fernández, 2009).

Según Forero et al. (2007), una gran mayoría de macroinvertebrados bénticos prefieren evitar corrientes muy fuertes, seleccionando microhábitat protegidos y muchos se movilizan hasta abajo del sustrato en busca de refugio, estos refugios son temporales ya que para su sobrevivencia los macroinvertebrados necesitan alimento y reproducción, por lo tanto, gran parte del tiempo estas especies deben moverse, estos movimientos las hacen vulnerables, desplazándolas corriente abajo a la deriva; aquellas que logran con éxito moverse en zonas rápidas de corriente son aquellas especies que tienen adaptaciones estructurales para este tipo de hábitat, este fenómeno de deriva es la principal consecuencia del desplazamiento de comunidades de macroinvertebrados y se ha estimado que las densidades de macroinvertebrados arrastrados aumentan en la noche, debido a la variación en las corrientes, esta deriva de especies también sucede en respuesta a competición por comida y espacio.

#### ***2.2.8. Ventajas del Uso de Macroinvertebrados Acuáticos***

Los macroinvertebrados se han convertido en los más utilizados dentro de los bioindicadores, esto debido a que tienen muchas ventajas en comparación a otros organismos, dentro de estas cualidades se encuentra su extendida distribución geográfica, encontrándose en la mayoría de ecosistemas de cualquier altitud. Presentan también una gran abundancia de especies, las cuales tienen variadas respuestas a las alteraciones en el ambiente, lo que permite analizar de forma temporal la polución; estos organismos son mayormente sedentarios, lo que permite la potestad de tomar en cuenta su huida de la deriva

o lechos de agua como una señal de polución. Otra ventaja que presentan es su ciclo de vida, el cual es muy variado de acuerdo a las familias, lo que permite recoger información de alteraciones en un periodo de tiempo; siendo fáciles de muestrear y no necesitando mucho presupuesto para ello. Estas cualidades han hecho que estos organismos sean ideales bioindicadores por lo que se ha realizado estudios detallados de los mismos, y gracias a ello se tiene una vasta información de su taxonomía y de su sensibilidad a la polución (Resh, 2008).

Según Prat et al. (2009) las ventajas mencionadas en el párrafo precedente podrían ser relativas, sin embargo, estos organismos se han posicionado entre los principales indicadores de calidad de una masa de agua, debido a ello se encuentran en debate constante sobre su nivel taxonómico que mejor los represente como bioindicadores.

Roldán (2003) complementa que las razones por lo que se debe considerar a estos organismos dentro los indicadores de calidad de agua más idóneos son: su abundancia, variada distribución, facilidad de recolección, sedentarismos de la mayor cantidad de organismos por lo que brindan un reflejo realista de las condiciones locales; facilidad de identificación. Los macroinvertebrados detallan los efectos de los cambios en el ambiente, tanto a corto y largo plazo, siendo visibles a simple vista y responden de forma rápida a las tensiones ambientales.

### **2.2.9. Principales Órdenes de Macroinvertebrados Acuáticos**

- a. Ephemeroptera.** Son indicadores de buena calidad del agua, cuyas ninfas pasan su vida mayormente en aguas de gran corriente, libres de polución y bastante oxigenadas; sin embargo, algunas pocas especies presentan signos de resistencia a cierto grado de contaminación (Roldán, 2003).
- b. Plecoptera.** Presentan ninfas que pasan su vida en aguas de corriente rápida con altas concentraciones de oxígeno, encontrándose en su mayoría en la parte inferior de rocas, troncos, ramas y hojas. Se encuentran de forma abundante en ríos con corriente rápida y en su mayoría bastante limpias, que presentan un fondo con abundantes rocas. En su gran mayoría se encuentra a una altitud media de 2000 m.s.n.m. y son indicativos de aguas muy limpias (Roldán, 2003).
- c. Trichoptera.** Se ubican especialmente en ríos y quebradas, presentando una extensa diversidad por el número de familias. Las larvas tienen variados comportamientos de

tolerancia a las alteraciones del medio, siendo útiles como indicadores de calidad del agua, indicando en su mayoría aguas limpias (Springer, 2006).

- d. Coleóptera.** En su mayoría viven sobre sustratos relacionados a vegetación sumergida, troncos, piedras y grava, siendo características de aguas con velocidad de corriente baja relacionado a ríos y lagunas. Son indicadores de aguas limpias, con buena presencia de oxígeno (Roldán, 2003).
- e. Odonata.** La mayoría pasan toda su vida en aguas de corriente baja o nula, encontrándose mayor presencia en puquios, lodazales, márgenes de lagos y corrientes de escasa profundidad, a estos organismos se les ubica aledaños a la exuberante vegetación acuática, los cuales nos indican que las aguas donde viven tienen presencia de eutrofización ligera, que por lo general se encuentra limpia (Springer, 2006).

#### **2.2.10. *Parámetros Fisicoquímicos***

Cortolima (2010) menciona que el agua al presentar contacto con componentes como aire, suelo, vegetación, subsuelo, etc., son susceptibles a presentar sustancias extrañas asociadas a su composición fisicoquímica, esto depende de múltiples condiciones asociadas a la composición del suelo y la concentración de gases disueltos con los que tiene contacto. Echarri (2007) indica que los elementos que con mayor probabilidad se encuentran en las aguas están conformados por sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, nitratos, fosfatos, silicatos, metales y algunos gases disueltos como oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono.

Se evalúan como parámetros físicos al color, olor, sabor, temperatura, sólidos, conductividad, radioactividad; y como parámetros químicos al pH, materia orgánica, DBO, DQO, nitrógeno, amoníaco, nitratos, nitritos, fósforo, aceites y grasas, hidrocarburos, detergentes, cloro y cloruros, fluoruros, sulfatos y sulfuros, fenoles, cianuros, haloformos, metales y pesticidas (Cortolima, 2010).

#### **2.2.11. *Monitoreo de Características Físicas del Agua***

El Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (2016) indica que el agua presenta características físicas las cuales impresionan a los sentidos (vista, olfato, etcétera) e impacta en la estética y aceptabilidad del agua. Barrenechea, (2010) considera como características prioritarias a las siguientes:

- **Turbidez:** usada cotidianamente como identificador de sólidos en el agua, primordialmente coloidales, los cuales provienen de la erosión y arrastre de material coloidal (arcilla, fragmentos de roca, sustancias del lecho, etc.) realizado por el recorrido de los ríos y por la disposición incontrolada de aguas residuales sin tratar.
- **Olor y sabor:** el olor y sabor en aguas crudas son generados por sustancias orgánicas derivadas de las actividades relacionadas a microorganismos y algas, o en determinadas ocasiones depender de vertidos asociados a desechos industriales.
- **Temperatura:** los organismos, los organismos tienen diferentes requerimientos de temperatura para sobrevivir por lo que se considera a temperatura como parámetro físico más relevantes, debido a que acelera o retarda la actividad biológica. También afecta en los comportamientos de otros indicadores de calidad, como el pH y oxígeno disuelto.
- **Conductividad:** el agua presenta la cualidad de transferir corriente eléctrica, dependiendo de la concentración y presencia de iones.
- **Oxígeno disuelto:** representa el total de oxígeno diluido en el agua, cuyas concentraciones son vitales para garantizar la vida de los organismos acuáticos. Las bajas concentraciones de oxígeno en el agua pueden deberse a múltiples factores dentro de los que destacan la temperatura, materiales orgánicos disueltos y oxidantes inorgánicos.

#### ***2.2.12. Índice Biótico para los ríos del norte del Perú***

Al usar índices biológicos se aplican procedimientos cualitativos en la bioindicación, aplicando la variada composición y gran adaptabilidad de la taxa, esto es aplicable al calcular la resistencia que poseen los distintos organismos a las perturbaciones, por lo que la presencia o inexistencia de un orden o familia y lo abundante que este sea, depende a la susceptibilidad que presenta en relación al factor de alteración o polución (Segnini, 2003).

Se caracterizan por ser diferenciados de acuerdo al tipo de polución y también de acuerdo a la región geográfica donde se realice el estudio, lo cual permite realizar una valorización de la calidad ecológica vinculada a un ecosistema, principalmente acuático, alterado por un factor de polución. La valorización se realiza debido a que se asigna un cierto valor numérico a las diferentes familias de macroinvertebrados en relación a la tolerancia que presentan a la polución, de estos los que muestran una tolerancia mayor, se les asigna un valor numérico



menor mientras que a los que muestran una tolerancia baja, siendo más susceptibles a la polución se les asigna un valor numérico más alto (Baddii et al., 2005).

**Tabla 1**

*Calificación de familias de macroinvertebrados según índice biótico para los ríos del norte del Perú (nPeBMWP).*

<b>Familias</b>	<b>Puntaje</b>
Helicopsychidae, Calamoceratidae, Odontoceridae, Anomalopsychidae, Blepharoceridae, Polythoridae, Perlidae, Gripopterygidae, Oligoneuridae, Leptophlebiidae, Athericidae, Ameletidae, Trycorythidae.	10
Leptoceridae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae, Hydrobiosidae, Philopotamidae, Gomphidae, Calopterygidae.	8
Glossosomatidae, Limnephilidae, Leptohiphidae.	7
Ancylidae, Hydroptilidae, Hyalellidae, Aeshnidae, Libellulidae, Corydalidae, Coenagrionidae, Pseudothelphusidae (Decapoda).	6
Turbellaria, Hydropsychidae, Ptilodactylidae, Lampyridae, Psephenidae, Scirtidae (Helodidae), Elmidae, Dryopidae, Hydraenidae, Veliidae, Gerridae, Simuliidae, Corixidae, Notonectidae, Tipulidae, Naucoridae, Hydrochidae, Planaridae, Amphipoda.	5
Hydracarina, Baetidae, Pyralidae, Tabanidae, Belostomatidae, Limoniidae, Ceratopogonidae, Dixidae, Dolichopodidae, Stratiomidae, Empididae, Curculionidae.	4
Hirudinea, Ostracoda, Physidae, Hydrobiidae, Limnaeidae, Planorbidae, Sphaeriidae, Staphylinidae, Gyrinidae, Dytiscidae, Hydrophilidae, Psychodidae, Hydrometridae, Mesovellidae, Psychodidae.	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Ephydriidae, Gelastocoridae.	2
Oligochaeta, Syrphidae.	1

Nota. tomado de Medina et al. (2008).

Después de la identificación y valoración respectiva, el valor que se obtenga nos indicará la calidad ecológica (Tabla 3), lo cual dependerá de las alteraciones que se hayan presentado en el ecosistema y de la capacidad que presentan los macroinvertebrados encontrados al reflejar la situación ambiental del entorno en el que habitan, por lo que su presencia, ausencia, densidad o abundancia es lo que se utilizará para indicar la calidad. Al comparar con los índices fisicoquímicos, la diferencia radica en que estos nos muestran las condiciones instantáneas del medio, mientras que los índices biológicos nos brindan un análisis espacial de lo que sucedió antes de la toma de muestras, esto debido a su ciclo vital de cada organismo. Sin embargo, no nos permite determinar con exactitud el contaminante que ha

causado la alteración, debido a esto no reemplaza a los índices fisicoquímicos sino más bien son complementarios (Baddii et al., 2005).

Los índices bióticos son excelentes indicadores de polución en el agua, respondiendo tanto a polución orgánica como inorgánica; sin embargo, cada índice se encuentra delimitado al espacio geográfico en donde se encuentran los organismos, los cuales presentan susceptibilidad a variación, aunque también existe algunos índices netamente especializados en ciertos taxones y aplicables a distintas ecorregiones (Bullón, 2016).

El índice biológico utilizado en el presente estudio es el “Índice biótico para ríos del norte del Perú (nPeBMWP)” siendo un índice que establece la variedad de taxa a nivel de familias (Tabla 1); por lo que es considerado como índice aditivo pues adiciona puntaje de acuerdo al número de familias encontradas, asignándose a cada familia un valor que oscila del 1 al 10, esto dependiendo de su susceptibilidad a la contaminación; el valor es más elevado mientras más susceptible sea la familia a la polución (Polo y Medina, 2013).

### **2.2.13. Rio Tingo**

Pertenece a la cuenca del río Llaucano, por su margen izquierda recibe el aporte de la quebrada La EME.

Es una zona con presencia de pasivos mineros y en la actualidad operan en sus márgenes las mineras Gold Fields la Cima S.A.C y Coimolache - Tantahuatay, las cuales emiten directamente sus aguas residuales al río Tingo.

En su cauce se ubican puntos de monitoreo de calidad del agua evaluados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), considerando los Estándares de Calidad Ambiental - Categoría 3: ·Riego de vegetales y bebidas de animales. Los puntos de monitoreo se han establecido aguas arriba de las operaciones de Compañía Minera Coymolache, aguas abajo de operaciones de compañía minera coymolache, aguas abajo de minera Goldfields y aguas abajo de bocamina el tingo (ANA, 2015).

## **2.3. Definición de Conceptos**

### **2.3.1. Agua**

El agua es una sustancia líquida inodora e incolora la cual podemos encontrar de forma natural ya sea en ríos, lagos, mares, aire y suelo, también se encuentra formando parte en el

interior de los seres vivos; está constituida por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno (Fernández, 2012)

El agua abarca en promedio el 70 % del total de la superficie del planeta, la cual presenta cualidades únicas que la convierten en primordial para la vida, siendo un solvente excelente y reactivo idóneo en la mayoría de reacciones metabólicas; demostrando una alta capacidad calorífica como también la capacidad de expansión al someterse a un proceso de congelamiento, dividiéndose en aguas superficiales (mares, arroyos, ríos, lagos, placas de hielo) y aguas subterráneas que se almacenan bajo la superficie terrestre formando acuíferos (Barrenechea, 2010).

### **2.3.2. *Bioindicadores***

Son organismos que permiten evaluar el estado de salud del medio acuático en el que desarrollan su ciclo biológico, ello debido a que su presencia y abundancia es determinada por las características físicas y químicas del medio en el que viven, pues si no se cumple dichas condiciones se evidencian alteraciones relacionadas a la presencia o en casos extremos ausencia de organismos; por ello, son considerados excelentes bioindicadores. Destacan los macroinvertebrados, peces, diatomeas y organismos patógenos (Roldan, 2003).

### **2.3.3. *Macroinvertebrados Acuáticos***

Estos organismos conforman un grupo variado que no tienen espina dorsal, siendo visibles a simple vista, cumpliendo una función en los ambientes acuáticos como fuente de energía para organismos de mayor tamaño, pero también idóneos para ser usados como bioindicadores de calidad de agua gracias a su susceptibilidad a las perturbaciones, lo que dejan notar debido al cambio de composición en su población (Roldán, 2003).

### **2.3.4. *Monitoreo de Aguas.***

Proceso que permite recolectar información acerca de la calidad en la que se encuentran los cuerpos de agua, considerando como propósito realizar el seguimiento y control de las exposiciones a la polución así mismo la repercusión de los distintos usos del agua hacia los ecosistemas acuáticos. El monitoreo de la calidad de agua es una acción que se realiza con el propósito de conocer el estado del agua de un entorno y por tanto llega a ser una actividad de gran ayuda en el cuidado del medio ambiente ya que del resultado que se obtenga en el

monitoreo sabremos a ciencia cierta cuál es la situación concreta (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

### CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

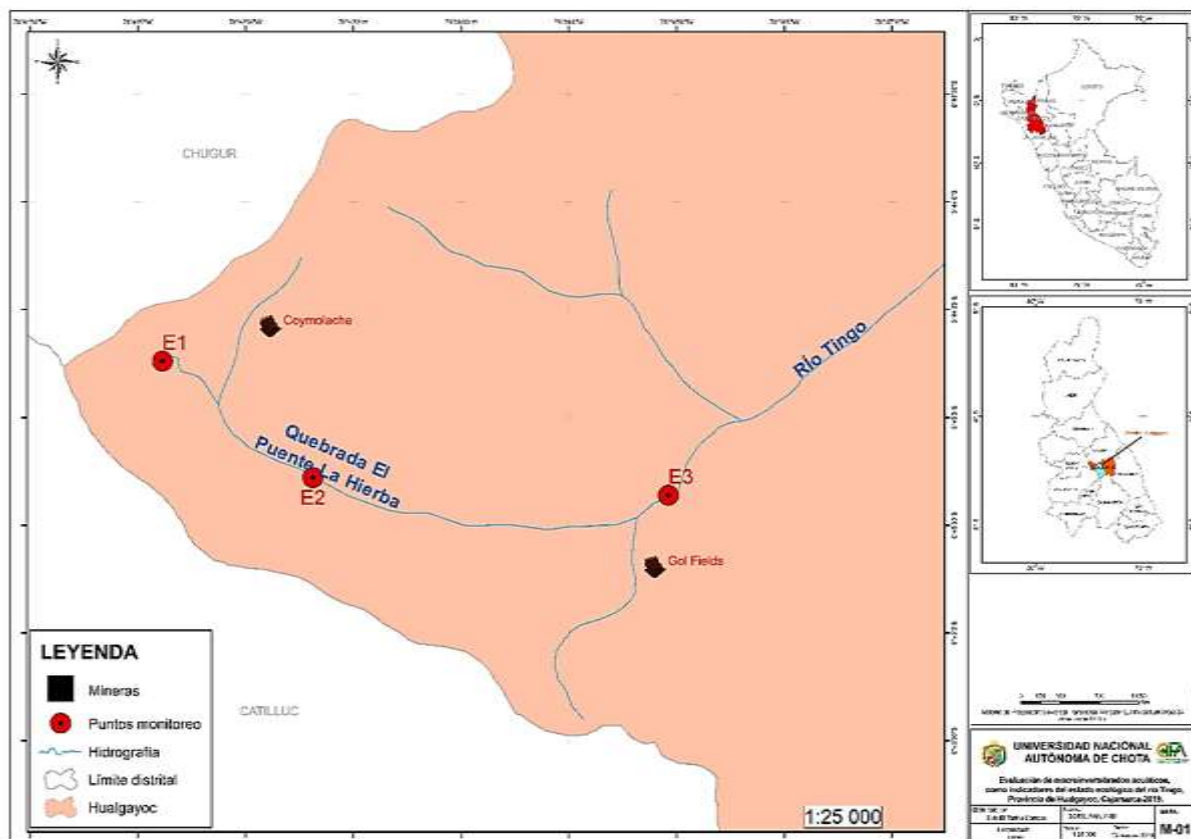
#### 3.1.Ubicación

##### 3.1.1. Localización

La investigación se realizó en el río Tingo, curso de agua que se ubica en la provincia de Hualgayoc, región Cajamarca, nace a una altura de 3865 m.s.n.m., en la comunidad de Coimolache Alto, y discurre por las comunidades del Tingo, Maraycucho, Muya. Maygasbamba, Cumbe San José, La Quebrada y Bambamarca, donde confluye sus aguas en el río Llaucano a una altitud de 2950 m.s.n.m.

**Figura 1**

*Ubicación de los puntos de monitoreo en el río Tingo.*



Los puntos de monitoreo se ubicaron entre las coordenadas geográficas de longitud: - 78.6814216936449, latitud: -6.7456510935165745 y longitud: -78.64230269138355,

latitud: -6.75602961588255 (Tabla 2, Figura 1), en un rango altitudinal de 3861 y 3604 m.s.n.m.

### **3.1.2. Clasificación ecológica**

Según la clasificación por Zonas de Vida de Holdridge, el ámbito del estudio ocupa la Zona de Vida de Estepa - Montano Tropical (e-MT), con predominancia de cobertura vegetal formada por una dispersa vegetación de gramíneas en pradera alto andinas, asociada con vegetación del género *Stipa* (Sánchez y Vásquez, 2011).

### **3.1.3. Clima**

Caracterizado por un clima subhúmedo-Templado Frío, con una temperatura promedio anual de 12 °C y 6 °C y una humedad relativa que varía entre 80 – 90%, la provincia de Hualgayoc tiene una temperatura promedio de 10,4 °C y una precipitación pluvial promedio de 764,9 milímetros (Sánchez y Vásquez, 2011).

### **3.1.4. Extensión y altitud**

Según el estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de demarcación territorial de la provincia de Hualgayoc (2006), la provincia tiene una extensión territorial de 777,25 km<sup>2</sup>, la misma que equivale al 0,9 y 2,3 % del total de la superficie de la región Cajamarca, presentando una altitud que oscila alrededor de los 2200 a 4200 msnm. Su capital distrital es Hualgayoc y se ubica a 3 515 msnm, presentando una densidad poblacional de 100,29 hab/km<sup>2</sup>.

### **3.1.5. Superficie y topografía**

Según el estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de demarcación territorial de la provincia de Hualgayoc (2006), la provincia se ubica en las regiones naturales de Yunga Marítima, Quechua, Jalca, Puna y Yunga Fluvial, las características del relieve lo establecen tanto el lado derecho e izquierdo del imponente callejón por cuya base discurre el agua de río Llaucano, en el cual drena sus aguas el río Tingo. Presenta extensas laderas con ligera a pronunciada pendiente, con característicos cortes verticales y bastos cañones, también posee planicies y pequeños valles. La agricultura es más favorable en la parte baja por presentar condiciones morfológicas y climáticas más adecuadas, presentando

cultivos tanto en secano y riego; los fondos de los valles son en su mayoría estrechos, con presencia de ríos torrentosos permanentes y temporales, que con el transcurso del tiempo desgastan y trasladan sedimento. Presenta una superficie territorial de 777,25 km<sup>2</sup>.

### **3.2. Población y Muestra**

La población se encuentra formada por las aguas del río Tingo en la provincia de Hualgayoc y los macroinvertebrados que lo habitan.

La muestra está formada por las muestras de agua y los macroinvertebrados recolectados en los puntos de monitoreo.

### **3.3. Equipos, Materiales e Insumos**

#### **3.3.1. *Materiales e Insumos***

- Formato para la recolección de datos de campo.
- Libreta de campo.
- Red Dnet (30 x 30 cm, 250 µm).
- Frascos de 30ml para almacenar los macroinvertebrados.
- Recipientes de polietileno de 1000 ml.
- Pinzas entomológicas finas.
- Etiquetas
- Alcohol (70%).
- Lupa de 10x.

#### **3.3.2. *Equipos***

- Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Garmin S62
- Cámara fotográfica Samsung de 32 Megapíxeles
- Microscopio binocular compuesto (objetivos de 10,45 y 100x)
- Estereoscopio (aumento 2x a 40x)
- Multiparámetro HANNA

### **3.4. Metodología de la Investigación**

La investigación tiene un enfoque cuantitativo pues las variables se han medido en tres contextos o estaciones de muestreo. El diseño de investigación es no experimental pues no se manipularon las variables de estudio; es de corte longitudinal, pues la recolección de datos se llevó a cabo en tres momentos correspondiente a las épocas de lluvia (11 de marzo), época de secano (07 de octubre) y época de transición (10 de junio). Se realizó un muestreo por juicio del investigador pues se eligieron puntos de muestreo a criterio.

Se realizó el recojo de muestras en las primeras horas del día. Los muestreos fisicoquímicos se realizaron de acuerdo a Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y el muestreo de macroinvertebrados acorde a los Métodos de Colecta, Identificación y Análisis de Comunidades Biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en Aguas Continentales del Perú.

#### **3.4.1. Variable Independiente**

- Río Tingo

#### **3.4.2. Variable Dependiente**

- Macroinvertebrados acuáticos

#### **3.4.3. Recolección de Datos**

##### **A. Etapa de pre-campo.**

##### **Recolección de información.**

Se recolectó la mayor información disponible sobre el área de estudio, teniendo en cuenta la altitud, precipitación, temperatura, fuentes contaminantes, entre otros; asimismo, se planificó las actividades a realizar en campo.

Con un GPS se registró las coordenadas y altitud de los puntos de muestreo (Tabla2), información cartográfica que se utilizó para la elaboración del mapa de localización (Figura 1).

##### **Identificación del área de estudio.**

En gabinete se identificó tres puntos de posible muestreo, y en campo se realizó un reconocimiento breve para elegir el lugar representativo.

**Tabla 2***Puntos de monitoreo de la calidad de agua en la cuenca del río Tingo.*

Pto. Monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM (WGS 84)			Altitud (m.s.n.m.)
		Zona	Este	Norte	
E1	50 metros aguas abajo del nacimiento del río	17M	756294	9253759	3861
E2	50 metros después de la desembocadura de aguas de Cía Minera Coimolache	17M	757576	9252757	3731
E3	50 metros después de la desembocadura de aguas de GOLDFIELDS	17M	760615	9252590	3604

**B. Etapa de campo.**

El muestreo se realizó en tres puntos de monitoreo (E1, E2 y E3) y en la estación de lluvia, transición y seca, según lo indicado en la Tabla 3.

**Tabla 3***Fechas de tomas de muestras físico químicas y biológicas.*

Estación de Muestreo	Época	Fecha de muestreo	Hora de inicio de muestreo	Hora de fin de muestreo
E1	Lluvia	11/03/2019	7:30 a. m.	8:30 a. m.
	Transición	10/06/2019	7:30 a. m.	8:30 a. m.
	Seca	7/10/2018	7:30 a. m.	8:30 a. m.
E2	Lluvia	11/03/2019	9:00 a. m.	10:00 a. m.
	Transición	10/06/2019	9:00 a. m.	10:00 a. m.
	Seca	7/10/2018	9:00 a. m.	10:00 a. m.
E3	Lluvia	11/03/2019	10:30 a. m.	11:30 a. m.
	Transición	10/06/2019	10:30 a. m.	11:30 a. m.
	Seca	7/10/2018	10:30 a. m.	11:30 a. m.



### **Toma de datos fisicoquímicos y biológicos (macroinvertebrados).**

Se procedió a reconocer el punto de muestreo y elegir el lugar representativo.

Siguiendo el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N° 010 - 2016 - ANA), para determinar los parámetros físico químicos en campo, en cada punto de muestreo se tomó una muestra del recurso hídrico utilizando un balde nuevo y previamente lavado en tres ocasiones. Se usó un multiparámetro HANNA para registrar la temperatura, oxígeno disuelto, pH y saturación de oxígeno en el agua del balde.

Se recolectó muestras de agua para análisis de metales pesados (aluminio, cadmio, cobre, hierro, magnesio y plomo) utilizándose frascos nuevos de plástico de boca ancha con cierre hermético de un litro de capacidad; la muestra se obtuvo a unos 20 cm por debajo de la superficie del agua y se preservó con ácido nítrico para ser enviadas al Laboratorio de Aguas y Suelos de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM) para su análisis.

Se realizó la colecta de muestras biológicas utilizando la red Dnet de 30 x 30 cm de lado, con un área de 0,09 m<sup>2</sup> y una malla de 250 µm de abertura. El muestreo se realizó con un barrido de 20 a 30 minutos, se realizó la remoción del sustrato contra corriente con el fin de que los organismos desprendidos sean arrastrados y estos queden atrapados en la red. La remoción se realizó en el sustrato de fondo (piedra, arena, lodo, restos de vegetación), macrofitas acuáticas (flotantes, emergentes y sumergidas), raíces sumergidas de árboles y sustratos artificiales (restos de basura que puedan estar presentes, diques, etc.). Los macroinvertebrados y sustrato atrapado en la red se depositaron en bandejas herméticas de 1,5 L debidamente codificadas que contenían alcohol al 70% para ser trasladadas al laboratorio para su separación.

### **C. Etapa de gabinete.**

#### **Separación de muestras.**

En gabinete, utilizando una lupa 10 X se separaron los macroinvertebrados presentes en la muestra de la bandeja hermética. Se agruparon los organismos considerando sus características visibles a simple vista y se depositaron en frascos de 30 ml debidamente etiquetados y conservados en alcohol al 70 %. Las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos y Agua de la UNTRM para su identificación y clasificación a nivel de familia y con ayuda de claves taxonómicas. Los macroinvertebrados fueron donados a la UNTRM.

### Identificación de especies.

Los macroinvertebrados se identificaron a nivel de familia con ayuda de un estereoscopio Leica S9I, considerando sus características morfológicas de cada organismo y con el apoyo de claves taxonómicas de Roldán (1988) y Carrera y Fierro (2001). También se utilizó las claves taxonómicas de Springer y Hanson pues describen las características morfológicas de cada familia de macroinvertebrados permitiendo identificar con precisión cada individuo encontrado.

### Cálculo de la calidad de agua de acuerdo al Índice biótico para los ríos del norte del Perú (nPeBMWP).

Identificadas las familias de macroinvertebrados se asignó el puntaje correspondiente según el nPeBMWP (Tabla 1). La valoración obtenida de la sumatoria de puntajes individuales se los contrastó con los rangos de calidad del nPeBMWP (Tabla 4) y se determinó la calidad biológica de cada punto de monitoreo y estación de muestreo.

**Tabla 4**

*Valores del índice biótico para ríos del norte del Perú (nPeBMWP) según rangos de calidad.*

Calificación	Valores	Color	Calidad biológica
Aguas muy limpias	$\geq 100$	Azul	Buena
Aguas con signos de estrés	61-100	Verde	Aceptable
Aguas contaminadas	36-60	Amarillo	Regular
Aguas muy contaminadas	16-35	Naranja	Mala
Aguas extremadamente contaminadas	$\leq 15$	Rojo	Pésima

Fuente: tomado de Medina et al. (2008).

### 3.5. Análisis Estadístico

En este estudio se aplicó un muestreo aleatorio, con igual número de observaciones por punto de muestreo.

Se realizó un análisis de normalidad utilizando Shapiro-Wilk con el fin de evaluar la distribución de los datos; así mismo, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con la finalidad de evaluar las diferencias estadísticas entre datos, luego de lo cual se aplicó la prueba de medias de tukey al 95 % de significancia. Posteriormente se realizó un análisis de correlación de los parámetros físicoquímicos utilizando Spearman.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Parámetros Físicoquímicos

Se evaluó el potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T°), oxígeno disuelto (OD), saturación de oxígeno, sólidos totales disueltos (STD), conductividad eléctrica (CE), aluminio, cobre, hierro, manganeso, plomo y potencial de óxido reducción en tres estaciones de muestreo, datos que se presentan en la Tabla 5.

En el análisis de parámetros de calidad fisicoquímica del río Tingo, se tuvo en cuenta los valores asociados a la categoría 3 de uso de agua para actividades de riego de vegetales y bebidas de animales de acuerdo al DS-004-2017-MINAM.

**Tabla 5**

*Parámetros físico-químicos del agua de los tres puntos de monitoreo.*

Parámetros	Unidad de medida	E1			E2			E3		
		E. lluvia	E. transición	E. seca	E. lluvia	E. transición	E. seca	E. lluvia	E. transición	E. seca
Caudal	l/s	11,64	8,36	5,39	45,15	32,63	22,34	111,75	86,4	69,85
pH	Unidad	6,93	7,37	7,8	4,92	5,52	6,12	4,45	4,45	6,24
Temperatura	° C	13,13	12,78	12,42	13,33	12,87	12,4	13,6	13,6	12,4
Oxígeno disuelto	mg O <sup>2</sup> /l	4,37	3,31	2,25	2,25	2,22	2,18	2,23	2,23	2,23
Saturación de oxígeno	mg/l	65,4	48,3	31,2	33,4	32,3	31,2	33,4	32,3	31,2
Sólidos totales disueltos	mg/l	64	93	122	175	159	143	365	256,5	148
Conductividad eléctrica	µs/cm <sup>2</sup>	407,58	369,37	331,16	1152,7	953,68	754,66	1162,25	958,46	754,67
Aluminio	ppm	2,16	2,111	2,062	1,64	2,066	2,493	0,61	0,368	0,126
Cobre	ppm	0,020	0,022	0,024	0,040	0,064	0,087	0,030	0,030	0,029
Hierro	ppm	0,380	0,356	0,331	0,120	1,524	2,928	0,550	0,345	0,139
Manganeso	ppm	0,190	0,098	0,006	0,020	0,400	0,780	0,010	0,032	0,053
Plomo	ppm	0,040	0,023	<0,005	0,220	0,130	0,040	0,110	0,148	0,185

**Tabla 6**

ANOVA y Tukey para los parámetros físico-químicos del agua del río Tingo.

Parámetros	Unidad de medida	Media			F	Sig.
		E1	E2	E3		
Caudal	l/s	8,463a	33,373a	89,333b	26,362	0,001
pH	Unidad	7,3667a	5,5200b	5,0467b	8,363	0,018
Temperatura	° C	12,7767a	12,8667a	13,200a	0,544	0,606
Oxígeno disuelto	mg O <sup>2</sup> /l	3,3100a	2,2167a	2,2300a	3,150	0,116
Saturación de oxígeno	mg/l	48,3a	32,3a	32,3a	2,605	0,153
Solidos totales disueltos	mg/l	93a	159a	256,5a	4,732	0,058
Conductividad eléctrica	µs/cm <sup>2</sup>	369,37a	953,68b	958,46b	12,503	0,007
Aluminio	ppm	2,111b	2,0663b	0,368a	36,59	0,000
Cobre	ppm	0,022a	0,06367b	0,02967b	7,951	0,021
Hierro	ppm	1,524a	1,524a	0,3446a	2,053	0,209
Manganeso	ppm	0,098a	0,4a	0,0316a	2,263	0,185
Plomo	ppm	0,02267a	0,13a	0,1476a	4,197	0,072

Nota. Letras iguales indica que no existe significancia estadística, según la prueba de tukey a un nivel de confianza del 95 %.

En la Tabla 6 se presenta la prueba ANOVA y Tukey (alfa 0,05) de los parámetros físico-químicos del agua del río Tingo. Se evidencia que existe una diferencia significativa en los parámetros de pH, conductividad eléctrica, aluminio y cobre entre los puntos de monitoreo; asimismo, se observa una diferencia significativa en el caudal del punto de monitoreo 3 respecto a los puntos de monitoreo 1 y 2.

Se realizó el análisis de normalidad utilizando Shapiro-Wilk, resultados que indican que los datos no tienen una distribución normal; por lo que, para el análisis de correlación (Tabla 7) se utilizó Spearman.

**Tabla 7***Correlación de variables.*

	pH	T	OD	SO	STD	CE	Al	Cu	Fe	Mn	Pb	Q	Punto de monitoreo	Estación de monitoreo
pH	1,000	-0,692*	0,496	-0,069	-0,91**	-0,95**	0,444	-0,613	-0,126	0,100	-0,68*	-0,89**	-0,794*	0,450
T	-,692*	1,000	0,197	0,595	0,588	0,664	-0,311	0,000	-0,050	-0,387	0,325	0,538	0,292	-0,824**
OD	0,496	0,197	1,000	0,668*	-0,528	-0,400	0,111	-0,85**	-0,477	-0,323	-0,291	-0,451	-0,619	-0,431
SO	-0,069	0,595	0,668*	1,000	-0,154	0,120	0,248	-0,446	0,051	0,043	-0,052	-0,034	-0,324	-0,865**
STD	-0,912**	0,588	-0,528	-0,154	1,000	0,917**	-0,66*	0,594	-0,067	-0,383	0,661	0,883**	0,843**	-0,264
CE	-0,954**	0,664	-0,400	0,120	0,917**	1,000	-0,533	0,552	-0,017	-0,200	0,778*	0,917**	0,791*	-0,527
Al	0,444	-0,311	0,111	0,248	-0,667*	-0,533	1,000	0,008	0,617	0,633	-0,628	-0,700*	-0,738*	0,000
Cu	-0,613	0,000	-0,85**	-0,446	0,594	0,552	0,008	1,000	0,343	0,268	0,437	0,410	0,476	0,132
Fe	-0,126	-0,050	-0,477	0,051	-0,067	-0,017	0,617	0,343	1,000	0,633	-0,393	-0,050	-0,053	0,000
Mn	0,100	-0,387	-0,323	0,043	-0,383	-0,200	0,633	0,268	0,633	1,000	-0,050	-0,200	-0,158	0,158
Pb	-0,689*	0,325	-0,291	-0,052	0,661	0,778*	-0,628	0,437	-0,393	-0,050	1,000	0,762*	0,714*	-0,265
Q	-0,895**	0,538	-0,451	-0,034	0,883**	0,917**	-0,70*	0,410	-0,050	-0,200	0,762*	1,000	0,949**	-0,316
Punto de monitoreo	-0,794*	0,292	-0,619	-0,324	0,843**	0,791*	-0,73*	0,476	-0,053	-0,158	0,714*	0,949**	1,000	0,000
Estación de monitoreo	0,450	-0,82**	-0,431	-0,86**	-0,264	-0,527	0,000	0,132	0,000	0,158	-0,265	-0,316	0,000	1,000

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

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

Nota: pH: potencial de hidrogeno, T: temperatura, OD: oxígeno disuelto, SO: saturación de oxígeno, STD: sólidos totales disueltos, CE: conductividad eléctrica, Al: aluminio, Cu: cobre, Fe: hierro, Mn: manganeso, Pb: plomo y Q: caudal.

Se ha registrado una fuerte correlación negativa (-0,895) entre el pH y el caudal del río, pues se registra incremento de este parámetro a medida que disminuye el caudal del río; ello puede deberse a que en eventos de fuerte precipitación se arrastra cationes acidificantes del suelo y/o otras actividades antrópicas presentes en el área. Similar correlación (-0,954) se registra entre el pH y la conductividad eléctrica del agua, registrándose un incremento de la conductividad a medida que se acidifica el agua. El pH y el punto de monitoreo también registran una fuerte correlación (-0,794), pues el pH varía significativamente entre el punto de muestreo E1 y los puntos E2 y E3; estos dos últimos presentan pH por debajo de calidad para ser considerada un agua Categoría 3.

La temperatura del agua varía con la estación de monitoreo, siendo mayor la temperatura del agua en época de lluvia (correlación -0,824).

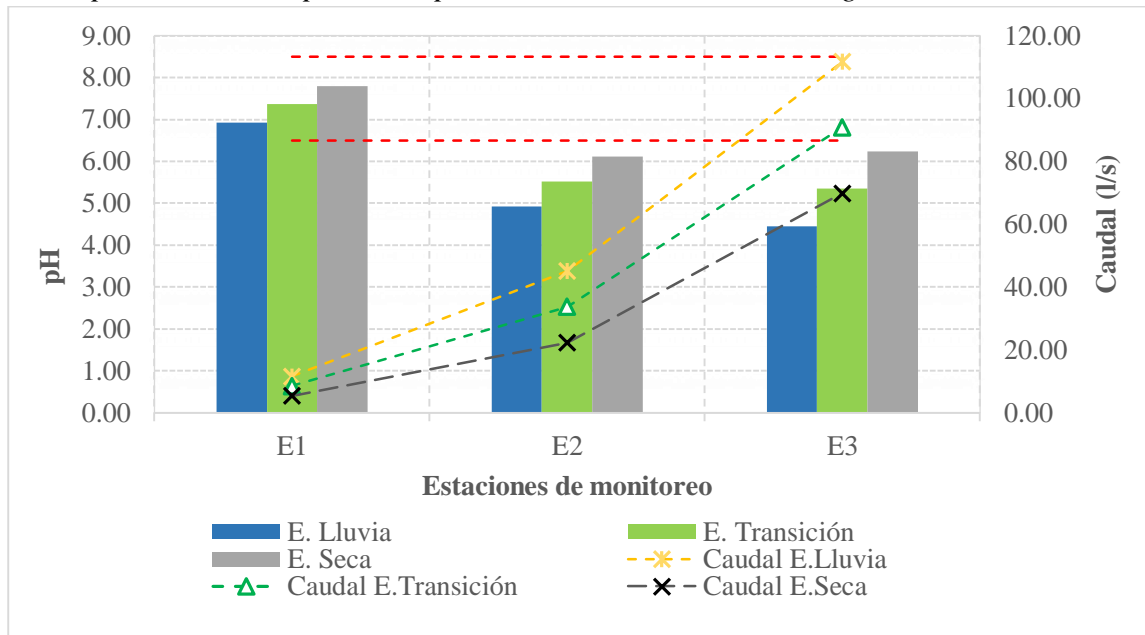
Respecto a los metales pesados en el agua, el aluminio se encuentra fuertemente correlacionado con el punto de monitoreo (-0,738), siendo menor la concentración en el punto de monitoreo E3. Entre cobre y oxígeno disuelto también se ha registrado correlación (-0,855) significativa en el nivel 0,01 y 0,05, registrándose disminución de concentración de oxígeno disuelto al incrementar la concentración de cobre. Hierro y manganeso también tienen una correlación alta pero no significativa. La concentración de plomo si encuentra correlacionada con significativamente con el pH (-0,689) y punto de monitoreo (0,714) a un nivel de significancia de 0,005 pues el pH del agua disminuye a mayor concentración de plomo y el caudal se incrementa.

### 4.1.1.pH

Los valores promedios de pH del río Tingo, en los tres puntos de monitoreo y época de muestreo (lluvia, transición y seca), oscilan entre 4,45 y 7,8, como se muestra en la Figura 2. Se registró una diferencia significativa en el pH del agua del punto de monitoreo E1 y los puntos E2 y E3.

**Figura 2**

*Comportamiento del pH en los puntos de monitoreo del río Tingo.*



El Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM indica que el agua categoría tres con aptitud para riego de vegetales y bebida de animales, establece un rango de pH de 6,5 – 8,5. El pH del agua del punto de monitoreo E1, se encuentran dentro del rango establecido en la norma, mientras que los puntos E2 y E3 presentan valores inferiores (Figura 2).

Se evidencia también que a medida que disminuye el caudal del río, el pH del agua se incrementa, debido al aporte de agua de precipitación en el cauce.

El pH es uno de los parámetros más evaluados en el estudio de bioindicadores, pues guarda relación con la estructura de las comunidades bentónicas, siendo algunas especies indicadoras de de pH en los ríos. Los plecópteros son especies con alta tolerancia al pH ácido, mientras que las ninfas de Odonata incrementan su mortalidad (Flores et al., 2017).

Los valores de pH para el punto de monitoreo E1 está dentro de lo establecido en el ECA-Agua para todas las épocas de muestreo, observándose que los valores con menor escala

de pH se registraron en los puntos (E2= 6,12, E3=6,24 de la época seca) (E2=5,12, E3=5,35 de la época de transición) (E2= 4,92, E3=4,45 de la época lluviosa), sin embargo, dichas variaciones se mantienen dentro de los valores naturales para el desarrollo de la vida acuática (Díaz et al., 2017). De acuerdo a DIGESA (2011), la tendencia que presenta el pH estaría vinculada a las características edáficas por la que transcurre la corriente como también a las descargas incontroladas de aguas residuales sin tratamiento que se depositan de forma diaria al cauce del río, también se debería tener en cuenta otro factor que es importante en los cambios del pH el cual está constituido por las actividades fotosintéticas que se desarrolla en el transcurso del día (Díaz et al., 2017).

Estos resultados guardan relación con los resultados obtenidos por el monitoreo de la Autoridad Nacional de Agua (ANA) (2015), los cuales indican para el parámetro Potencial de Hidrógeno (pH) valores de 4.68, 4.22 y 7.22 unidades de pH para los puntos de muestreo RTing1 (aguas arriba de las operaciones mineras de Coymolache), RTing2 (aguas abajo de minera Coymolache) y RTing3 ( Aguas debajo de minera Goldfields), respectivamente, no cumpliendo el primer y el segundo valor con lo establecido en el ECA para Categoría 3: "Riego de vegetales y bebida de animales" cuyo rango es de 6.5 a 8.5 Unidades de pH.

#### **4.1.2. *Temperatura (T°)***

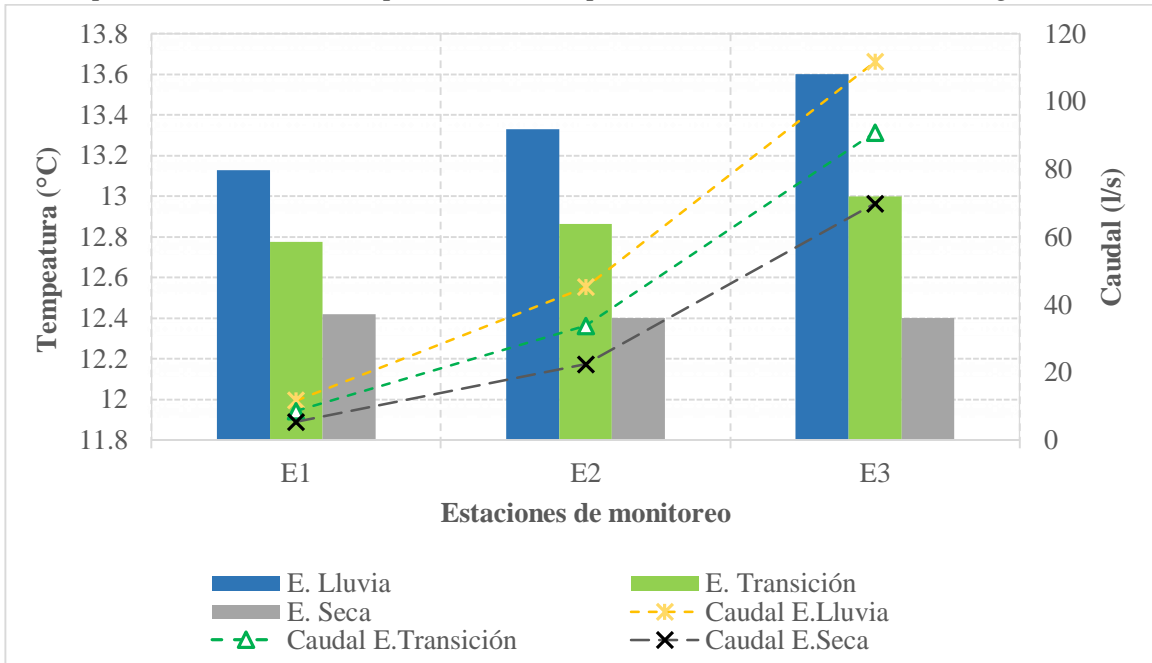
La temperatura no es un parámetro considerado dentro de los ECA-agua; sin embargo, muchos autores consideran que la temperatura, el oxígeno, la conductividad y los sólidos disueltos conformarían las variables que sustentan mejor el funcionamiento de los sistemas loticos (Mancilla et al., 2009). Los organismos acuáticos presentan susceptibilidad a las modificaciones de la temperatura del agua, requiriendo que se establezca en un rango específico para que logren vivir y reproducirse, por lo que si la temperatura del agua no permanece en el rango que requieren los organismos durante un tiempo prolongado estos quedarán expuestos limitando su desarrollo (Carvacho, 2012).

Se evidencia descenso de la temperatura relacionado al incremento del caudal (Figura 3), la cual oscila en rangos de 12,4 – 13,6 °C, esto debido a la altitud en la que se encuentran los puntos de monitoreo que es de 3732 m.s.n.m. en promedio.



**Figura 3**

*Comportamiento de la Temperatura en los puntos de monitoreo del río Tingo.*



#### 4.1.3. Oxígeno Disuelto (OD)

No se evidencia diferencias estadísticas significativas en el Oxígeno Disuelto del agua de los tres puntos de monitoreo. El oxígeno disuelto registrado en el punto de monitoreo E1 para la época lluviosa está dentro de lo estipulado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM ( $OD \geq 4$ ); no obstante, en otras épocas, la concentración está bajo lo establecido en la norma, al igual que para los puntos E2 y E3 en las tres épocas de muestreo (Figura 4).

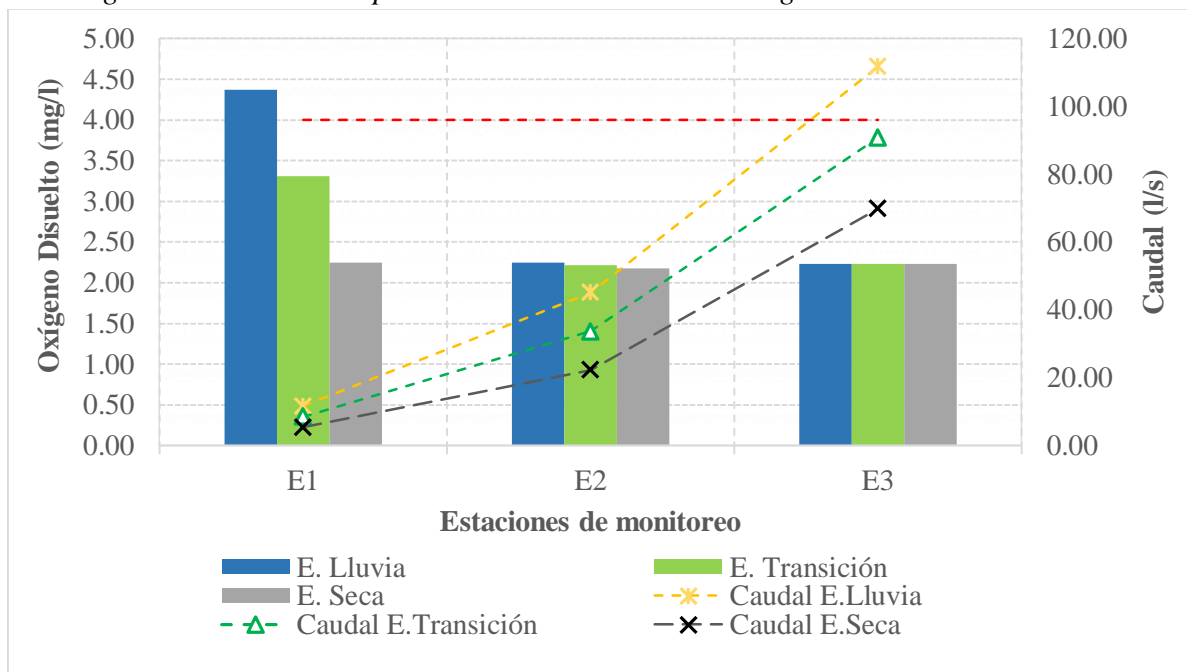
Por lo general, los organismos que viven en la tierra tienen una atmósfera constituida por 20% de oxígeno, mientras que los organismos acuáticos sobreviven en un ambiente con mucha menor cantidad, siendo variable la disponibilidad de oxígeno en el agua dulce y dependiente de la temperatura (Custodio y Chanamé, 2016). Para el caso del río Tingo, la  $T^{\circ}$  promedio para las tres épocas de muestreo es  $12,8^{\circ}\text{C}$ , para lo cual su OD equivalente sería  $10,8\text{ mg/l}$ ; no obstante, se registró un OD promedio es  $2,5\text{ mg/l}$  (Figura 4), siendo esto un limitante para el desarrollo de la vida acuática.

Bustamante et al. (2008) mencionan que para que exista una producción no deteriorada de macroinvertebrados es necesario un  $OD \geq 8\text{ mg/l}$ , una producción deteriorada  $OD = 5\text{ mg/l}$ , con un límite de deterioro correspondiente a un  $OD = 4\text{ mg/l}$ ; al comparar este límite con el promedio de OD de los puntos de monitoreo del río Tingo, para las tres épocas de muestreo,

se constata que nos encontramos ante un medio con producción deteriorada de macroinvertebrados.

**Figura 4**

*Oxígeno Disuelto en los puntos de monitoreo del río Tingo.*



Del análisis de los muestreos se determinó que en la época seca y época de transición existe una baja presencia de oxígeno disuelto en los tres puntos de monitoreo (Época Seca: E1= 2,25; E2= 2,18 y E3=2,23) (Época de Transición: E1= 3,31; E2= 2,22; E3= 2,23) mientras que en la época lluviosa en el punto E1= 4.37 se encuentra inmerso en lo establecido por el ECA – categoría 3 (OD>=4), pero las otras estaciones presentan bajos niveles de OD (E2= 2,25; E3= 2,23), estando por debajo de lo establecido en los ECA categoría 3, siendo este parámetro importante para la vida acuática, ya que estos necesitan oxígeno para sobrevivir y desarrollarse.

Según ANA (2015), el OD en los puntos de monitoreo es: RTing1=5,71 mg/l, RTing2=6,13 mg/l y RTing3= 6.44 mg/l, no alcanzando lo establecido por el ECA categoría tres; sin embargo, no representan una reducción significativa de OD.

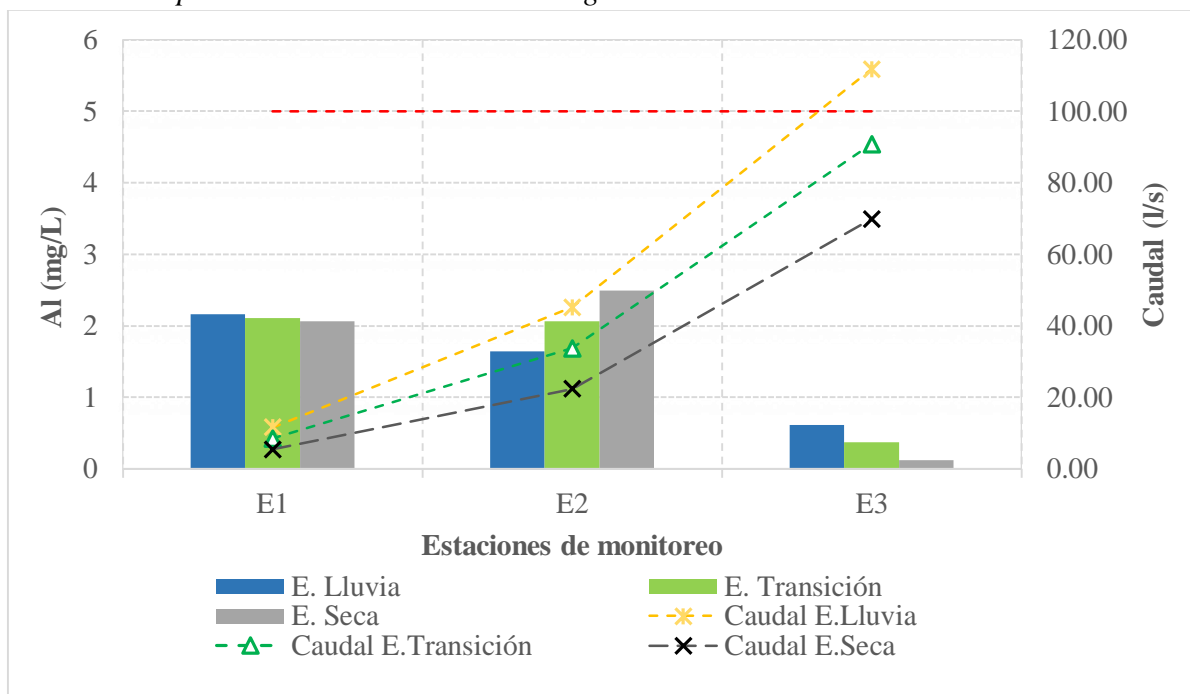
#### 4.1.4. Aluminio (Al)

Los niveles de aluminio en el agua varían según la época de muestreo (Figura 6) y punto de monitoreo, registrándose diferencias significativas en la concentración del aluminio en el punto de monitoreo E3 debido a que presenta una menor concentración en las tres épocas

del año. Se ha registrado en la época lluviosa, en los tres puntos de monitoreo, un valor promedio de 1,47 mg/l. En la época de transición en los tres puntos de monitoreo los reportes promedio de aluminio son 1,5 mg/l, y en la estación seca un promedio 1,6 mg/l.

**Figura 5**

*Al en los puntos de monitoreo del río Tingo.*



Estos resultados están por debajo de lo establecido en Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (Al = 5 mg/l), resultados similares a los reportados por el ANA (2015) que indica que las concentraciones de este metal en el río Tingo, se encuentran por debajo del ECA categoría 3.

Pese a que su concentración no excede el ECA, este metal restringe el crecimiento de las plantas impidiéndoles la normal absorción de nutrientes, generando una considerable disminución de vegetación asociadas a las zonas ribereñas, la cual es utilizada como alimento, refugio y reproducción de una vasta variedad de macroinvertebrados acuáticos, disminuyendo su población (Roldan, 2003).

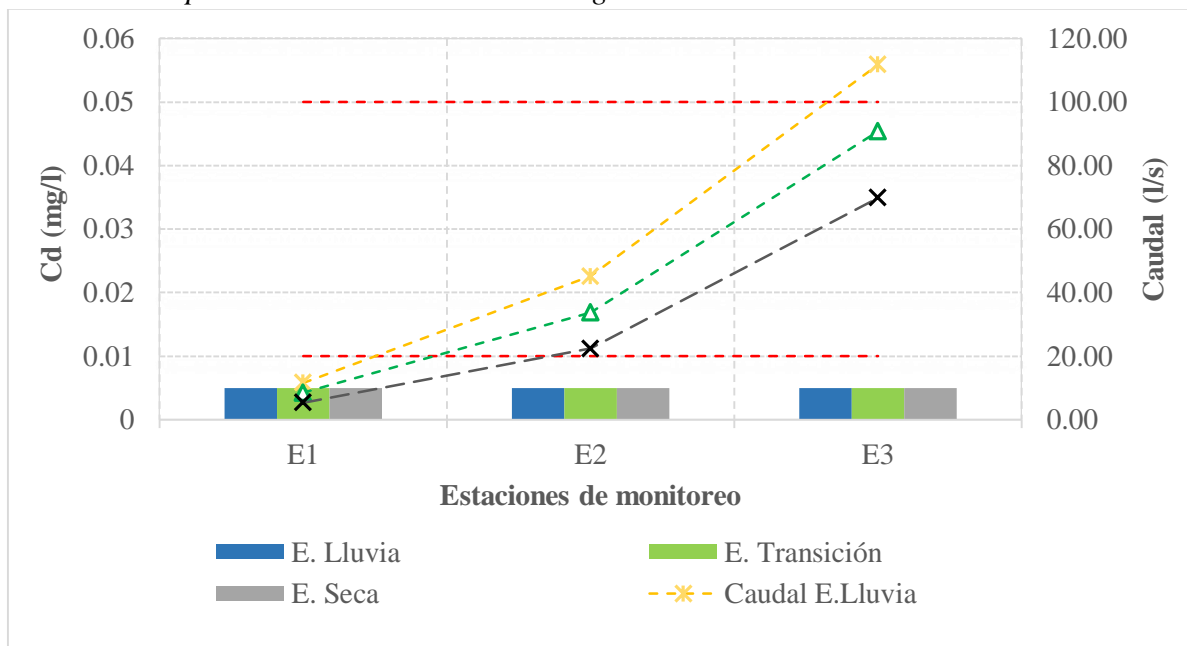
#### 4.1.5. Cadmio (Cd)

El Cadmio indica un valor bajo en las tres estaciones de monitoreo en todas las épocas de muestreo ( $Cd \leq 0,005$ ), estando por debajo del ECA – Agua ( $Cd \leq 0,05$ ) de acuerdo al

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, por lo que dicha concentración no tiene relevancia en el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos en el río Tingo.

**Figura 6**

*Cd en los puntos de monitoreo del río Tingo.*



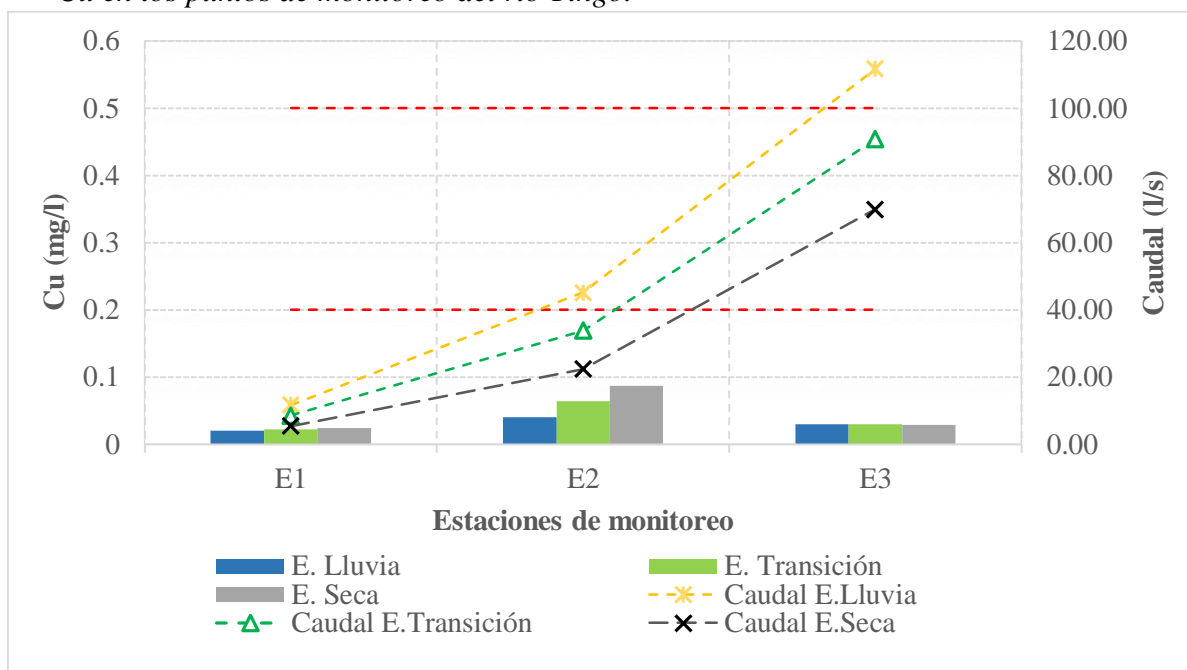
#### 4.1.6. Cobre (Cu)

Se observa que la concentración de cobre se encuentra por debajo de lo establecido en el ECA – agua (Figura 8), resultados similares a los obtenidos por el ANA (2015), la que indica un promedio de 0,0603 mg/l para los puntos de monitoreo situados desde el nacimiento del río Tingo hasta después de la desembocadura de aguas de minera Goldfields. Se ha encontrado diferencias significativas en la concentración de cobre en el punto de monitoreo E1, respecto a los puntos E2 y E3, en los que se registró una concentración mayor.

Cabe indicar que la concentración reportada no es relevante en el desarrollo de macroinvertebrados, según Carvacho (2012).

**Figura 7**

*Cu en los puntos de monitoreo del río Tingo.*



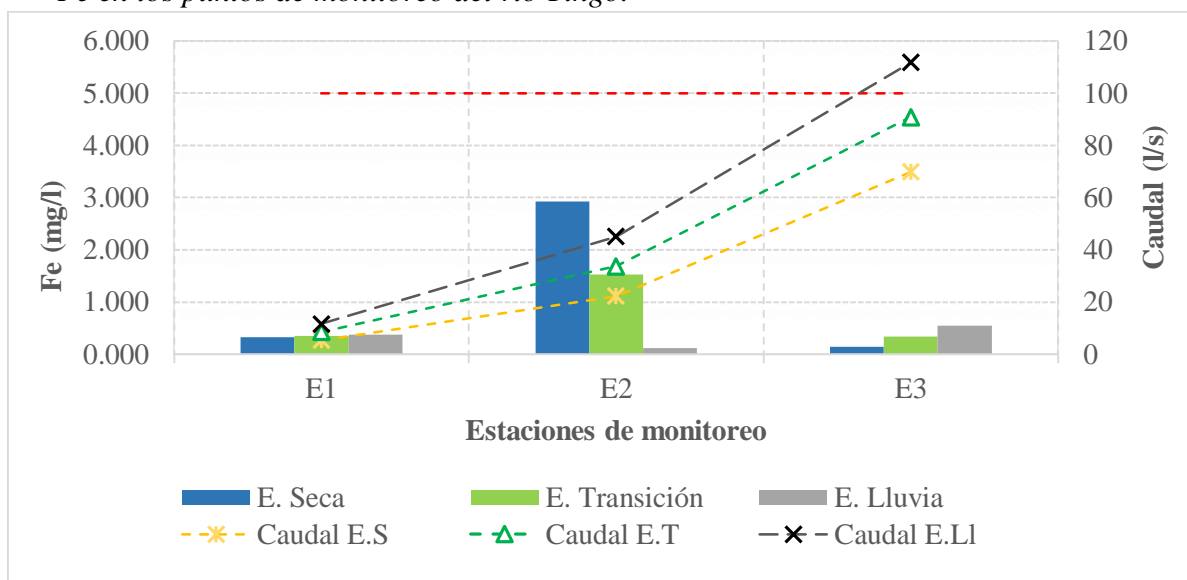
#### 4.1.7. Hierro (Fe)

Se registró Fe en concentraciones por debajo de los ECA – agua, con un valor máximo de 2,928 mg/l en el punto E2 de la estación seca y un valor mínimo obtenido de 0,120 mg/l en el punto E2 de la estación de lluvia, siendo el punto E2 el que presenta más variación con respecto al comportamiento de dicho metal (Figura 9).

Al comparar con los resultados obtenidos por el ANA (2015), podemos ver que en las estaciones de monitoreo ubicadas en el inicio del río hasta después de la desembocadura de minera Goldfields, el valor encontrado está dentro del ECA categoría 3 (RTing1= 0,393 mg/l, RTing2= 0,2838 y RTing3=1.3659) lo cual no sobrepasa el estándar.

**Figura 8**

*Fe en los puntos de monitoreo del río Tingo.*



Zilli y Gagneten (2005), consideran que los macroinvertebrados no responden a los valores promedios de Fe; sin embargo, si responden a los valores extremos, demostrando la capacidad de resistencia de los organismos en un cierto ambiente, por lo que según los datos obtenidos en los puntos del río Tingo con respecto al Fe no presenta significancia en relación al comportamiento de los macroinvertebrados.

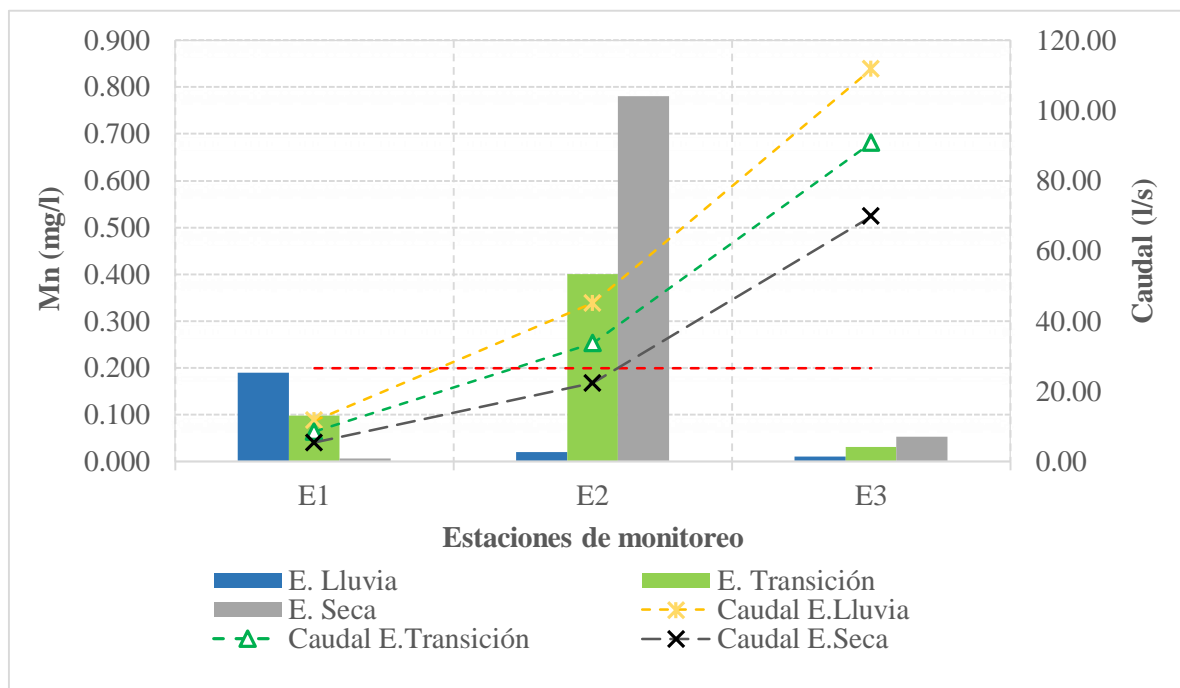
#### **4.1.8. Manganeseo (Mn)**

En el punto de monitoreo E2 en la época seca (Mn = 0,780 mg/l) y época de transición (Mn = 0,4 mg/l) la concentración de manganeso sobrepasa los valores establecidos en el ECA – agua, lo que no sucede en la época de lluvia. Con relación a los otros puntos E1 y E3, los valores obtenidos se encuentran por debajo de lo establecido en el ECA en todas las épocas del año (Figura 10).

Los resultados guardan estrecha relación con los obtenidos por el ANA (2015), la que indica que para los puntos de monitoreo ubicados entre el nacimiento del río y después de la desembocadura de aguas de minera Coymolache, la concentración de manganeso está bajo lo estipulado en el ECA categoría 3; sin embargo, para el punto ubicado después de la desembocadura de aguas de minera Goldfields, el valor obtenido (RTing3= 0.379) no cumple el ECA, lo que deja notar la contante intervención antrópica en el río Tingo.

**Figura 9**

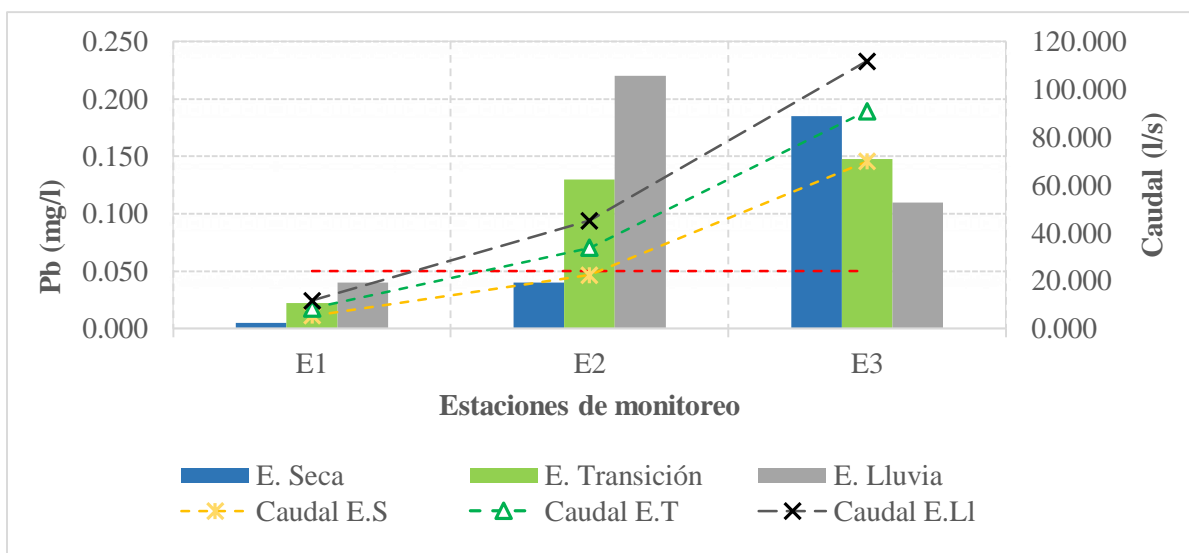
*Mn en los puntos de monitoreo del río Tingo.*



#### 4.1.9. Comportamiento del plomo (Pb)

**Figura 10**

*pH en los puntos de monitoreo del río Tingo.*



El punto de monitoreo E1, en las tres épocas de muestreo, los valores de plomo registrados están por debajo de lo establecido en el ECA, el punto E2 sobrepasa el ECA en la época de

transición y época de lluvia, y el punto E3, en las tres épocas de muestreo, se sobrepasa los valores establecidos.

Al comparar con resultados obtenidos tiempo atrás por el ANA (2015), se evidencia que la concentración en los puntos de monitoreo situados desde el inicio del río hasta el punto situado después de la desembocadura de aguas de la minera Goldfields, no sobrepasan los ECA categoría 3.

#### 4.2. Macroinvertebrados

Se evaluó los macroinvertebrados en época de lluvia, de transición y seca, considerando tres puntos de monitoreo, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 8**

*Abundancia y nPeBMWP de macroinvertebrados registrados en el punto de monitoreo E1.*

Clase	Orden	Familia	E. lluvia		E. transición		E. seca	
			N°	nPeBMWP	N°	nPeBMWP	N°	nPeBMWP
Insecta	Diptera	Muscidae	1	2	-	-	-	-
		Tabanidae	18	4	4	4	-	-
		Tipulidae	1	5	10	5	1	5
		Ceratopogonidae	1	4	-	-	-	-
		Chironomidae	104	2	85	2	66	2
	Coleoptera	Dytiscidae	8	3	6	3	2	3
		Lampyridae	1	5	-	-	-	-
		Georissidae	4	3	1	3	-	-
	Trichoptera	Odontoceridae	14	10	3	10	1	10
		Hidrobiosidae	1	8	-	-	-	-
	Odonata	Aeshnidae	3	6	2	6	3	6
	Ephemeroptera (Pupa)	-	23	-	-	-	1	-
	Arachnoldea	Acari	-	1	-	-	-	-
Turbellaria	Seriata	Planariidae	-	-	-	-	1	5

Se registró macroinvertebrados en el punto de monitoreo E1 en las tres épocas de muestreo (Tabla 8), siendo más abundante en la época lluviosa. Cabe resaltar que en los puntos de monitoreo E2 y E3 no se registraron macroinvertebrados en ninguna época del año.

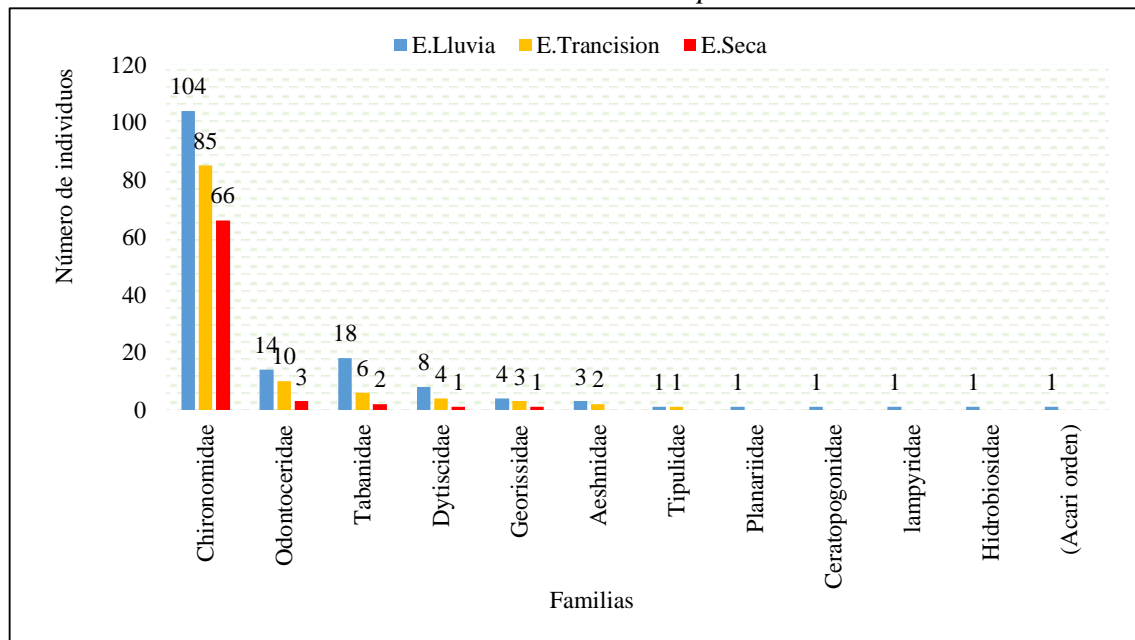


La familia Chironomidae presenta una mayor abundancia durante todas las épocas de muestreo, seguido por la familia Odontoceridae y Tabanidae. En la época de lluvia se registró la mayor cantidad de macroinvertebrados (Figura 12).

Se registró un total 366 individuos, distribuidos en 3 clases, 7 órdenes y 12 familias de macroinvertebrados en el río Tingo. La clase Insecta es la más representativa de la población representando el 99% del total de individuos de las tres épocas de muestreo, siendo la familia Chironomidae la más distintiva en las tres épocas con un total de 255 individuos. Estos resultados confirman el estudio realizado por Toro et al. (2003) quienes indican que los insectos acuáticos son el grupo mayoritario de macroinvertebrados de agua dulce conformando un 70 a 90% del total de organismos los cuales son considerados como los más estudiados para determinar la calidad del agua (Resh, 2008).

**Figura 11**

*Abundancia total de macroinvertebrados en las tres épocas de monitoreo.*

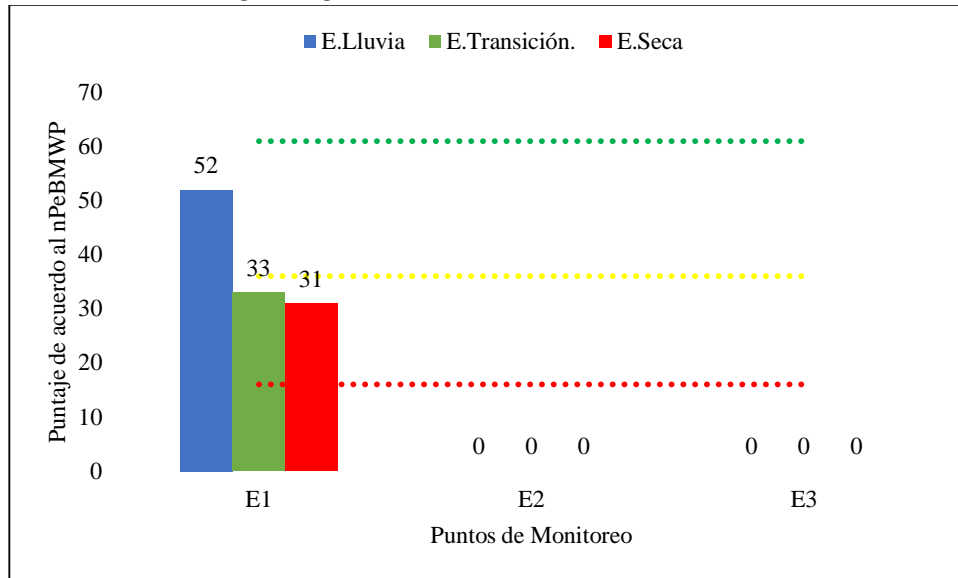


Tanto en la época seca, época transición y época húmeda, la familia de macroinvertebrados con mayor presencia es Chironomidae, la cual indica presencia de alteración en el agua. Tapia et al. (2018) mencionan que las familias Chironomidae presentan resistencia a factores ambientales modificados por compuestos orgánicos y metales pesados, coincidiendo con Ringuelet (1999) quien observó que los quironómidos representaban el 80 % del total de organismos presentes en un tramo de un pequeño arroyo en Ohio, el cual se encontraba altamente alterado por Cu, Cr y Zn; sin embargo, que éstos constituían menos del 10 % en una

sección no alterada, por lo cual esto indica que existe alteración por metales en el río Tingo y esto es a consecuencia de las actividades mineras en el área.

**Figura 12**

*Análisis de calidad del agua según índice nPeBNWP.*



El punto de monitoreo E1 (RTIN-1) presenta una calidad biológica regular ( $nPeBNWP = 52$ ), indicando aguas contaminadas para la época de lluvia y una calidad biológica mala en la época de transición ( $nPeBNWP = 31$ ) y seca ( $nPeBNWP = 33$ ). En el punto E1, en la época de lluvia ( $PeBMWP=52$ ) se tuvo mayor puntaje que la época seca ( $PeBMWP=31$ ) y de transición ( $PeBMWP=33$ ), presentando mayor presencia de macroinvertebrados, pese a ello la calidad biológica obtenida en dicho punto es de regular para la época de lluvia y de calidad biológica mala para la época seca y época de transición, por lo que se consideran aguas contaminadas para la época de lluvia y aguas muy contaminadas para las otras épocas.

Los puntos de monitoreo E2 y E3 (RTIN-2 y RTIN-3, respectivamente) no evidencian la presencia de macroinvertebrados pasando automáticamente a tener una calidad biológica pésima, indicando aguas extremadamente contaminadas en todas las épocas de muestreo, demostrando que existe una fuerte alteración en estos puntos, arrojando de forma directa una calidad biológica pésima, indicando aguas extremadamente contaminadas. Miserendino et al. (2012), concuerda con los resultados, indicando que la disminución abrupta de la densidad en estos organismos acuáticos está directamente relacionado al descenso de la calidad de agua.

El patrón espaciotemporal que demuestra la presencia de macroinvertebrados en los puntos de monitoreo del río Tingo es directamente proporcional la calidad del agua, debido a que existe

una elevada relación de la presencia de macroinvertebrados con respecto a la calidad de agua registrada.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

Existe alteración de la calidad física y química de las aguas del río Tingo pues se ha registrado niveles altos de manganeso (superior a 0,4 ppm en la época seca y de transición en la E2), plomo (superior a 0,05 ppm en la E3 en todas las épocas del año y en E2 en las épocas transición y lluvia) y niveles de pH (5.98 promedio) y oxígeno disuelto (2.59 mg/l) que no se enmarcan en el agua Categoría 3.

Se registró en el río Tingo un total de 366 individuos, distribuidos en 3 clases, 7 órdenes y 12 familias de macroinvertebrados, siendo la clase Insecta la más representativa con el 99% del total de la población, del cual sobresale el orden Diptera con 291 individuos.

En el punto de monitoreo E1 (naciente de río), el agua tiene una calidad biológica mala en la época de lluvia y pésima en la época seca y de transición, indicando aguas contaminadas a muy contaminadas. En los puntos E2 (50 metros después de la desembocadura de aguas de CIA Minera Coimolache) y E3 (50 metros después de la desembocadura de aguas de GOLDFIELDS), al no existir macroinvertebrados en el agua, la calidad biológica es pésima, indicando aguas extremadamente contaminadas.

#### **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar investigaciones complementarias asociadas a biomonitoreos y análisis fisicoquímicos de agua en estrecha coordinación entre instituciones científicas y el sector competente, con el propósito de alcanzar la protección y conservación del recurso en concordancia con la normativa vigente.
  
- Se recomienda incrementar las investigaciones sobre calidad de agua asociados a macroinvertebrados en el país, pues de esta forma se tendrá mayor información de la tolerancia y sensibilidad de organismos a las alteraciones y también se conocerá más a detalle su distribución por regiones.

- Es necesario profundizar en el estudio de la taxonomía de macroinvertebrados en ríos altoandinos a nivel de Cajamarca, con el propósito de establecer claves taxonómicas especializadas para nuestro entorno.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva-Tercedor, J. (1996). *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía. Almería, Almería, España.*  
[https://www.researchgate.net/publication/237225203\\_Macroinvertebrados\\_acuaticos\\_y\\_calidad\\_de\\_las\\_aguas\\_de\\_los\\_rios](https://www.researchgate.net/publication/237225203_Macroinvertebrados_acuaticos_y_calidad_de_las_aguas_de_los_rios)
- Autoridad Nacional del Agua (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Resolución Jefatural N° 010 – 2016 – ANA
- Autoridad Nacional del Agua (2015). Monitoreo participativo de la calidad del agua de la cuenca del río Llaucano. Informe N° 0000-2015-ANA-AAA M-SDGCRH.
- Baddii, M., Garza, R., Garza, V. y Landero, J. (2005). Los indicadores biológicos en la evaluación de la contaminación por agroquímicos en ecosistemas acuáticos asociados. *Cultura Científica y Tecnológica.*
- Barrenechea, A. (2010). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua.* Capítulo 1.  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/uno.pdf>
- Bustamante, T., Monsalve, D. y García, R. (2008). Análisis de la calidad del agua en la cuenca media del río Quindío con base en índices físicos, químicos y biológicos. *Rev. Invest. Univ. Quindío 1*, 22-31.
- Bullón, V. (2016). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del río Perene, Chanchamayo. Huancayo, Perú.
- Carrera, C. y Fierro, K. (2001). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua: manual de monitoreo.* EcoCiencia. Quito. Ecuador.
- Carvacho, C. (2012). *Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile.* Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. Barcelona. España.

- Correa, I. (2000). *Desarrollo de un índice biótico para evaluar la calidad ecológica del agua en los ríos de la cuenca alta del Río Chama utilizando macroinvertebrados bentónicos* [Tesis de grado de Licenciado en Biología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Venezuela]
- Cortolima, B. (2010). *Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua*. Tolima, Colombia.
- Custodio, M. y Chanamé, F. (2016). Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales. *Scientia Agropecuaria*, 7(1), 33-44
- Daza, P., Rodríguez, D. y Patiño, J. (2016). *Bioindicación de la calidad del agua del río subachoque mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos como una integración espacial y temporal*. [Trabajo en modalidad de investigación como requisito para optar el Título en Tecnólogos en Saneamiento Ambiental, Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4289>
- Díaz, R., Duarte, H., Pallanez, M., Moreno, J., Mejía, J. y Durazo, F. (2017). Análisis de los criterios para proteger la vida acuática del río sonora después del derrame minero de 2014. *Aqua-LAC*, 10(1), 75 – 87.
- DIGESA. (2011). Evaluación de la calidad sanitaria de las aguas del río Llaucano y tributarios principales. Ministerio de salud. Dirección general de salud ambiental. [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/rios/2011/RIO\\_LLAUCANO\\_2011.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/rios/2011/RIO_LLAUCANO_2011.pdf)
- Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds.) (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. [https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Dominguez/publication/260417584\\_Macroinvertebrados\\_bentonicos\\_Sudamericanos\\_Sistemática\\_y\\_Biología/links/00b7d5310f9a6c1839000000/Macroinvertebrados-bentonicos-Sudamericanos-Sistemática-y-Biología.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Dominguez/publication/260417584_Macroinvertebrados_bentonicos_Sudamericanos_Sistemática_y_Biología/links/00b7d5310f9a6c1839000000/Macroinvertebrados-bentonicos-Sudamericanos-Sistemática-y-Biología.pdf)
- Echarri, L. (2007). *Contaminación del agua*. Universidad de Navarra. España. <http://biblioteca.esucomex.cl/RCA/Contaminaci%C3%B3n%20del%20agua.pdf>

- Eduardo, L., & Sánchez, S. (2014). *Uso de Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad del agua del río Palacagüina, Norte de Nicaragua*. <https://www.lamjol.info/index.php/FAREM/article/viewFile/2621/2371>
- Escobar, A. (2010). *Sustainable Water for the Future: Water Recycling versus Desalination*. Elsevier. [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Sustainable+Water+for+the+Future%3A+Water+Recycling+versus+Desalination&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Sustainable+Water+for+the+Future%3A+Water+Recycling+versus+Desalination&btnG=)
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 3, 147-170.
- Flores, E., Villalobos, N., Piedra, L. y Carola, S. (2017). Evaluación breve de la presencia de diatomeas y su relación con algunos parámetros físico-químicos en el río Pirro. Heredia, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(2), 99-109. DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/ru.31-2.7>
- Forero, A., Reinoso, G. y Gutiérrez, C. (2007). Evaluación de la calidad del agua del río Opía (Tolima – Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia*, 35(2), 371 – 387.
- García, B. (2016). *Evaluación de la calidad de agua del río Shilcayo, mediante la diversidad de insectos acuáticos, Tarapoto, Perú*. [Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5726/1/IAD-2016-T015.df>
- Gobierno Regional Cajamarca. (2006). *Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de demarcación territorial de la provincia de Hualgayoc, Cajamarca*. <https://dt.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/documentos/EDZ/hualgayoc/doc/moriadescriptiva.pdf>
- Gutiérrez, D., Riss, W. y Ospina, R. (2006). Bioindicación de la calidad del agua en la sabana de Bogotá – Colombia, mediante la utilización de la lógica difusa neuro-adaptativa como herramienta. *Caldasia* 28(1), 45-56.
- Huamán, F. y Veneros, W. (2017). *Variabilidad climática y ocurrencia de sequías en la región de Cajamarca, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. SENAMHI. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/119>

- Iannacone, J., Mansilla, J. y Ventura, K. (2001). Macroinvertebrados en las lagunas de Puerto Viejo. Lima. Perú. *Ecología Aplicada*, 2(1), 116-124.
- López, C., Leira, M, Valle, R. y Moyá, G. (2016). El fitoplancton como indicador de calidad de masas de agua muy modificadas en la DMA, El lago artificial de As Pontes. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 23: 85-97.
- López, F. y Siqueiros, D. (2011). Las diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur. *Canabio. Biodiversitas*, 99, 8-11.
- Mancilla, G., Valdovinos, C., Azocar, M., Jorquera, P. y Figueroa, R. (2009). Efecto del reemplazo de la vegetación nativa de ribera sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en arroyos de climas templados. *Hidrobiológica*, 19 (3), 193-203.
- Medina, C., Hora, M., Asencio, I., Pereda, W. y Gabriel, R. (2008). El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. La Libertad. Perú. *SCIENDO*, 13, 5-20.
- Miserendino, L., Archangelsky, M., Brand, C. y Beltran, L. (2012). Environmental changes and macroinvertebrate responses in Patagonian streams (Argentina) to ashfall from the Chaitén Volcano. Argentina. *Science of The Total Environment*, 424, 202-212.
- Monforte, G., Cantú, P. (2009). *Escenario del agua en México*. Recursos Hídricos. Mexico. Recuperado de <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/356/336>
- Palomino, P. (2016). *Macroinvertebrados acuáticos bentónicos (mab) y su relación con la calidad del agua en el río Mashcón-Cajamarca* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/10671>
- Polo, J. y Medina, C. (2013). *Calidad biológica del agua del río Amojú*. Jaén. Cajamarca. *SCIENDO* 18(1), 38-51.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R. y Rieradevall, M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. *Limnología*, 35(2), 371-387.

- Prieto, J. (2004). El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. Eco Ediciones, Bogotá.
- Resh, V. (2008). *Atributos de diferentes conjuntos biológicos utilizados en programas de biomonitoreo de agua dulce*. Monitoreo ambiental. España.
- Resolución Jefatural N° 010 - 2016 – ANA. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. <https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-010-2016-ana-0>
- Ringuelet, A. (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas, *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 58 (1-2): 202-207.
- Rodríguez, B., Ospina, T. y Turizo., A. (2011). Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira. *Rev. biol. Trop.*, 59 (4), 1537-1552.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col.* Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZEjgIKZTF2UC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Bioindicaci%C3%B3n+de+la+calidad+del+agua+en+Colombia:+Propuesta+para+el+uso+del+m%C3%A9todo+BMWP-Col.+Medell%C3%ADn,+Colombia&ots=INhYZDIxGK&sig=XXYp\\_7mcXxxUFoJPwv78enl4a90](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZEjgIKZTF2UC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Bioindicaci%C3%B3n+de+la+calidad+del+agua+en+Colombia:+Propuesta+para+el+uso+del+m%C3%A9todo+BMWP-Col.+Medell%C3%ADn,+Colombia&ots=INhYZDIxGK&sig=XXYp_7mcXxxUFoJPwv78enl4a90)
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(155), 254-274.
- Sánchez, S. y Vásquez, C. (2011). *Zonas de vida de Cajamarca*. Cajamarca, Perú <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/ZonasVidasZEESegunMapaNacional.pdf>
- Segnini, S. (2003). El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos*, 16(2), 45-63.



- Sotil, L. y Flores, H. (2016). *Determinación de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del contenido de las aguas del río Mazán – Loreto*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos. Perú
- Springer, M. (2006). Clave taxonómica para larvas del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 54(1), 273-28
- Tapia, L., Sánchez, T., Baylón, M., Jara, E., Arteaga, C., Maceda, D. y Salvatierra, A. (2018). Invertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en lagunas altoandinas del Perú. *Ecol. apl.*, 17(2), 149-163.
- Ten, D. (2015). Propuesta para la implementación de indicadores biológicos en la evaluación de la calidad del agua. DGCRH ANA, Lima, Perú.
- Toro, J., Schuster, P., Kurosawa, J., Araya, E. y Contreras, M. (2003, del 13 al 14 de noviembre). Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas loticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores del río Maipo [conferencia]. XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Santiago. Chile.  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56230067/Toro\\_etal\\_2003..pdf?1522791853=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSOCIEDAD\\_CHILENA\\_DE\\_INGENIERIA\\_HIDRAULIC.pdf&Expires=1622187972&Signature=cIJEVG5f7BAaMIHfEakNxbZoqF07TdZkBWlqUSDAR~G0uGwZyLShmhGXc5IORT-r8AlpVF5ML4PRgqI2pHMQO7x66PIXE8xyIchPFVRm1ex-cLbw9rAz-Xq0WI6pnl5GBjwkiwtPFo5l18tzKPtN83DMLOVTcyEdNQhsXs~cptbfD1CsUGRxdyThSZ1td~pRWjv7yNAUxHk~zQJ-dx-hPCD0Y5jAXOIHM9YxCNngwMliTA98Ru5HoS2Q8LwLAIoTeF81SdjGp03bKm8j~cZSXHav75Jq0soQNb~WsPzphHV09aQNS4MsPZ8wRO1Yw0NnSMfbJUu6h1FXrUmhWvhYUg\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56230067/Toro_etal_2003..pdf?1522791853=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSOCIEDAD_CHILENA_DE_INGENIERIA_HIDRAULIC.pdf&Expires=1622187972&Signature=cIJEVG5f7BAaMIHfEakNxbZoqF07TdZkBWlqUSDAR~G0uGwZyLShmhGXc5IORT-r8AlpVF5ML4PRgqI2pHMQO7x66PIXE8xyIchPFVRm1ex-cLbw9rAz-Xq0WI6pnl5GBjwkiwtPFo5l18tzKPtN83DMLOVTcyEdNQhsXs~cptbfD1CsUGRxdyThSZ1td~pRWjv7yNAUxHk~zQJ-dx-hPCD0Y5jAXOIHM9YxCNngwMliTA98Ru5HoS2Q8LwLAIoTeF81SdjGp03bKm8j~cZSXHav75Jq0soQNb~WsPzphHV09aQNS4MsPZ8wRO1Yw0NnSMfbJUu6h1FXrUmhWvhYUg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- Vásquez, M. y Medina, C. (2014). Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos en la microcuenca del río Tablachaca Ancash. *REBIOL*, 35(2), 75-89
- Vázquez G., Castro G., González I., Pérez R. y Castro, T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Contactos60*: 41-48.

<https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Bioindicadores-como-herramientas-para-determinar-la-calidad-del-agua.pdf>

Water and Rivers Commission. (2002). Annual Report 2001-2002.

[https://www.parliament.wa.gov.au/publications/tabledpapers.nsf/displaypaper/3620652c1d2df2683bed22bf48256c93000b65f5/\\$file/wrc\\_2002\\_final.pdf](https://www.parliament.wa.gov.au/publications/tabledpapers.nsf/displaypaper/3620652c1d2df2683bed22bf48256c93000b65f5/$file/wrc_2002_final.pdf)

Yépez, A., Bolívar A., Urdánigo, J., Morales, D., Guerrero, N. & Carolina, C. (2017) Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo. *Ciencia Y Tecnología*, 10(1), 27-34.

Zilli, F. y Gagneten, A. (2005). Efectos de la contaminación por metales pesados sobre la comunidad bentónica de la cuenca del arroyo cululú (río salado del norte, argentina). Asociación Interciencia Caracas. Venezuela. *INCI*, 30(3), 159-165.

**CAPÍTULO VII**  
**ANEXOS**

**Anexo 1.** Macroinvertebrados registrados.

**Figura 13**

*Familia Muscidae vista en el estereoscopio.*



**Figura 14**

*Familia Tabanidae vista en el estereoscopio.*



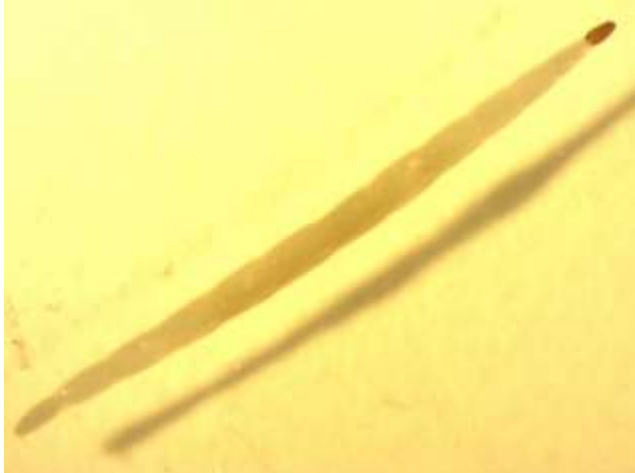
**Figura 15**

*Familia Tipulidae vista en el estereoscopio.*



**Figura 16**

*Familia Ceratopogonidae vista en el estereoscopio.*



**Figura 17**

*Familia Chironomidae vista en el estereoscopio.*



**Figura 18-**

*Familia Dytiscidae vista en el estereoscopio.*



**Figura 19**

*Familia Lampyridae vista en el estereoscopio.*



**Figura 20**

*Familia Georissidae vista en el estereoscopio.*



**Figura 21**

*Familia Odontoceridae vista en el estereoscopio.*



**Figura 22**

*Familia Hydrobiosidae vista en el estereoscopio.*



**Figura 23**

*Familia Aeshnidae vista en el estereoscopio.*



**Figura 24**

*Familia Planariidae vista en el estereoscopio.*



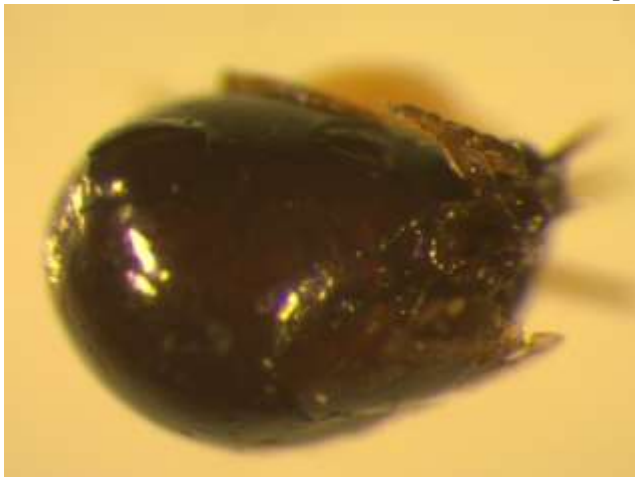
**Figura 25**

*Individuo del orden Ephemeroptera (pupa) vista en el estereoscopio.*



**Figura 26**

*Individuo del orden Acari vista en el estereoscopio.*



**Anexo 2.** Panel fotográfico.

**Figura 27**

*Registro de parámetros físico químicos con el multiparámetro.*



**Figura 28**

*Medidas de cauce del río.*





**Figura 29**

*Toma de muestras de agua.*



**Figura 30**

*Muestreo de macroinvertebrados.*



