



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“Análisis de la calidad del agua en la comunidad Maikiuants  
ubicada en la cordillera del Cóndor, Morona Santiago”

**Tesis previa a la obtención de título de ingeniero ambiental**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**Autor:**

**TITO LEANDRO BERREZUETA REYES**

**Director:**

**BLGO. EDWIN JAVIER ZÁRATE HUGO**

**CUENCA-ECUADOR**

**2026**

**DEDICATORIA**

*A mi familia, por su apoyo incondicional durante todo este proceso de mi carrera, por acompañarme en cada desafío y motivarme a seguir adelante hasta alcanzar esta meta.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Mgt. Edwin Zárate, por la confianza depositada en mí para el desarrollo de este trabajo de investigación, así como por su constante guía, dedicación y apoyo académico durante todo el proceso. Sus conocimientos, observaciones y recomendaciones fueron fundamentales para fortalecer este proyecto y permitieron culminarlo de manera satisfactoria.

De igual manera, agradezco profundamente a las personas encargadas del laboratorio, quienes con su colaboración, paciencia y disposición me brindaron apoyo en las diferentes actividades prácticas y análisis realizados durante la investigación. Su ayuda y orientación técnica fueron de gran importancia para el correcto desarrollo de este trabajo.

## RESUMEN

La presente investigación evaluó la calidad del agua en la comunidad Shuar Maikiuants, ubicada en la Cordillera del Cóndor, provincia de Morona Santiago, una zona de alta biodiversidad amenazada por actividades antropogénicas como la minería. El estudio se desarrolló en las microcuencas Aakas y Yunkumas, así como en el río Coangos, mediante campañas de muestreo realizadas en diferentes periodos. Se analizaron parámetros fisicoquímicos in situ, concentración de iones mediante cromatografía iónica y presencia de metales pesados mediante espectrofotometría de absorción atómica. Además, se evaluaron macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores utilizando el índice AAMBI. Los resultados evidenciaron que los parámetros fisicoquímicos, las concentraciones de iones y los metales pesados se encontraron dentro de los límites permisibles establecidos en la normativa ecuatoriana. Asimismo, los valores del índice AAMBI indicaron una calidad ecológica entre muy buena y excelente. En conjunto, las fuentes hídricas evaluadas presentan un buen estado de conservación y baja influencia de contaminación antropogénica.

**Palabras clave:** calidad del agua, macroinvertebrados, índice AAMBI, metales pesados, Cordillera del Cóndor, Amazonía ecuatoriana.

## ABSTRACT

This study evaluated water quality in the Shuar community of Maikiuants, located in the Cordillera del Cóndor, Morona Santiago Province, a highly biodiverse region affected by anthropogenic activities such as mining. The research was conducted in the Aakas and Yunkumas micro-watersheds, as well as in the Coangos River, through sampling campaigns carried out during different periods. Physicochemical parameters were measured in situ, ionic concentrations were analyzed using ion chromatography, and heavy metals were determined through atomic absorption spectrophotometry. In addition, aquatic macroinvertebrates were evaluated as bioindicators using the AAMBI index. The results indicated that physicochemical parameters, ionic concentrations, and heavy metals remained within the permissible limits established by Ecuadorian environmental regulations. Likewise, AAMBI index values indicated ecological conditions ranging from very good to excellent. Overall, the evaluated water sources showed a well-conserved ecological condition and low influence of anthropogenic contamination.

**Keywords:** water quality, macroinvertebrates, AAMBI index, heavy metals, Cordillera del Cóndor, Ecuadorian Amazon.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>ii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>Impactos de la minería en los recursos hídricos en la Cordillera del Cóndor</b> .....	<b>1</b>
<b>Vulnerabilidad de la comunidad Maikuanets frente a la calidad del agua</b> .....	<b>2</b>
<b>Indicadores de monitoreo de la calidad del agua</b> .....	<b>2</b>
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>4</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1. Área de estudio</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2. Ubicación de puntos de muestreo</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3. Métodos de campo</b> .....	<b>6</b>
<b>2.4. Muestreo Macroinvertebrados</b> .....	<b>7</b>
<b>2.5. Medición de parámetros FQ in-situ</b> .....	<b>7</b>
<b>2.6. Métodos de laboratorio</b> .....	<b>8</b>
<b>2.6.1. Análisis de iones</b> .....	<b>8</b>
<b>2.6.2. Análisis de metales pesados</b> .....	<b>9</b>
<b>2.6.3. Análisis de macroinvertebrados</b> .....	<b>10</b>
<b>2.7. Análisis de Datos</b> .....	<b>10</b>
<b>2.8. Estadística descriptiva</b> .....	<b>11</b>
<b>2.9. Índices de diversidad e integridad de ecosistema</b> .....	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>13</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Parámetros fisicoquímicos in situ</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 Iones disueltos</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3 Metales pesados</b> .....	<b>16</b>
<b>3.4 Macroinvertebrados acuáticos</b> .....	<b>18</b>

<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>19</b>
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>21</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> Límites de detección de los iones analizados.....	8
<b>Tabla 2</b> Límites de detección de los metales pesados analizados.....	9
<b>Tabla 3</b> Clasificación de la integridad ecológica según el índice AAMBI.....	12
<b>Tabla 4</b> Parámetros fisicoquímicos medidos in situ en las estaciones de muestreo de las microcuencas Aakas, Yunkumas y el río Coangos.....	13
<b>Tabla 5</b> Concentración de iones en las estaciones de muestreo de las microcuencas Aakas, Yunkumas y el río Coangos.....	15
<b>Tabla 6</b> Concentración de metales pesados en las estaciones de muestreo de las microcuencas Aakas, Yunkumas y el río Coangos.....	17
<b>Tabla 7</b> Valores del índice AAMBI en las estaciones de muestreo de las microcuencas Aakas y Yunkumas.....	18

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mapa de la ubicación de la comunidad Maikiuants.....	4
--	---

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO I. Tiempos de retención de los iones analizados.....	24
--	----

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos más importantes para los seres vivos, el correcto funcionamiento de los ecosistemas y el desarrollo humano. Si bien la mayor parte de nuestro planeta está cubierto por este elemento, solo una pequeña parte corresponde a agua dulce apropiada para el consumo humano, productividad, y servicios ecosistémicos. Por lo tanto, esto lo convierte en un recurso fundamental pero al mismo tiempo escaso y vulnerable por el mal uso y la contaminación (Pabón Guerrero et al., 2020). En comunidades rurales como comunidades indígenas de América Latina, donde no siempre existen sistemas eficientes de tratamiento, la calidad del agua determina directamente la salud y la sostenibilidad de prácticas productivas, culturales e históricas.

Los cuerpos de agua para el consumo humano también albergan una gran diversidad biológica que incluye peces, anfibios, macroinvertebrados y flora acuática, organismos que participan en procesos ecológicos esenciales en los ecosistemas, como el ciclo de nutrientes y la purificación natural del agua. Sin embargo, estas comunidades biológicas se encuentran cada vez más amenazadas por intervenciones humanas como la deforestación, la minería y la ganadería intensiva, las cuales modifican las condiciones fisicoquímicas del agua dulce y generan desequilibrios ecológicos (Sacher, 2011).

Entre los principales problemas destaca la contaminación por la presencia de metales pesados, compuestos que pueden persistir en los sedimentos, bioacumularse en los tejidos orgánicos y posteriormente trasladarse a través de la cadena alimentaria, afectando directamente a la fauna y a los seres humanos (Pabón Guerrero et al., 2020).

#### **Impactos de la minería en los recursos hídricos en la Cordillera del Cóndor**

En Ecuador, especialmente en La Cordillera del Cóndor, el incremento de actividades de extracción minera es una de las mayores preocupaciones por sus efectos adversos en las fuentes hídricas y los ecosistemas amazónicos. Esta región es reconocida por su alta biodiversidad y elevados niveles de especies endémicas, además de cumplir funciones ecológicas como la regulación hídrica y la conservación de ecosistemas tropicales (Vélez-Abarca et al., 2023). No obstante, el desarrollo de actividades extractivas representa la mayor amenaza para la conservación de los ecosistemas y las comunidades indígenas que dependen de las óptimas condiciones de las fuentes de agua.

Diversos estudios realizados en la región amazónica destacan que las actividades antropogénicas como la extracción de minerales es generadora de contaminantes en las fuentes hídricas superficiales y subterráneas. Además, las exploraciones mineras generan alteraciones en la cobertura vegetal, incrementando los sedimentos y modificando la dinámica natural de las fuentes hídricas, lo que provoca cambios irreversibles en el funcionamiento de los sistemas fluviales (Asner et al., 2013). Estas alteraciones a los ecosistemas representan una gran amenaza para las comunidades que se abastecen directamente de estos recursos hídricos, ya que afectan las condiciones ecológicas de las cuencas que son utilizadas para el consumo y actividades cotidianas (Mestanza-Ramón et al., 2023).

### **Vulnerabilidad de la comunidad Maikiuants frente a la calidad del agua**

La comunidad Maikiuants, ubicada en la Cordillera del Cóndor, mantiene una relación con las fuentes hídricas del territorio, para el uso doméstico, agricultura y prácticas tradicionales. Sin embargo, la falta de un sistema de potabilización y monitoreo continuo incrementa la vulnerabilidad de la población frente a posibles alteraciones de la calidad del agua por actividades antropogénicas.

Estudios realizados en territorios amazónicos advierten que el consumo de agua que no ha pasado por un sistema de tratamiento pueden representar riesgos para la salud humana por la presencia de contaminantes químicos y biológicos (Urgilez, 2024). Además, Investigaciones realizadas en territorios mineros del noreste de la Amazonía ecuatoriana evidencian que cuando las concentraciones de contaminantes superan los límites permisibles, los principales afectados son niños y adultos (Galarza et al., 2023). Por ello, el asegurar la calidad de agua en la comunidad de Maikiuants resulta fundamental para contribuir en la protección ambiental y sanitaria del territorio.

### **Indicadores de monitoreo de la calidad del agua**

La evaluación de la calidad del agua requiere la integración de diferentes indicadores ambientales que permitan identificar alteraciones físicas, químicas y biológicas en los ecosistemas acuáticos. Los análisis fisicoquímicos permiten determinar parámetros como pH, oxígeno disuelto, conductividad y sólidos disueltos totales, mientras que la evaluación de iones y metales pesados facilita detectar posibles fuentes de contaminación asociadas a actividades antropogénicas. De manera complementaria,

los macroinvertebrados acuáticos son ampliamente utilizados como bioindicadores debido a su sensibilidad frente a cambios ambientales y su capacidad para reflejar las condiciones ecológicas de los cuerpos de agua a lo largo del tiempo (Vilca-Carhuapoma, 2022). En este contexto, el índice AAMBI constituye una herramienta útil para evaluar la integridad ecológica de ríos y quebradas en ecosistemas andino-amazónicos mediante la tolerancia de las familias de macroinvertebrados frente a la contaminación (Encalada et al., 2019).

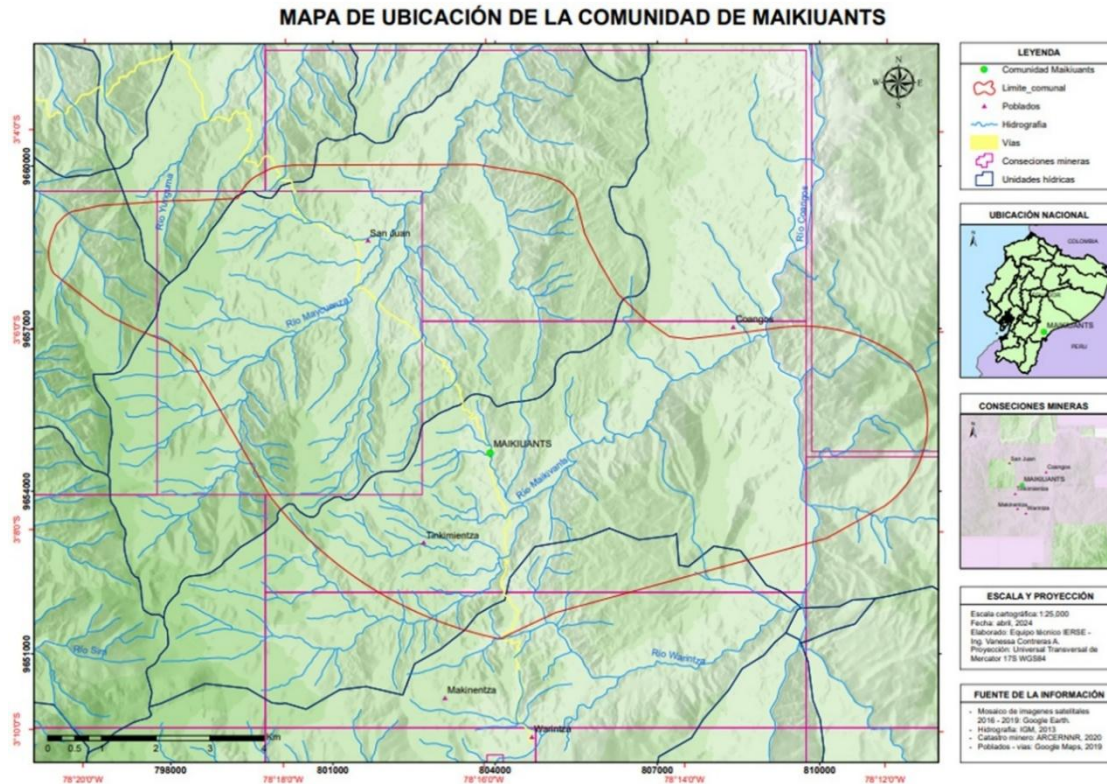
Por lo mencionado, el presente estudio tiene como finalidad evaluar la calidad del agua en dos microcuencas del territorio de la comunidad de Maikiuants mediante parámetros fisicoquímicos y bioindicadores (1). Para cumplir este propósito, se procederá a identificar las principales fuentes hídricas utilizadas por la comunidad para consumo y actividades cotidianas (2), así como a evaluar las características físico-químicas del agua y la presencia de metales pesados en los ríos locales (3). Finalmente, se realizará el análisis de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la integridad de los cuerpos hídricos (4), con el fin de determinar el estado actual del recurso y generar información útil para la toma de decisiones ambientales y sanitarias.

## CAPITULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1. Área de estudio

La comunidad Maikiuants está localizada en el cantón Limon Indanza, provincia de Morona Santiago, en el suroriente de la Amazonía ecuatoriana, siendo parte del territorio ancestral del Pueblo Shuar Arutam, dentro del área de influencia de la Cordillera del Cóndor. Esta región está formada por una zona de transición entre los Andes orientales y la llanura amazónica, que está caracterizada por tener una topografía montañosa, una cobertura de bosque tropical húmedo y con una gran biodiversidad. La comunidad se encuentra en un territorio de difícil acceso, que está constituida por una densa vegetación, lo que nos da a conocer que es un territorio ecológicamente sensible y geográficamente aislado. Además, Maikiuants ha sido conocida como una de las comunidades que siempre ha mantenido una fuerte relación territorial con su entorno natural y que enfrenta amenazas derivadas de proyectos extractivos en la Cordillera del Cóndor (Survival, 2023).



**Figura 1.** Mapa de la ubicación de la comunidad Maikiuants

Fuente: IERSE, Universidad del Azuay

La Cordillera del Cóndor, en donde se encuentra Maikiuants, está asentada en una unidad geológica en el margen oriental de los Andes ecuatorianos que está constituida por la presencia predominante de areniscas cuarzosas características correspondientes a la Formación Hollín, así como también tiene la presencia de otras secuencias sedimentarias mesozoicas. Estas formaciones están sobre un basamento más antiguo y han sido afectadas por procesos tectónicos directamente vinculados a la orogenia andina, los cuales generaron levantamientos estructurales y la creación de mesetas y relieves abruptos típicos de la región. La configuración geológica resultante genera condiciones para la geomorfología local, el desarrollo de suelo y los patrones de drenaje que son característicos de las microcuencas donde habita la comunidad (Neill, 2004).

El clima en esta región se caracteriza por la presencia de un clima húmedo tropical influenciado por su localización en la vertiente oriental andina. Esta zona presenta niveles altos de precipitación anual, humedad relativa elevada y temperaturas que van cambiando según el gradiente de altitud, generando zonas cálidas a menor altura y zonas más frías a mayor altura. La interacción entre las masas de aire húmedas y las zonas montañosas generan condiciones de mayor nubosidad y lluvias frecuentes a lo largo del año, lo que favorece al desarrollo de bosques sanos con una vegetación siempre verde y ecosistemas con una alta productividad biológica (Neill, 2004).

Maikiuants, se encuentra en una zona caracterizada por una alta densidad hídrica, quebradas y vertientes naturales. Los ríos principales son Aakas y Yunkumas que constituyen la principal fuente de abastecimiento para la población y los ecosistemas locales. Estos son afluentes del río Coangos, que a su vez se une al río Zamora, afluente del río Santiago. Todos drenan hacia la cuenca amazónica. Las precipitaciones constantes y la presencia de nubosidad continua más la topografía montañosa genera que los caudales sean constantes y bien oxigenados, que son utilizados para el consumo doméstico y actividades agrícolas. Asimismo, la cobertura boscosa ayuda a la regulación natural de las fuentes de agua, resaltando la importancia de estos sistemas naturales para la sostenibilidad de los ecosistemas (Chicaiza, 2012).

Este territorio también es considerado una zona con alta presencia de biodiversidad y endemismo, caracterizada por la presencia de bosques frondosos y húmedos tropicales, bosques montañosos y formaciones vegetales sobre las mesetas de arenisca, con una notable riqueza de flora y fauna. En este territorio se registran mamíferos como el jaguar, mono araña, el oso andino y la nutria neotropical, así como numerosas especies de aves y anfibios y reptiles que se encuentran adaptados a este entorno único. La vegetación se distingue por la alta presencia de orquídeas, bromelias y plantas que se usan para la medicina, muchas de ellas utilizadas por la comunidad en tradiciones locales. Esta riqueza biológica contribuye al equilibrio ecológico del territorio y refuerza el valor ambiental, como lugar estratégico para conservación de la biodiversidad (Chicaiza, 2012).

## **2.2. Ubicación de puntos de muestreo**

Para el monitoreo del presente estudio se determinaron puntos estratégicos de toma de muestra distribuidos a lo largo de las microcuencas de Aakas y Yunkumas, así como el río Coangos, las cuales sirven de abastecimiento para la comunidad de Maikiuants. En las cuencas antes mencionadas se establecieron tres estaciones de muestreo en cada una. Adicionalmente, se estableció un punto de muestreo en el río Coangos, permitiendo completar el análisis de las condiciones de las fuentes de agua en la zona de monitoreo.

Las muestras recolectadas posteriormente fueron analizadas en laboratorio, donde se realizó la determinación de parámetros fisicoquímicos, la presencia de iones y la detección de metales pesados, con el fin de identificar posibles alteraciones en los cuerpos de agua asociadas a factores antrópicos presentes en las zonas aledañas al área de estudio (Ramsey, 2024).

## **2.3. Métodos de campo**

Para los ríos Aakas y Yunkumas, las campañas de muestreo se desarrollaron en tres jornadas en diferentes periodos, con el fin de obtener datos representativos en distintas condiciones temporales. La primera campaña se realizó el 4 de enero de 2025 en las microcuencas de Aakas y Yunkumas; la segunda, el 7 de marzo de 2026 en el río Coangos; y la tercera, el 21 de marzo de 2026. Debido a dificultades logísticas, para el río Coangos se tomó muestras en una sola campaña de muestreo. Esta distribución

permitió considerar la variabilidad temporal y las condiciones hidrológicas presentes en la zona de estudio.

#### **2.4. Muestreo Macroinvertebrados**

El muestreo de macroinvertebrados se realizó en 7 estaciones, en donde se establecieron 3 puntos de muestreo en la microcuenca Aakas y 4 en Yunkumas, donde mediante el método de pateo, adaptada a la profundidad de los cuerpos de agua, que consistió en remover el lecho del río con los pies, con el fin de desprender los organismos adheridos a rocas, grava, arena y materia orgánica acumulada. En cada estación de muestreo se colectaron tres submuestras en un tramo del río entre 50 a 100 m de longitud; para cada submuestra, se removió el sustrato durante 3 minutos, totalizando 9 minutos de esfuerzo por estación (Barbour, Gerritsen, Snyder, & Stribling, 1999).

El sustrato recolectado con red de mano fue colocado en un recipiente de plástico para proceder a separar de forma manual los organismos vivos con la ayuda de unas pinzas, lo que permitió extraer cuidadosamente los macroinvertebrados del sedimento. Una vez concluida la separación y recolección estos fueron almacenados en frascos con alcohol al 90% garantizando una adecuada preservación para poder realizar la identificación taxonómica en el laboratorio.

#### **2.5. Medición de parámetros FQ in-situ**

Los parámetros físico-químicos medidos en el campo (in situ) fueron oxígeno disuelto ( $O_2$ ), temperatura pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (mg/L). La determinación in situ permitió evitar posibles alteraciones en los resultados debido al transporte de las muestras. Cada uno de estos parámetros proporciona información para identificar la calidad de las fuentes de agua. El oxígeno disuelto indica la capacidad del agua para mantener vida acuática, la temperatura influye en la solubilidad del oxígeno y actividad biológica en el entorno, el pH indica el grado de acidez o alcalinidad del medio, la conductividad permite conocer la presencia de sales disueltas y posibles aportes de origen antropogénico y los sólidos disueltos representan la cantidad de sólidos disueltos en el agua. En conjunto, la determinación de estos aspectos puede dar a conocer la calidad de las fuentes de agua y como las actividades antropogénicas pueden generar alteraciones en los parámetros que afecten a la integridad de los ecosistemas.

## 2.6. Métodos de laboratorio

### 2.6.1. Análisis de iones

Los análisis de iones determinados en laboratorio incluyeron cloruro, nitrito, nitrato, fosfato y sulfato mediante la técnica de cromatografía iónica. Este procedimiento se realizó en el laboratorio de la Universidad del Azuay, siguiendo protocolos técnicos para el análisis de la integridad del agua. La cromatografía iónica es una metodología ampliamente utilizada para la cuantificación de iones en material acuoso por su alta sensibilidad, precisión y capacidad de separación simultánea de múltiples especies iónicas (APHA, 2017). Las muestras fueron con antelación preparadas y filtradas para poder eliminar partículas en suspensión antes de inyectar al equipo, permitiendo obtener concentraciones expresadas en mg/L. Estos análisis permitieron evaluar la composición química de las microcuencas y detectar posibles alteraciones provocadas por actividades antrópicas en el área de estudio.

La Tabla 1 presenta los límites de detección de los iones analizados mediante cromatografía iónica. Estos valores corresponden a la concentración mínima que el método analítico es capaz de detectar en las muestras de agua la presencia de cada ion evaluado de manera confiable.

**Tabla 1.** Límites de detección de los iones analizados

<b>Iones</b>	<b>Límites de detención</b>
Cloruro	1,5729
Nitrito	0,006
Nitrato	0,0079
Fosfato	0,01008
Sulfato	0,009

Fuente: Elaboración propia

### 2.6.2. Análisis de metales pesados

La identificación de metales pesados de las fuentes hídricas se realizó en el laboratorio de la Universidad del Azuay mediante la utilización de espectrofotometría de absorción atómica con técnica de llama (FAAS), cuantificando plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu) y zinc (Zn). Previamente las muestras fueron rotuladas, filtradas y acondicionadas conforme al reglamento establecidos para el análisis de la presencia de metales pesados, procurando una adecuada calibración del equipo y control de posibles interferencias al momento de analizar las muestras.

La espectrofotometría de absorción atómica con llama es una técnica muy utilizada en estudios ambientales para determinar la presencia de metales pesados en matrices acuosas debido a su alta precisión, sensibilidad y confiabilidad analítica, especialmente cuando se aplican procedimientos de preparación y preconcentración adecuados (Ipeaiyeda & Ayoade, 2017). Los resultados obtenidos permitieron evaluar la concentración de estos metales en las microcuencas estudiadas y analizar posibles relaciones con actividades antrópicas realizadas en el área de estudio.

La Tabla 2 presenta los límites de detección de los metales pesados analizados mediante espectrofotometría de absorción atómica. Estos valores corresponden a la concentración mínima que el método analítico puede detectar en las muestras de agua la presencia de plomo, cadmio, cobre y zinc de manera eficiente.

**Tabla 2.** Límites de detección de los metales pesados analizados

<b>Metales pesados</b>	<b>Límites de detención</b>
Plomo	0,0943
Cadmio	0,0389
Cobre	0,0317
Zinc	0,012

Fuente: Elaboración propia

### **2.6.3. Análisis de macroinvertebrados**

Las muestras de macroinvertebrados recolectadas en las siete estaciones de muestreo de las microcuencas estudiadas fueron trasladadas al laboratorio de Limnología de la Universidad del Azuay para su identificación taxonómica. En el laboratorio, las muestras se limpiaron y los organismos fueron separados con la ayuda de una lupa estereoscópica, posteriormente se realizó su conteo e identificación utilizando un estereomicroscopio marca LEICA EZ4 HD. Los especímenes identificados se preservaron en alcohol 70% en frascos etiquetados. La clasificación se realizó hasta el nivel de familia mediante el uso de claves taxonómicas especializadas, empleando las propuestas por Dominguez & Fernandez (2009) y Encalada et al. (2011).

Este procedimiento permitió identificar la composición de las comunidades de macroinvertebrados presentes en cada estación de muestreo, relacionando su presencia con las condiciones de los cuerpos de agua evaluados (Fanny M. Pinzón Candelario et al., 2024) y contribuir a la evaluación del estado ecológico de las microcuencas, considerando su función como bioindicadores de la calidad del agua.

### **2.7. Análisis de Datos**

Los datos obtenidos durante el trabajo de campo y los análisis de laboratorio fueron organizados y sistematizados en bases de datos con el fin de facilitar su procesamiento y análisis. Se evaluaron los valores correspondientes a los parámetros físico-químicos, concentración de iones y presencia de metales pesados registrados en los diferentes puntos de muestreo, permitiendo identificar variaciones entre las microcuencas estudiadas (Valdes-Basto et al., 2011).

Posteriormente, los resultados obtenidos fueron contrastados con valores de referencia establecidos en normativas de calidad de agua y literatura científica especializada, con el fin de determinar posibles indicios de contaminación o alteraciones en los cuerpos de agua evaluados. Este procedimiento permitió interpretar las condiciones ambientales de las microcuencas y relacionar los resultados con factores naturales o antrópicos presentes en el área de estudio (Valdes-Basto et al., 2011).

## **2.8. Estadística descriptiva**

Para el análisis de los datos obtenidos durante las campañas de muestreo y los análisis de laboratorio realizados en las microcuencas estudiadas, se aplicó estadística descriptiva. Se calcularon medidas estadísticas los valores de los parámetros físico-químicos del agua, así como de las concentraciones de iones y metales pesados registradas en los diferentes puntos de muestreo. Estas estadísticas permitieron describir el comportamiento de los datos, identificar variaciones entre estaciones de muestreo y facilitar la interpretación de los resultados obtenidos. Además, los valores calculados fueron comparados con normativas ambientales y estudios previos para evaluar el estado del recurso hídrico en el área de estudio (Samboni Ruiz et al., 2007).

## **2.9. Índices de diversidad e integridad de ecosistema**

Para evaluar la calidad ecológica de los cuerpos de agua se utilizaron diferentes índices biológicos y de hábitat que permiten analizar tanto la estructura de las comunidades acuáticas como las condiciones del entorno fluvial. Estos indicadores son ampliamente empleados en estudios de monitoreo ambiental, ya que integran información biológica que refleja el estado de conservación de los ecosistemas y su respuesta frente a perturbaciones ambientales (Méndez et al., 2021).

Se aplicó el índice AAMBI (Andean–Amazon Biotic Index), el cual utiliza macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua. Este índice asigna valores de tolerancia a distintas familias de macroinvertebrados según su sensibilidad a la contaminación. De esta manera, permite estimar el estado ecológico de ríos y quebradas, considerando que las actividades antropogénicas pueden modificar la composición del ecosistema, empobreciendo su presencia en el entorno, de esta manera su presencia puede estar relacionada con una buena conservación de las fuentes de agua.

La tabla 3 presenta la clasificación de integridad ecológica de los cuerpos de agua en correlación con los valores de índice AAMBI, el cual evalúa la calidad de los cuerpos de agua a partir de la tolerancia de las familias de macroinvertebrados presentes en los puntos de monitoreo. De acuerdo con Encalada et al. (2019), valores que sean superiores a 121 corresponde una calidad excelente, indicando ecosistemas muy pocos alterados y con una alta biodiversidad biológica. Los rangos entre 90 y 120 se clasifican como muy buena, reflejando condiciones indicadas con poca influencia humana. Por otro lado,

valores que se encuentren entre 50 y 89 indican una calidad buena mientras que rangos entre 36 y 49 corresponden a una condición regular. Finalmente, valores que estén por debajo de 35 sugieren una mala calidad, asociada a ecosistemas degradados y con alta contaminación.

**Tabla 3.** Clasificación de la integridad ecológica según el índice AAMBI

<b>AAMBI INTEGRIDAD ECOLÓGICA</b>	
> 121	Excelente
90 -120	Muy buena
50-89	Buena
36-49	Regular
< 35	Mala

Fuente: Adaptado de Encalada et al. (2019)

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS

#### 3.1 Parámetros fisicoquímicos in situ

Los parámetros fisicoquímicos tomados in situ en las diferentes estaciones de muestreo en las microcuencas Aakas y Yunkumas y el río Coangos se presentan en la tabla 4, evidenciando una baja variabilidad entre los puntos de muestreo. El oxígeno disuelto registra valores entre 8,3 y 8,8 mg/L en las estaciones de Aakas y Yunkumas, superando el mínimo de 5 mg/L establecido para la protección de la vida acuática. La temperatura varió entre valores de 20,5 y 21,5 °C y alcanzó 23 °C en la estación de la cuenca del Coangos, sin demostrar alteraciones relevantes según los parámetros establecidos en la normativa vigente (TULSMA Anexo 1, 2015).

El pH presentó valores entre 6,6 y 7,23, manteniendo un rango permitido de 6 a 9. Por su parte, la conductividad eléctrica dio valores entre 31 y 39  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando baja mineralización del agua, mientras que los sólidos disueltos totales varían entre 8 y 20 mg/L, valores por debajo del límite máximo permisible de 500 mg/L. En conjunto, los resultados tomados en las estaciones de las cuencas de monitoreo cumplen con los criterios establecidos en la normativa (TULSMA Anexo 1, 2015), indicando condiciones adecuadas para una buena calidad de agua y el desarrollo de la vida acuática en las fuentes de agua monitoreadas.

**Tabla 4.** Parámetros fisicoquímicos medidos in situ en las estaciones de muestreo de las microcuencas Aakas, Yunkumas y el río Coangos.

Indicador	Aakas 1	Aakas 2	Aakas 3	Yunkumas	Coangos
	21/3/2026	21/3/2026	21/3/2026	22/3/2026	11/4/2026
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,8	8,6	8,8	8,3	8,8
Temperatura (°C)	20,9	20,5	21,5	—	23
pH	6,79	6,9	6,6	6,7	7,23
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	39	31	37	37	36
Sólidos disueltos totales (mg/L)	20	20	19	19	18

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Iones disueltos

Las concentraciones de iones en las estaciones de muestreo de las microcuencas de Aakas, Yunkumas y el río Coangos se presentan en la Tabla 5, tomando en cuenta que se realizaron dos campañas en las estaciones de Aakas y Yunkumas, y una para Coangos. En general, se puede observar variabilidad entre estaciones y las fechas de muestreo. El cloruro presentó valores entre 0,0758 y 3,3731 mg/L, mientras que el nitrato osciló entre 0,1500 y 1,6603 mg/L en las diferentes estaciones de monitoreo. Por su parte, el sulfato presentó concentraciones entre 0,1900 y 2,1750 mg/L. Adicionalmente, no se obtuvieron valores de fluoruro en ninguna de las estaciones, y el fosfato únicamente se logró detectar de forma puntual en una de las estaciones de Yunkumas, con un valor de 0,7095 mg/L. Asimismo, el nitrito solo se detectó en el río Coangos, registrándose una única vez durante el primer muestreo.

Al comparar los resultados obtenidos con los parámetros establecidos en el (*TULSMA Anexo 1*, 2015) se puede evidenciar que las concentraciones de cloruros, nitratos y sulfatos se encuentran por debajo de los límites permisibles establecidos para el desarrollo y protección de la vida acuática. La ausencia de fluoruros y muy baja presencia de fosfatos sugieren una reducida influencia de fuentes de contaminación relacionadas con actividades antrópicas.

**Tabla 5.** Concentración de iones en las estaciones de muestreo de las microcuencas Aakas, Yuncumas y el río Coangos.

<b>RESULTADOS DE IONES DE LOS PUNTOS DE MUESTREO</b>								
<b>ESTACION</b>	<b>REPLICA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cloruro</b>	<b>Nitrito</b>	<b>Nitrato</b>	<b>Fosfato</b>	<b>Sulfato</b>
AE1	Aakas 1	4/1/2025	ppm	1,5729	<LD	0,8784	<LD	1,4829
	Aakas 1.1	4/1/2025	ppm	3,2973	<LD	0,6612	<LD	2,1750
AE2	Aakas 2	4/1/2025	ppm	2,5393	<LD	0,7915	<LD	1,9773
	Aakas 2.1	4/1/2025	ppm	1,7055	<LD	1,0521	<LD	2,0267
AE3	Aakas 3	4/1/2025	ppm	2,4825	<LD	1,3128	<LD	1,8290
	Aakas 3.1	4/1/2025	ppm	1,8192	<LD	0,5308	<LD	0,8403
YE2	Yuncumas E2	4/1/2025	ppm		0,9566	<LD	0,7095	0,7909
	Yuncumas E2.2	4/1/2025	ppm	1,1939	<LD	<LD	<LD	0,9886
YE3	Yuncumas E3	4/1/2025	ppm	0,2464	<LD	0,2268	<LD	0,2966
	Yuncumas E3.1	4/1/2025	ppm	3,3731	<LD	1,6603	<LD	1,3347
YE4	Yuncumas E4	4/1/2025	ppm	0,3601	<LD	0,2268	<LD	0,2472
	Yuncumas E4.1	4/1/2025	ppm	2,6720	<LD	1,4431	<LD	1,7795
<b>ESTACION</b>	<b>REPLICA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cloruro</b>	<b>Nitrito</b>	<b>Nitrato</b>	<b>Fosfato</b>	<b>Sulfato</b>
AE1	Aakas 1	21/3/2026	ppm	1,2700	<LD	0,1600	<LD	0,3800
	Aakas 1.1	21/3/2026	ppm	1,4200	<LD	0,1500	<LD	0,3700
AE2	Aakas 2	21/3/2026	ppm	1,4600	<LD	0,2100	<LD	0,3400
	Aakas 2.1	21/3/2026	ppm	1,5100	<LD	0,2100	<LD	0,3200
AE3	Aakas 3	21/3/2026	ppm	1,7500	<LD	0,1800	<LD	0,3100
	Aakas 3.1	21/3/2026	ppm	3,1700	<LD	0,1900	<LD	0,3400
YE2	Yuncumas E2	21/3/2026	ppm	2,3300	<LD	0,1400	<LD	0,2600
	Yuncumas E2.2	21/3/2026	ppm	2,0400	<LD	0,2300	<LD	0,3400
YE3	Yuncumas E3	21/3/2026	ppm	1,6000	<LD	0,1500	<LD	0,1900
	Yuncumas E3.1	21/3/2026	ppm	2,3100	<LD	0,1600	<LD	0,2400
YE4	Yuncumas E4	21/3/2026	ppm	1,7100	<LD	0,1400	<LD	0,2100
	Yuncumas E4.1	21/3/2026	ppm	1,2000	<LD	0,1400	<LD	0,3500
<b>ESTACION</b>	<b>REPLICA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cloruro</b>	<b>Nitrito</b>	<b>Nitrato</b>	<b>Fosfato</b>	<b>Sulfato</b>
CE1	Coangos E1	7/3/2026	ppm	1,6676	0,6612	<LD	<LD	1,4829
	Coangos E1.1	7/3/2026	ppm	0,0758	0,8349	<LD	<LD	0,7909
CE2	Coangos E2	7/3/2026	ppm	1,6487	0,7046	<LD	<LD	1,7795
	Coangos E2.1	7/3/2026	ppm	2,8804	0,6612	<LD	<LD	1,6312

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Metales pesados

La presencia de metales pesados como plomo, cadmio, cobre y zinc (Tabla 6) en los cuerpos de agua de los ríos Aakas, Yunkumas y Coangos evidenció valores mayormente por debajo de los límites de detección del método analítico empleado. En este sentido, los valores negativos obtenidos corresponden a concentraciones inferiores al límite de detección del método analítico.

El zinc fue el único elemento que presentó concentraciones detectables en las estaciones monitoreadas, registrando valores de 0,0134 mg/L en las microcuencas Aakas y Yunkumas durante la primera campaña de monitoreo, y entre 0,0195 y 0,0257 mg/L en el río Coangos. En cambio, para el plomo, cadmio y cobre no se obtuvieron concentraciones por encima del límite de detección. Al comparar estos resultados con los parámetros establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (*TULSMA Anexo 1*, 2015), se puede observar que las concentraciones registradas se encuentran por debajo de los límites permisibles para la protección de la vida acuática.

**Tabla 6.** Concentración de metales pesados en las estaciones de muestreo de las microcuencas Aakas, Yuncumas y el río Coangos

<b>METALES PESADOS M1</b>						
<b>ESTACION</b>	<b>REPLICA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Plomo</b>	<b>Cadmio</b>	<b>Cobre</b>	<b>Zinc</b>
AE1	Aakas 1	4/1/2025	0,0835	0,0102	-0,0059	-0,0107
	Aakas 1.1	4/1/2025	0,0835	0,0127	-0,0059	-0,0077
AE2	Aakas 2	4/1/2025	0,0835	0,0152	-0,0059	-0,0087
	Aakas 2.1	4/1/2025	0,0653	0,0152	-0,0059	-0,0087
AE3	Aakas 3	4/1/2025	0,0653	0,0177	-0,0059	-0,0067
	Aakas 3.1	4/1/2025	0,0653	0,0152	-0,0059	-0,0067
YE2	Yuncumas E2	4/1/2025	0,0653	0,0152	-0,0039	-0,0067
	Yuncumas E2.2	4/1/2025	0,0653	0,0177	-0,0049	-0,0057
YE3	Yuncumas E3	4/1/2025	0,0472	0,0177	-0,0049	-0,0057
	Yuncumas E3.1	4/1/2025	0,0472	0,0177	-0,0049	-0,0057
YE4	Yuncumas E4	4/1/2025	0,0472	0,0177	-0,0049	-0,0047
	Yuncumas E4.1	4/1/2025	0,0290	0,0177	-0,0049	-0,0057

<b>ESTACION</b>	<b>REPLICA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Plomo</b>	<b>Cadmio</b>	<b>Cobre</b>	<b>Zinc</b>
AE1	Aakas 1	21/3/2026	-1,1615	-0,0047	-0,0110	0,0073
	Aakas 1.1	21/3/2026	-1,1615	-0,0047	-0,0110	0,0012
AE2	Aakas 2	21/3/2026	-1,1615	-0,0047	-0,0049	0,0073
	Aakas 2.1	21/3/2026	-1,1615	-0,0047	-0,0049	0,0073
AE3	Aakas 3	21/3/2026	-1,3430	-0,0047	-0,0049	0,0134
	Aakas 3.1	21/3/2026	-1,3430	-0,0047	-0,0049	0,0073
YE2	Yuncumas E2	21/3/2026	-1,1615	-0,0047	0,0012	0,0073
	Yuncumas E2.2	21/3/2026	-1,1615	-0,0047	0,0012	0,0073
YE3	Yuncumas E3	21/3/2026	-1,1615	-0,0047	0,0012	0,0134
	Yuncumas E3.1	21/3/2026	-1,1615	-0,0047	0,0012	0,0073
YE4	Yuncumas E4	21/3/2026	-1,1615	-0,0047	-0,0049	0,0134
	Yuncumas E4.1	21/3/2026	-1,1615	-0,0047	-0,0049	0,0134

<b>ESTACION</b>	<b>REPLICA</b>	<b>FECHA</b>	<b>Plomo</b>	<b>Cadmio</b>	<b>Cobre</b>	<b>Zinc</b>
CE1	Coangos E1	7/3/2026	-1,1615	-0,0047	-0,0049	0,0195
	Coangos E1.1	7/3/2026	-1,1615	-0,0047	0,0012	0,0195
CE2	Coangos E2	7/3/2026	-1,1615	-0,0047	-0,0049	0,0195
	Coangos E2.1	7/3/2026	-1,1615	-0,0047	-0,0049	0,0257

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Macroinvertebrados acuáticos

Los valores del índice AAMBI obtenidos en las estaciones de monitoreo de las microcuencas Aakas y Yunkumas se presentan en la tabla 7, evidenciando variaciones en la calidad ecológica entre los puntos monitoreados. En la microcuenca de Aakas, los valores varían entre 98 y 121, que corresponden a la categoría de muy buena y excelente. Por su parte, en la microcuenca Yunkumas los valores del índice AAMBI variaron entre 114 y 131 los que les otorga una calificación entre muy buena y excelente condición ecológica.

**Tabla 7.** Valores del índice AAMBI en las estaciones de muestreo de las microcuencas Aakas y Yunkumas

<b>Valores del índice AAMBI en el río Aakas y Yunkumas</b>		
	<b>ESTACION</b>	<b>AAMBI</b>
<b>AAKAS</b>	AE1	121
	AE2	98
	AE3	109
<b>YUNKUMAS</b>	YE1	114
	YE2	131
	YE3	129
	YE4	131

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN

El análisis de los parámetros fisicoquímicos evidencia que los cuerpos de agua monitoreados presentan condiciones normales y favorables para el desarrollo de la vida acuática, caracterizados por una baja variabilidad de los parámetros evaluados y valores que se encuentran dentro de los rangos permisibles establecidos en la normativa ecuatoriana. En particular las concentraciones de oxígeno disuelto superior a 8mg/L indican que existe una adecuada oxigenación en el ecosistema, lo cual coincide con el estudio de Zhong et al. (2021), quienes señalan que valores elevados de oxígeno disuelto en ríos tropicales están asociados a fuentes de agua con baja carga orgánica y buenas condiciones hidrológicas. Asimismo, la baja conductividad y valores bajos de sólidos disueltos totales identificados en este estudio concuerdan con valores reportados en sistemas fluviales con poca o nula intervención humana, donde la limitada mineralización refleja una escasa incidencia de actividades antropogénicas.

En cuanto a la concentración de iones disueltos en las microcuencas de Aakas y Yunkumas y el río Coangos, los valores se mantuvieron por debajo de los límites permisibles en la normativa ambiental, lo que indica una limitada presencia de fuentes contaminantes de origen humano. Estos resultados son similares a los reportados por Valdes-Basto et al. (2011), quienes detectaron mayores concentraciones de nitratos y fosfatos relacionadas con actividades domésticas y agrícolas, evidenciando un mayor margen de intervención humana. En comparación, los valores obtenidos reflejan una buena integridad de los ecosistemas. Asimismo, la baja presencia de nutrientes expresados por Samboni Ruiz et al. (2007), quienes relacionan estos resultados con fuentes de agua con una buena cobertura vegetal y un ecosistema con baja interacción humana, aunque la presencia puntual de fosfatos podría estar relacionados con procesos naturales del entorno como la descomposición de materia orgánica.

La ausencia de concentraciones detectables de metales pesados, plomo, cadmio, cobre, junto a la baja presencia de zinc, indica que las cuencas evaluadas no presentan contaminación significativa por actividades humanas. Este comportamiento es comparable con el estudio realizado por Pérez Díaz et al. (2016), quienes encontraron concentraciones bajas de metales pesados en aguas residuales tratadas. No obstante, dicho

estudio también advierte que, a pesar de las bajas concentraciones encontradas estos elementos pueden acumularse en el suelo cuando existe una larga exposición. En este sentido, aunque los resultados obtenidos en el presente estudio son muy favorables, es importante destacar la necesidad de realizar monitoreos constantes para prevenir procesos de acumulación derivados de las actividades antropogénicas y que conlleven a posibles impactos futuros en los ecosistemas.

Los valores elevados del índice del AAMBI registrados en las microcuencas Aakas y Yunkumas, dan a conocer la presencia de comunidades de macroinvertebrados sensibles a la contaminación, lo que indica ecosistemas con una baja interacción con actividades antropogénicas. Estos resultados obtenidos son consistentes con lo señalado por Encalada et al. (2019), quienes establecen que los valores altos de este índice están relacionados directamente con condiciones estables en los ecosistemas y una buena calidad del agua. La presencia de estos indicadores no solo se encuentra ligado con condiciones ambientales buenas, sino también con hábitats muy bien conservados durante mucho tiempo que están siendo amenazados por las interacciones con el ser humano.

En conjunto, la integración de los resultados en las fuentes de agua monitoreadas en la comunidad de Maikiuants, refleja un ecosistema en un buen estado de conservación, caracterizado por bajas concentraciones de iones y metales pesados, así como altos valores del índice del AAMBI. Esta relación entre indicadores refleja condiciones ambientales favorables en las cuencas hidrográficas, en correspondencia con los criterios establecidos en el TULSMA, donde se establece que cuerpos de agua con baja alteración deben mantener características que favorezcan la conservación de las fuentes de agua. No obstante, es importante considerar que, aunque las condiciones actuales son muy satisfactorias, la posible influencia de actividades humanas en la región hace necesario implementar acciones de monitoreos continuos que nos permita prevenir procesos de degradación y asegurar la conservación de estos ecosistemas a largo plazo.

## REFERENCIAS

- Asner, G. P., Llactayo, W., Tupayachi, R., & Luna, E. R. (2013). Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(46), 18454-18459. <https://doi.org/10.1073/pnas.1318271110>
- Chicaiza, G. (2012). *cordillera del cóndor: frontera límite hacia la gran minería*.
- Encalada, A. C., Guayasamin, J. M., Suárez, E., Mena, C. F., Lessmann, J., Sampedro, C., Martínez, P., Ochoa-Herrera, V., Swing, K., Celinščak, M., Schreckinger, J., Vieira, J., Tapia, A., Serrano, C., Barragán, K., & Andrade, S. (2019). *Herramientas y guía de invertebrados*.
- En el corazón de la Tierra: la resistencia de los Shuar contra una operación minera multimillonaria en la Amazonía ecuatoriana. (2023). [Culturalsurvival.org](https://www.culturalsurvival.org/es/news/en-el-corazon-de-la-tierra-la-resistencia-de-los-shuar-contra-una-operacion-minera). Recuperado el 17 de mayo de 2026, de <https://www.culturalsurvival.org/es/news/en-el-corazon-de-la-tierra-la-resistencia-de-los-shuar-contra-una-operacion-minera>
- Fanny M. Pinzón Candelario, Cindy L. García Pinto, & Jazmin A. Avila Treviño. (2024). Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores en el Río Toribio de Ciénaga. *Citas*.
- Galarza, E., Moulatlet, G. M., Rico, A., Cabrera, M., Pinos-Velez, V., Pérez-González, A., & Capparelli, M. V. (2023). Human health risk assessment of metals and metalloids in mining areas of the Northeast Andean foothills of the Ecuadorian Amazon. *Integrated Environmental Assessment and Management*, *19*(3), 706-716. <https://doi.org/10.1002/ieam.4698>
- Ipeaiyeda, A. R., & Ayoade, A. R. (2017). Flame atomic absorption spectrometric determination of heavy metals in aqueous solution and surface water preceded by co-precipitation procedure with copper(II) 8-hydroxyquinoline. *Applied Water Science*, *7*(8), 4449-4459. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0590-9>
- Jervez, K. A. E., Guerrero, W. O. P., Espinosa, V. X. M., & Cortez, J. L. S. (2022). SITUACIÓN ACTUAL DEL RÍO JUBONES EN EL ECUADOR, UN ANÁLISIS DE LOS METALES TRAZA, CALIDAD Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA. . . ISSN, *4*.
- Méndez, P., Alvarez, B., Jaramillo, N., & Japa, J. (2021). DIVERSIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO YUQUIPA. *Perfiles*, *1*(25), 11-19. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i25.108>

- Mestanza-Ramón, C., Jiménez-Oyola, S., Montoya, A. V. G., Vizúete, D. D. C., D'Orío, G., Cedeño-Laje, J., & Straface, S. (2023). Assessment of Hg pollution in stream waters and human health risk in areas impacted by mining activities in the Ecuadorian Amazon. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(10), 7183-7197. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01597-6>
- Neill, D. A. (2004). *Ecuador y Perú: Actividades y Resultados Científicos del Proyecto, 2004-2007*.
- Pabón Guerrero, S. E., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Pérez Díaz, J. P., Peña Cervantes, E., López Cervantes, R., & Hernández Torres, I. M. (2016). Metales pesados y calidad agronómica del agua residual tratada. *Idesia (Arica)*, 34(1), 19-25. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000100003>
- Ramsey, M. H. (2024). Estimation and usefulness of measurement uncertainty from sampling at different spatial scales: Microns to kilometres. *Environmental Geochemistry and Health*, 46(4), 115. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-01888-6>
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v27n3.14858>
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v27n3.14858>
- TULSMA Anexo 1*. (2015).
- Urgilez, R. (2024). *Seguridad alimentaria: Riesgo asociados Metales Pesados sobre la salud humana*.
- Valdes-Basto, J., Samboni-Ruiz, N. E., & Carvajal-Escobar, Y. (2011). Desarrollo de un indicador de la calidad del agua usando estadística aplicada, caso de estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro. *TecnoLógicas*, (26), 165. <https://doi.org/10.22430/22565337.60>
- Valdes-Basto, J., Samboni-Ruiz, N. E., & Carvajal-Escobar, Y. (2011). Desarrollo de un indicador de la calidad del agua usando estadística aplicada, caso de estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro. *TecnoLógicas*, (26), 165. <https://doi.org/10.22430/22565337.60>

- Vilca-Carhuapoma, E. (2022). Uso de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua en ecosistemas lóticos en el Perú: Una revisión. *South Sustainability*, 3(2), e060. <https://doi.org/10.21142/SS-0302-2022-e060>
- Zhong, M., Liu, S., Li, K., Jiang, H., Jiang, T., & Tang, G. (2021). Modeling Spatial Patterns of Dissolved Oxygen and the Impact Mechanisms in a Cascade River. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 781646. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.781646>

**ANEXO I****Tiempos de retención de los iones analizados**

<b>Iones</b>	<b>Tiempo retención</b>
Fluoruro	2.670 min
Cloruro	3.307min
Nitrito	3.790 min
Nitrato	4.730 min
Fosfato	6.583 min
Sulfato	7.910 min