



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,  
VINCULACIÓN Y POSGRADO**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE:**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL CON MENCIÓN EN  
RECURSOS HÍDRICOS**

**TEMA:**

**“MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES  
DE CALIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA COLUMBE, CANTÓN  
COLTA”**

**AUTOR:**

**Ing. Patricio Santillán Lima**

**TUTORA:**

**Dra. Anita Cecilia Ríos Rivera, PhD.**

**Riobamba – Ecuador**

**2024**

## **Certificación del Tutor**

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: “MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA COLUMBE CANTÓN COLTA”, ha sido elaborado por el Ing. Guido Patricio Santillán Lima, el mismo que ha sido orientado y revisado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutora. Así mismo, refrendo que dicho trabajo de titulación ha sido revisado por la herramienta anti plagio institucional; por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Riobamba, 02 de agosto, de 2024

---

Dra. Anita Cecilia Ríos Rivera, PhD.

**TUTORA**

## **Declaración de Autoría y Cesión de Derechos**

Yo, Guido Patricio Santillán Lima, con número único de identificación 0602780777, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: “MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA COLUMBE CANTÓN COLTA”, previo a la obtención del grado de Magíster en Ingeniería Ambiental con mención en Recursos Hídricos.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j) de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido trabajo de titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, 02 de agosto de 2024

---

**Ing. Guido Patricio Santillán Lima**

N.U.I. 0602780777

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradecer a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para culminar este proyecto. A mi familia razón de ser del esfuerzo y dedicación en esta investigación. Agradecer de manera especial a mi tutora Dra. Anita Ríos, por su invaluable orientación, apoyo durante el proceso de elaboración de esta investigación.

Agradecer a la Universidad Nacional de Chimborazo por brindarme la oportunidad de una educación superior de calidad y de forjarme como profesional.

Por último, no podemos dejar de mencionar a nuestros amigos cercanos que nos brindaron su apoyo incondicional y contribuyeron de diversas formas. Su ánimo, motivación y colaboración fueron pilares fundamentales en este arduo camino. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por ser parte fundamental en la culminación de esta investigación.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de manera muy especial a mi esposa Mayra Torres y mis dos hijos Julián Santillán y Emilia Santillán, por su inquebrantable apoyo, amor incondicional y constante motivación a lo largo de esta travesía académica. Su aliento y sacrificio han sido la fuerza que me impulso a alcanzar este logro. Gracias por ser mi pilar en los momentos difíciles y por celebrar conmigo en los momentos de alegría. A ustedes, les dedico con cariño y agradecimiento este logro.

Guido Patricio Santillán Lima

## Índice General

<b>Certificación del Tutor</b> .....	
<b>Declaración de Autoría y Cesión de Derechos</b> .....	
<b>Agradecimiento</b> .....	
<b>Dedicatoria</b> .....	
<b>Índice General</b> .....	
<b>Índice de Tablas</b> .....	
<b>Índice de Figuras</b> .....	
<b>Resumen</b> .....	
<b>Abstract</b> .....	
<b>Introducción</b> .....	<b>14</b>
<b>Capítulo 1 Generalidades</b> .....	<b>15</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	15
1.2 Justificación de la Investigación .....	15
1.3 Objetivos .....	16
1.3.1 Objetivo General .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>Capítulo 2 Estado del Arte y la Práctica</b> .....	<b>17</b>
2.1 Fundamentación legal .....	17
2.2 Fundamentación Teórica .....	17
2.2.1 Importancia del agua .....	17
2.2.2 Cuenca hidrográfica .....	18
2.2.3 Calidad de agua .....	18
2.2.4 Contaminación .....	18
2.2.5 Contaminación de agua .....	19
2.2.6 Indicadores biológicos .....	19

2.2.7	Macroinvertebrados.....	19
2.2.8	Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party).....	20
2.2.9	Índice ABI (Índice Biológico Andino).....	20
<b>Capítulo 3 Diseño Metodológico.....</b>		<b>21</b>
3.1	Enfoque de la investigación.....	21
3.2	Diseño de la investigación.....	21
3.3	Área de estudio .....	21
3.4	Técnicas e instrumentos de muestreo y recolección de datos .....	22
3.5	Determinación del caudal .....	23
3.6	Identificación en laboratorio.....	24
3.7	Cálculo índice de calidad BMWP .....	25
3.8	Calculo índice ABI.....	26
3.9	Análisis estadístico .....	28
<b>Capítulo 4 Análisis y Discusión de los Resultados.....</b>		<b>29</b>
4.1	Estaciones de muestreo.....	29
4.1.1	Punto de muestreo 1 y 2: Parte baja de la microcuenca Columbe .....	30
4.1.2	Punto 3, 4 y 5: Parte media baja de la microcuenca Columbe .....	31
4.1.3	Punto 6, 7 y 8: Parte media alta de la microcuenca Columbe .....	32
4.1.4	Punto 9 y 10: Parte alta de la microcuenca Columbe.....	32
4.2	Calidad de agua con el uso de índice ABI (Índice Biológico Andino) y el índice biótico BMWP ( <i>Biological Monitoring Worlking Party</i> ) como método de evaluación .....	33
4.2.1	Análisis de macroinvertebrados bentónicos .....	33
4.2.2	Índice Biológico Andino (ABI).....	34
4.2.3	Biological Monitoring Worlking Party (BMWP) .....	40
4.3	Análisis Realizar la evaluación comparativa de los resultados obtenidos a partir del cálculo de los índices biológicos BMWP-ABI.....	46

4.4	Discusión de los Resultados .....	47
	<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>50</b>
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>50</b>
	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>51</b>
	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>52</b>



## Índice de Tablas

Tabla 1. Formulario para campo del registro de datos .....	22
Tabla 2. Determinación del factor de corrección para cálculo de caudales por el método de flotador .....	24
Tabla 3. Registro de datos de macroinvertebrados.....	24
Tabla 4. Familias y sus respectivas puntuaciones .....	25
Tabla 5. Rangos del índice BMWP .....	26
Tabla 6. Puntuación del índice ABI.....	26
Tabla 7. Clasificación de calidad del agua según el índice ABI .....	28
Tabla 8. Estaciones de muestreo.....	29
Tabla 9. Macroinvertebrados bentónicos identificados en la microcuenca del río Columbe en 3 meses de muestreo .....	33
Tabla 10. Resumen de resultados obtenidos del índice ABI .....	40
Tabla 11. Resumen de los resultados obtenidos del índice BMWP .....	45
Tabla 12. Comparación Índice ABI Y BMWP .....	46

## Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la Microcuenca Columbe .....	22
Figura 2. Estaciones de muestreo en la microcuenca Columbe .....	30
Figura 3. Estación de muestreo 1 y 2 .....	30
Figura 4. Estación de muestreo 3, 4 y 5 .....	31
Figura 5. Estación de muestreo 6,7 y 8 .....	32
Figura 6. Estación de muestreo 9 y 10 .....	33
Figura 7. Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 1.....	35
Figura 8. Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 2.....	35
Figura 9. Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 3.....	36
Figura 10. Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 4.....	36
Figura 11. Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 5.....	37
Figura 12. Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 6.....	37
Figura 13. Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 7.....	38
Figura 14. Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 8.....	38
Figura 15. Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 9.....	39
Figura 16. Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 10.....	39
Figura 17. Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 1 .....	40
Figura 18. Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 2 .....	41
Figura 19. Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 3 .....	41

Figura 20. Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 4 .....	42
Figura 21. Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 5 .....	42
Figura 22. Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 6 .....	43
Figura 23. Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 7 .....	43
Figura 24. Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 8 .....	44
Figura 25. Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 9 .....	44
Figura 26. Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 10 .....	45
Figura 27. Comparación Índice ABI y BMWP .....	47

## Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar la calidad de agua mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en la microcuenca del río Columbe, situada en el cantón Colta, provincia de Chimborazo. Para ello, se establecieron 10 estaciones de muestreo estratégicamente distribuidas en función de la cobertura de uso del suelo y la accesibilidad. La recolección de organismos se llevó a cabo entre enero y marzo de 2024 usando una red tipo D-net. El estudio registro un total de 4109 individuos pertenecientes a 29 familias y 14 órdenes. Las familias predominantes fueron Gripopterygidae, Chironomidae, Simuliidae y Baetidae. El índice BMWP reveló que la calidad del agua es crítica en la mayoría de los puntos, excepto en los puntos 9 y 10, que presentan calidad dudosa y aceptable, respectivamente, en un contexto general de aguas contaminadas. Por su parte, el índice ABI mostró una calidad mala, con excepción de los puntos 9 y 10, que mostraron una calidad regular. Estos resultados reflejan un alto grado de contaminación en la microcuenca, atribuida principalmente a actividades humanas como la agricultura, la deforestación y el desarrollo urbano. La presencia de especies indicadoras de baja calidad de agua resalta el impacto negativo de estas prácticas sobre los ecosistemas acuáticos. Esta convergencia de resultados enfatiza la necesidad urgente de implementar medidas de gestión y conservación para mitigar los efectos antropogénicos y proteger la salud de estos ecosistemas acuáticos altoandinos.

**Palabras claves:** ABI, Bioindicadores, BMWP, Macroinvertebrados bentónicos, Microcuenca Columbe.

## Abstract

This research aimed to determine water quality using aquatic macroinvertebrates as bioindicators in the *Columbe* River micro watershed in the Colta Canton of the Chimborazo Province. To this end, ten sampling stations were established and strategically distributed based on land use coverage and accessibility. The organisms were collected between January and March 2024 using a D-net type network. The study recorded 4109 individuals belonging to 29 families and 14 orders. The predominant families were Gripopterygidae, Chironomidae, Simuliidae, and Baetidae. The BMWP index revealed that water quality is critical in most points, except in points 9 and 10, which present doubtful and acceptable quality in the general context of contaminated waters. The ABI index showed poor quality, except for points 9 and 10, which showed average quality. These results reflect a high degree of contamination in the micro watershed, attributed mainly to human activities such as agriculture, deforestation, and urban development. The presence of indicator species of low water quality highlights the negative impact of these practices on aquatic ecosystems. This convergence of results emphasizes the urgent need to implement management and conservation measures to mitigate anthropogenic effects and protect the health of these high Andean aquatic ecosystems.

**Keywords:** ABI, Bioindicators, BMWP, Benthic Macroinvertebrates, *Columbe* Micro watershed.



Reviewed by:

Lic. Jenny Alexandra Freire Rivera

**ENGLISH PROFESSOR**

C.C. 0604235036

## Introducción

La evaluación de la calidad del agua es esencial para la gestión y conservación de los recursos hídricos. Una de las metodologías más utilizadas y eficaces para este propósito es el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Estos organismos, debido a su sensibilidad a los cambios en las condiciones ambientales y a su diversidad, proporcionaron una información valiosa sobre el estado ecológico de los cuerpos de agua. Este estudio se centró en la microcuenca Columbe, ubicada en el cantón Colta, una región que depende en gran medida de sus recursos hídricos tanto para uso doméstico como agrícola (Tello & Sánchez, 2019).

La microcuenca Columbe enfrenta varios desafíos ambientales, entre ellos la contaminación por actividades agrícolas, la deforestación y el crecimiento urbano descontrolado. Estos factores pueden alterar significativamente la calidad del agua, afectando no solo a los ecosistemas acuáticos, sino también a la salud y bienestar de las comunidades locales. En este contexto, los macroinvertebrados acuáticos emergen como una herramienta clave para monitorear y evaluar el impacto de estas actividades sobre la calidad del agua (Escobar et al., 2021).

El presente estudio tiene como objetivo principal analizar la calidad del agua en la microcuenca Columbe mediante el uso de índices biológicos basados en la presencia y abundancia de macroinvertebrados acuáticos. Se utilizaron los índices ABI (*Andean Biotic Index*) y BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) para evaluar el estado ecológico del agua en diferentes puntos de la microcuenca. Estos índices permitieron una clasificación detallada de la calidad del agua, facilitando la identificación de áreas críticas que requieren intervención y conservación (Meneses et al., 2019).

Además, se exploró la distribución espacial de los macroinvertebrados a lo largo de la microcuenca, lo que permitió identificar patrones de variación en la calidad del agua y asociarlos con posibles fuentes de contaminación. Este análisis espacial fue fundamental para desarrollar estrategias de gestión ya que abordan de manera efectiva los problemas ambientales específicos de cada área (Roldán, 2003).

En base a lo anterior el presente estudio busco proporcionar una evaluación integral de la calidad del agua en la microcuenca Columbe mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Los resultados obtenidos son cruciales para anunciar la generación de políticas y acciones de conservación que garanticen la sostenibilidad de los recursos hídricos en la región, promoviendo un equilibrio entre el desarrollo humano y la preservación del medio ambiente.

# Capítulo 1

## Generalidades

### 1.1 Planteamiento del problema

A lo largo de la historia, los seres humanos han utilizado los recursos hídricos para una serie de actividades en su propio beneficio, como el crecimiento urbano, las actividades agrícolas, el desarrollo industrial y más. La calidad del agua es un aspecto crucial para la salud de los ecosistemas acuáticos y el bienestar humano. La microcuenca Columbe, ubicada en el cantón Colta, es una región que enfrenta desafíos significativos en cuanto a la gestión de sus recursos hídricos. La presión antropogénica, como la agricultura, la ganadería y la urbanización, ha impactado la calidad del agua en esta microcuenca, generando preocupaciones sobre la sostenibilidad ambiental y la salud pública (Guadarrama et al., 2016).

La evaluación precisa de la calidad del agua es fundamental para implementar estrategias de conservación y manejo sostenible de los recursos hídricos. Sin embargo, las metodologías convencionales de análisis físico-químico pueden ser limitadas en su capacidad para reflejar las condiciones ecológicas de un cuerpo de agua. En este contexto, los macroinvertebrados acuáticos se presentan como bioindicadores eficaces, ya que su presencia, diversidad y abundancia pueden ofrecer una visión integrada de la calidad del agua y las perturbaciones ambientales.

Por lo anterior planteado el presente estudio conto con información valiosa para la gestión de la calidad del agua en la microcuenca Columbe. Al utilizar macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, se obtuvo una evaluación más holística y ecológicamente relevante de las condiciones del agua. Los resultados obtenidos fueron esenciales para tomar decisiones orientadas al manejo adecuado de los servicios ambientales de la microcuenca y contribuirán al desarrollo de herramientas y estrategias de gestión ambiental que aseguren la sostenibilidad del territorio a largo plazo.

### 1.2 Justificación de la Investigación

El recurso agua, al igual que el suelo, es un elemento de suma importancia dentro de los ecosistemas, debido a que aportan el factor de mayor relevancia en la resolución del tipo, la complejidad y la productividad de los ecosistemas. Sin embargo, son los que más sufren problemas de contaminación (Galindo et al., 2012).

La contaminación de las cuencas hidrográficas conlleva a la pérdida de biodiversidad, lo que determina la disminución de la resiliencia, la simplificación del sistema y la pérdida de la integridad ecológica (Arroyo & Encalada, 2009).

El estudio de los macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca Columbe suministro una comprensión profunda de las dinámicas ecológicas locales y datos valiosos sobre la salud del ecosistema. Identificando y cuantificando diferentes especies, se logró inferir en la calidad del agua y detectar cambios ambientales no evidentes con métodos tradicionales. Este enfoque biológico complementa las metodologías existentes, ofreciendo una visión integral de la calidad del agua.

Además de ser una técnica eficiente y económica, el uso de macroinvertebrados como bioindicadores facilitó la toma de decisiones informadas en la gestión de recursos hídricos. Los resultados del estudio sirvieron como base para desarrollar estrategias de conservación y políticas de manejo ambiental en el cantón. La comunidad local se benefició directamente de una mejor gestión de la calidad del agua, mejorando la salud pública, la agricultura y otros usos del agua.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Estimar la calidad de agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en la microcuenca Columbe, cantón Colta.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la calidad de agua con el uso de índice ABI (Índice Biológico Andino) y el índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party) como método de evaluación.
- Realizar la evaluación comparativa de los resultados obtenidos a partir del cálculo de los índices biológicos ABI-BMWP.



## Capítulo 2

### Estado del Arte y la Práctica

#### 2.1 Fundamentación legal

El derecho ambiental, en el marco de las ciencias jurídicas, es una de las ramas del derecho internacional más dinámicas y en desarrollo. Los convenios internacionales se están convirtiendo en fuentes cada vez más importantes para el derecho ambiental internacional y para el desarrollo de la legislación ambiental nacional. Actualmente, se han adoptado varios convenios internacionales en este campo. El programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha iniciado una nueva etapa en este proceso (ONU, 2014).

En 1987, el Consejo de Gobierno del PNUMA decidió presentar a la Asamblea General el informe denominado “Nuestro futuro común”, conocido como el informe Brundtland, y renovó la Carta Mundial sobre el Derecho a la Diversidad Biológica. Posteriormente, la Cumbre de la Tierra creó diversos instrumentos legales internacionales, como la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que estableció un marco legal y reglas efectivas. La Convención de las Naciones sobre el Cambio Climático, continuó progresando hasta la Cumbre del Clima celebrada en París en 2015.

En Ecuador, la constitución ecuatoriana, garantiza a la población un acceso seguro y constante al agua, así como un entorno sano y ecológicamente equilibrado. El neoconstitucionalismo del país demuestra cómo las demandas ancestrales de los pueblos indígenas fueron incorporadas a las constituciones y se crearon nuevos derechos. La constitución representa un marco favorable en términos de derechos y garantías constitucionales, al definir el recurso agua como un derecho humano fundamental e inalienable. Para asegurar su efectividad, se destaca que el acceso al agua debe involucrar aspectos de calidad y cantidad. Además, el agua es reconocida como patrimonio nacional estratégico de uso público, irrenunciable, inalienable y esencial para la vida, lo que implica que el estado debe tomar el control y decidir sobre el destino de los recursos, considerando las necesidades de las comunidades y las generaciones presentes y futuras, de conformidad con los principios constitucionales de sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia ambiental según la legislación ambiental (Sofía et al., 2020).

#### 2.2 Fundamentación Teórica

##### 2.2.1 *Importancia del agua*

La importancia de las fuentes hídricas radica en que son un servicio indispensable para la vida, influyendo en aspectos culturales, sociales y ambientales. No solamente satisfacen necesidades humanas, sino que también se consideran un desarrollo humano fundamental. Todos los seres vivos requieren agua para prácticamente todas sus actividades, por lo que el

cuidado de este recurso es crucial. Esta necesidad ha generado una problemática global, debido a factores como la disponibilidad y calidad de agua. Aunque el 70% del planeta este cubierto de agua, solo el 1% de esta es apta para el consumo humano (Guadarrama et al., 2016).

Aunque en la actualidad es una problemática significativa, es difícil encontrar las medidas adecuadas para manejarla de manera consciente y responsable. Sin embargo, es necesario hacerlo, ya que, aunque hoy es un desafío complicado, mañana será un beneficio que agradeceremos.

### **2.2.2 Cuenca hidrográfica**

Según Terán (2018), una cuenca hidrográfica es una zona de la superficie terrestre en la que el agua de precipitaciones o deshielo se filtra y fluye a través de una red de corrientes hasta converger en una corriente principal, desembocando generalmente en un río, océano u otro cuerpo de agua.

Como resultado de las acciones humanas, una cuenca hidrográfica deja de ser simplemente un espacio donde fluye agua. Se transforma en un entorno de interrelaciones complejas entre lo físico, lo biológico y lo social, convirtiéndose en un espacio geográfico en el que coexisten comunidades humanas y naturales, definidas por ciclos y flujos de energía, materia y organismos (Terán, 2018).

### **2.2.3 Calidad de agua**

La calidad del agua se refiere a las condiciones físicas, químicas y microbiológicas óptimas que debe tener el recurso para sus diversos usos. Especialmente en el caso del agua destinada al consumo humano, esta debe ser de buena calidad para no causar ningún tipo de daño a la salud (Rodríguez, 2023).

Los análisis de calidad del agua son herramientas especializadas que requieren conocimientos en parámetros físicos y químicos, así como en la interrelación con las comunidades de organismos que habitan en los ecosistemas acuáticos (Liñero et al., 2015).

### **2.2.4 Contaminación**

La contaminación se refiere a la presencia o introducción de compuestos o elementos tóxicos en el ambiente, lo cual representa una amenaza tanto para los seres humanos como para los ecosistemas naturales. En la actualidad, la contaminación es un problema de suma importancia debido a sus graves consecuencias, como el aumento de enfermedades causadas por el agua que bebemos y el aire contaminado. La contaminación ambiental se define como las alteraciones que se realizan en el entorno, donde los daños pueden variar de leves a graves y pueden ser temporales o continuos. A largo plazo, estos daños destruyen los ecosistemas. (Guadarrama et al., 2016).

### **2.2.5 Contaminación de agua**

Las fuentes de agua se encuentran afectadas por alteraciones antrópicas que transforman la calidad de sus aguas, provocando altos niveles de contaminación. Por tanto, se entiende que la contaminación del agua se produce cuando se depositan materiales en las fuentes hídricas, alterando su calidad y composición físico-química y biológica, de manera que no cumple con las condiciones adecuadas para el uso deseado (Guadarrama et al., 2016).

Los principales contaminantes del agua suelen ser:

1. Agentes patógenos: virus, bacterios y parásitos.
2. Desechos que requieren altas cantidades de oxígeno.
3. Sustancias químicas inorgánicas (ácidos y metales tóxicos).
4. Sustancias químicas orgánicas (petróleo, plástico, fertilizantes, detergentes y plaguicidas).
5. El exceso de nutrientes vegetales en el recurso agua.

La contaminación de agua no solo es un problema ambiental, sino que también constituye un asunto de gran relevancia social. A pesar de que los seres humanos son los principales responsables directa o indirecta, de la contaminación que afecta este recurso, también tienen la responsabilidad de desarrollar estrategias para su cuidado, manejo y conservación (Tello & Sánchez, 2019).

### **2.2.6 Indicadores biológicos**

Los indicadores biológicos, también conocidos como bioindicadores, son herramientas utilizadas para medir y proporcionar información sobre la calidad ambiental, especialmente de las condiciones actuales de un ecosistema. Estos indicadores pueden ser organismos o comunidades de organismo que responden a alteraciones en su entorno mediante cambios en sus funciones vitales o acumulación de toxinas. Las reacciones de estos organismos permiten identificar la presencia de contaminantes en el ambiente. La elección del bioindicador se basa en el tipo de monitoreo y el ecosistema en cuestión. Por lo general, para evaluar cuerpos de agua se utilizan macroinvertebrados bentónicos, algas, penfiton y peces (García et al., 2017).

### **2.2.7 Macroinvertebrados**

Los macroinvertebrados son considerados uno de los mejores indicadores de calidad de agua por presentar diferentes características, tales como: abundancia, distribución extensa y sencilla recolección. Son principalmente sedentarios, por lo que reflejan las condiciones de su entorno; son de simple identificación, reflejan los efectos de factores ambientales de corto tiempo, y entregan información sobre efectos acumulativos. El ciclo de vida de este organismo es prolongado (semanas o meses), son de pronta respuesta a cambios ambientales

y presentan una modificación genética mínima (Roldán, 2016). Los enfoques utilizan para el análisis de macroinvertebrados son:

- Saprobio: Capacidad de algunos organismos para vivir en específicos niveles de contaminación.
- La diversidad: Contiene tres elementos esenciales de las comunidades naturales de organismos; la riqueza, uniformidad y la abundancia, para explicar la respuesta de los organismos a la calidad del ambiente.
- El biótico: Incorpora los principios de la saprobiedad, acoplado una medida cuantitativa de diversidad de especies con la información cualitativa de la sensibilidad ecológica.

### **2.2.8 Índice BMWP (*Biological Monitoring Working Party*)**

Es considerado un índice biótico cualitativo muy sencillo de manejar. Este índice requiere llegar hasta el nivel de familia, ya que se basa en la evaluación de la presencia o ausencia de diversas familias de macroinvertebrados acuáticos, a las que se les asigna una puntuación en función de su tolerancia a la contaminación orgánica. El rango de puntuación va de 1 a 10, siendo 10 la puntuación asignada a los grupos más intolerantes y 1 la puntuación para los grupos más tolerantes (Giacomett & Bersosa, 2006).

### **2.2.9 Índice ABI (*Índice Biológico Andino*)**

Este índice se basa en el principio del índice BMWP y se utiliza para clasificar la calidad ecológica de un sistema. Está diseñado específicamente para ecosistemas altoandinos, con altitudes que van desde los 2000 hasta los 4000 m.s.n.m. Se consideran un número limitado de familias, debido a que la altitud reduce tanto la distribución como el grado de sensibilidad a la alteración ambiental. Un valor de 1 indica una mayor tolerancia a la contaminación, mientras que un valor de 10 señala una menor tolerancia a la contaminación (Meneses et al., 2019).

## **Capítulo 3**

### **Diseño Metodológico**

#### **3.1 Enfoque de la investigación**

La investigación combina un enfoque cualitativo y cuantitativo. En el enfoque cualitativo, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre los métodos de identificación de macroinvertebrado y se recopiló información sobre las características de la microcuenca Columbe. En el enfoque cuantitativo, se realizó la recolección, el análisis y la interpretación de resultados obtenidos.

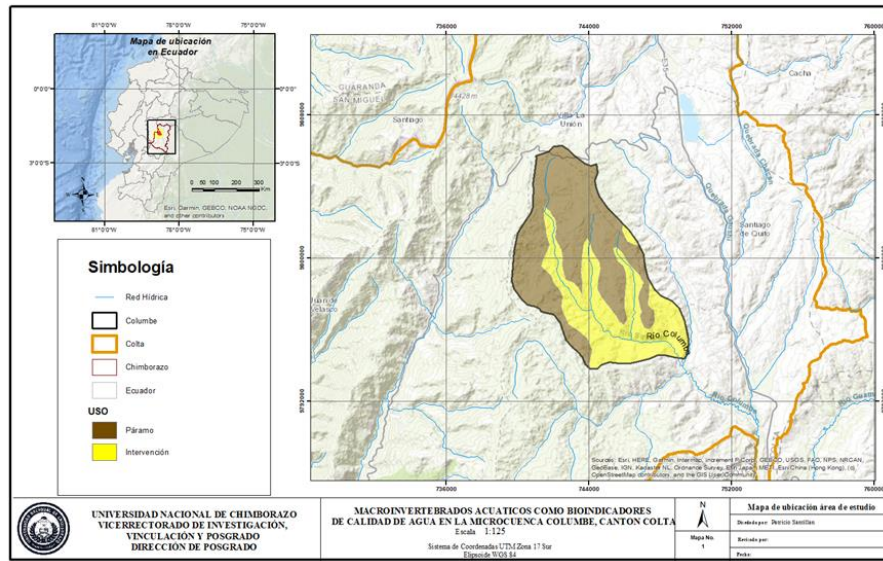
#### **3.2 Diseño de la investigación**

La investigación adoptó un diseño experimental, profundizando en los métodos que utilizan macroinvertebrados, para determinar el impacto de la existencia y comportamiento de estos organismos dentro de los ecosistemas acuáticos. Adicionalmente, se empleó un diseño correlacional para comparar los resultados obtenidos de los índices BMWP y ABI, proporcionando posibles relaciones entre los datos de ambos índices. Este enfoque permitió obtener una variable que determinó la calidad de agua dentro de la microcuenca del río Columbe.

#### **3.3 Área de estudio**

El área de estudio corresponde a la microcuenca Columbe, ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Colta, parroquia Columbe (Figura 1). Esta microcuenca posee una extensión de 6957.20 ha y presenta una temperatura que oscila entre los 8 y 12°C. La cobertura de uso de suelo incluye páramo, pasto y cultivos de ciclo corto. El cauce principal tiene una longitud de 13.85 km.

**Figura 1.** Mapa de ubicación de la Microcuenca Columbe



Fuente: Autor.

### 3.4 Técnicas e instrumentos de muestreo y recolección de datos

Para seleccionar los puntos de muestreo, se utilizó los Sistemas de Información Geográfica, junto con visitas de reconocimiento en la zona de estudio. Se establecieron 10 puntos de muestreo, considerando el uso de suelo y la accesibilidad del área. Para el muestreo, se utilizó una red "D-net" con la cual se capturaron los macroinvertebrados en sentido contrario al flujo del agua. Una vez recolectadas las especies, se colocaron en recipientes plásticos previamente etiquetados, a los cuales se les añadió una solución de alcohol para fijar y conservar la muestra. Posteriormente, las muestras fueron transportadas en un cooler, hasta el laboratorio de servicios ambientales de la Unach, para su procesamiento e identificación (Sánchez & Guangasig, 2023). Además, se llenó un formulario para registrar las características de los puntos de muestreo (Tabla 1), lo cual permitió identificar y organizar en detalle datos importantes. La información recolectada en el formulario fue esencial para el análisis y estudio de las muestras.

**Tabla 1.** Formulario para campo del registro de datos

<b>FORMULARIO DE CAMPO PARA EL REGISTRO MUESTRAS</b>	
Nombre del río, riachuelo, laguna, etc.:	_____
Recolección de la muestra en:	poza, rápido o remanso
Ciudad:	_____ Coordenada Este:
_____	_____
Hora:	_____ Coordenada Norte:
_____	_____
Dirección del viento:	N-NE-E-SE-S-SO-O-NO Altitud:
_____	_____
Tiempo actual:	claro – parcialmente nublado – neblina – nublado – lluvioso

---

Condiciones climáticas recientes:

---

Condiciones de la superficie: calma - poca agitación – mucha agitación – oleadas  
Condición del río, riachuelo, laguna:

---

Color olor del Agua:

---

Claridad o cantidad de material suspendido en el agua:

---

Observaciones sobre la vida silvestre:

---

Otras observaciones que considere interesantes o importantes:

---

*Nota:* Información del cuerpo de agua, al momento del muestreo.

Fuente: Déley & Santillán, (2017)

### 3.5 Determinación del caudal

Se determinó a través del método de flotador el cual es el más sencillo, pero solo nos proporciona una estimación aproximada. En este método es importante considerar la velocidad del agua y el área del río (Mosquera & Peña, 2021).

Para llevar a cabo este proceso, primero se seleccionó un tramo de 10 metros del río, considerando su homogeneidad. A continuación, se utilizó la ecuación 1 para calcular la velocidad en dicho tramo. Luego, se dividió el tramo en secciones más pequeñas, midiendo los espacios y la profundidad de cada una. Con estos datos, se aplicó la ecuación 2 para calcular el área de cada sección. Posteriormente, se sumaron todas las áreas obtenidas para determinar el área total (ecuación 3). Finalmente, se empleó la ecuación 4 para calcular el caudal total.

$$V = \frac{L}{T} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$A_1 = \frac{(h_0 + h_1)}{2} * e \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$A_T = A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$Q = A * V * Fc \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

**V:** velocidad

**A<sub>T</sub>:** área

**L:** Longitud

**h:** altura

**T:** Tiempo

**E:** espacios

**A<sub>1</sub>:** área de cada tramo

**Fc:** factor de corrección de acuerdo al tipo de río (Tabla 2)

**Tabla 2.** Determinación del factor de corrección para cálculo de caudales por el método de flotador

Tipo de cauce	Factor de corrección (Fc)
Ríos de base rocosa	0.8
Ríos sedimentados o lisos	0.9

*Nota:* Esta tabla muestra los factores de corrección aplicables para el cálculo de caudal mediante el método de flotador, dependiendo del tipo de cauce del río. Tomado de MINAGRI, (2015).

### 3.6 Identificación en laboratorio

Una vez que la muestra de macroinvertebrados llegó al laboratorio, se colocó en bandejas de fondo blanco. Esto facilitó la separación de cada uno de los individuos, que luego fueron transferidos a cajas Petri con alcohol. Tras la separación, los macroinvertebrados fueron contabilizados y observados bajo un estereomicroscopio. Las especies recolectadas se agruparon según los morfotipos identificados (Yepez et al., 2017). Cada espécimen fue clasificado hasta el nivel de Orden y Familia utilizando una clave taxonómica, y se registró el número de individuos por familia (Tabla 3).

**Tabla 3.** Registro de datos de macroinvertebrados.

FORMULARIO DE LABORATORIO PARA EL REGISTRO DE DATOS DE MACROINVERTEBRADOS					
Microcuencia: .....					Río:
.....					
Fecha	(muestra):	.....			Fecha
(identificación).....					
Código del sitio: .....					
Nombre del colector: .....					
Nombre del identificador: .....					
N°	Orden	Familia	Género	# individuos	Hábitat

**Fuente:** Déley & Santilláni, (2017)



### 3.7 Cálculo índice de calidad BMWP

El índice se basa en la presencia o ausencia de familias y en los valores de sensibilidad a la contaminación asociada a estas. Según Quiroz et al. (2017), para calcular este índice, se evaluó la presencia de las familias de acuerdo con los criterios detallados en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Familias y sus respectivas puntuaciones

Familia	Puntaje
<i>Anamalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Ghomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymessiidae, Odontoceridae, Oliigoneuridae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyridae, Hydraenidae, Hydroboscidae, Leptophlebiidae, Phylopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simulidae, Veliidae</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossomatidae, Hyaellidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae</i>	6
<i>Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae</i>	5
<i>Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Notoceridae</i>	4
<i>Ceratopogonidae, Glossiphonidae, Cyclobdellidae, Hydrophylidae, Physidae, Tipulidae</i>	3
<i>Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

**Fuente:** Roldán, (2003).

Una vez realizada la evaluación, se suman los valores de sensibilidad de las familias presentes en los puntos de estudio y posteriormente se clasificaron de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 5 (Roldán, 2016).

**Tabla 5.** Rangos del índice BMWP

Clase	Rango	Calidad	Características	Color
I	≥121	Muy buena	Aguas muy limpias	Celeste
II	101-120	Buena	Aguas limpias	Azul
III	61-100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36-60	Dudosa	Aguas contaminadas	Amarillo
V	16-35	Crítica	Aguas muy contaminadas	Mostaza
VI	≤15	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Roldán, (2003).

### 3.8 Cálculo índice ABI

Según Endara (2012), el índice ABI permite clasificar a las familias de los órdenes de macroinvertebrados en 10 niveles, asignándoles puntuaciones del 1 al 10. Un valor de 1 indica una mayor tolerancia, mientras que un valor de 10 indica una menor tolerancia ante la contaminación. Estos niveles y puntuaciones se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6.** Puntuación del índice ABI

Orden	Familia	Puntuación
<i>Turbellaria</i>	<i>Planariidae</i>	5
<i>Hirudinea</i>		3
<i>Oligochaeta</i>		1
<i>Gasteropoda</i>	<i>Ancylidae</i>	6
	<i>Physidae</i>	3
	<i>Hydrobiidae</i>	3
	<i>Limnaeidae</i>	3
	<i>Planorbidae</i>	3
<i>Bivalvia</i>	<i>Sphaeriidae</i>	3
<i>Amphipoda</i>	<i>Hyalellidae</i>	6
<i>Ostracoda</i>		3
<i>Hydracarina</i>		4
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	4
	<i>Leptophlebiidae</i>	10
	<i>Leptohyphidae</i>	7
	<i>Oligoneuriidae</i>	10
<i>Odonata</i>	<i>Aeshnidae</i>	6

---

	<i>Gomphidae</i>	8
	<i>Libellulidae</i>	6
	<i>Coenagrionidae</i>	6
	<i>Calopterygidae</i>	8
	<i>Polythoridae</i>	10
<i>Plecoptera</i>	<i>Perlidae</i>	10
	<i>Gripopterygidae</i>	10
<i>Heteroptera</i>	<i>Veliidae</i>	5
	<i>Gerridae</i>	5
	<i>Corixidae</i>	5
	<i>Notonectidae</i>	5
	<i>Belostomatidae</i>	4
	<i>Naucoridae</i>	5
<i>Trichoptera</i>	<i>Helicopsychidae</i>	10
	<i>Calamoceratidae</i>	10
	<i>Odontoceridae</i>	10
	<i>Leptoceridae</i>	8
	<i>Polycentropidae</i>	8
	<i>Hydroptilidae</i>	6
	<i>Xiphocentronidae</i>	8
	<i>Hydrobiosidae</i>	8
	<i>Glossosomatidae</i>	7
	<i>hydropsychidae</i>	5
	<i>Anamalopsychidae</i>	10
	<i>Philopotamidae</i>	8
	<i>Limnephilidae</i>	7
<i>Lepidóptera</i>	<i>Pyralidae</i>	4
<i>Coleoptera</i>	<i>Ptilodactylidae</i>	5
	<i>Lampyridae</i>	5
	<i>Psephenidae</i>	5
	<i>Scirtidae</i>	5
	<i>Staphylinidae</i>	3
	<i>Elmidae</i>	5
	<i>Dryóidae</i>	5
	<i>Gyrinidae</i>	3
	<i>Dytiscidae</i>	3
	<i>Hydrophilidae</i>	3
	<i>Hydraenidae</i>	5
<i>Díptera</i>	<i>Blepharoceridae</i>	10
	<i>Simuliidae</i>	5
	<i>Tabanidae</i>	4
	<i>Tipulidae</i>	5
	<i>Limoniidae</i>	4
	<i>Ceratopogonidae</i>	4
	<i>Dixidae</i>	4
	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Dolichopodidae</i>	4
	<i>stratiomyidae</i>	4
	<i>Empididae</i>	4

---

<i>Chironimidae</i>	2
<i>Culicidae</i>	2
<i>Muscidae</i>	2
<i>Ephydriidae</i>	2
<i>Athericidae</i>	10
<i>Syrphidae</i>	1

**Fuente:** Encalada et al., (2004).

Una vez identificado el orden, la familia y la valoración, se procedió a sumar los puntajes correspondientes para obtener el ABI total, el cual sirve como indicador de la calidad del agua (Tabla 7).

**Tabla 7.** Clasificación de calidad del agua según el índice ABI

Rango	Calidad
> 96	Muy buena
59 – 96	Buena
36 – 58	Regular
< 35	Malo

**Fuente:** Encalada et al., (2004).

### 3.9 Análisis estadístico

Para comparar los resultados de los índices de calidad, se empleó un diseño de bloque simple que identifica las fuentes de variabilidad, como el factor de tratamientos y el factor de bloque. En este diseño, se asignaron los índices BMWP y ABI como tratamientos y los puntos de muestreo como bloques, lo que permitió evaluar su influencia. Tras la recopilación de los datos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas entre los índices (Escobar & Montoya, 2019).

Para llevar a cabo el análisis estadístico, se utilizó el software Minitab, que proporciona las herramientas necesarias para realizar el ANOVA.

## Capítulo 4

### Análisis y Discusión de los Resultados

#### 4.1 Estaciones de muestreo

Para seleccionar los puntos de muestreo en la zona de estudio, se consideraron diferentes factores como la accesibilidad, altitud y actividades antrópicas. La identificación de estos puntos, se realizó mediante salidas de localización y reconocimiento, que permitieron determinar un total de 10 puntos de muestro (Tabla 8).

**Tabla 8.** Estaciones de muestreo

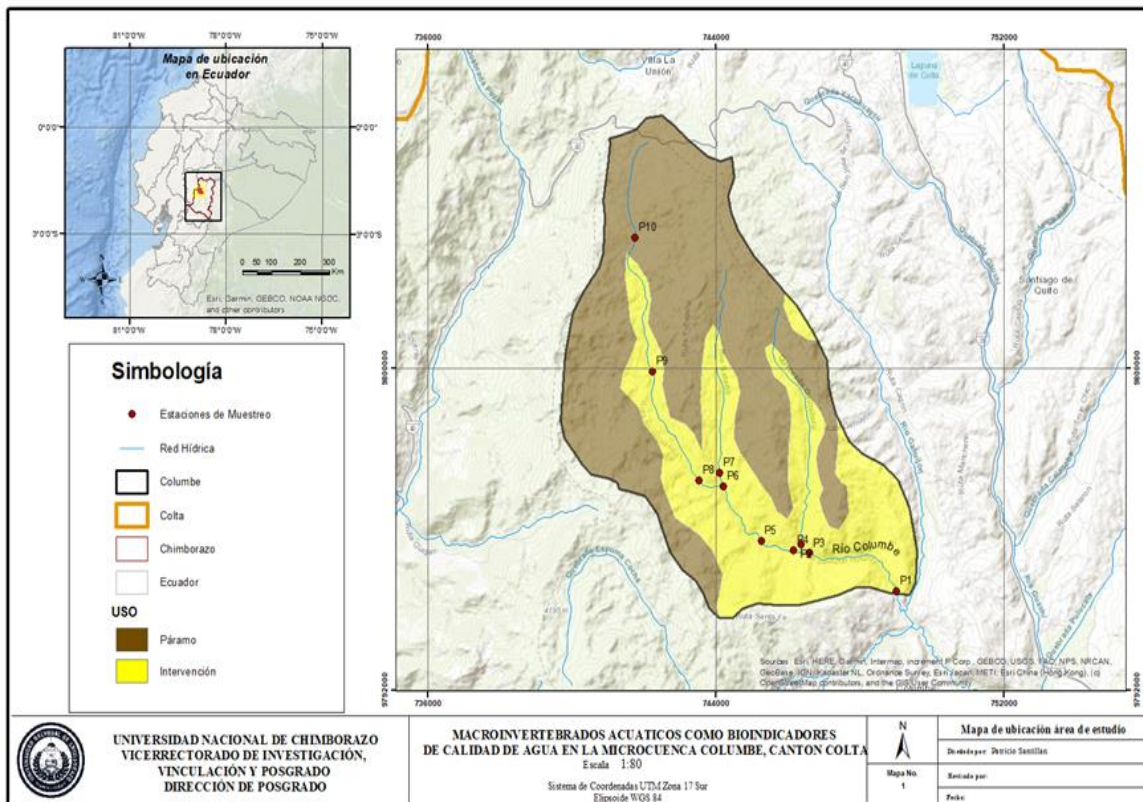
<b>Muestra</b>	<b>Zona de la microcuena</b>	<b>UTM_X</b>	<b>UTM_Y</b>	<b>UTM_Z</b>
P1	Parte Baja	749010	9794464	3210
P2	Parte Baja	746368	9795631	3248
P3	Parte Baja	746591	9795408	3378
P4	Parte Baja	746145	9795476	3381
P5	Parte Media	745253	9795711	3438
P6	Parte Media	744207	9797072	3504
P7	Parte Media	744104	9797398	3518
P8	Parte Media	743538	9797209	3542
P9	Parte Alta	742234	9799919	3670
P10	Parte Alta	741754	9803247	3736

**Fuente:** Autor.

En la microcuena Columbe se identificaron tres usos de suelo: páramo, pasto y cultivo. Además, se observó la presencia de viviendas a lo largo de la microcuena, lo cual podría influir en la existencia o ausencia de macroinvertebrados, considerando el grado de sensibilidad de estos organismos.

En la Figura 2 se observa los puntos de muestreo seleccionados dentro de la microcuena Columbe. Esta información se obtuvo mediante el uso de la herramienta GPS test, que proporciona las coordenadas X e Y en el sistema WGS UTM 84.

**Figura 2.** Estaciones de muestreo en la microcuenca Columbe



Fuente: Autor.

#### 4.1.1 Punto de muestreo 1 y 2: Parte baja de la microcuenca Columbe

Los puntos de muestreo 1 y 2 se localizan en la parte baja de la microcuenca Columbe, a una altitud de 3200 m.s.n.m. En esta área, la cobertura del suelo está constituida principalmente por pasto, lo que permite el desarrollo de actividades ganaderas, las cuales generan un impacto significativo a la calidad del agua. Además, en el sector también existe vías e infraestructura cercana al río (Figura 3).

**Figura 3.** Estación de muestreo 1 y 2



#### **4.1.2 Punto 3, 4 y 5: Parte media baja de la microcuenca Columbe**

Los puntos de muestreo 3, 4 y 5 se encuentran en la zona media de la microcuenca Columbe, a una altitud de 3300 m.s.n.m. En esta área, el uso del suelo está cubierto por pasto, producto de las diversas actividades antrópicas, como la ganadería y la agricultura. También se pudo observar la presencia de numerosas casas y un centro educativo. En el sector las viviendas realizan la descarga de efluentes de aguas residuales hacia el cause principal (Figura 4).

**Figura 4.** Estación de muestreo 3, 4 y 5



#### **4.1.3 Punto 6, 7 y 8: Parte media alta de la microcuenca Columbe**

Los puntos de muestreo 6, 7 y 8 se localizan en la parte media alta de la microcuenca Columbe, a una altitud de 3500 m.s.n.m. En el sector se encuentra pasto como cobertura de uso de suelo y el desarrollo de actividades antrópicas como: ganadería y la cría de porcinos en pequeños corrales que generalmente se ubican cerca del río. También se observó una cantidad importante de viviendas, un centro de reuniones comunitarias y un establecimiento de salud (Figura 5).

**Figura 5.** Estación de muestreo 6,7 y 8



#### **4.1.4 Punto 9 y 10: Parte alta de la microcuenca Columbe**

Los puntos de muestreo 9 y 10 se localizan en la parte alta de la microcuenca Columbe, a una altitud de 3700 m.s.n.m. (Figura 6). En esta altitud, el uso de suelo predominante es el páramo, un ecosistema caracterizado por su vegetación de alta montaña. El páramo es un ecosistema crucial para la regulación del ciclo del agua, ya que actúa como un reservorio natural que retiene y libera agua de manera gradual, contribuyendo a la estabilidad del caudal de los ríos y arroyos. Por otro lado, también se observó la presencia mínima de actividades ganaderas, lo cual sugiere un menor impacto antropogénico al ecosistema. A diferencia de la zona baja, en la que las actividades ganaderas son más intensivas y el impacto es mucho mayor.

Es importante destacar que la gestión y preservación de estas áreas de páramo son cruciales para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que proporcionan, como la regulación del agua, la biodiversidad y la captura de carbono. La baja actividad ganadera en estos puntos de muestreo es un indicador positivo de la efectividad de las estrategias de conservación y el manejo sostenible del territorio en esta microcuenca.



**Figura 6.** Estación de muestreo 9 y 10



#### 4.2 Calidad de agua con el uso de índice ABI (Índice Biológico Andino) y el índice biótico BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) como método de evaluación

##### 4.2.1 Análisis de macroinvertebrados bentónicos

En la microcuenca del río Columbe se identificaron 4109 individuos de macroinvertebrados bentónicos, distribuidos en 29 familias y 14 ordenes (Tabla 9). La estación de muestre E1 fue la que obtuvo mayor número de individuos (1238) pertenecientes a 7 familias, mientras que la estación E8 presentó la menor cantidad de individuos (143) pertenecientes a 7 familias. Entre las familias más representativas a lo largo de la microcuenca se encuentran *Chironomidae* y *Simulidae*, ambas del orden *Díptera*. Además, se identificó la presencia de la familia *Gripopterygidae*, del orden *Plecoptera* en las 10 Estaciones de muestreo. Sin embargo, esta familia resulto ser la más representativa en las estaciones de muestreo 9 y 10, ubicadas en la parte alta de la microcuenca.

**Tabla 9.** Macroinvertebrados bentónicos identificados en la microcuenca del río Columbe en 3 meses de muestreo

Orden	Familia	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
Díptera	Simulidae	13	1	1		18	8	46	30	124	288
	Ceratopogonidae	46	37	63	32	46	7	13	7	50	33
	Tipulidae	2						1			1
	Chironomidae	91	111	26	27	23	33	118	21	148	185

	Blepharoceridar						1	1	6	53
	Empididae	1							14	1
	Stratiomyidae									7
	Limoniidae					2				
	Muscidae		7	4	1	1				
	Tabanidae	5	2			5		2		1
Trichoptera	Hydropsychidae	2	1		1	1	4	1	6	2
	Leptoceridae	1							11	2
	Hydrobiosidae	7								1
	Hydroptilidae		1				2			2
	Xiphocentronidae									1
	Limnephilidae	19	29	5	30	24	21			1
Coleoptera	Scirtidae				5				3	1
	Elmidae ad.	4	30	10	2	3	1	5	136	5
Ephemeroptera	Baetidae		7	12	21	2	60	39	25	162
	Leptophlebiidae		1							2
	Leptohyphidae		4	1			6	2		35
Haplotaxida		24	113	5	2		5	4	14	4
Tricladida	Planariidae	6	5							1
Amphipoda	Hyalellidae	4	21							
Odonata	Aeshnidae		1				4			
Plecoptera	Perlidae		1		33	1	9	5		43
	Gripopterygidae	3	1	11	56	26	85	84	54	355
Trombidiforme	Hydracarina		3	2	1	5				3
Veneroida	Sphaeriidae								1	
Arhynchobdellida			1							
Rhynchobdellida							1			
Collembola	Collembola		8							
	Individuos	235	371	143	214	157	247	321	309	955
	Familias	8	11	7	7	7	8	6	7	7
	Total, Individuos	4190								
	Total, Familias	29								

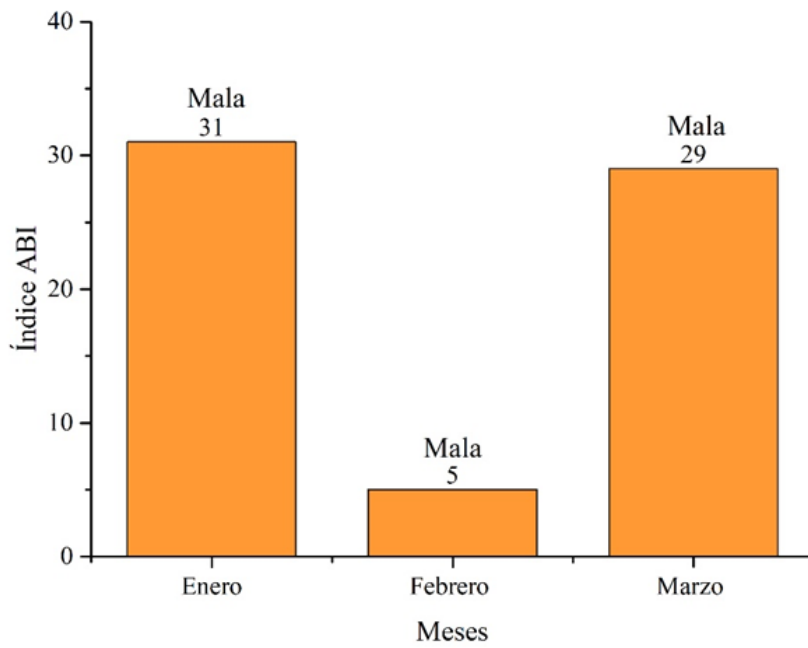
Fuente: Autor

## 4.2.2 Índice Biológico Andino (ABI)

### 4.2.2.1 Estación de muestreo 1

La figura 7 presenta los resultados de la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice ABI. Para la estación de muestreo 1, se obtuvo una puntuación que varía entre 5 a 31, el cual se ubica en un rango  $< 35$ , indicando un agua de “mala” calidad.

**Figura 7.** Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 1

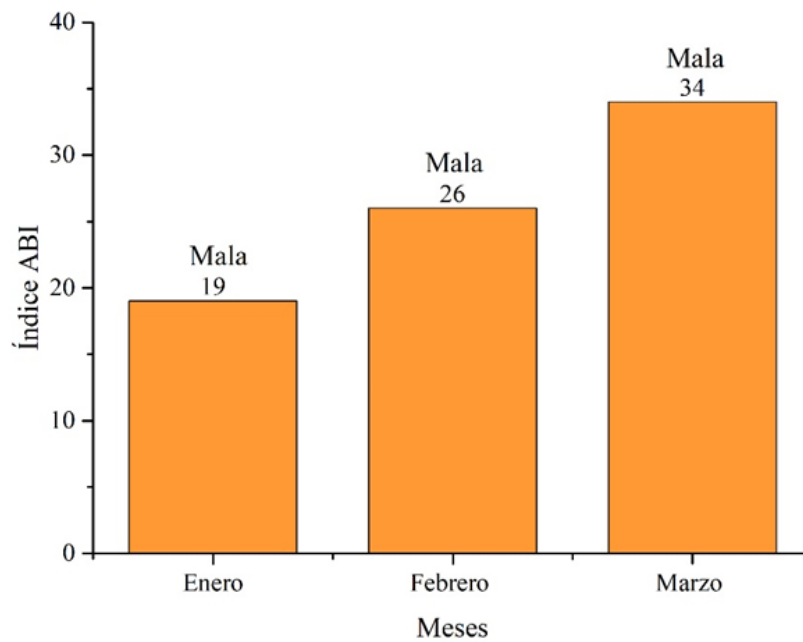


Fuente: Autor

#### 4.2.2.2 Estación de muestreo 2

La figura 8 muestra los resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el índice ABI. Para la estación de muestreo 2, se obtuvo una puntuación que esta entre 19 a 34 el cual se ubica en un rango  $< 35$  lo que indica un agua de “mala” calidad.

**Figura 8.** Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 2

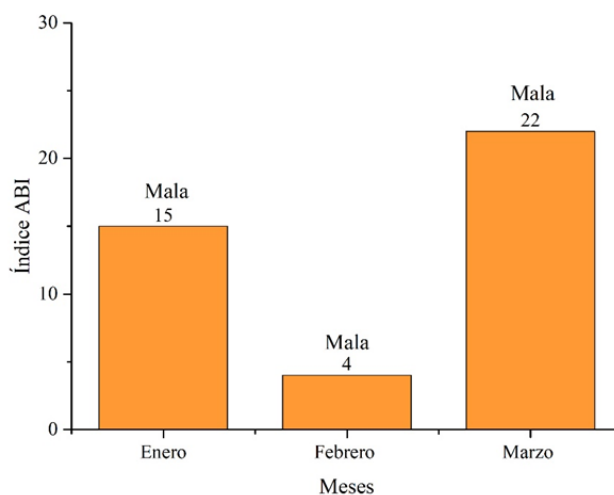


Fuente: Autor

#### 4.2.2.3 Estación de muestreo 3

La figura 9 presenta los resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el índice ABI. Para la estación de muestreo 3, se obtuvo una puntuación que esta entre 4 a 22 el cual se ubica en un rango  $< 35$  lo que indica un agua de “mala” calidad.

**Figura 9.** Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 3

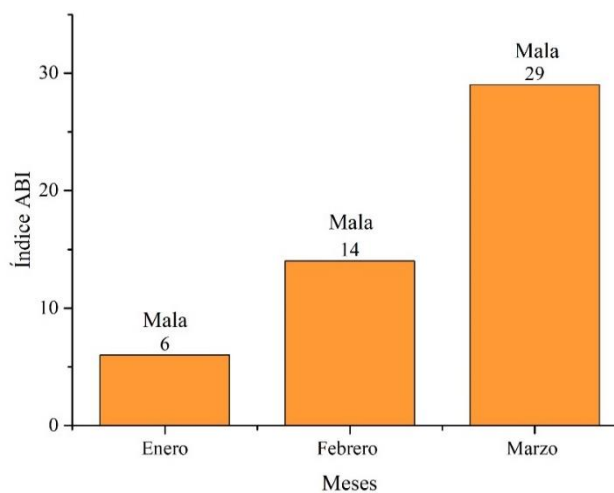


Fuente: Autor

#### 4.2.2.4 Estación de muestreo 4

La figura 10 presenta los resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el índice ABI. Para la estación de muestreo 4, se obtuvo una puntuación que esta entre 6 a 29 la cual se ubica en un rango  $< 35$  lo que indica un agua de “mala” calidad.

**Figura 10.** Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 4

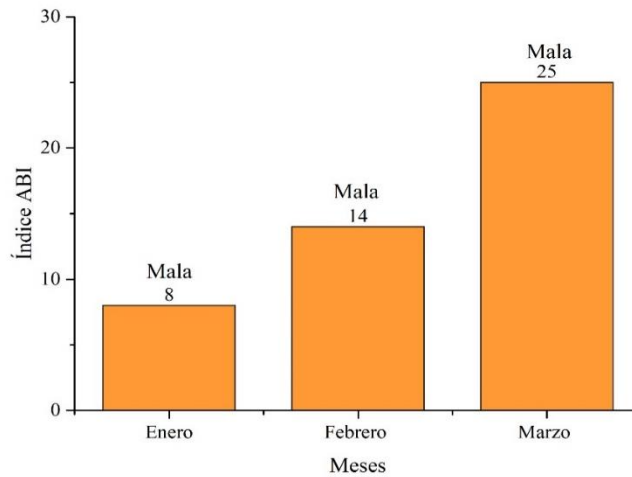


Fuente: Autor

#### 4.2.2.5 Estación de muestreo 5

La figura 11 presenta los resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el índice ABI. Para la estación de muestreo 5, se obtuvo una puntuación que esta entre 8 a 25 el cual se ubica en un rango  $< 35$  lo que indica un agua de “mala” calidad.

**Figura 11.** Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 5

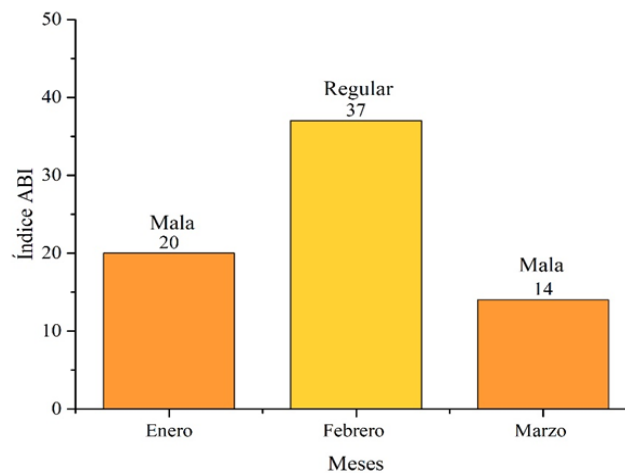


Fuente: Autor

#### 4.2.2.6 Estación de muestreo 6

La figura 12 presenta los resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el índice ABI. Para la estación de muestreo 6, se obtuvo una puntuación de 20 en enero y 14 en marzo, ubicándose en un rango  $< 35$  lo que indica un agua de “mala” calidad. En febrero se encontró una puntuación de 37, que se sitúa en un rango de 36 a 58 lo que denota una calidad de agua “regular”.

**Figura 12.** Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 6

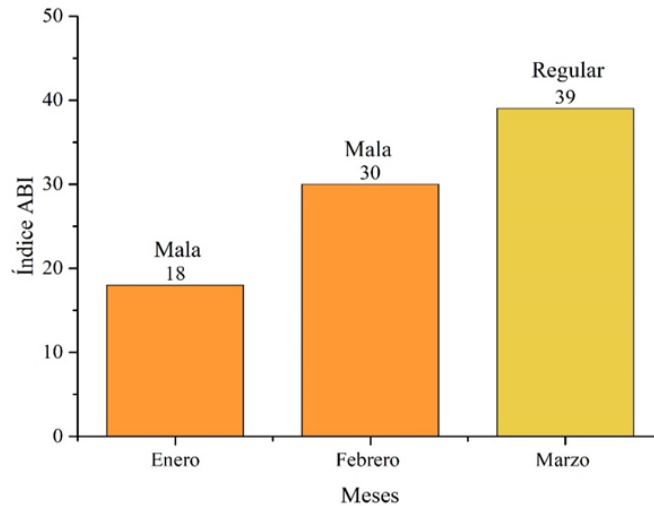


Fuente: Autor

#### 4.2.2.7 Estación de muestreo 7

La figura 13 presenta los resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el índice ABI. Para la estación de muestreo 7, se obtuvo una puntuación de 18 en enero y 30 en febrero, ubicándose en un rango  $< 35$  lo que indica un agua de “mala” calidad. En marzo se encontró una puntuación de 39, que se sitúa en un rango de 36 a 58 lo que denota una calidad de agua “regular”.

**Figura 13.** Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 7

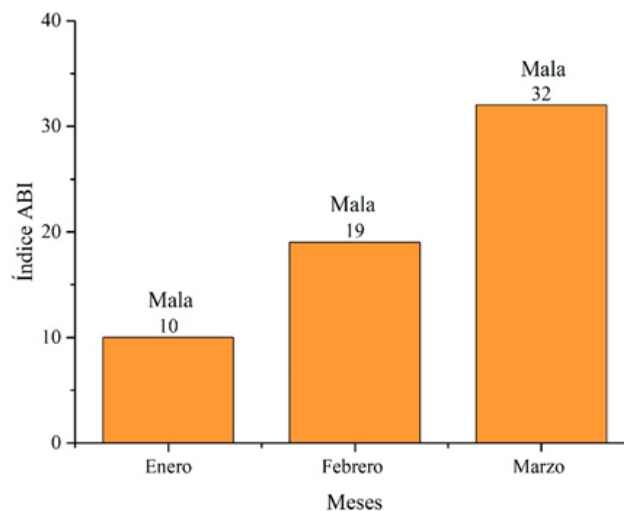


Fuente: Autor

#### 4.2.2.8 Estación de muestreo 8

La figura 14 presenta los resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el índice ABI. Para la estación de muestreo 8, se obtuvo una puntuación que esta entre 10 a 32 el cual se ubica en un rango  $< 35$  lo que indica un agua de “mala” calidad.

**Figura 14.** Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 8

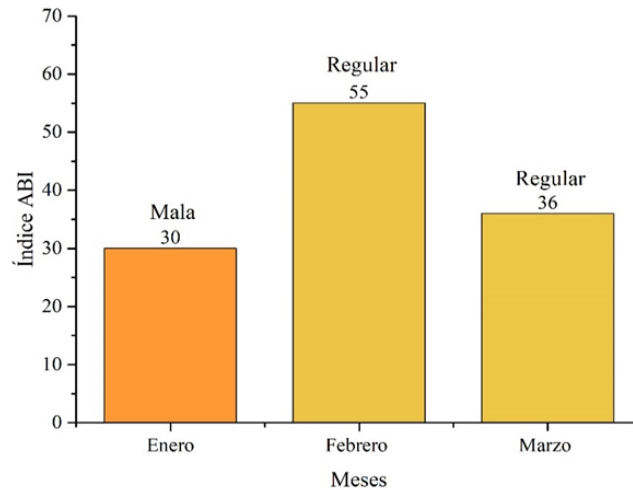


Fuente: Autor

#### 4.2.2.9 Estación de muestreo 9

La figura 15 presenta los resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el índice ABI. Para la estación de muestreo 9, se obtuvo una puntuación de 30 en enero, el cual se ubica en un rango  $< 35$  lo que indica un agua de “mala” calidad. Además, puntuaciones de 55 en febrero y 36 en marzo, que se sitúan en un rango de 36 a 58 lo que denota una calidad de agua “regular”.

**Figura 15.** Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 9

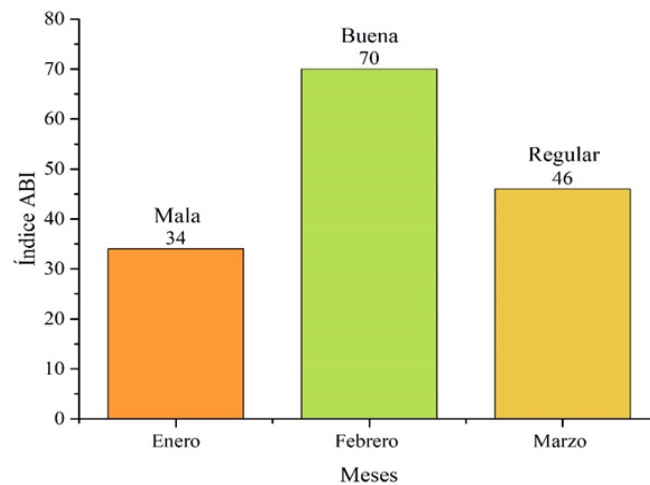


Fuente: Autor

#### 4.2.2.10 Estación de muestreo 10

La figura 16 presenta los resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el índice ABI. Para la estación de muestreo 10, se obtuvieron puntuaciones 34 en enero, 46 en marzo y 70 en febrero, valores que se encuentran en rangos que indican calidad de agua “mala”, “regular” y “buena” respectivamente.

**Figura 16.** Índice de calidad de agua ABI estación de muestreo 10



Fuente: Autor

En el índice ABI, se pueden observar las puntuaciones durante los meses de estudio en cada estación de muestreo (Tabla 10). El promedio de puntuaciones de calidad de agua varía entre “mala” y “regular” en la Microcuenca. La estación 8 es la que muestra el puntaje más bajo, con un valor de 14, lo que determina aguas fuertemente contaminadas. Por otro lado, la Estación 10 presenta el puntaje promedio más alto (50), lo que indica un agua “regular”.

**Tabla 10.** Resumen de resultados obtenidos del índice ABI

N°	Enero	Febrero	Marzo	Promedio	Calidad
<b>Estación 1</b>	31	5	29	22	Mala
<b>Estación 2</b>	19	26	34	26	Mala
<b>Estación 3</b>	15	4	22	14	Mala
<b>Estación 4</b>	6	14	29	16	Mala
<b>Estación 5</b>	8	14	25	16	Mala
<b>Estación 6</b>	20	37	14	24	Mala
<b>Estación 7</b>	18	30	39	29	Mala
<b>Estación 8</b>	10	19	32	20	Mala
<b>Estación 9</b>	30	55	36	40	Regular
<b>Estación 10</b>	34	70	46	50	Regular

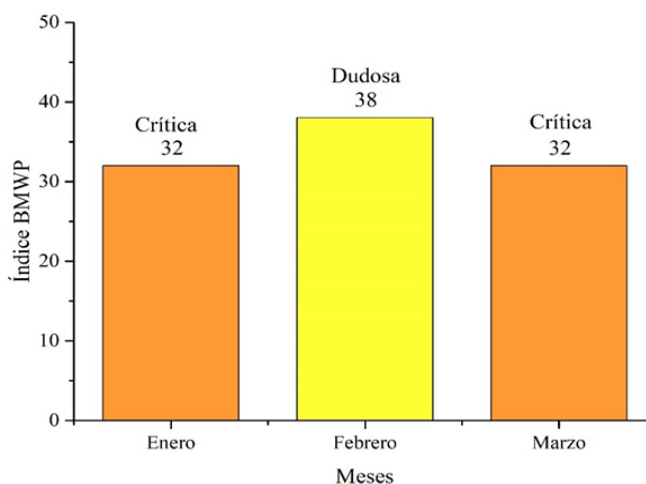
Fuente: Autor

### 4.2.3 Biological Monitoring Working Party (BMWP)

#### 4.2.3.1 Punto de Muestreo 1

La figura 17 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de calidad de agua mediante el índice BMWP. La estación de muestreo 1 mostro una puntuación de 32 en enero y marzo, ubicándose en el rango de 16 a 35, lo que indica una calidad de agua “critica”. En febrero, la puntuación fue de 38, que se sitúa en el rango de 36 a 60, lo que denota una calidad de agua “dudosa”.

**Figura 17.** Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 1



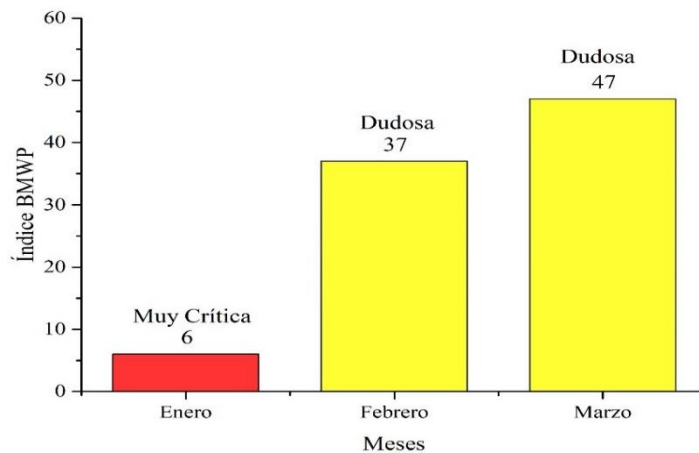
Fuente: Autor



#### 4.2.3.2 Punto de muestreo 2

La figura 18 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de calidad de agua utilizando el índice BMWP. El punto de muestreo 2, exhibió una puntuación de 37 en febrero y 47 en marzo, ubicándose en el rango de 36 a 60 lo que indica una calidad de agua “dudosa”. En marzo se determinó una puntuación de 6, que se sitúa en un rango  $\leq 15$  lo que denota una calidad de agua “muy crítica”.

**Figura 18.** Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 2

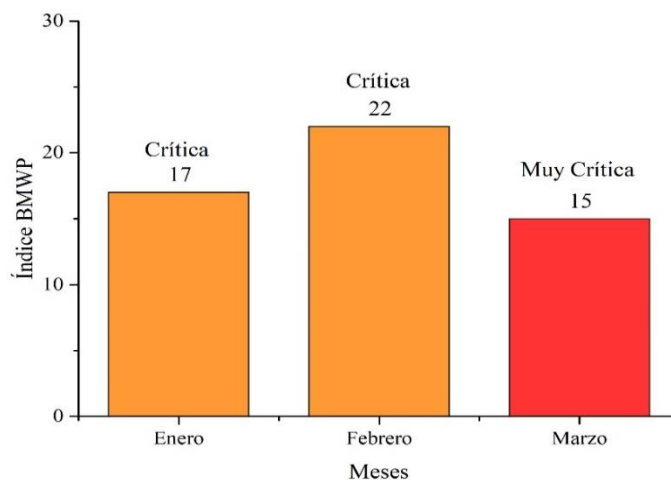


Fuente: Autor

#### 4.2.3.3 Punto de muestreo 3

La figura 19 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de calidad de agua utilizando el índice BMWP. Para el punto de muestreo 3, se obtuvieron puntuaciones de 17 en enero y 22 en febrero, ubicándose en el rango de 16 a 35 lo que indica una calidad de agua “crítica”. En marzo se determinó una puntuación de 15, que se sitúa en un rango  $\leq 15$  lo que denota una calidad de agua “muy crítica”.

**Figura 19.** Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 3

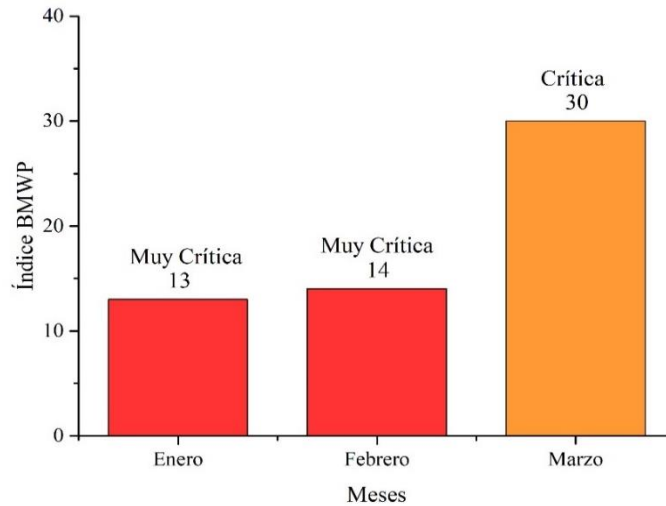


Fuente: Autor

#### 4.2.3.4 Punto de muestreo 4

La figura 20 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de calidad de agua utilizando el índice BMWP. Para el punto de muestreo 4, se obtuvo una puntuación de 13 en enero y 14 en febrero, ubicándose en el rango  $\leq 15$  lo que indica una calidad de agua “muy crítica”. En marzo se determinó una puntuación de 30, que se sitúa en un rango de 16 a 35 lo que denota una calidad de agua “crítica”.

**Figura 20.** Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 4

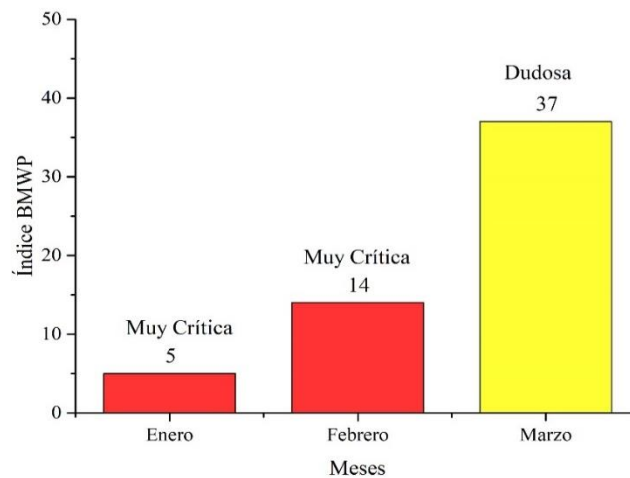


Fuente: Autor

#### 4.2.3.5 Punto de muestreo 5

La figura 21 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de calidad de agua utilizando el índice BMWP, Para el punto de muestreo 5, se obtuvieron puntuaciones de 5 en enero y 14 en febrero, ubicándose en el rango  $\leq 15$  lo que indica una calidad de agua “muy crítica”. En marzo se determinó una puntuación de 37, que se sitúa en el rango de 36 a 60 lo que denota una calidad de agua “dudosa”.

**Figura 21.** Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 5

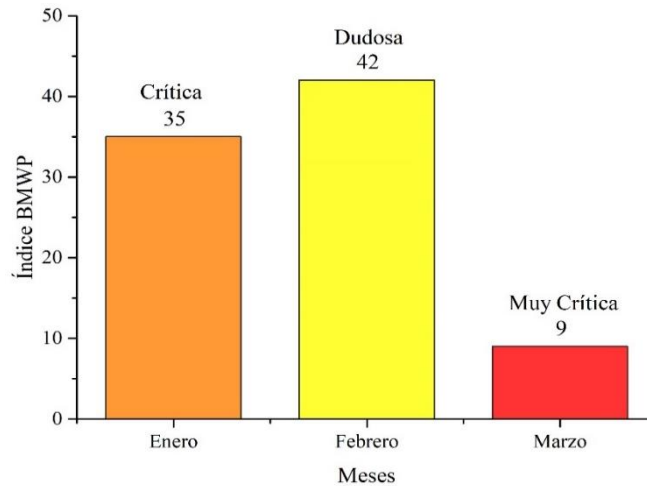


Fuente: Autor

#### 4.2.3.6 Punto de muestreo 6

La figura 22 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de calidad de agua utilizando el índice BMWP. Para la estación de muestreo 6, se obtuvieron puntuaciones 35 en enero, 42 en febrero y 9 en marzo, valores que se encuentran en rangos que indican calidad de agua “crítica”, “dudosa” y “muy crítica” respectivamente.

**Figura 22.** Índice de calidad de agua BMWP estación de muestreo 6

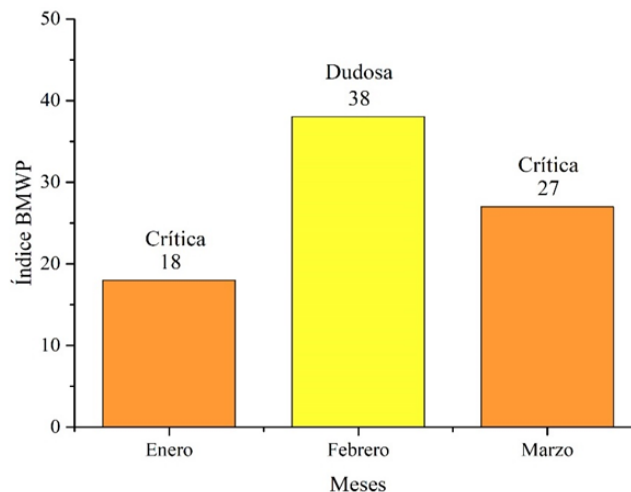


Fuente: Autor

#### 4.2.3.7 Punto de muestreo 7

La figura 23 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de calidad de agua utilizando el índice BMWP. Para el punto de muestreo 7, se obtuvieron puntuaciones de 18 en enero y 27 en marzo, ubicándose en el rango de 16 a 35 lo que indica una calidad de agua “crítica”. En febrero se determinó una puntuación de 38, que se sitúa en el rango de 36-60 lo que denota una calidad de agua “dudosa”.

**Figura 23.** Índice de calidad de agua BMWP estación de muestreo 7

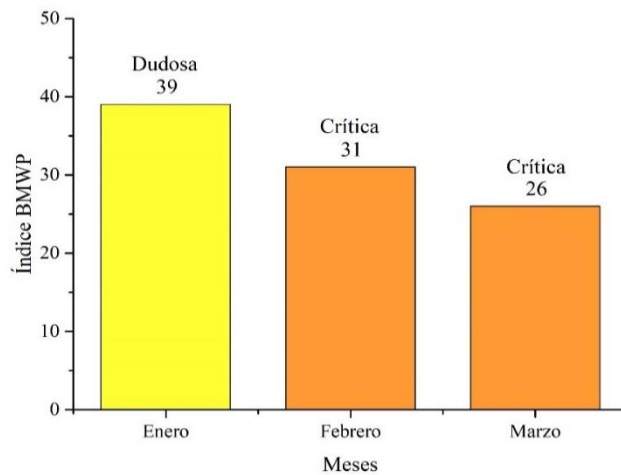


Fuente: Autor

#### 4.2.3.8 Punto de muestreo 8

La figura 24 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de calidad de agua utilizando el índice BMWP. Para el punto de muestreo 8, se obtuvieron puntuaciones de 31 en febrero y 26 en marzo, ubicándose en el rango de 16 a 35 lo que indica una calidad de agua “crítica”. En enero se determinó una puntuación de 39, que se sitúa en el rango de 36-60 lo que denota una calidad de agua “dudosa”.

**Figura 24.** Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 8

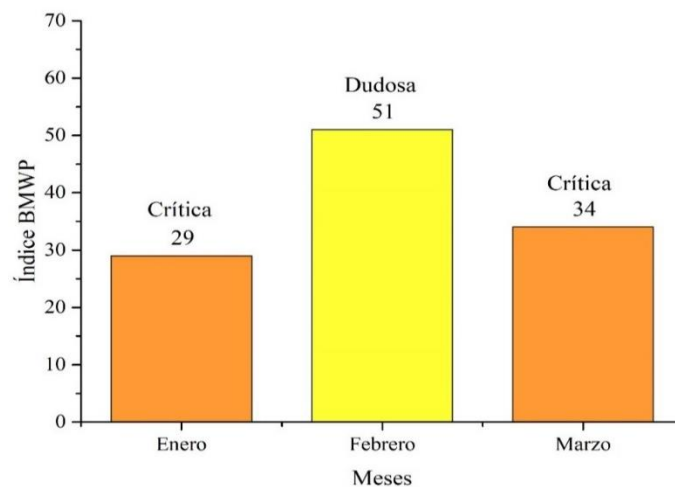


Fuente: Autor

#### 4.2.3.9 Punto de muestreo 9

La figura 25 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de calidad de agua utilizando el índice BMWP. Para el punto de muestreo 9, se obtuvieron puntuaciones de 29 en enero y 34 en marzo, ubicándose en el rango de 16 a 35 lo que indica una calidad de agua “crítica”. En febrero se determinó una puntuación de 51, que se sitúa en el rango de 36-60 lo que denota una calidad de agua “dudosa”.

**Figura 25.** Índice de calidad de agua BMWP estación de muestre 9

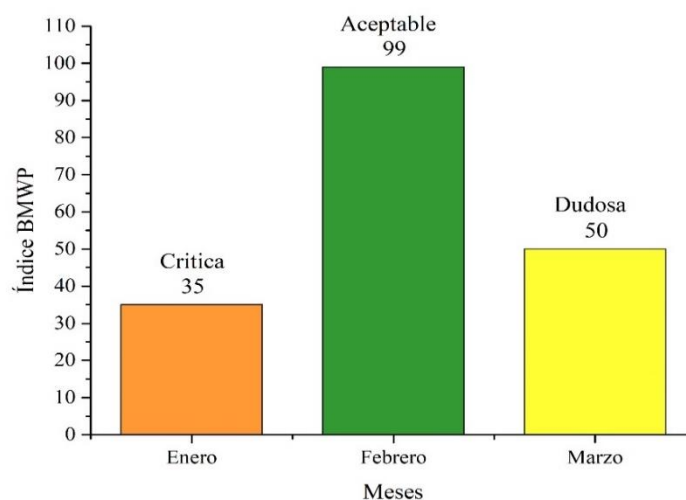


Fuente: Autor

#### 4.2.3.10 Punto de muestreo 10

La figura 26 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de calidad de agua utilizando el índice BMWP. Para la estación de muestreo 10, se obtuvieron puntuaciones 35 en enero, 99 en febrero y 50 en marzo, valores que se encuentran en rangos que indican calidad de agua “crítica”, “aceptable” y “dudosa” respectivamente.

**Figura 26.** Índice de calidad de agua BMWP estación de muestreo 10



Fuente: Autor

La tabla 11 muestra el resumen del índice BMWP, obtenidos dentro de la microcuenca Columbe, donde el puntaje promedio señala una calidad de agua “crítica” en 8 estaciones de muestreo, siendo su valor más bajo de 19 (Estación 4 y Estación 5). En la estación 9 y 10 se registró la puntuación más alta dentro de la microcuenca (38 y 61 respectivamente), lo cual indican una calidad de agua “dudosa” y “aceptable”.

**Tabla 11.** Resumen de los resultados obtenidos del índice BMWP

N°	Enero	Febrero	Marzo	Promedio	Calidad
<b>Estación 1</b>	32	38	32	34	Critica
<b>Estación 2</b>	6	37	47	30	Critica
<b>Estación 3</b>	17	22	15	18	Critica
<b>Estación 4</b>	13	14	30	19	Critica
<b>Estación 5</b>	5	14	37	19	Critica
<b>Estación 6</b>	35	42	9	29	Critica
<b>Estación 7</b>	18	38	27	28	Critica
<b>Estación 8</b>	39	31	26	32	Critica
<b>Estación 9</b>	29	51	34	38	Dudosa
<b>Estación 10</b>	35	99	50	61	Aceptable

Fuente: Autor

### 4.3 Análisis Realizar la evaluación comparativa de los resultados obtenidos a partir del cálculo de los índices biológicos BMWP-ABI

La tabla 12, muestra el análisis de calidad de agua de la Microcuenca Columbe, basados en datos obtenidos mediante los índice ABI y BMWP. Esta información permitió relacionar las variables de las 10 estaciones de muestreo. Para las estaciones de muestreo 1 a 8, el índice ABI indico una calidad de agua “mala” con puntajes < 35, mientras que el índice BMWP determino una validad de agua “critica” con puntajes en el rango de 16-35. Estos datos reflejan que el agua está muy contaminada. Estos valores asociados a la pérdida de biodiversidad están vinculados a zonas que han experimentado transformaciones en el cauce del río, como resultado del impacto de actividades ganaderas y del vertido de aguas residuales en la zona.

Por otro lado, las estaciones de muestreo 9 y 10, ubicadas en la parte alta de la microcuenca, presentaron un ABI “regular”, lo que se relaciona con valores de 36 a 58, que indican “agua medianamente contaminada”. Por su parte, el índice BMWP clasificó la calidad del agua como “dudosa” y “aceptable”, correspondientes a “aguas contaminadas” y “medianamente contaminadas”, respectivamente.

**Tabla 12.** Comparación Índice ABI Y BMWP

N°	ABI		BMWP	
	Promedio	Calidad	Promedio	Calidad
<b>Muestra 1</b>	22	Mala	34	Critica
<b>Muestra 2</b>	26	Mala	30	Critica
<b>Muestra 3</b>	14	Mala	18	Critica
<b>Muestra 4</b>	16	Mala	19	Critica
<b>Muestra 5</b>	16	Mala	19	Critica
<b>Muestra 6</b>	24	Mala	29	Critica
<b>Muestra 7</b>	29	Mala	28	Critica
<b>Muestra 8</b>	20	Mala	32	Critica
<b>Muestra 9</b>	40	Regular	38	Dudosa
<b>Muestra 10</b>	50	Regular	61	Aceptable

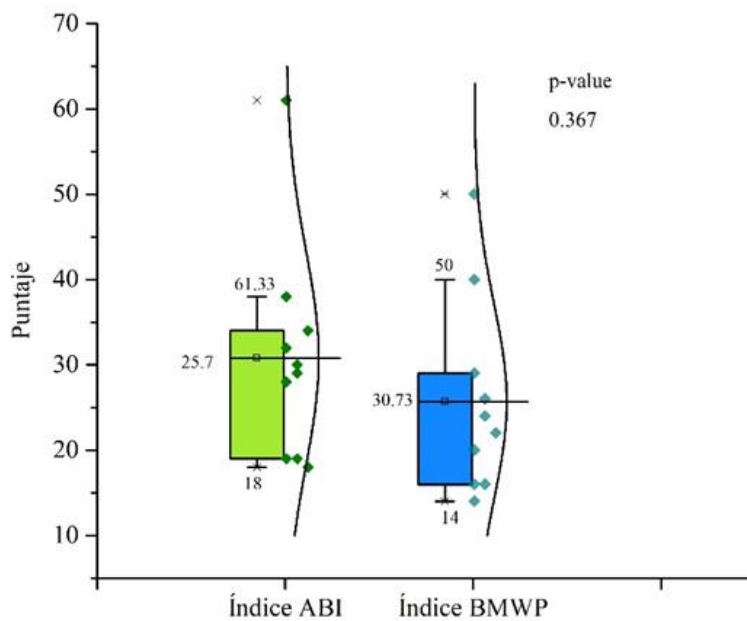
Fuente: Autor

El análisis del índice ABI en la microcuenca Columbe reveló un valor medio de 25.7, con un rango que oscila entre un mínimo de 18 y un máximo de 61.33 (Figura 27). Por otro lado, el índice BMWP mostró un valor medio de 30.75, con un mínimo de 14 y un máximo de 50. Es relevante destacar que

los datos para ambos índices están distribuidos de manera bastante uniforme, sin una concentración predominante en un área específica.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para comparar los índices ABI y BMWP no reveló diferencias significativas ( $P=0.367$ ) al nivel de significancia del 5% entre los 10 puntos de muestreo. Este resultado sugiere que no existen diferencias significativas en la composición de las comunidades de macroinvertebrados a lo largo del trayecto de la microcuenca. Sin embargo, sí se observan variaciones en la calidad del agua entre diferentes estaciones de muestreo, lo que puede indicar una variabilidad local en las condiciones ambientales que afecta a las comunidades de macroinvertebrados.

**Figura 27.** Comparación Índice ABI y BMWP



Fuente: Autor

#### 4.4 Discusión de los Resultados

Los macroinvertebrados bentónicos proporcionan información acerca de las condiciones de una fuente de agua y se utilizan como bioindicadores del estado actual del ecosistema acuático. El presente estudio realizado en la microcuenca Columbe, cantón Colta, es fundamental para monitorear y evaluar la salud de los ecosistemas ribereños, dado que la diversidad de macroinvertebrados sirve como un indicador crucial de los niveles de contaminación y de los impactos de las actividades humanas en la zona. Los resultados obtenidos muestran tendencias significativas en cuanto a la calidad del agua en el río del cantón Colta, especialmente en la microcuenca Columbe. De las 10 estaciones de muestreo analizadas, el 80% revelaron una calidad de agua "mala" según el índice ABI y "crítica" según el índice BMWP. Estos resultados indican características de aguas altamente

contaminadas, claramente asociadas al impacto de las actividades humanas en el área de estudio.

En relación a estudios previos, Quishpi et al., (2017) investigaron la calidad del agua de un sistema fluvial alto andino a través de los macroinvertebrados bentónicos, obteniendo un ABI que indica una calidad de agua regular. Estos resultados evidencian que las actividades antrópicas se están convirtiendo en una amenaza para la estabilidad de los ecosistemas acuáticos altoandinos.

En nuestra investigación, consideramos estos hallazgos como similares, ya que la calidad del agua en nuestra área de estudio coincide con los reportados por los autores antes mencionados. Específicamente, observamos que la diversidad y abundancia de macroinvertebrados bentónicos muestran patrones similares de respuesta a los niveles de contaminación y perturbación. La presencia de ciertas especies indicadoras de baja calidad de agua sugiere que las prácticas humanas, como la agricultura, deforestación y el desarrollo urbano, están afectando negativamente estos ecosistemas sensibles. Esta convergencia de resultados subraya la necesidad urgente de implementar estrategias de manejo y conservación para mitigar los impactos antrópicos y preservar la salud de los ecosistemas acuáticos altoandinos. La importancia de estos hallazgos se destaca aún más al considerar la proximidad de la microcuenca Columbe a la microcuenca del río Sicalpa.

Según Salau & Solis (2023) en el estudio realizado en la microcuenca Sicalpa con 12 puntos de muestreo, el 42% de las muestras mostraron una calidad de agua dudosa, indicativa de aguas contaminadas; otro 42% presentó una calidad aceptable, correspondiente a aguas medianamente contaminadas; y el 16% restante evidenció una calidad crítica, reflejando aguas altamente contaminadas, particularmente en las estaciones ubicadas en la parte baja de la microcuenca. Utilizando el índice ABI, se determinó que el 66% de las estaciones monitorizadas mostraron aguas moderadamente contaminadas, el 8% presentó aguas de buena calidad con bajos niveles de contaminación y el 16% restante indicó una mala calidad, caracterizando estas últimas como aguas fuertemente contaminadas, también en las estaciones situadas en la parte baja.

La presencia de contaminación en ambas microcuencas, Columbe y Sicalpa, puede atribuirse a diversas actividades sectoriales compartidas. En particular, la introducción de animales en las riberas de los ríos, como ganado y cerdos, el vertido de aguas residuales provenientes de centros educativos y viviendas, y las actividades agrícolas son factores que contribuyen significativamente a la degradación de la calidad del agua. Aunque ambos estudios reflejan una situación preocupante en términos de contaminación, la microcuenca Columbe parece estar más afectada debido a la mayor incidencia de estas actividades en su área.

Este estudio confirma la eficacia de los métodos biológicos para la determinación de la calidad del agua mediante el uso de los índices BMWP y ABI. Los resultados obtenidos destacan la validez de estos métodos, sugiriendo que son herramientas adecuadas para evaluar el estado actual de los ecosistemas acuáticos en las microcuencas analizadas.



Estos datos refuerzan la necesidad de una acción coordinada y efectiva para abordar los problemas de contaminación y proteger los recursos hídricos en las regiones altoandinas. La implementación de prácticas de manejo sostenible y la promoción de políticas ambientales adecuadas son esenciales para reducir los efectos negativos de las actividades humanas y asegurar la conservación a largo plazo de estos ecosistemas vitales. Además, es crucial involucrar a las comunidades locales en la gestión de los recursos naturales, promoviendo la educación y la concientización sobre la importancia de mantener la calidad del agua y la biodiversidad en estas áreas.

## Capítulo 5

### Conclusiones

- En la microcuenca del río Columbe se identificaron 4,109 individuos de macroinvertebrados bentónicos, distribuidos en 29 familias y 14 órdenes. A lo largo del área de estudio se observó la presencia de la familia Gripopterygidae, del orden Plecoptera, macroinvertebrados característicos de buena calidad de agua. Sin embargo, cantidades elevadas de individuos de esta familia se observaron únicamente en las estaciones 9 y 10. En contraste, las familias Chironomidae, Ceratopogonidae y Simuliidae del orden Díptera, indicadores de mala calidad de agua, estuvieron presentes en las 10 estaciones de muestreo con una cantidad considerable de individuos. Estos resultados resaltan la variabilidad en la calidad del agua a lo largo de la microcuenca y sugieren la influencia de las actividades antrópicas en la degradación de los ecosistemas acuáticos. La concentración de macroinvertebrados indicadores de mala calidad en todas las estaciones subraya la necesidad de implementar medidas de conservación y gestión para proteger y restaurar la salud del río Columbe y sus alrededores.
- El índice BMWP, determinó que la calidad del agua de la microcuenca Columbe fue "mala" en un 80% de los sitios muestreados, mientras que el índice ABI indicó una calidad de agua "crítica", lo que corresponde a características de aguas contaminadas. Por otro lado, según el índice ABI, el 16% de los puntos de muestreo mostraron una calidad de agua "regular", mientras que el índice BMWP indicó una calidad de agua entre "dudosa" y "aceptable". Estos resultados reflejan la presencia de contaminación. Las puntuaciones obtenidas a lo largo de la microcuenca revelan que las actividades antrópicas, como la ganadería y cría de cerdos en las orillas de los ríos, y el vertido de aguas residuales provenientes de centros educativos y viviendas dispersas, están afectando negativamente la calidad del agua.
- La evaluación comparativa de los resultados obtenidos mediante los índices ABI y BMWP para cada estación de muestreo no muestra diferencias significativas, lo que indica una contaminación consistente en las 8 estaciones analizadas. Esta congruencia en los resultados resalta la efectividad de ambos índices en el diagnóstico de la salud de los ecosistemas acuáticos, evidenciando su capacidad para proporcionar una evaluación precisa y coherente del estado de los cuerpos de agua estudiados.

## **Recomendaciones**

- Llevar a cabo valoraciones sobre la calidad del agua mediante bioindicadores macroinvertebrados acuáticos. Este monitoreo contribuirá a registrar el estado de los ecosistemas acuáticos y como las actividades en el entorno afecta su calidad, para de esta manera tomar medidas estratégicas de conservación y manejo adecuado de los recursos.
- La determinación de familias de macroinvertebrados, para llevar un registro constante e identificar como las especies responden a los cambios ambientales en los periodos de tiempo.
- Potencial los métodos biológicos de calidad de agua, además de relacionar estos resultados con la evaluación de parámetros físico-químicos para corroborar dichos resultados

## Referencias Bibliográficas




- Arroyo J., C., & Encalada, A. C. (2009). Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 1(1), 11–16. <https://doi.org/10.18272/aci.v1i1.4>
- Déley, R., & Santilláni, P. (2017). Macroinvertebrados bentónicos de las microcuencas Jubal, Ozogoche y Zula Parque Nacional Sangay - Ecuador. In *Universitas Nusantara PGRI Kediri* (Vol. 01).
- Encalada, A., Rieradavall, M., Ríos, B., Carcía, N., & Prat, N. (2004). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de calidad ecológica de ríos andinos*. (Issue 1).
- Endara, A. (2012). Identificación de macro invertebrados bentónicos en los ríos: Pindo Mirador, Alpayacu y Pindo Grande; determinación de su calidad de agua. *Enfoque UTE*, 3(2), 33–41. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v3n2.3>
- Escobar-Arrieta, S., Albuja, A., & Andueza-Leal, F. D. (2021). Calidad fisicoquímica del agua de la laguna Colta. Chimborazo. Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11(1), 80–90. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.3135>
- Escobar Gutiérrez, A. F., & Montoya Moreno, Y. (2019). Los Macroinvertebrados Acuáticos y la Calidad Biológica del Agua en una Quebrada Andina, Antioquía-Colombia. *Revista Politécnica*, 15(29), 65–81.
- Galindo-Leva, L. Á., Constantino-Chuaire, L. M., Benavides-Machado, P., Montoya-Restrepo, C., & Rodríguez -Valencia, N. (2012). Evaluación De Macroinvertebrados Acuáticos Y Calidad De Agua En Quebradas De Fincas Cafeteras De Cundinamarca Y Santander, Colombia. *Cenicafé*, 63(1), 70–92.
- García, J. M., Sarmiento, L. F., Salvador, M., & Sabrina, L. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. *Carlos Paul*, 24(202), 47–62.
- Giacomett, J., & Bersosa, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Serie Zoológica, Appendix 1*, 17–32.

- Guadarrama Tejas, R., Kido Miranda, J., Roldan Antunez, G., & Salas Salgado, M. (2016). Contaminación de agua. *ECORFAN ® Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1–10.
- Liñero, L., Balarezzo, V., Eraso, H., Pacheco, F., Ramos, C., Muzo, R., & Calva, C. (2015). Calidad del agua de un río andino ecuatoriano a través del uso de macroinvertebrados. *Cuadernos de Investigación UNED*, 8(1), 69–75.
- Meneses-Campo, Y., Castro-Rebolledo, M. I., & Jaramillo-Londoño, A. M. (2019). Comparison of water quality between two andean rivers by using the BMWP/COL. and ABI. Indices | Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los Índices BMWP/COL. Y ABI. *Acta Biologica Colombiana*, 24(2), 299–310.
- MINAGRI. (2015). Manual N° 5 Medición de agua. *Ministerio de Agricultura y Riego de Lima*, 2da Ed., 32.
- Mosquera, D., & Peña Salamanca, E. (2021). Evaluación de la calidad del agua de un río tropical usando índices bióticos , fisicoquímicos y de diversidad Water quality assessment of a tropical stream using biotic , physicochemical and diversity indices. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 46–59.
- ONU. (2014). Informe sobre el primer período de sesiones de la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente. *Programa de La Naciones Unidas Para El Medio Ambiente*, 1–69.
- Quiroz Fernández, L. S., Izquierdo Kulich, E., & Menéndez Gutiérrez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 41–51.
- Quishpi, Á., Pérez, P., Rodríguez, M., & Santillán, G. (2017). Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de la Calidad del Agua de un Sistema Fluvial Alto Andino Ecuatoriano. *Hallazgos21*, 3, 1–13. file:///C:/Users/Personal/Downloads/234-Texto del artículo-459-1-10-20180611.pdf
- Rodriguez Torres, C. Y. (2023). Calidad del agua según variables fisicoquímicas y macroinvertebrados bentónicos en la microcuenca del rio Chucchun. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(51), e24158. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.24158>

- Roldán-Pérez, G. (2016). Macroinvertebrates as bioindicators of water quality: Four decades of development in Colombia and Latin America. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254–274. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Roldán, G. (2003). *Boindicación de la calidad del agua en Colombia*.
- Sofía, L. I., Sergio, G., & Marlon, P. (2020). *Aplicación de índices bióticos para la evaluación de la calidad del agua de un río Andino Amazónico*. May.
- Solange Aynara Sánchez Aroca, & Guangasig Toapanta, V. H. (2023). Calidad Microbiológica del Agua de Consumo Humano: La realidad en el Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2), 1388–1402. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.690>
- Tello, L. G., & Sánchez, A. A. (2019). contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. Necesidad de su reversión desde las políticas públicas con enfoque bioético. In *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.* (Vol. 5, Issue 9). <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i9.7946>
- Terán, J. (2018). La Cuenca como Unidad de Gestión y Planificación. *Consortio Camaren Sistema de Capacitación Para El Manejo Sostenible de Los Recurso Naturales Renovables*, 1–34.
- Ubalina, S. C. M., & Javier, S. G. B. (2023). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SICALPA CANTÓN COLTA, MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES Trabajo. *International Journal of Technology*, 47(1), 100950.
- Yepez, Á., Yépez Yanez, Á., Zambrano, P., Morales, D., Guerrero, M., & Tayhing, C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador Aquatic macroinvertebrates as indicators of water quality in areas of residual discharge to the Quevedo river, Ecuador. *Ciencias Tecn UTEQ*, 10(1), 27–34.

# ANEXOS

## Anexo 1. Resumen Macroinvertebrados Bentónicos en la Microcuenca del río Columbe

Orden	Familia	Descripción	Ilustración
	Simuliidae	Su tamaño varía de 3-15 mm. Se las encuentra en arroyos y ríos de corriente moderada a rápida, adheridas a cualquier sustrato sólido cerca de la superficie.	
Diptera	Ceratopogonidae	Las larvas son depredadoras, de tipo serpiente y carecen de falsas patas. Su tamaño varía entre 2-15 mm. Su cuerpo es de color blanco o casi blanco. Se encuentran en estanques, pantanos y arroyos.	
	Tipulidae	Las larvas son trituradoras y pueden ser también recolectoras o depredadoras. Su tamaño varía de 2-15 mm. La cápsula de la cabeza puede estar completa o parcialmente retraída en el tórax.	

Chironomidae

Las larvas pueden ser colectoras, recolectoras, raspadoras, filtradoras o predadoras. Su tamaño varía entre 2-30 mm. Sus cuerpos son alargados y en forma de gusano. Son muy tolerantes a la contaminación por materia orgánica.



Blepharoceridar

Su tamaño varía entre 5-12 mm. Se encuentran en sistemas loticos fríos, muy oxigenados, adheridos a las rocas en arroyos de flujo rápido y cascadas.



Empididae

Las larvas son depredadoras. Su tamaño varía de 2-6 mm. Sus cuerpos son cilíndricos y de color amarillento. La cabeza es aguzada y retráctil. El último segmento abdominal es redondeado y abultado, provisto de setas.



Trichoptera

Hydropsychidae

Su tamaño varía entre 10-16 mm. Estas larvas y pupas construyen refugios de piedra, arena o material vegetal en sustratos rocosos.





Leptoceridae

Su tamaño varía entre 7–15 mm al madurar. Se encuentran en ecosistemas tanto lóticos como lénticos.



Hydrobiosidae

Las larvas son depredadoras. Su tamaño varía entre 11–20 mm. Son constructoras de redes para elaborar sus capullos poco antes de empupar.



Hydroptilidae

También son conocidas como microtricópteros por su tamaño menor a 5 mm. No poseen agallas branquiales.



Coleoptera

Scirtidae

Estas larvas son raspadoras, colectoras/recolectoras y trituradoras. Su tamaño varía entre 4–8 mm. Poseen antenas muy articuladas, más largas que la cabeza. De color negruzco, ocasionalmente con bandas claras entre segmentos.



Elmidae ad.

Estas larvas son raspadoras. Su tamaño varía entre 6-10 mm. Sus cuerpos son cilíndricos, generalmente alargados. El abdomen está dividido en 9 segmentos, el noveno segmento presenta en la superficie ventral un opérculo. Al observar el dorso, la cabeza y las patas son visibles.



Baetidae

Su tamaño varía de 3-12 mm. Algunas especies son tolerantes a las aguas contaminadas



Ephemeroptera

Leptophlebiidae

Su tamaño varía entre 4-15 mm. Se caracteriza por la presencia de siete pares de branquias o agallas en posición lateral, simples, bífidas o dobles en forma de horquilla.



Leptohiphidae

Su tamaño varía de 3-10 mm excluyendo los filamentos caudales. El tórax y los fémures son robustos.



Oligochaeta

Haplotaxida

Estos anélidos son recolectores/colectores. Su tamaño varía de 1-10 mm. Algunos individuos se desplazan arrastrándose sobre el suelo, mientras que otros pueden nadar.



Tricladida

Planariidae

Son colectores/recolectores, predominantemente de vida libre y de amplia distribución. Viven por lo regular debajo de piedras, troncos, ramas, hojas, en aguas poco profundas. Se los encuentra en aguas bien oxigenadas, pero su presencia en un gran número generalmente implica contaminación de origen orgánico.



Amphipoda	Hyalellidae	<p>Las larvas son predatoras, detritívoras, herbívoras u omnívoras. Su tamaño varía entre 2-8 mm. Son pequeños crustáceos desprovistos de caparazón y se caracterizan por tener el cuerpo comprimido lateralmente. Estas larvas son comunes en todo tipo de medios acuáticos.</p>	
Odonata	Aeshnidae	<p>Las larvas de esta familia son predatoras, hemimetábolos y su periodo larval es acuático. Se caracterizan por presentar un aparato bucal del tipo masticador, con un labio altamente modificado en una estructura denominada máscara.</p>	
	Perlidae	<p>Las ninfas requieren de 1-3 años para madurar en función de su ubicación geográfica. Con frecuencia son de color dorado y presentan un llamativo estampado en el dorso.</p>	
Plecoptera	Gripopterygidae	<p>Las ninfas de esta familia son herbívoras y están presentes en aguas muy oxigenadas. Su cuerpo es aplanado y de color amarillo a marrón oscuro. Presentan tres ocelos en la cabeza y sus cercos son cortos</p>	

## Anexo 2. Identificación de Macroinvertebrados

