



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE LICENCIATURA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Proyecto de Investigación
previo a la obtención del
Título de Licenciatura en
Gestión Ambiental

Tema:

**ANÁLISIS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO
BIOINDICADORES DE CALIDAD HÍDRICA Y LA INFLUENCIA DEL USO DE
SUELO DEL ESTERO EL BARRO, LOS RÍOS, ECUADOR**

Autor:

Noemi Estefania León Benitez

Docente Auspiciante:

Ing. Carlos Alberto Nieto Cañarte, MSc.

Quevedo-Los Ríos- Ecuador

IIC 2020-2021

**ANÁLISIS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO
BIOINDICADORES DE CALIDAD HÍDRICA Y LA INFLUENCIA
DEL USO DE SUELO DEL ESTERO EL BARRO, LOS RÍOS,
ECUADOR**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Noemi Estefania León Benitez**, declaro que la investigación descrita aquí es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo puede hacer uso de los derechos correspondiente a este documento, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Noemi Estefania León Benitez

C.C.# 1722090691

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Carlos Alberto Nieto Cañarte MSc**, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifico que la estudiante **Noemi Estefania León Benitez** realizó el proyecto de investigación titulado “**Análisis de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad hídrica y la influencia del uso de suelo del estero El Barro, Los Ríos, Ecuador**” previo a la obtención del título de Licenciada en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Carlos Alberto Nieto Cañarte, MSc
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE
COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO**



Document Information

Analyzed document	NOEMI LEÓN TESIS.docx (D97678133)
Submitted	3/9/2021 2:34:00 AM
Submitted by	
Submitter email	noemi.leon2016@uteq.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	cnieto.uteq@analysis.arkund.com

Ing. Carlos Alberto Nieto Cañarte, MSc
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE LICENCIATURA EN GESTIÓN AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Tema:

Análisis de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad hídrica y la influencia del uso de suelo del estero El Barro, Los Ríos, Ecuador

Presentado a la comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Licenciada en Gestión Ambiental.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Betty González Ozorio, PhD

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Oscar Prieto

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Norma Guerrero, MSc.

Quevedo Los Ríos Ecuador
2021

AGRADECIMIENTO

- ✓ A Dios por proveerme de salud y permitirme culminar mis metas planteadas con éxito.
- ✓ A mis padres por ser siempre mi ejemplo de perseverancia y fortaleza, por inculcarme buenos valores, principios y sobre todo por siempre apoyar mis decisiones.
- ✓ A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo a la Facultad de Ciencias Ambientales, Carrera de Licenciatura en Gestión Ambiental por permitirme formarme como profesional y conocer a personas de gran calidez y buen corazón.
- ✓ Agradezco al Ing. Carlos Alberto Nieto Cañarte MSc. por brindarme la apertura de compartir sus conocimientos y por su presta disposición para cualquier tipo de dificultad.

DEDICATORIA

A mis padres y hermano, como muestra de que todo lo que nos proponemos podemos cumplirlo, con esfuerzo y perseverancia, gracias por su apoyo incondicional y sobre todo por ser mi fuente de inspiración.

Noemi Estefania León Benitez

RESUMEN

El análisis de macroinvertebrados acuáticos (MAIA) como bioindicadores de la calidad hídrica y la influencia de los usos de suelos en el estero El Barro, ubicado en el cantón Quevedo, permitió conocer la prevalencia de las familias de MAIA en función a los usos de suelo: agrícola, bosque y mina. El proyecto se desarrolló en los meses de diciembre, enero y febrero (2020-2021), para lo cual se identificaron 3 puntos de muestreo por cobertura, con una distancia de 200m aguas arriba y aguas abajo, teniendo un total de 9 puntos. La metodología aplicada se desarrolló en dos fases: la primera se basa en el muestreo realizado en campo (recolección de macroinvertebrados y toma de muestras de agua) para el análisis de los parámetros físico químico: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, temperatura, y la aplicación de los índices: de hábitat fluvial (IHF) y calidad de bosque de ribera (QBR); en la segunda fase se realizó un análisis estadístico para determinar los índices de diversidad: Shannon– Weaver (H'), Simpson (I-D), Pielou (J') y el índice biótico de calidad BMWP-Cr. Se obtuvo como resultado un total de 1302 especies distribuidos en 10 órdenes, 22 familias y 26 géneros, siendo los géneros más representativos: *Xiphocentron* con 37,5%, seguido del género *Baetodes* con 33,3%. La aplicación del Índice (QBR), detalla que el uso de suelo bosque posee una mejor calidad de agua buena-intermedia entre los tres usos de suelo, mientras que el índice (IHF) presenta que la cobertura de bosque posee un calidad buena-moderada. De acuerdo a la aplicación del índice BMWP-Cr, se obtuvo como resultado que el estero El Barro prevalece la calidad de agua mala muy contaminada (16-35).

Palabras claves: Calidad del agua, Macroinvertebrados acuáticos, Índice BMWP-Cr

ABSTRACT

The analysis of aquatic macroinvertebrates as bioindicators of water quality and the influence of soil uses in the el Barro micro-water, located in the canton Quevedo, allowed to know the prevalence of macroinvertebrate families (MAIA) based on land uses: Agricultural, Forest and Mine. The project was developed in December, January and February (2020-2021), for which 3 sampling points were identified per coverage, with a distance of 200m upstream and downstream, having a total of 9 points. The methodology applied was developed in two phases: the first is based on field sampling (macroinvertebrate collection and water sampling) for the analysis of chemical physical parameters: pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, total dissolved solids, temperature, and application of indices: river habitat (IHF) and river forest quality (QBR); In the second phase, a statistical analysis was carried out to determine the diversity indices: Shannon–Weaver (H) , Simpson (I-D), Pielou (J) and the biotic quality index BMWP-Cr. A total of 1302 species were obtained in 10 orders, 22 families and 26 genera, the most representative genera being Xiphocentron with 37.5%, followed by the genus Baetodes with 33.3%. The application of the Index (QBR) details that forest land use has a better quality of good-intermediate water between the three land uses, while the index (IHF) presents that forest cover has a good-moderate quality. According to the application of the BMWP-Cr index, it was obtained as a result that in the micro-water El Barro prevails the quality of bad water very contaminated (16-35).

Keywords: Water quality, Aquatic macroinvertebrates, BMWP-Cr index

ÍNDICE

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iv
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	v
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CÓDIGO DUBLIN	xvi
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.1.1. Diagnóstico del problema.....	4
1.1.2. Pronóstico del problema	4
1.1.3. Formulación del problema.....	5
1.1.4. Sistematización del problema.....	5
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
1.3 Justificación	6
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1. Marco conceptual	8
2.1.1. Calidad del agua	8
2.1.2. Parámetros fisicoquímicos.....	8

2.1.3. Biomonitorio	11
2.1.4. Bioindicadores	11
2.1.5. Macroinvertebrados Bentónicos acuáticos	12
2.1.6. Índice BMWP-Cr.....	12
2.1.7. Cuencas Hidrográficas.....	13
2.1.8. Cobertura y uso de suelo	13
2.1.9. Índice de Shannon-Wiener	13
2.1.10. Índice de dominancia de Simpson	14
2.1.11. Índice de equidad de Pielou.....	14
2.1.12. Índice de calidad del bosque de ribera (QBR).....	14
2.1.13. Índice de hábitat fluvial (IHF)	14
2.2. Marco referencial.....	15
CAPÍTULO III	17
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	17
3.1. Localización del área de estudio.....	18
3.1.1. Selección del área de muestreo.....	18
3.2. Tipo de investigación	19
3.3. Métodos de investigación	19
<input type="checkbox"/> Método de observación	19
<input type="checkbox"/> Método deductivo.....	19
3.4. Fuentes de recopilación de información.....	20
3.5 Diseño de la investigación.....	20
3.5.1. Diversidad y estructura de los macroinvertebrados del estero “El Barro” Los Ríos, Ecuador	20
3.5.2. Evaluación de la calidad del hábitat fluvial y la calidad de bosque de ribera en el estero El Barro	21
3.5.3. Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en el estero El Barro a través del índice BMWP-Cr, y los parámetros fisicoquímicos.....	22

3.6 Instrumentos de investigación	23
3.7. Tratamiento de los datos.....	24
3.8. Recursos humanos y materiales.....	24
3.8.1. R. Humanos	24
3.8.2. R. Materiales.....	24
CAPÍTULO IV	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1. Diversidad y estructura de los macroinvertebrados muestreados del estero El Barro	26
4.1.1. Índices de diversidad	36
4.1.2. Análisis Clúster	40
4.1.3. ANOSIM	41
4.2. Aplicación de los índices QBR e IHF del estero “El Barro”.....	42
4.2.1. Índice IHF para las coberturas: agrícola, bosque y mina de extracción de piedra	42
4.2.1. Índice QBR para las coberturas: agrícola, bosque y mina de extracción de piedra	43
4.3. Influencia del uso de suelo en la calidad del agua a través del Índice BMWP-Cr y los parámetros fisicoquímicos.....	44
4.3.1. ANOVA Parámetros.....	44
4.3.1.1. Análisis de Redundancia	46
4.3.2. Aplicación del índice BMWP-Cr	47
CAPÍTULO V	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1. Conclusiones.....	50
5.2. Recomendaciones	51
CAPÍTULO VI.....	52
BIBLIOGRAFÍAS.....	52
6.1. Bibliografías	53

CAPÍTULO VII.....	58
ANEXOS	58

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Mapa del área de estudio.	18
Ilustración 2: Aplicación del diagrama de caja y bigotes en el índice de Simpson.....	37
Ilustración 3: Aplicación del diagrama de caja y bigotes en el índice de Shannon.....	38
Ilustración 4:Aplicación del diagrama de caja y bigotes en el índice de Pielou.	39
Ilustración 5: Similitud entre los diferentes usos de suelo del estero El Barro.	40
Ilustración 6: Aplicación del modelo ANOSIM.....	41
Ilustración 7: Aplicación del análisis de Redundancia en relación existente a las variables ambientales y los géneros hallados.....	46

Índice de Tablas

Tabla 1: Características del sitio de estudio.	19
Tabla 2: Identificación de los índices de biodiversidad, dominancia y riqueza.	20
Tabla 3: Niveles de calidad de conservación de la vegetación de ribera.	21
Tabla 4: Niveles de calidad en base al índice IHF.	22
Tabla 5: Nivel de calidad del agua en función del puntaje total obtenido en el índice BMWP-Cr.	23
Tabla 6: Presencia y ausencia de macroinvertebrados acuáticos en los diferentes usos de suelo del estero “El Barro”	28
Tabla 7: Composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los diferentes usos de suelo del estero “El Barro”	30
Tabla 8: Distribución de géneros de macroinvertebrados por sustrato y hábitat en el uso de suelo agrícola del estero “El Barro”	33
Tabla 9:Distribución de géneros de macroinvertebrados por sustrato y hábitat en uso de suelo bosque del estero “El Barro”	34
Tabla 10:Distribución de géneros de macroinvertebrados por sustrato y hábitat en uso de suelo de mina del estero “El Barro”	35
Tabla 11: Aplicación de índices de diversidad Simpson, Shannon y Pielou.....	36
Tabla 12: Resultados de la aplicación de los parámetros en ANOVA.....	44

Tabla 13: Comparación de los parámetros físico químicos por cobertura con el Anexo 1 del TULSMA.....	45
--	----

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Aplicación del índice IHF, para los tres usos de suelo.....	42
Gráfico 2: Aplicación del índice QBR, para los tres usos de suelo.....	43
Gráfico 3: Aplicación del índice BMWP-Cr en los diferentes usos de suelo del estero “El Barro”.....	48

Índice de Anexos

Anexo 1: Valoración de las familias de macroinvertebrados acuáticos para evaluar el índice BMWP- Cr.....	59
Anexo 2: Presencia y ausencia de macroinvertebrados acuáticos en los meses de diciembre, enero y febrero en los diferentes usos de suelo del estero “El Barro”.....	61
Anexo 3: Composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los meses de diciembre, enero y febrero según los usos de suelo del estero “El Barro”.....	63
Anexo 4: Fotografías de los usos de suelo en el estero El Barro.....	65
Anexo 5: Recolección e identificación de los macroinvertebrados acuáticos.....	66

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Análisis de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad hídrica y la influencia del uso de suelo del estero El Barro, Los Ríos, Ecuador		
Autor:	León Benitez Noemi Estefania		
Palabras claves:	Calidad del agua	Macroinvertebrados	Índice BMWP-Cr
Fecha de publicación:	Mayo,2021		
Editorial:	Quevedo, UTEQ- 2021		
Resumen:	<p>Resumen: El análisis de macroinvertebrados acuáticos (MAIA) como bioindicadores de la calidad hídrica y la influencia de los usos de suelos en el estero El Barro, ubicado en el cantón Quevedo, permitió conocer la prevalencia de las familias de MAIA en función a los usos de suelo: agrícola, bosque y mina. El proyecto se desarrolló en los meses de diciembre, enero y febrero (2020-2021), para lo cual se identificaron 3 puntos de muestreo por cobertura, con una distancia de 200m aguas arriba y aguas abajo, teniendo un total de 9 puntos. La metodología aplicada se desarrolló en dos fases: la primera se basa en el muestreo realizado en campo (recolección de macroinvertebrados y toma de muestras de agua) para el análisis de los parámetros físico químico: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, temperatura, y la aplicación de los índices: de hábitat fluvial (IHF) y calidad de bosque de ribera (QBR); en la segunda fase se realizó un análisis estadístico para determinar los índices de diversidad: Shannon– Weaver (H'), Simpson (I-D), Pielou (J') y el índice biótico de calidad BMWP-Cr. Se obtuvo como resultado un total de 1302 especies distribuidos en 10 órdenes, 22 familias y 26 géneros, siendo los géneros más representativos: <i>Xiphocentron</i> con 37,5%, seguido del género <i>Baetodes</i> con 33,3%. La aplicación del Índice (QBR), detalla que el uso de suelo bosque posee una mejor calidad de agua buena-intermedia entre los tres usos de suelo, mientras que el índice (IHF) presenta que la cobertura de</p>		

	<p>bosque posee un calidad buena-moderada. De acuerdo a la aplicación del índice BMWP-Cr, se obtuvo como resultado que el estero El Barro prevalece la calidad de agua mala muy contaminada (16-35).</p> <p>Abstract: The analysis of aquatic macroinvertebrates as bioindicators of water quality and the influence of soil uses in the el Barro micro-water, located in the canton Quevedo, allowed to know the prevalence of macroinvertebrate families (MAIA) based on land uses: Agricultural, Forest and Mine. The project was developed in December, January and February (2020-2021), for which 3 sampling points were identified per coverage, with a distance of 200m upstream and downstream, having a total of 9 points. The methodology applied was developed in two phases: the first is based on field sampling (macroinvertebrate collection and water sampling) for the analysis of chemical physical parameters: pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, total dissolved solids, temperature, and application of indices: river habitat (IHF) and river forest quality (QBR); In the second phase, a statistical analysis was carried out to determine the diversity indices: Shannon– Weaver (H) , Simpson (I-D), Pielou (J) and the biotic quality index BMWP-Cr. A total of 1302 species were obtained in 10 orders, 22 families and 26 genera, the most representative genera being Xiphocentron with 37.5%, followed by the genus Baetodes with 33.3%. The application of the Index (QBR) details that forest land use has a better quality of good-intermediate water between the three land uses, while the index (IHF) presents that forest cover has a good-moderate quality. According to the application of the BMWP-Cr index, it was obtained as a result that in the micro-water El Barro prevails the quality of bad water very contaminated (16-35).</p>
Descripción:	
URI:	

Introducción

El agua es primordial para el desarrollo de la vida, es considerado un recurso finito, requerido en la ejecución de todas las actividades, actualmente no se conoce ninguna sustancia que pueda sustituir a este líquido vital, por esa razón, es considerado como el recurso que definirá el desarrollo sostenible; la disponibilidad y calidad de las aguas son indicadores empleados para calcular el índice de sostenibilidad ambiental (1).

Para lograr el uso eficiente del agua se debe realizar un monitoreo o control de su distribución y correcto fin, en la medida que se emplea el agua, se han suscitado ciclos antrópicos, los cuales no son ejecutados por completo, porque se capta el agua de las fuentes naturales en condiciones mejores a las que habitualmente se las devuelve a los cuerpos de agua (2).

Cada día es más notorio la problemática del deterioro de la calidad de agua en las cuencas y microcuencas, las principales fuentes de contaminación son los vertidos de aguas residuales urbanas e industriales, sin previo tratamiento, la mala práctica agrícola, el bombeo de aguas subterráneas de manera incontrolada, teniendo en cuenta que cada actividad genera graves consecuencias como: contaminación microbiológica del agua, transmisión hídrica de enfermedades; pérdida de ecosistemas acuáticos, pérdida de suelos por erosión, disminución de la capacidad productiva en suelos regados, entre otros (2)

Se debe tener presente que la diversificación de usos de suelos genera alteraciones biológicas, físicas y químicas al sistema natural, cooperando al decrecimiento de la calidad hídrica, alteraciones en los ecosistemas acuáticos de ahí la importancia de determinar mediante índices e indicadores los cambios en las cuencas hídricas (3).

Las macroinvertebrados acuáticos (MAIA) son considerados importantes para la evaluación de la calidad del agua, ya que estas especies habitan en aguas con ciertas características específicas; es importante mencionar que cada familia presenta una ponderación por lo que permiten fácilmente deducir el estado de los ecosistema acuático como: nivel de oxígeno y el grado de contaminación orgánica (4).

Dado la importancia de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de hídrica, el presente proyecto de investigación tiene como finalidad la identificación del grado de contaminación del estero El Barro, por medio de los parámetros fisicoquímicos, la aplicación de los índices de diversidad Shannon– Weaver (H'), Simpson (I-D), Pielou (J') e índice de calidad BMWP-Cr, y conocer la influencia que ocasionan los diferentes usos de suelo (bosque, agrícola y mina de extracción de piedra) en la calidad del agua.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El deterioro de la calidad de las cuencas hídricas es un problema evidente y preocupante, el crecimiento demográfico actual genera una gama de problemáticas sociales, económicos y ambientales, esto conlleva al uso en mayor proporción de los recursos, razón por la cual la expansión agrícola indiscriminada es una realidad para satisfacer las necesidades de las personas.

Las actividades agrícolas hacen uso intensivo del suelo, además de causar el impacto de cambiar la estructura y diversidad de los ecosistemas donde se implanta, dado que generalmente la agricultura requiere el desbroce y tala de bosques para establecer los cultivos, lo cual provoca una alteración representativa del ecosistema, que podría modificar también la composición de organismos presentes en los hábitats acuáticos que los atraviesan, entre ellos las comunidades de macroinvertebrados, que suelen ser utilizados como bioindicadores de la calidad del agua y del ecosistema en general.

El estero El Barro ubicado entre los cantones Buena Fé y Quevedo cuenta con diferentes usos de suelo, siendo: agrícola, bosque, y mina de extracción de piedra. Estas actividades generan un impacto a las zonas ribereñas provocando cambios en la estructura de las comunidades acuáticas de macroinvertebrados y alterando el ciclo de vida de las microcuencas.

1.1.1. Diagnóstico del problema

En base a la falta de cumplimiento de la legislación ambiental, y el uso inadecuado de los recursos naturales, el estero El Barro se ve afectado por las actividades antropogénicas como la agricultura, y mina de extracción de piedra, razón por la cual la calidad de agua de las cuencas hídricas del cantón Buena Fé y Quevedo se encuentran alteradas, además se presencia la pérdida de riberas, y disminución de macroinvertebrados acuáticos.

1.1.2. Pronóstico del problema

El deterioro progresivo de la calidad hídrica y sus riberas por las actividades antropogénicas que se desarrollan en el lugar, provoca repercusiones directas a los hábitats teniendo como resultado la degradación de ecosistemas acuáticos. Suscitando la pérdida de información relevante sobre los macroinvertebrados bentónicos existentes y su interacción en los puntos de monitoreo. Además, de afectaciones a la calidad de vida de las personas que radican cerca de estas cuencas en vista que estas aguas son empleadas para fines recreativos en contacto primario.

1.1.3. Formulación del problema

¿Existirá alguna relación entre los usos del suelo y los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad hídrica?

1.1.4. Sistematización del problema

¿El estero El Barro presenta diversidad de macroinvertebrados acuáticos?

¿Cuál es el estado de la zona ribereña del estero El Barro?

¿El uso del suelo influye en la calidad del agua del estero El Barro?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad hídrica y la influencia del uso de suelo del estero El Barro, Los Ríos, Ecuador.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar la diversidad y estructura de los macroinvertebrados muestreados del estero El Barro.
- ✓ Diagnosticar la zona ribereña del estero El Barro a través del índice QBR e IHF
- ✓ Examinar la influencia del uso del suelo en la calidad del agua a través del índice BMWP-Cr, y los parámetros fisicoquímicos.

1.3 Justificación

Los cuerpos de agua son primordiales para el desarrollo de la vida humana, por ende, el estudio de sus elementos es de vital importancia, la cual consiste en que la comunidad se relacione con el cuidado y preservación de este recurso. Razón por la cual es de gran interés conocer el estado actual de las microcuencas hídricas, y los macroinvertebrados acuáticos (MAIA) son taxones que permiten predecir el grado de contaminación que presenta un cauce debido a que algunos habitan en condiciones específicas, siendo fundamentos primordiales y factibles para establecer un criterio sobre la calidad del agua.

La presente investigación se llevó a cabo en el estero El Barro, en virtud que no se han registrado estudios en esta zona, con el fin de identificar la presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad hídrica. Por consiguiente, se considera importante la aplicación de estudios que permitan conocer el estado actual y real de la calidad del agua, como bien sabemos este es un recurso utilizado para múltiples actividades, por lo que su uso debe ser regulado.

Para corroborar la prevalencia de macroinvertebrados se realizaron tres muestreos y recolección de indicadores biológicos (MAIA) en los diversos usos de suelo, fortaleciendo la investigación con el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y aplicación de diversos índices como índice biológico BMWP-Cr e índices IHF, QBR, Shannon, Simpson y Pielou que nos permiten identificar aspectos de heterogeneidad físicos. Información que servirá como bases para futuras investigaciones concernientes a la calidad del agua, y así priorizar la conservación de los ecosistemas acuáticos y sus zonas riparias.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Calidad del agua

La calidad del agua es el grupo de concentraciones, especificaciones, sustancias orgánicas e inorgánicas y la composición y estado de la biota encontrada en el cuerpo de agua; la calidad del cuerpo de agua muestra variaciones espaciales y temporales debido a factores internos y externos del cuerpo de agua (5).

2.1.2. Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (6).

La ventaja de los métodos fisicoquímicos se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas; además, la elección de las especies debe ser cuidadosa ya que de esta depende la evaluación de la calidad del recurso, que generalmente solo se realiza para un uso determinado, a diferencia de las fisicoquímicas, que permiten una evaluación para diferentes tipos de uso (6).

2.1.2.1. Parámetros físicos

De acuerdo con (5), los parámetros físicos son aquellos parámetros que podemos percibir por los sentidos del tacto, olor y sabor, siendo los más usualmente utilizados a continuación.

a) Sabor y olor

El sabor y olor del agua son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva, para las cuales no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida; tienen un interés evidente en las aguas potables destinadas al consumo humano (7).

b) Color

Existen dos tipos de color: el verdadero y aparente; el primero es el que se debe a las sustancias disueltas una vez eliminada la turbiedad; el segundo es el que resulta de las sustancias disueltas como por ejemplo las materias en suspensión, y pueden deberse a la presencia de materias orgánicas coloreadas o de minerales como el hierro; los colores reales aparentes son aproximadamente idénticos en el agua clara y en las aguas de turbidez muy débil (8).

c) Turbidez

Autores mencionan que la turbidez es una medida de la capacidad de un agua para dispersar y absorber la luz en línea recta a través de una muestra y es indicativa de la presencia de material disperso, emulsificado o suspendido, es importante su consideración por tres aspectos fundamentales: antiesteticidad, movilidad y filtrabilidad de contaminantes y eficacia de la desinfección (9);

Además, el autor menciona que este último factor es uno de los más importantes, ya que en aguas turbias muchos organismos patógenos pueden quedar protegidos y la transparencia del agua es importante.

d) Conductividad

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, es indicativa de materia ionizable total presente en el agua, a continuación, se indicará cuando la medida de la conductividad del agua es buena (7):

- ✓ No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables
- ✓ Las mediciones se realicen a la misma temperatura
- ✓ La composición del agua se mantiene relativamente constante.

2.1.2.2. Parámetros químicos

Los parámetros químicos están relacionados con la capacidad de solvencia del agua, por lo que no resultan ser tan fáciles de determinar cómo los parámetros físicos; Para la determinación de los parámetros químicos, se necesita de un laboratorio que se realice pruebas específicas; los parámetros químicos más importante para determinar en la calidad del agua son: sólidos disueltos, alcalinidad, dureza, metales, sustancias orgánicas y nutrientes (5).

a) Sólidos disueltos

Son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada; corresponde al residuo seco con filtración previa; el origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico e inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales; aunque, para las aguas potables se indica un valor máximo deseable de 500 ppm, el valor de los sólidos disueltos no es por sí solo suficiente para determinar la bondad del agua (7).

b) Alcalinidad

Es la cantidad de iones que se encuentran presentes en el agua, los que reaccionan para neutralizar los iones del hidrógeno; la alcalinidad se puede comparar con la habilidad del agua para neutralizar los ácidos; los iones más comunes son el carbonato, bicarbonato y

óxido de hidrógeno; los efectos más notorios de la alcalinidad en el agua son el sabor amargo en el agua y las reacciones con algunos cationes del agua, lo cual produce obstrucciones en la tubería o sus accesorios, como codos o válvulas (5).

c) Dureza

Es la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, mide la capacidad del agua para producir incrustaciones; afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales, siendo la principal fuente de unidades de la alcalinidad, y se determina mediante adición de base. Se corrige por neutralización con álcalis (7).

d) Metales

Se denominan como los elementos que se hallan en el agua, estos se clasifican, según su efecto sobre el ser humano (5), a continuación se presentan:

- ✓ Los metales no tóxicos son los siguientes: sodio, el hierro, el manganeso; Sin embargo, cualquiera de ellos en cantidades excesivas se puede convertir en un elemento tóxico; por ejemplo, el sodio en exceso causa un sabor amargo al agua, así como problemas en los riñones y corazón;
- ✓ Los metales tóxicos más conocidos son el plomo, el mercurio, cadmio, arsénico y zinc; que causan problemas en la salud humana aun en cantidades pequeñas; los metales se encuentran en la cadena alimenticia y se biomagnifican al pasar de un nivel trófico al otro.

e) Sustancias orgánicas

Los elementos orgánicos se clasifican según su degradación, en biodegradables o no, a continuación, se detalla cada uno de ellos (5):

- ✓ Las sustancias biodegradables son aquellas utilizadas como alimento por los microorganismos en cierto tiempo. Los más comunes son azúcares, grasas, proteínas, alcoholes, ácidos y aldehídos;
- ✓ La degradación de las sustancias orgánicas es realizada por los microorganismos a través de los procesos bioquímicos de oxidación o reducción. Para que dichos procesos ocurran, se necesita de oxígeno; de allí surge el parámetro; demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el cual mide la cantidad del oxígeno que requieren los elementos orgánicos para ser degradados;
- ✓ Las sustancias no biodegradables son, entre otras, los ácidos tánicos y liginico, la celulosa, el benceno y los polisacáridos.

f) pH

Es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Por convención está definido como: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$, por el análisis químico se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14, donde el intervalo de (0-7) es más ácido y de (7-14) es más básico (10).

La escala de valores del pH se asemeja a la de un termómetro; mientras que la escala de un termómetro mide la intensidad del calor, el pH mide la intensidad de la acidez o basicidad, es muy importante decir que el pH mide un grado de acidez o de alcalinidad, pero no determina el valor de la acidez ni de la alcalinidad, el pH se puede medir en el campo o en el laboratorio por medio de instrumentos electrónicos (pHchímetro) (10).

2.1.3. Biomonitorio

El biomonitorio se basa en muestreos periódicos (semestrales), para implementar un control de calidad o un programa de vigilancia a través del tiempo; en ambos casos es importante tener una muestra de referencia, la cual puede ser en el tiempo (antes del inicio de la actividad) o espacial (sitio de referencia, sin el disturbio a evaluar) (11);

Por demás, en los estudios de monitoreo a largo plazo, deben contar con un estudio de “línea base”, o sea muestreos antes del inicio de cualquier actividad; este estudio de referencia facilitará la evaluación de posibles impactos durante y después del desarrollo del proyecto y ayudará a tomar medidas correctivas, en caso necesario.

Los bioindicadores se utilizan a diferentes niveles, desde el nivel individual (a través de biomarcadores) hasta el de población, comunidad o ecosistema (11).

2.1.4. Bioindicadores

Se puede considerar a los bioindicadores como complemento a los análisis físico-químicos y microbiológicos para la determinación de la calidad del agua (12). Los macroinvertebrados acuáticos se consideran actualmente como los mejores bioindicadores de la calidad del agua, debido a su tamaño, a su amplia distribución y a su adaptación a diferentes variables fisicobióticas, se considera que un organismo es buen indicador de calidad de agua, cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es superior al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat (13). Los bioindicadores se utilizan para dos tipos de estudios: el diagnóstico o evaluación rápida, que es puntual en el tiempo (una única fecha de muestreo) y usualmente se basa en la comparación entre sitios (11).

2.1.5. Macroinvertebrados Bentónicos acuáticos

De acuerdo a algunos autores los macroinvertebrados bentónicos son uno de los grupos de organismos acuáticos más utilizados para la evaluación y monitoreo del deterioro ambiental en un ecosistema acuático, y se debe tener el conocimiento previo de la biota que caracteriza la zona de estudio (14);

Además, los macroinvertebrados bentónicos se encuentran en todo tipo de ambiente acuático de agua dulce, como ríos o lagunas, donde son importantes para el monitoreo de ese ecosistema acuático en particular.

2.1.5.1. Ventajas y desventajas de los macroinvertebrados bentónicos

a) Entre las ventajas que posee cualquier macro invertebrado que conforme una tasa bioindicadora se pueden mencionar las siguientes (14):

- ✓ La naturaleza sedentaria de muchas especies facilita la evaluación espacial de efectos adversos a largo plazo en la comunidad;
- ✓ Presentan ciclos de vida relativamente cortos comparados con los peces y reflejan con mayor rapidez las alteraciones del medio ambiente mediante cambios en la estructura de sus poblaciones y comunidades;
- ✓ Son de amplia distribución, abundantes y de fácil recolección por su tamaño que los hace visibles a simple vista;
- ✓ Viven y se alimentan en o sobre los sedimentos donde tienden a acumularse las toxinas, las cuales se incorporan a la cadena trófica a través de ellos;
- ✓ Son sensibles a los factores de perturbación y responden a las sustancias contaminantes presentes tanto en el agua como en los sedimentos.

b) Entre las desventajas de cualquier macro invertebrado que conforme un taxón bioindicadora se pueden mencionar las siguientes (14):

- ✓ Se trata de una comunidad heterogénea y la taxonomía de algunos grupos no es bien conocida;
- ✓ Las variaciones estacionales o de dinámica de la población puede interferir en la interpretación o comparación de resultados.

2.1.6. Índice BMWP-Cr

Este índice fue propuesto a partir del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), el cual constituye un indicador de diversidad taxonómica y valoración relativa a nivel de familia; el puntaje de 10 indica familias que no aceptan contaminantes, y el puntaje de 1, a aquellas que toleran gran cantidad de éstos; el índice considera únicamente la presencia de

familias y no la abundancia de individuos, y su cálculo se puede definir mediante la siguiente ecuación (15);

$$BMWP-CR = \sum V_i$$

Donde:

BMWP-CR = Índice biológico

BMWP-CR para un sitio determinado

V_i = Valor constante de calidad de agua para la familia i (valor establecido del 1 al 10 para cada familia).

2.1.7. Cuencas Hidrográficas

Las cuencas hidrográficas hacen referencia al área natural de la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal, y de esta manera se forma un sistema interactivo en espacio y tiempo, teniendo presente que el ser humano realiza diversas actividades es está hábitat (16).

Las cuencas hidrográficas muestran el desarrollo histórico de las poblaciones, intereses y hábitos, lo cual denota la organización del territorio y de las prácticas productivas que se realizan, por lo tanto, deben ser tratadas como unidades de planificación de ordenamiento territorial y gestión adecuada (16).

La delimitación de una cuenca hidrográfica por su divisoria de aguas, establece un sistema de drenaje (con un río y sus afluentes), por el cual la precipitación caída corre por su superficie, y se concentra en un punto de desembocadura del cauce, contemplando simplemente elementos físicos (topográficos) y biológicos; está conformada por diferentes unidades ecológicas, las cuales se definen por sus características naturales y unidades socio-políticas (comunas, provincias o regiones) (17).

2.1.8. Cobertura y uso de suelo

Este término hace énfasis al tipo de cubierta ya sea esta natural o producida por la intervención humana, que se encuentra en la superficie (pasto, cultivo, ciudad, entre otros), mientras que el uso es el conjunto de actividades que el ser humano desarrolla en relación con cierto tipo de cobertura, y está asociado con los fines sociales y económicos (agricultura comercial, ganadería intensiva, entre otros) (18).

2.1.9. Índice de Shannon-Wiener

Uno de los índices más utilizados para cuantificar la biodiversidad específica es el de Shannon, también conocido como Shannon-Weaver, el índice refleja la heterogeneidad de

una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (19).

Conceptualmente es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad; esto es, si una comunidad de S especies es muy homogénea, por ejemplo, porque existe una especie claramente dominante y las restantes S-1 especies apenas presentes, el grado de incertidumbre será más bajo que si todas las S especies fueran igualmente abundantes (19).

2.1.10. Índice de dominancia de Simpson

Desde el punto de vista de (20), el índice de Simpson varía inversamente con la heterogeneidad, por ejemplo, los valores del índice decrecen o aumentan según aumenta o decrece la diversidad. Es en realidad un índice de dominancia, sobrevalora las especies más abundantes en detrimento de la riqueza total; el índice de Simpson (D) mide la diversidad como $D = \Sigma 1/(p_i^2)$;

El valor de D se encuentra acotado entre 0 y s, tiende a cero en comunidades poco diversas, y es igual a la riqueza específica (s) en comunidades de máxima equitatividad ($E = \Sigma 1/(s * p_i^2)$) (20).

2.1.11. Índice de equidad de Pielou

Este índice de equidad es adecuado para usarse con la medida de diversidad de Shannon-Wiener, además, este estimador es independiente del número de especies, su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (21).

2.1.12. Índice de calidad del bosque de ribera (QBR)

Para este índice se considerará el estado de la cubierta vegetal, su estructura, la calidad herbácea y arbórea, estado natural del cauce. El rango de calidad se determina mediante la suma de las puntuaciones según las categorías ya establecidas, obteniendo un resultado final el cual indicará al nivel de calidad que pertenece; el valor máximo que presenta este índice es de 100 y para ello debe tener una alta calidad de hábitat fluvial y de conservación de ribera respectivamente (22).

2.1.13. Índice de hábitat fluvial (IHF)

El índice IHF valora los aspectos físicos relacionados con la heterogeneidad de hábitats que dependen en gran medida a la hidrología y del sustrato existente y al igual que el Índice QBR, los datos son evaluados a través de un valor determinado en una ficha correspondiente donde se determina la frecuencia de rápidos, la existencia de distintos regímenes de

velocidad y profundidad, el grado de inclusión y sedimentación en pozas, y la diversidad y representación de sustratos (23).

Además, de la presencia y dominancia de distintos elementos de heterogeneidad, el origen autóctono, mayoritariamente de la vegetación de ribera y la limitación claros en los cauces, condicionando así la existencia de gradientes ambientales de transición entre el río y la vegetación terrestre adyacente (23).

2.2. Marco referencial

- ✓ En cuanto al estudio realizado sobre la evaluación de la calidad del agua de tres esteros ubicados en el cantón El Empalme, durante los meses de: noviembre, diciembre, enero y febrero; en el estero “El Limón” se recolectó un total 686 individuos, que corresponde al 61% del total de la muestra, y se aplicó el índice biológico BMWP-Cr que determinó que el estero mantiene una calidad buena de agua, con el índice QBR se comprobó que el presente estero se encuentra sin alteraciones a su estado natural; en el estero “La S” se recolectó un total de 300 individuos de MAIA, que corresponde al 26% del total de la muestra, y con la aplicación del índice BMWP-Cr se determinó que la calidad del agua del estero es “regular”; el índice QBR demostró que el estero presenta alteraciones en su cubierta vegetal debido a plantaciones de Palma Africana; mientras que en el estero “El Guayabo” se recolectó un total de 132 individuos, representando una fracción pequeña del 13% del total de la muestra, el índice BMWP-Cr evidencio que el agua es de “mala calidad”, el índice QBR mostró resultados negativos en cuanto a la evaluación de la cubierta vegetal (24).
- ✓ La investigación realizada con la temática “Determinar la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y su relación con los usos de suelo en el río Puenbo Grande del cantón Pujilí”, se llevó a cabo con tres usos de suelo (plantación forestal, cultivo agrícola y pastizal) y se aplicaron los índices de: Simpson, Shannon y Margalef, reflejando resultados con diferencias significativas en cada uno de los sitios evaluados; los índices IHF y QBR señalan que las afectaciones existentes en el río Puenbo Grande, se deben por las actividades antropogénicas que se realizan en las riberas del río, el índice BMWP- Cr determinó que la plantación forestal tiene una calidad de agua “excelente”, en cultivo agrícola y en pastizal presentó una calidad “regular”, eutrofizadas y contaminación moderada (25).

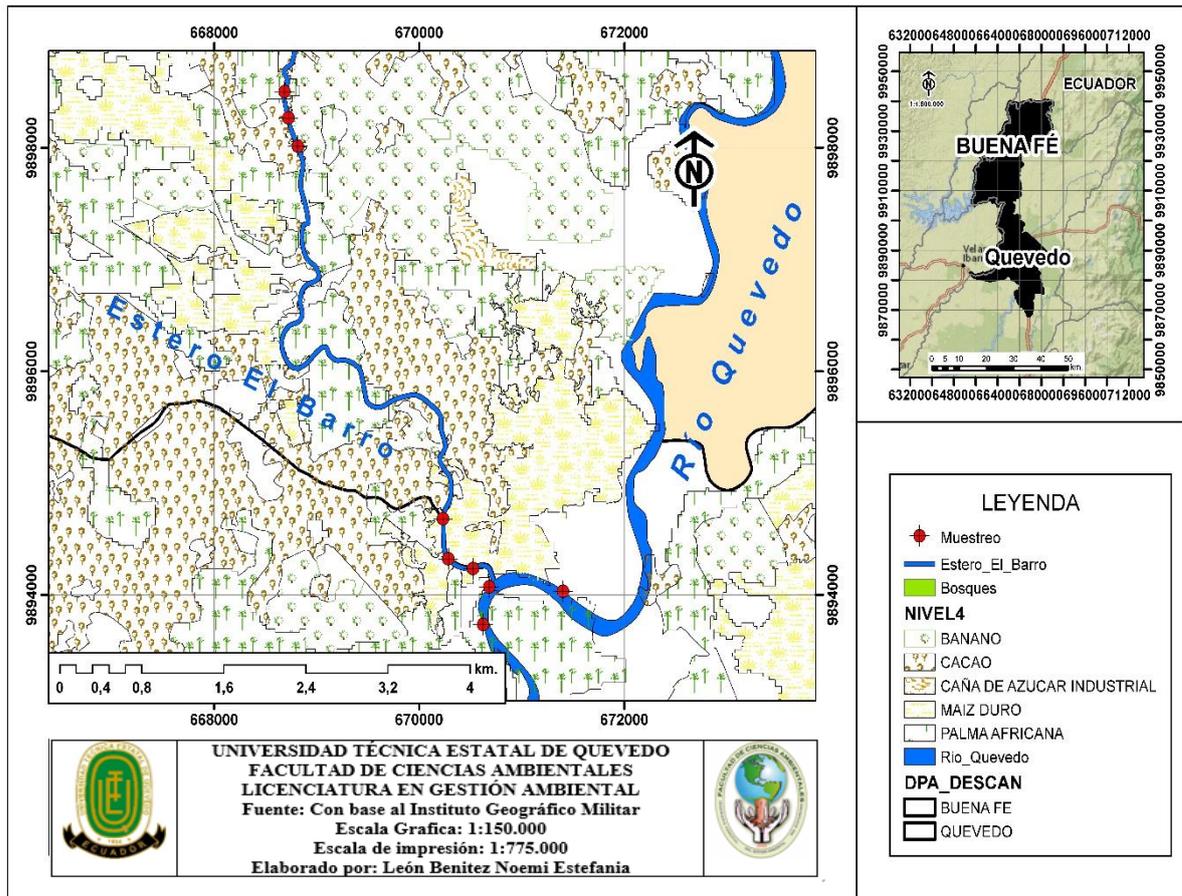
- ✓ La publicación realizada en el río San Pablo menciona que el presente cauce sufre alteraciones directas en la presencia de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, por las diferentes actividades antropogénicas; mediante la investigación de los componentes hidromorfológicos y utilización de los índices IHF, QBR se determinó que en el tramo de bosque existe una superior calidad de agua a discrepancia de las zonas urbanas y agrícolas; el índice BMWP-Cr permitió apreciar la calidad del agua por medio de la utilización de macroinvertebrados bentónicos, cuyos resultados demuestran que la calidad del agua sufrió una depreciación, conjuntamente se determinó que en la zona boscosa existe una mejor calidad de agua, a excepción de los puntos restantes, donde predomina la calidad mala de agua, contaminada, esto se debe al desarrollo en la agricultura y asentamientos humanos cercanos al afluente (26).
- ✓ La investigación titulada “Variación de la comunidad de macroinvertebrados y la relación con las características ambientales en riachuelos en el páramo del Macizo del Cajas”, determinó que la comunidad de MAIA es diferente entre las estaciones y los ríos por algunas variables fisicoquímicas; además, en este se aplicó el índice de diversidad Shannon y el índice IHF, los cuales reflejaron resultados de poca diversidad y a partir del PCA tiene una influencia negativa sobre la presencia de los macroinvertebrados; se observó que la estación río Tenguel (RTN2) presenta valores ambientales aceptables, siendo considerado un hábitat saludable, razón por la cual puede ser utilizada como hábitat de referencia por su estructura y condición fluvial, vegetación ribereña y su estado ecológico (23).
- ✓ La investigación de “Análisis de la diversidad de macroinvertebrados en el río Pindo grande, sector Estación Biológica Pindo Mirador, provincia de Pastaza”, realizó un análisis taxonómico de los macroinvertebrados acuáticos encontrados durante el período y área de estudio, obteniendo como resultado 37 familias, siendo las más representativas Leptohyphidae y Chironomidae, con una abundancia de 1907 y 1066, se determinó que los puntos P4 y PB presentan mayor riqueza y abundancia, además, se encuentran sin alteraciones debido a que no existe intervención alguna de asentamientos humanos, el índice QBR demostró una calidad de 10, el índice BMWP demostró que la calidad de agua en el río Pindo Grande fue de aceptable a buena (22).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización del área de estudio

En el área de estudio comprende el estero El Barro ubicado entre los cantones Buena Fé y Quevedo, donde se establecieron los puntos de monitoreo en tres usos de suelo, el primero ubicado en el cantón Buena Fe, con un uso de suelo agrícola, los dos siguientes puntos se encontraron en el cantón Quevedo, con uso de suelo bosque y mina de extracción de piedra.

Ilustración 1: Mapa del área de estudio.



ELABORADO: AUTORA

3.1.1. Selección del área de muestreo

La selección del área de muestreo se realizó en el estero El Barro, en función a los usos del suelo: agrícola, bosque y mina. Se escogieron 3 puntos de monitoreo para cada uso de suelo, cada estación de muestreo se ubicó a 200m, aguas arriba y aguas abajo; para aquello se utilizó la aplicación mobile topographer el cual permitió identificar y establecer los puntos de muestreo. En la tabla 1, se detallan las coordenadas y características de la estación de muestreo por uso de suelo.

Tabla 1: Características del sitio de estudio.

	Puntos de muestreo		Coordenadas UTM		Características de las zonas ribereñas
			(X)	(Y)	
USO DE SUELO	Agrícola	P1	668763,743	9898401,335	Plantaciones de cacao y banano, el cuerpo de agua es correntoso
		P2	668711,504	9898270,413	
		P3	668734,841	9898208,256	
	Bosque	P1	670231,813	9894682,325	Profundidad media, abundante vegetación, cuerpo de agua es correntoso, gran cantidad de grava, piedra.
		P2	670371,376	9894236,698	
		P3	670509,267	9894310,629	
	Mina de extracción de piedra	P1	671367,217	9893991,616	La presente cuenca hídrica no cuenta con abundante zona riparia, el cuerpo de agua es correntoso
		P2	670652,561	9894086,969	
		P3	670353,630	9893739,862	

ELABORADO: AUTORA

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es: diagnóstica, descriptiva y exploratoria, a través del reconocimiento, monitoreo, descripción de las familias de macroinvertebrados acuáticos, aplicación del índice BMWP-Cr, y recolección de muestras de agua para el análisis de los parámetros fisicoquímicos. Además, mediante la aplicación del índice (IHF), y el índice de calidad (QBR) se logró analizar el estado actual de las microcuencas.

3.3. Métodos de investigación

✓ Método de observación

Mediante la ejecución de la observación directa se determinó el área de estudio, según cada cobertura de suelo y los puntos de monitoreo que se determinó a 200m aguas arriba y aguas abajo, donde se evaluó la situación actual e inferir en la serie de problemas referentes a la calidad del agua, a través de la determinación de bioindicadores acuáticos (macroinvertebrados).

✓ Método deductivo

Este método se empleó con la aplicación de los índices de diversidad, riqueza, abundancia y equitatividad mediante la ejecución de un software especializado y permitió obtener datos de los MAIA, se empleó para el respectivo análisis de resultados.

3.4. Fuentes de recopilación de información

Para el presente proyecto de investigación, se obtuvo la información de: Fuente primaria: Mediante observación directa y recolección de muestras. Fuente secundaria: Por medio de libros online, artículos científicos.

3.5 Diseño de la investigación

El proyecto se realizó en la cuenca baja del río Quevedo, en tres diferentes usos de suelo (agrícola, bosque y mina de extracción de piedra) y se llevó a cabo de manera experimental, recolectando muestras de MAIA de manera in situ cada 15 días, durante los meses diciembre del 2020 y enero, febrero del 2021, además se debe tener en cuenta que el proyecto se llevó a cabo en época seca a invernal.

3.5.1. Diversidad y estructura de los macroinvertebrados del estero “El Barro” Los Ríos, Ecuador

La metodología utilizada para la recolección de muestras de macroinvertebrados consistía que a las riberas y fondo del estero se recolectara MAIA con la ayuda de una red tipo “D-net” contracorriente, esta muestra se limpiaba con el agua del estero para visualizar con mayor precisión a los macroinvertebrados, luego se procedió a guardar la muestra de cada punto en los recipientes que contenían alcohol al 70% previamente rotulados (27).

La respectiva identificación de indicadores biológicos de la calidad del agua se llevó a cabo en el laboratorio de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en donde se utilizó el estereoscopio y para la caracterización de MAIA se utilizó la guía rápida para la identificación de macroinvertebrados (28). Se emplearon los índices de diversidad (Tabla 2) de Shannon– Weaver que permite establecer la biodiversidad específica, la dominancia a través del índice de Simpson que admite determinar la biodiversidad de un hábitat, y el índice de Pielou que posibilita calcular la equidad de especies.

Tabla 2: Identificación de los índices de biodiversidad, dominancia y riqueza.

Índice de diversidad, dominancia, y riqueza de especies	de Ecuación	Características
Shannon – Weaver (H')	$H' = -\sum_{i=1}^K p_i \log p_i$ K: es el número de categorías. p _i : es la proporción de observaciones en cada categoría. n _i : es el número de individuos por especie.	Uno de los índices más utilizados para cuantificar la biodiversidad específica. La diversidad máxima se alcanza cuando todas las especies están igualmente presentes.

	N: es el número total de individuos en una muestra.	El valor del índice varía de 0,0 a 5,0
Simpson (I-D)	$D_s = 1 - \sum ni(ni-1)/N(N-1)$ ni: es el número de individuos de una especie. N: es el número total de individuos.	Determina la dominancia de las especies más comunes, su valor va de 0 a 1.
Pielou (J')	$J = H/\ln(S)$ en donde H = índice de diversidad de Shannon y; S = número de especies (o riqueza).	El valor del índice de diversidad dependerá de la riqueza y la abundancia de especies. Adopta valores entre 0 y 1, el número 1= todas las especies son igualmente abundantes y el 0= la ausencia de uniformidad.

FUENTE: (25).

ELABORADO: AUTORA

3.5.2. Evaluación de la calidad del hábitat fluvial y la calidad de bosque de ribera en el estero El Barro

✓ Calidad de bosque de ribera (QBR)

Para la aplicación del índice de bosque ribera, se determinó el sitio de estudio y los puntos de muestra, además se tomó en cuenta la zona riparia en ambos márgenes del estero. Los aspectos a evaluar fueron: grado de cubierta de la zona, estructura de cubierta de la zona de ribera, calidad de cubierta de ribera y el grado de naturalidad del canal fluvial, el puntaje máximo para cada aspecto será 25 puntos (26).

Tabla 3: Niveles de calidad de conservación de la vegetación de ribera.

Nivel de Calidad	QBR	Color
Vegetación de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural	≥ 95	
Vegetación ligeramente perturbada, calidad buena	75-90	
Inicio de alteración importante, calidad intermedia	55-70	
Alteración fuerte, mala calidad	30-50	
Degradación extrema, calidad pésima	≤ 25	

FUENTE: (26).

ELABORADO: AUTORA

✓ Índice del hábitat fluvial (IHF)

Con el propósito de valorar la influencia de calidad de hábitat fluvial se utilizó el índice de (IHF) expuesto a continuación en la (Tabla 4). Para la aplicación del presente índice se recopiló siete bloques los cuales fueron estudiados de manera autónoma, y al culminar se alcanzó un puntaje entre los rangos de 0 a 100, y con ese resultado se determinó la calidad del índice de hábitat fluvial.

Tabla 4: Niveles de calidad en base al índice IHF.

Nivel de Calidad	IHF	Color
Muy alta diversidad de hábitats (Muy Buena)	> 90	
Alta diversidad de hábitats (Buena)	70-89	
diversidad de hábitats media (Moderada)	50-69	
Baja diversidad de hábitats (Deficiente)	30-49	
Muy baja diversidad de hábitats (Mala)	< 29	

FUENTE: (23).

ELABORADO: AUTORA

3.5.3. Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en el estero El Barro a través del índice BMWP-Cr, y los parámetros fisicoquímicos.

✓ Índice BMWP-Cr

Se aplicó el índice BMWP-Cr, para determinar la calidad del agua (Tabla 5) de la cuenca baja del río Quevedo, estero El Barro; con usos de suelo (agrícola, bosque y mina de extracción de piedra), para lo cual se suman las puntuaciones según la familia de MAIA encontradas en el muestreo y su grado de sensibilidad a la contaminación, el resultado de la suma refleja la categoría de calidad de agua a la que corresponde, en este índice se obtiene valores comprendidos entre 0 y un máximo que, no suele superar 200, de acuerdo al puntaje se establecen seis niveles de calidad de agua (26).

Tabla 5: Nivel de calidad del agua en función del puntaje total obtenido en el índice BMWP-Cr.

Nivel de Calidad	BMWP-Cr	Color
De calidad excelente	> 120	
De calidad buena, no contaminada o no alterada de manera sensible	101-120	
De calidad regular, eutrofia, contaminación moderada	61-100	
De calidad mala, contaminada	36-60	
De calidad mala, muy contaminada	16-35	
De calidad muy mala, extremadamente contaminada	<15	

FUENTE: (26).

ELABORADO: AUTORA

✓ **Parámetros fisicoquímicos**

Para la identificación de la calidad del agua se determinaron las variables fisicoquímicas del estero según el uso de suelo correspondiente (agrícola, bosque y mina de extracción de piedra), se empleó el equipo multiparametros Water Quality meter, el mismo que permitió medir las variables de: temperatura ($^{\circ}$ C), pH, conductividad eléctrica (μ S), sólidos disueltos totales (ppm), oxígeno disuelto (Mg/L), los cuales fueron recolectados de manera *in situ*.

La información recolectada en el monitoreo se vinculó para determinar la relación existente entre los parámetros fisicoquímicos y los macroinvertebrados existentes en los diferentes usos de suelos evaluados utilizando el análisis de redundancia.

3.6 Instrumentos de investigación

Con respecto a la elaboración de esta investigación se emplearon distintas herramientas para alcanzar los objetivos planteados, además se ejecutaron los índices biológicos y ecológicos, con el índice BMWP-Cr se obtuvo la determinación de la calidad del agua de la cuenca baja del río Quevedo, estero El Barro, con el índice QBR se identificó el estado actual de la zona riparia de cada punto de monitoreo, y la identificación de los macroinvertebrados acuáticos se logró por medio de los índices Shannon– Weaver (H'), Simpson (I-D), y Pielou (J').

3.7. Tratamiento de los datos

✓ Índices de diversidad

Para evaluar la estructura y abundancia de macroinvertebrados se empleó el programa estadístico PAST que posibilitó la determinación de la diversidad, dominancia y riqueza de géneros por medio de los índices Shannon– Weaver (H'), Simpson (I-D), y Pielou (J'), y mediante ANOVA con el índice de Kruskal Wallis. Con respecto a los datos muestreados en campo, con resultados de ponderaciones en cuanto a índices de diversidad e índice BMWP-Cr se tabularon en las hojas de cálculo de Microsoft Excel y posteriormente se procedió a realizar el análisis de similitud no paramétrica (ANOSIM) y análisis Clúster con permutaciones de 9999, empleando el índice de correlación Bray Curtis, el cual trabaja con un umbral de error de 0,05 y 95% de confianza, es decir, si P es $> 0,05$ no presenta significancia, pero si P es $< 0,05$ presenta significancia.

Para la determinación entre los macroinvertebrados se desarrolló el análisis de redundancia, el cual permitió explicar la variabilidad entre los componentes mencionados. Además, como respaldo a los resultados estadísticos se aplicó la estadística descriptiva mediante el gráfico designado caja y bigote.

3.8. Recursos humanos y materiales

3.8.1. R. Humanos

Ing. MSc. Norma Guerrero Chuez: Directora del Proyecto,

Ing. Carlos Nieto: Tutor académico

3.8.2. R. Materiales

Oficina: libros, pendrive, ordenador, internet.

Campo: lapiceros, navegador (GPS), agua destilada, botas, pinzas, red de mano tipo “D”, alcohol, envases plásticos y vidrios esterilizados.

Laboratorio: alcohol, bata, fichas taxonómicas, estereoscopio, cajas Petri.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diversidad y estructura de los macroinvertebrados muestreados del estero El Barro

Los resultados de la caracterización de los macroinvertebrados acuáticos realizado en el estero El Barro con los diferentes usos de suelo: agrícola, bosque y mina de extracción de piedra, durante los meses de diciembre del 2020, enero y febrero del presente año, se identificó la presencia de MAIA según la mayor abundancia con respecto a los tres usos de suelo: orden Ephemeroptera familia Baetidae de género *Baetodes* con un 12,07%, seguido por el orden Trichoptera familia Xiphocentronidae de género *Xiphocentron* con un 8,62%, y familia Polycentropodidae de género *Polycentropus* con un 7,47%, como se puede evidenciar en la tabla 6.

Resultados similares fueron registrados en el estudio del bosque protector Murocomba, realizado en tres coberturas riparias: bosques nativos, pastos (para agrícola y ganadería) y plantaciones forestales, en las que se recolectaron muestras de macroinvertebrados acuáticos, en las que se obtuvieron como resultado que en los cuerpos hídricos evaluados se recolectó un total de 6 583 individuos, siendo los más representativos el orden Trichoptera con 39,3 %, seguido de los órdenes Coleoptera con 23,5 % y Ephemeroptera con 15,1 % (29).

En cuanto a la abundancia se reflejaron un total de 1302 especies distribuidos en 10 órdenes, 22 familias y 26 géneros (Tabla 7), siendo las órdenes más representativas: Trichoptera de la familia Xiphocentronidae de género *Xiphocentron* con 37,48%, seguido del orden Ephemeroptera de la familia Baetidae de género *Baetodes* con 33,33%.

Resultados que concuerdan con un estudio de caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, donde se obtuvieron como resultados que los principales taxones acuáticos pertenecientes a las órdenes: *Ephemeroptera* con 31,9% y *Trichoptera* con 21,5% (15).

Es importante mencionar los géneros que mostraron valores menores al 0.5% en el monitoreo de las muestras son los siguientes: *Leptonema* con 0,4%; *Neoelmis* con 0,3%; *Traulodes* con 0,2%; *Aeshna* con 0,3%; *Philogenia* con 0,3%; *Macrobrachium* con un 0,3%; *Crenobia* con 0,2% y *Balanteocrilus* con un 0,4%.

Se realizó un monitoreo por mes en los diferentes usos de suelo establecidos, el uso de suelo que demostró una mayor presencia de individuos de macroinvertebrados fue agrícola (M2) del mes de febrero con 84 individuos, seguido de la mina de extracción de piedra (M1) en el mes de febrero con 78 individuos, agrícola (M2) del mes de diciembre con 75 individuos, y

la muestra que tuvo una menor cantidad de macroinvertebrados fue: la mina de extracción de piedra (M3) en el mes de diciembre con 21 individuos, lo que evidencia que la ausencia de cobertura riparia disminuyen la concepción de macroinvertebrados acuáticos.

Tabla 6: Presencia y ausencia de macroinvertebrados acuáticos en los diferentes usos de suelo del estero “El Barro”

Orden	Familia	Género	P1: Agrícola			P2: Bosque			P3: Mina			Total	%
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>				xx				x		3	1,72
	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	xxx	xxx	xxx	x	xx	x				13	7,47
	Xiphocentronidae	<i>Xiphocentron</i>	xxx	xxx	xxx	x	xxx	xx				15	8,62
Coleoptera	Elmidae	<i>Neoelmis</i>	xx									2	1,15
	Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i>			x							1	0,57
	Lutrochidae	<i>Lutrochites</i>		x	x							2	1,15
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Traulodes</i>				x						1	0,57
		<i>Ecuaphlebia</i>	x	x	xx	xx	x	xx		xx	xxx	14	8,05
	Baetidae	<i>Baetodes</i>	x	x	xx	xxx	xxx	xx	xxx	xxx	xxx	21	12,07
		<i>Americabaetis</i>			xx		x	x			x	5	2,87
		<i>Mayobaetis</i>							xx	xx	xx	6	3,45
		<i>Camelobaetidius</i>			x	x	xx	xx	x	xx	xxx	12	6,90
	Leptohiphidae	<i>Leptohiphes</i>					x		x	xx	x	5	2,87
Caenidae	<i>Caenis stephen</i>				xx	xx		xx	xx	xx	10	5,75	
Hemiptera	Naucoridae	<i>Limnocoris</i>	x	x	xx	xx		x			7	4,02	
Odonata	Coenagrionidae	<i>Ishnura</i>	x			x	xx	x	xx	xxx	xx	12	6,90
	Libellulidae	<i>Erithrodiplax</i>			x	x	xx	x	xx	x		8	4,60

	Aeshnidae	<i>Aeshna</i>				x			xx	x		4	2,30
	Megapodagrionidae	<i>Philogenia</i>				x		x	xx			4	2,30
	Gomphidae	<i>Epigomphus</i>	x				x	x			x	4	2,30
Diptera	Chironomidae	<i>Pentaneura</i>	xx	x	x	x		x				6	3,45
Gastropoda	Thiaridae	<i>Melanoides</i>	xx		x	xx	x	x				7	4,02
	Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>	x			xx	x	x	x			6	3,45
Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i>						xxx				3	1,72
Tricladida	Planariidae	<i>Crenobia</i>						x				1	0,57
Anélidos	Oligochaeta	<i>Balanteocrilus</i>				x			x			2	1,15
TOTAL			18	11	20	25	22	22	19	19	18	174	100
TOTAL POR USO DE SUELO			49			69			56			174	

ELABORADO: AUTORA

Tabla 7: Composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los diferentes usos de suelo del estero “El Barro”

Orden	Familia	Género	P1: Agrícola			P2: Bosque			P3: Mina			Total	%
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	0	0	0	3	0	0	0	2	0	5	0,38
	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	11	12	9	1	2	1	0	0	0	36	2,76
	Xiphocentronidae	<i>Xiphocentron</i>	145	199	77	17	35	15	0	0	0	488	37,48
Coleoptera	Elmidae	<i>Neoelmis</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,31
	Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i>	0	0	20	0	0	0	0	0	0	20	1,54
	Lutrochidae	<i>Lutrochites</i>	0	2	4	0	0	0	0	0	0	6	0,46
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Traulodes</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0,15
		<i>Ecuaphlebia</i>	1	0	2	3	2	3	0	6	3	20	1,54
	Baetidae	<i>Baetodes</i>	4	7	9	63	41	51	98	76	85	434	33,33
		<i>Americabaetis</i>	0	0	24	0	5	1	0	0	5	35	2,69
		<i>Mayobaetis</i>	0	0	0	0	0	0	9	14	7	30	2,30
		<i>Camelobaetidius</i>	0	0	2	6	6	7	3	15	6	45	3,46
	Leptohiphidae	<i>Leptohiphes</i>	0	0	0	0	1	0	3	16	4	24	1,84
Caenidae	<i>Caenis stephen</i>	0	0	0	3	4	0	3	4	2	16	1,23	
Hemiptera	Naucoridae	<i>Limnocois</i>	4	3	8	3	0	4	0	0	22	1,69	
Odonata	Coenagrionidae	<i>Ishnura</i>	2	0	0	2	7	4	7	6	4	32	2,46
	Libellulidae	<i>Erithrodiplax</i>	0	0	2	2	5	6	5	1	0	21	1,61
	Aeshnidae	<i>Aeshna</i>	0	0	0	1	0	0	2	1	0	4	0,31

	Megapodagrionidae	<i>Philogenia</i>	0	0	0	1	0	1	2	0	0	4	0,31
	Gomphidae	<i>Epigomphus</i>	3	0	0	0	1	1	0	0	1	6	0,46
Diptera	Chironomidae	<i>Pentaneura</i>	10	3	2	1	0	3	0	0	0	19	1,46
Gastropoda	Thiaridae	<i>Melanoides</i>	2	0	1	2	1	1	0	0	0	7	0,54
	Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>	1	0	0	2	1	2	4	0	0	10	0,77
Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i>	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0,31
Tricladida	Planariidae	<i>Crenobia</i>	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0,23
Anélidos	Oligochaeta	<i>Balanteocrilus</i>	0	0	0	4	0	0	1	0	0	5	0,38
TOTAL			187	226	160	116	111	107	137	141	117	1302	100
TOTAL POR USO DE SUELO			573			334			395				

ELABORADO: AUTORA

A lo largo del monitoreo realizado en los meses de diciembre, enero y febrero en el estero El Barro, se obtuvieron 1302 individuos y el uso que obtuvo mayor cantidad de individuos durante los tres muestreos, fue el agrícola con una cantidad de 573, seguido de la mina de extracción de piedra con 395 y bosque con 334 individuos. En las tablas que se presentarán a continuación (8, 9 y 10), se puede visualizar la distribución de géneros de los macroinvertebrados acuáticos según su hábitat y sustrato.

En la cobertura de suelo agrícola (Tabla 8) existe la presencia de sustrato: arena y la combinación de hojarasca y troncos, el hábitat corresponde corriente rápida-moderada, el género más representativo es el *Xiphocentron* perteneciente a la familia Xiphocentronidae orden Trichoptera con un 73,5%. Investigación similar menciona que la orden Trichoptera, Xiphocentronidae son familias con larvas que se movilizan ágilmente y que construyen refugios fijados al sustrato, para la recolección de estas es importante revisar la mayor variedad de micro hábitats posibles, como aguas de corriente fuerte (rápidos), rocas en corriente moderada, acumulaciones de hojarasca sumergida, áreas de corriente lenta, fondo fangoso o arenoso (30).

En la tabla 9 se refleja el uso de suelo de bosque el cual cuenta con un sustrato de tronco, hojarasca, y grava, el hábitat de la presente cobertura es principalmente rápido moderado, dentro de la clasificación de macroinvertebrados el género que predomina es *Baetodes* perteneciente a la familia Baetidae del orden Ephemeroptera con un 65,6 %. Según estudio realizado por a la composición y estructura de la familia Baetidae, orden Ephemeroptera se ha evidenciado que es una de las familias más diversas y abundantes, con preferencia por sustratos específicos como grava, roca, hojarasca, y ausentes en el sustrato de arena; además por sus características biológicas, son destacados como bioindicadores, ya que pasan casi toda su vida como ninfas acuáticas, y presentan distintas respuestas a la degradación ambiental (31).

En la cobertura de mina de extracción de piedra se evidenció principalmente piedra y grava con presencia de hojarasca, y hábitat de corriente rápida a moderada. El género de macroinvertebrado que sobresale en este uso de suelo es *Baetodes* perteneciente a la familia Baetidae del orden Ephemeroptera con un 65,6% (Tabla 10). La extracción de materiales áridos presenta como principales problemas ambientales la contaminación de los recursos hídricos, eliminación directa de estériles y efluentes en los ríos, daño por erosión y deforestación, destrucción del paisaje y daños a la flora y la fauna (32).

Tabla 8: Distribución de géneros de macroinvertebrados por sustrato y hábitat en el uso de suelo agrícola del estero “El Barro”

Orden	Familia	Género	Sustrato	Hábitat	Agrícola			Total	%
					D	E	F		
Trichoptera	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	Troncos y hojarascas	Moderada	10	8	14	32	5,6
	Xiphocentronidae	<i>Xiphocentron</i>	Troncos y hojarascas	Rápidos / Moderada	120	145	156	421	73,5
Coleoptera	Elmidae	<i>Neoelmis</i>	Hojarasca	Rápidos / Moderada	2	0	2	4	0,7
	Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i>	Hojarasca y arena	Rápidos / Moderada	0	0	20	20	3,5
	Lutrochidae	<i>Lutrochites</i>	Hojarasca y arena	Rápidos / Moderada	6	0	0	6	1,0
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Ecuaphlebia</i>	Hojarasca y arena	Rápidos / Moderada	0	1	2	3	0,5
		<i>Baetodes</i>	Hojarasca y arena	Rápidos / Moderada	0	3	17	20	3,5
	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	Troncos y hojarascas	Rápidos / Moderada	0	5	19	24	4,2
		<i>Camelobaetidius</i>	Troncos y hojarascas	Rápidos / Moderada	0	0	2	2	0,3
Hemiptera	Naucoridae	<i>Limnocoris</i>	Troncos y hojarascas	Rápidos / Moderada	0	14	1	15	2,6
Odonata	Coenagrionidae	<i>Ishnura</i>	Troncos y hojarascas	Rápidos / Moderada	0	0	2	2	0,3
	Libellulidae	<i>Erithrodiplax</i>	Hojarasca y arena	Rápidos / Moderada	0	2	0	2	0,3
	Gomphidae	<i>Epigomphus</i>	Troncos y hojarascas	Rápidos / Moderada	3	0	0	3	0,5
Diptera	Chironomidae	<i>Pentaneura</i>	Troncos y hojarascas	Rápidos / Moderada	6	9	0	15	2,6
Gastropoda	Thiaridae	<i>Melanoides</i>	Troncos y hojarascas	Moderada	2	0	1	3	0,5
	Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>	Troncos y hojarascas	Rápidos / Moderada	1	0	0	1	0,2
TOTAL					150	187	236	573	100

ELABORADO: AUTORA

Tabla 9: Distribución de géneros de macroinvertebrados por sustrato y hábitat en uso de suelo bosque del estero “El Barro”

Orden	Familia	Género	Sustrato	Hábitat	P2: Bosque			Total	%
					D	E	F		
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	Troncos y hojarascas	Rápido / Moderado	2	0	1	3	0,9
	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	Hojarasca	Rápido / Moderado	1	3	0	4	1,2
	Xiphocentronidae	<i>Xiphocentron</i>	Hojarasca	Rápido / Moderado	18	41	8	67	20,1
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Traulodes</i>	Piedras y Hojarasca	Rápido / Moderado	0	2	0	2	0,6
		<i>Ecuaphlebia</i>	Piedras y Hojarasca	Rápido / Moderado	3	5	0	8	2,4
	Baetidae	<i>Baetodes</i>	Piedras y Hojarasca	Rápido	24	17	114	155	46,4
		<i>Americabaetis</i>	Piedras y Arena	Moderada	0	0	6	6	1,8
		<i>Camelobaetidius</i>	Piedras y Arena	Moderada	12	7	0	19	5,7
	Leptohiphidae	<i>Leptohiphes</i>	Hojarasca	Rápido	0	0	1	1	0,3
	Caenidae	<i>Caenis stephen</i>	Hojarasca	Rápido / Moderado	3	3	1	7	2,1
Hemiptera	Naucoridae	<i>Limnocoris</i>	Hojarasca	Rápido	5	2	0	7	2,1
Odonata	Coenagrionidae	<i>Ishnura</i>	Hojarasca	Moderada	2	11	0	13	3,9
	Libellulidae	<i>Erithrodiplax</i>	Hojarasca	Rápido	10	3	0	13	3,9
	Aeshnidae	<i>Aeshna</i>	Hojarasca	Rápido	0	1	0	1	0,3
	Megapodagrionidae	<i>Philogenia</i>	Hojarasca	Lenticas	0	2	0	2	0,6
	Gomphidae	<i>Epigomphus</i>	Troncos y hojarascas	Rápido	2	0	0	2	0,6
	Diptera	Chironomidae	<i>Pentaneura</i>	Troncos y hojarascas	Rápido	3	1	0	4
Gastropoda	Thiaridae	<i>Melanoides</i>	Fango	Lenticas / Moderada	2	0	2	4	1,2
	Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>	Fango	Lenticas / Moderada	1	0	4	5	1,5
Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i>	Fango	Lenticas / Moderada	2	1	1	4	1,2
Tricladida	Planariidae	<i>Crenobia</i>	Troncos y hojarascas	Rápido	3	0	0	3	0,9
Anélidos	Oligochaeta	<i>Balanteocrilus</i>	Fango	Lenticas	4	0	0	4	1,2
TOTAL					97	99	138	334	100,0

ELABORADO: AUTORA

Tabla 10: Distribución de géneros de macroinvertebrados por sustrato y hábitat en uso de suelo de mina del estero “El Barro”

Orden	Familia	Género	Sustrato	Hábitat	P3: Mina			Total	%	
					D	E	F			
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	Gravas	Moderado y Rápidos	2	0	0	2	0,5	
		<i>Ecuaphlebia</i>	Piedras y Hojarasca	Moderado y Rápidos	5	1	3	9	2,3	
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i>	Hojarasca	Moderado y Rápidos	45	54	160	259	65,6	
		<i>Americabaetis</i>	Piedras y Hojarasca	Moderado y Rápidos	0	0	5	5	1,3	
		<i>Mayobaetis</i>	Hojarasca	Moderado y Rápidos	0	5	25	30	7,6	
		<i>Camelobaetidius</i>	Piedras y Hojarasca	Moderado y Rápidos	15	2	7	24	6,1	
		Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	Hojarasca	Moderado y Rápidos	10	13	0	23	5,8
		Caenidae	<i>Caenis stephen</i>	Piedras y Hojarasca	Moderado y Rápidos	0	3	6	9	2,3
Odonata	Coenagrionidae	<i>Ishnura</i>	Hojarasca	Moderado y Rápidos	4	10	3	17	4,3	
	Libellulidae	<i>Erithrodiplax</i>	Piedras y Hojarasca	Moderado y Rápidos	1	5	0	6	1,5	
	Aeshnidae	<i>Aeshna</i>	Piedras y Hojarasca	Moderado y Rápidos	1	2	0	3	0,8	
	Megapodagrionidae	<i>Philogenia</i>	Piedras y Hojarasca	Moderado y Rápidos	1	0	1	2	0,5	
	Gomphidae	<i>Epigomphus</i>	Piedras y Hojarasca	Moderado y Rápidos	0	0	1	1	0,3	
	Gastropoda	Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>	Fango	Lenticas / Moderada	0	4	0	4	1,0
Anélidos	Oligochaeta	<i>Balanteocrilus</i>	Fango	Lenticas / Moderada	1	0	0	1	0,3	
TOTAL					85	99	211	395	100,0	

ELABORADO: AUTORA

4.1.1. Índices de diversidad

La evaluación de los índices se realizó en los tres usos de suelo: agrícola, bosque y mina, durante los meses de: diciembre, enero y febrero (2020-2021); mediante la aplicación de los índices: de Simpson, Shannon y Pielou (Tabla 11), se obtuvieron como resultado que el uso de suelo de bosque es el más representativo porque muestra valores altos para cada uno de los índices tanto en dominancia ($P2=0,7509$), diversidad ($P3=1,931$) y equidad ($P3=0,6963$). Mientras que la cobertura agrícola presenta valores descendentes en los índices tanto en dominancia ($P2=0,2205$), diversidad ($P2=0,5321$) y equidad ($P2=0,297$).

Resultados similares se obtuvieron (33), donde indica que el índice de diversidad de Shannon-Weaver se mantuvo entre 2.21 y 2.42 siendo mayor en la E1 (vegetación ribereña un bosque nativo). El estudio realizado en el bosque Protector Murocomba, Ecuador, indica que el muestreo realizado con respecto al índice de equidad en época seca presentó valores de 0.88 tanto para las coberturas: bosques nativos (Q1-CBN), pastos para actividades agrícolas y ganaderas (Q2-CAG), y plantación forestal (Q3-CPF) (29).

Es importante mencionar que la presencia de bosque, permite mayor protección del recurso hídrico, garantizando una mejor calidad de hábitat, en comparación de otros usos de suelos; debido que donde existe una reducción de la vegetación ribereña por actividades antrópicas como ganadería y agricultura, presentan una reducción de la diversidad (34).

Tabla 11: Aplicación de índices de diversidad Simpson, Shannon y Pielou.

USO DE SUELO		Simpson_1-D	Shannon_H	Pielou (J')
AGRÍCOLA	P1	0,3905	0,9865	0,4114
	P2	0,2205	0,5321	0,297
	P3	0,7202	1,713	0,6894
BOSQUE	P1	0,6752	1,774	0,6263
	P2	0,7509	1,777	0,6929
	P3	0,7384	1,931	0,6963
MINA	P1	0,4773	1,205	0,5025
	P2	0,6707	1,548	0,6723
	P3	0,4608	1,123	0,5111

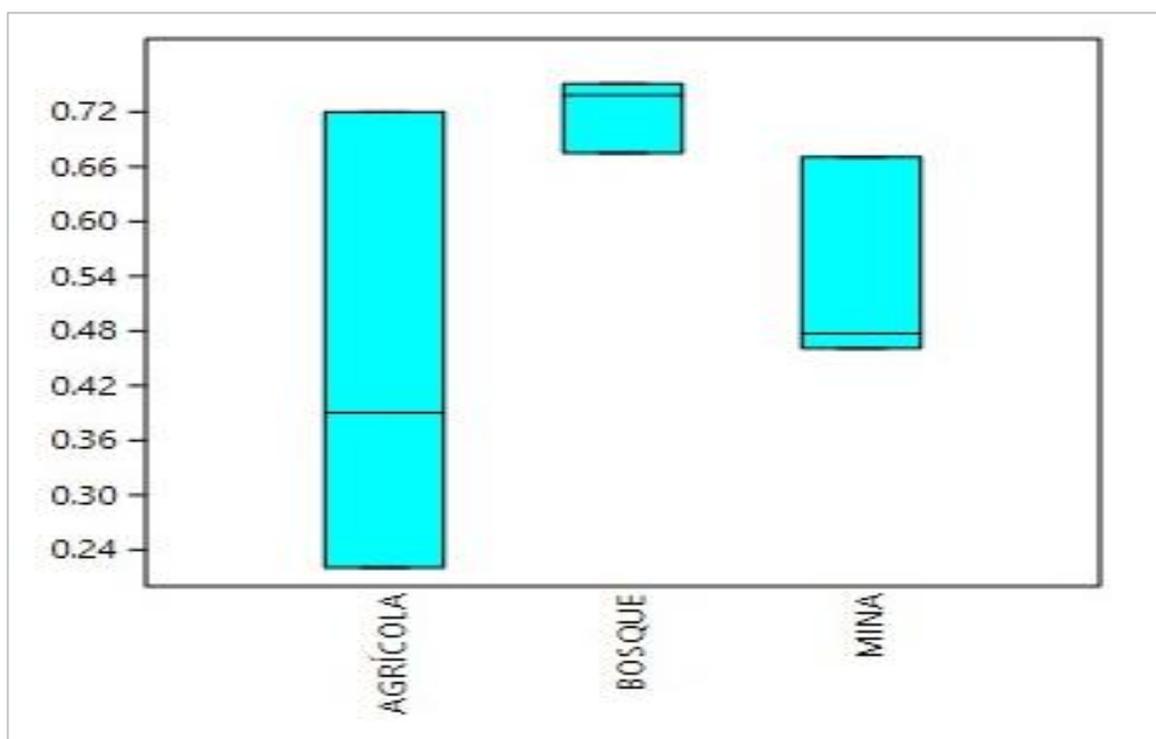
ELABORADO: AUTORA

4.1.1.1. Índice de Simpson

En los resultados del Índice de Simpson se pueden visualizar descriptivamente en la ilustración 2, que el uso de suelo con mayor dominancia pertenece a la cobertura de bosque con un valor de 0,7509, seguido de la cobertura agrícola con un valor de 0,7202, y con la cobertura de mina con un valor de 0,6707. Mediante la aplicación de ANOVA (Kruskall Wallis) se obtuvieron datos (H chi²: 4,356); (p : 0,1133) que demostraron que no hay diferencia significativa en la dominancia entre las medianas de los usos de suelo: agrícola, bosque y mina, porque el valor de “ p ” es mayor al umbral de a 0,05.

Resultados similares se obtuvieron en el estudio de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia), se estimaron índices de calidad, junto con el índice de biodiversidad dominancia de Simpson; se recolectaron 6781 individuos de macroinvertebrados acuáticos, en tres muestreos, obteniendo resultados en un nivel de significancia mayor a 0,05, por lo que no existe una diferencia significativa entre diferentes épocas climáticas y el valor de los índices (35).

Ilustración 2: Aplicación del diagrama de caja y bigotes en el índice de Simpson.



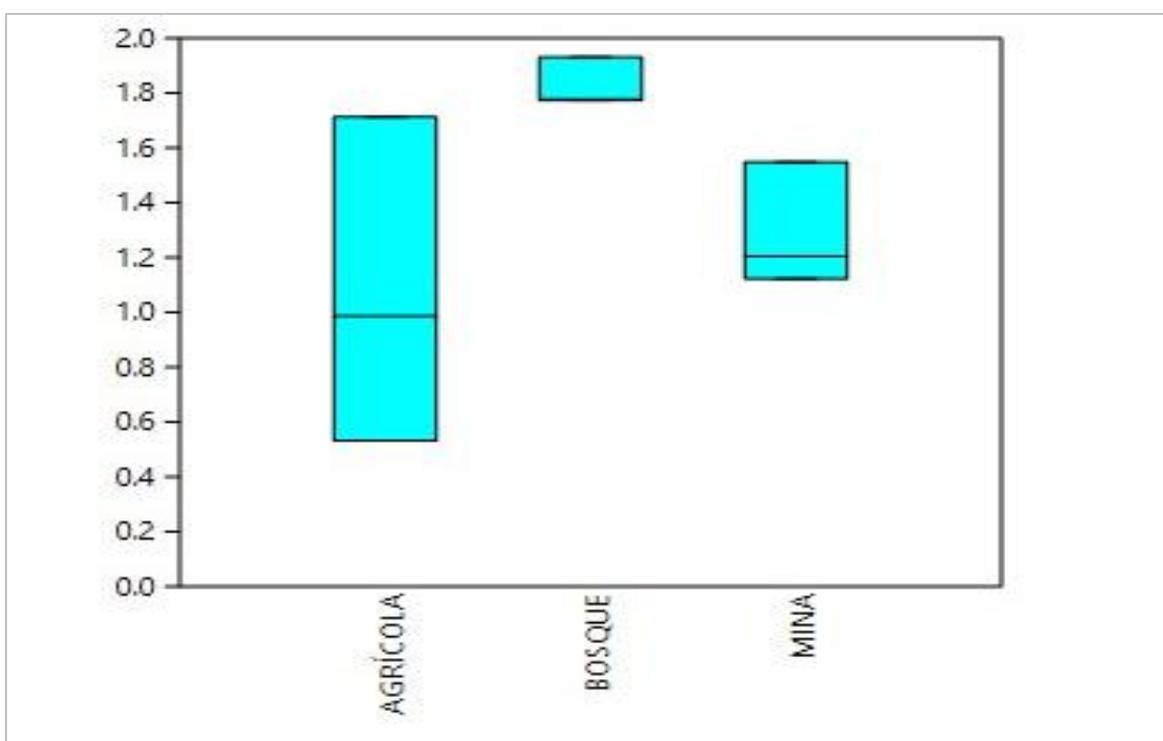
ELABORADO: AUTORA

4.1.1.2. Índice de Shannon

En lo concerniente al presente índice de Shannon se logra constatar descriptivamente en la ilustración 3, que el uso de suelo con mayor diversidad corresponde a la cobertura de bosque con un valor de 1,931, seguido por la cobertura agrícola con un valor de 1,713 y la cobertura de mina con un valor de 1,548. Mediante la aplicación de ANOVA (Kruskall Wallis) se logra determinar (H chi²: 5,6); (p : 0,06081) que no hay diferencia significativa en la dominancia entre las medianas de los usos de suelo: agrícola, bosque y mina, porque el valor de “ p ” es mayor al umbral de a 0,05.

Estos resultados son apoyados por lo encontrado en el estudio de macroinvertebrados acuáticos en el río Teusacá, donde se realiza la determinación de la calidad del agua del río Frío (Cundinamarca, Colombia) a partir de macroinvertebrados bentónicos, junto con parámetros fisicoquímicos; una vez muestreados e identificados los macroinvertebrados, se calcula el índice de biodiversidad Shannon-Weaver, el cual refleja la baja diversidad de especies, con resultados inferiores a 3 en las 9 muestras; el nivel de significancia es mayor a 0,05, lo que nos permite aceptar la hipótesis nula y, por lo tanto, determinar que no existe una diferencia significativa entre las tres usos de suelos que se llevaron a cabo los muestreos (bosque, pastizal, urbano) (35).

Ilustración 3: Aplicación del diagrama de caja y bigotes en el índice de Shannon.



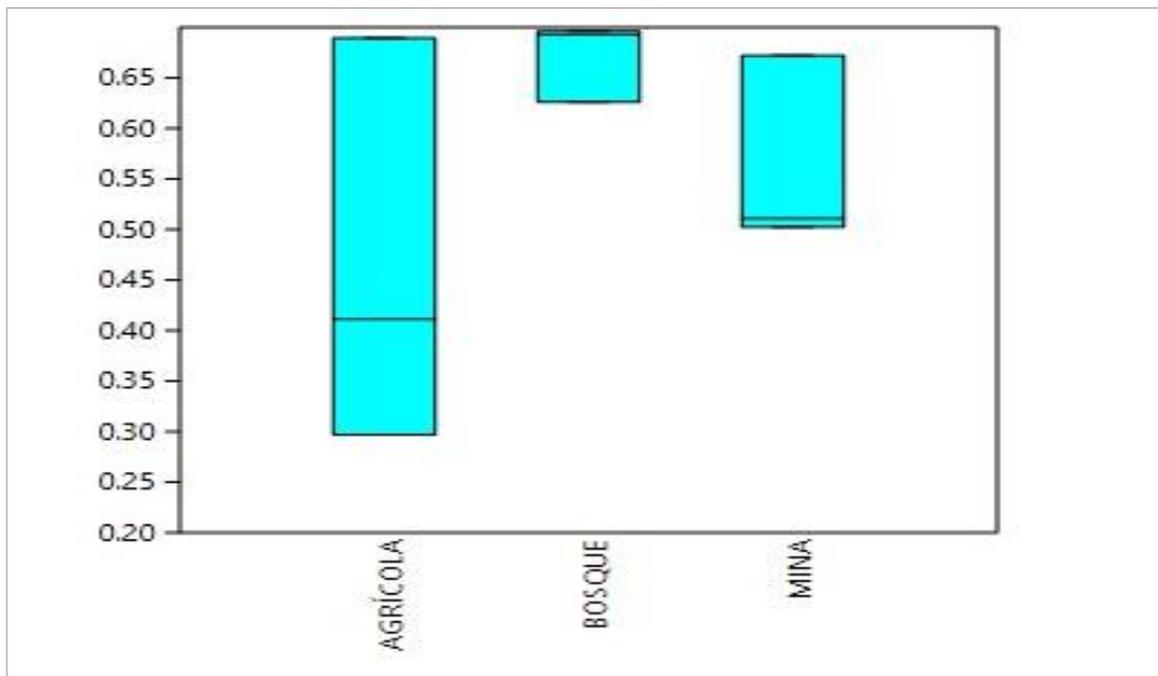
ELABORADO: AUTORA

4.1.1.3. Índice de Pielou (J')

La aplicación de este índice hace referencia a los valores que se deben tomar en cuenta los cuales van desde 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes. En la ilustración 4 se logra ver descriptivamente que la cobertura con mayor equidad de especies corresponde a bosque con un valor de 0,6929, seguido por la cobertura agrícola con un valor de 0,6894 y la cobertura de mina con un valor de 0,6723. Mediante la aplicación de ANOVA (Kruskall Wallis) se logró identificar que no hay diferencia significativa estadísticamente (H chi2: 3,467); (p : 0,1767); en la dominancia entre las medianas de los usos de suelo: agrícola, bosque y mina, porque el valor de “ p ” es mayor al umbral de a 0,05.

Resultados similares se encontraron en la investigación sobre la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay, se determinaron la composición y la abundancia taxonómicas en 16 estaciones, y se realizó el análisis de componentes principales y diversidad alfa por equidad de Pielou (J'), registrándose valores no significativos de equidad presentes en los sitios Estación 4 (verano) con valores de 0,50 y Estación 14 (primavera) con valores de 0,42 (36).

Ilustración 4: Aplicación del diagrama de caja en el índice de Pielou.



ELABORADO: AUTORA

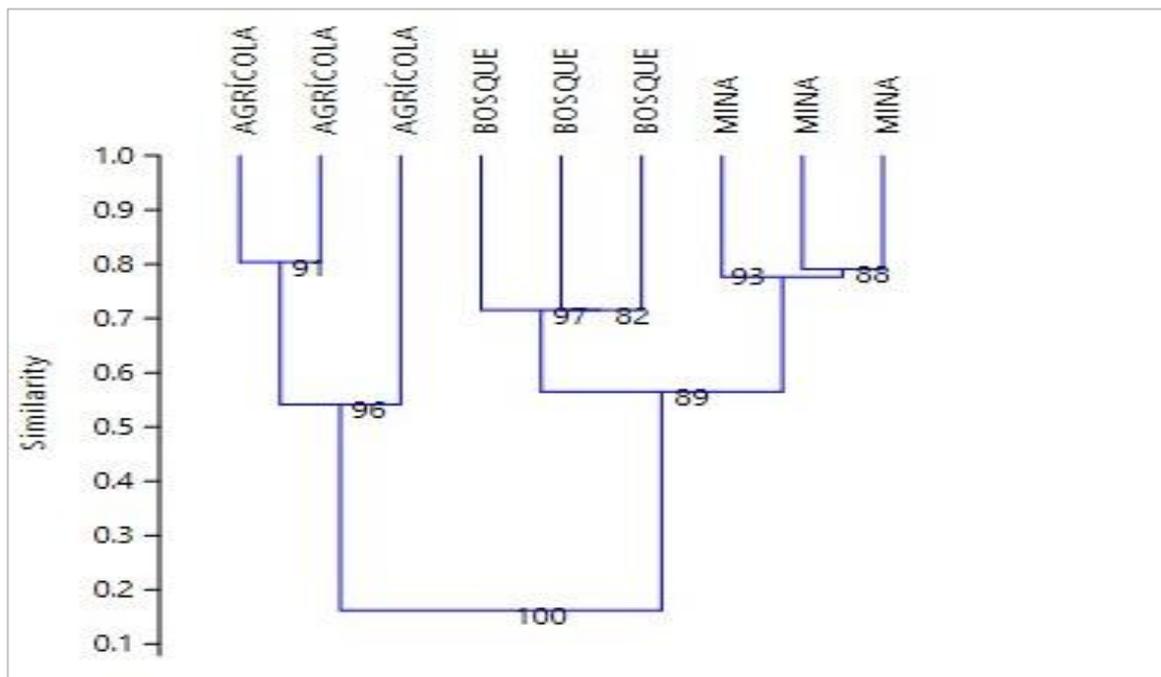
4.1.2. Análisis Clúster

A continuación, se indica la relación existente entre los puntos de cada uso de suelo, la ilustración 5 presenta una similitud del 0,80% para: zona agrícola P1 y P2, e igual para zona de mina P2 y P3, mientras que en la cobertura de mina muestra una similitud del 0,78% en sus tres puntos, seguido por la zona de bosque que presenta una similitud del 0,72% en sus tres puntos e igual la zona agrícola refleja similitud de 0,54% en sus tres puntos.

Existe similitud entre las zonas de bosque y mina con un 0,56% lo que indica que la estructura y composición es particular razón por la cual no se encuentra en otro uso de suelo, en cuanto a la zona agrícola, bosque y mina demuestran una relación al 0,18% siendo una similitud menor, producido por la reducción de vegetación a las riberas del estero influenciando la presencia de MAIA.

A diferencia de lo contrastado por la investigación realizada en la cuenca San Pablo; en donde señala que existe una similitud de un 43% entre los las zonas agrícola y bosque, esto se puede asociar a que, ambos puntos se encuentra distanciados de la población humana por lo que existe mayor vegetación; seguido de las zonas agrícola y urbano guardan una similitud de 38 %, mientras que las zona urbana y la zona bosque exhibe una similitud del 36% siendo estas las de menor semejanza, debido a la disminución progresiva de la vegetación ribereña (26).

Ilustración 5: Similitud entre los diferentes usos de suelo del estero El Barro.



ELABORADO: AUTORA

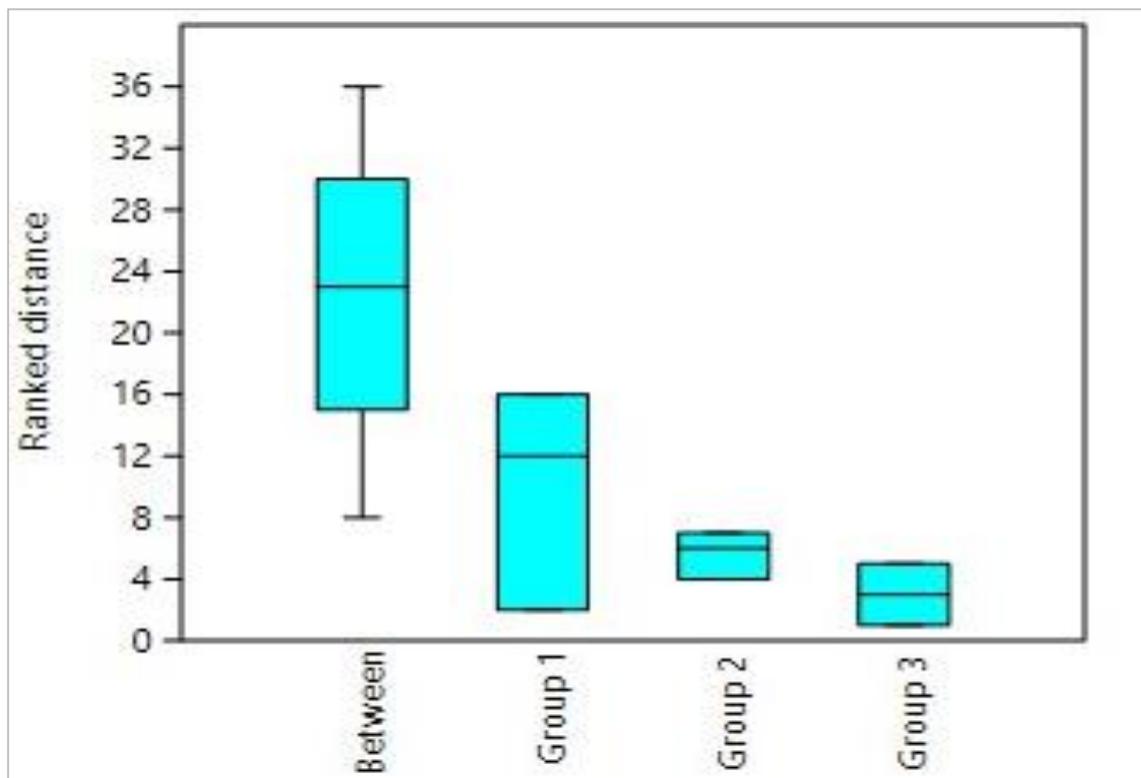
4.1.3. ANOSIM

De acuerdo al modelo ANOSIM, el cual presentó un buen ajuste con un valor de (P: 0.0024) y coeficiente de correlación con valor de (R: 0.9095), lo que indica que es un modelo significativo y predecible en un 90%, en el presente modelo se emplearon las variables de géneros de MAIA.

Mediante la estadística descriptiva del diagrama de caja (ilustración 6), se puede observar que, en el primer box correspondiente a la media presenta un valor de 22,59%, mientras que en el box de grupo 3 del uso de suelo de mina, no se traslapa con los grupos 1 (agrícola) y grupo 2 (bosque).

Resultados aproximados se obtuvieron en el estudio correspondiente a la estructura de macroinvertebrados acuáticos y grupos funcionales tróficos en la cuenca del río Lluta, Chile, para esto se realizó un muestreo en 12 estaciones; para analizar diferencias en la distribución de los macroinvertebrados entre las estaciones, se usó el análisis de similitud de 1-vía ANOSIM, los grupos de desembocadura, Pampa, Precordillera y Cordillera fueron estadísticamente significativos con resultados (ANOSIM, Global R = 0,34, p= 0,02) (37).

Ilustración 6: Aplicación del modelo ANOSIM.



ELABORADO: AUTORA

Nota: Grupo 1 (agrícola), Grupo 2 (bosque), Grupo 3 (mina)

4.2. Aplicación de los índices QBR e IHF del estero “El Barro”

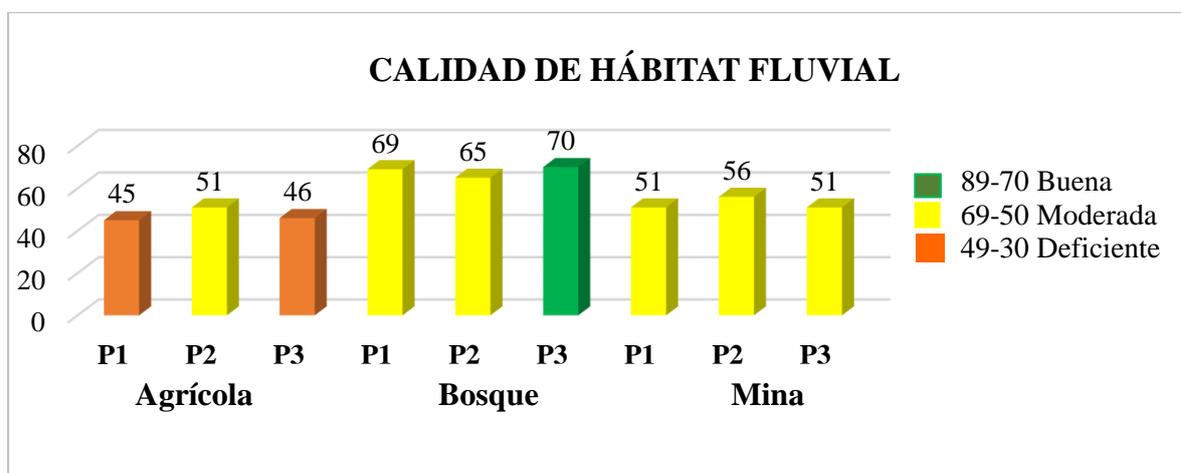
Mediante la aplicación de los Índices del Hábitat Fluvial (IHF) y el Índice de Calidad de bosque de ribera (QBR) se realizó la caracterización del lugar de estudio, los resultados se presentarán en las presentes figuras:

4.2.1. Índice IHF para las coberturas: agrícola, bosque y mina de extracción de piedra

La determinación del índice de calidad de hábitat fluvial (IHF), se realizó en los tres puntos de muestreo en las coberturas: agrícola, bosque y mina del estero El Barro, el mismo que se detalla en el gráfico 1. En los resultados se observa que la cobertura de bosque reflejó valores entre 65-70 encontrándose dentro del rango de calidad moderado-bueno; de igual manera en la cobertura de mina se obtuvieron valores entre 51-56 evidenciando una calidad moderada. En cuanto a la cobertura agrícola presentó en el punto 2 un valor de 51 correspondiente a calidad moderada, mientras que en los puntos 1 y 3 se constató valores de 45 y 46 correspondientes a una calidad deficiente. Cuanto menor es la ponderación del IHF menor será la diversidad de hábitats, lo que significa que existe complejidad en la existencia de variedad de macroinvertebrados.

Resultados similares se obtuvieron en el estudio de relación entre los usos de suelo y los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad hídrica en el río pilaló, donde el uso de suelo de bosque con valores de 41 a 59 presento una calidad moderada, mientras que el uso de suelo agrícola presentó valores de 30 a 49 con una calidad deficiente (38).

Gráfico 1: Aplicación del índice IHF, para los tres usos de suelo.



ELABORADO: AUTORA

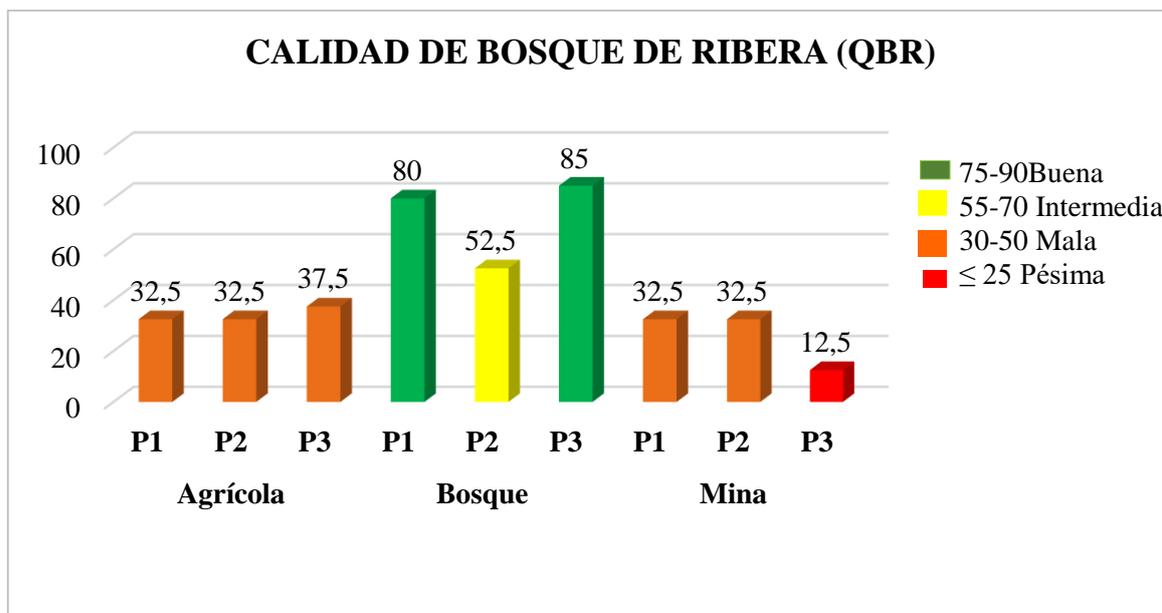
4.2.1. Índice QBR para las coberturas: agrícola, bosque y mina de extracción de piedra

En el análisis del índice de calidad de bosque de ribera (QBR), realizado en los meses de diciembre, enero y febrero (2020-2021), se obtuvieron resultados que se pueden observar en el gráfico 2. En la zona referente a la cobertura de bosque se obtuvieron valores entre 52,5 a 85 indicando una calidad intermedia (inicio de alteración importante) a buena (bosque ligeramente perturbado), con respecto a la cobertura agrícola refleja valores de 32,5 a 37,5 encontrándose dentro del rango de calidad mala.

La cobertura de mina presenta valores de 12,5 a 32,5 con una calidad de pésima a mala, esto se debe por la actividad de extracción de piedra que se lleva a cabo en dicho lugar existe una degradación extrema en las riberas de la presente microcuenca.

Resultados aproximados presentó la investigación realizada en la provincia de Pastaza, el río Pindo Grande, donde para tratar de entender la magnitud de los impactos que generan estos asentamientos humanos en el río, se planteó realizar un análisis multitemporal de la diversidad de la entomofauna acuática; el P4 (bosque) y PB (punto blanco) presentaron valores entre 85 y 100 reflejando una calidad buena, mientras que los puntos P1 (puente) y P2 (dique), obtuvieron valores de 15 y 45, reflejando una calidad pésima y mala, respectivamente, atribuible al estado de conservación de la cobertura vegetal (22).

Gráfico 2: Aplicación del índice QBR, para los tres usos de suelo.



ELABORADO: AUTORA

4.3. Influencia del uso de suelo en la calidad del agua a través del Índice BMWP-Cr y los parámetros fisicoquímicos

4.3.1. ANOVA Parámetros

En la tabla 12 se visualiza que el parámetro de Temperatura (T) presenta un valor de $P=0,1275$, siendo este mayor al umbral de $0,05$, es decir no presenta diferencia significativa, razón por la cual se puede deducir que este parámetro es semejante con los diferentes usos de suelo: agrícola, bosque y mina.

Mientras que los parámetros de: pH con valor de $P=0,0002477$; Conductividad Eléctrica (CE) con valor de $P=1,882E-05$; Oxígeno disuelto (OD) con valor de $P=0,000244$; y Sólidos disueltos totales (SDT) con valor de $P=8,303E-07$, presentan valores menores al umbral de $0,05$ evidenciando una diferencia significativa en relación con los diferentes usos de suelo presentes en la ribera del estero El Barro.

Estos resultados concuerdan con el estudio que investiga la relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas químicas en el humedal Jaboque y se obtuvo como resultante que el oxígeno disuelto presentó diferencias significativas ($p=0,00002$) por mes con bajos valores, en épocas de bajas lluvias (39). Además, el estudio realizado por un autor (40), establece que el pH, en el análisis de la Varianza (Anova) mostró diferencias significativas entre zonas; revelando que la zona alta es estadísticamente similar a la zona media, pero difiere de la zona Baja; por último, se evidenció que la zona alta y media presentan la mejor calidad de agua, y están influenciadas por la mayor concentración de oxígeno disuelto y un pH más básico (40).

Tabla 12: Resultados de la aplicación de los parámetros en ANOVA.

Parámetros	Promedio	P
pH	0,893338	0,0002477
T	0,0844444	0,1275
CE	22402,8	1,882E-05
OD	1,81814	0,000244
SDT	6466,62	8,303E-07

ELABORADO: AUTORA

En la tabla 13 se presentarán las medias obtenidos en las muestras de los parámetros físico químicos en los usos de suelo, y la comparación con el TULSMA (41), Anexo 1, Tabla 2: criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.

El pH presentó en cobertura agrícola una media de 6,5, seguido por cobertura de bosque 7,4 y mina con 7,6; lo que determina que se encuentra dentro de los límites permisibles (6,5-9) establecidos por el TULSMA. Mientras que la temperatura presentó valores que oscilan entre 24,73 a 25,40, con valores medios por cobertura, agrícola con 25,0°C; bosque con 25,3°C y mina con un valor de 25,2°C, encontrándose dentro de los límites permisibles establecidos por el TULSMA (Condiciones naturales + 5).

Los sólidos disueltos totales presentaron valores máximos y mínimos entre 134,079-35,07 mg/l, y valores medios por cobertura: en agrícola 128,9 mg/l, bosque 80,7 mg/l y mina 36,0 mg/l, encontrándose dentro de los límites permisibles establecidos por el TULSMA que es máximo incremento de 10% de la condición natural. Entretanto, el oxígeno disuelto presentó valores entre 4,1 – 6,19 mg/l, reflejando medias por cobertura: 4,3 mg/l en agrícola; 4,9 mg/l en bosque y 5,9 mg/l en mina. La cobertura de mina se encuentra dentro los límites establecidos por el TULSMA (>80%) y la cobertura agrícola y bosque presentó valores medios por debajo a 5 mg/l de acuerdo a lo establecido en el TULSMA.

Tabla 13: Comparación de los parámetros físico químicos por cobertura con el Anexo 1 del TULSMA.

Parámetros	Cobertura												Anexo 1 TULSMA
	A1	A2	A3	Media	B1	B2	B3	Media	M1	M2	M3	Media	
pH	6,6	6,3	6,8	6,5	7,4	7,37	7,4	7,4	7,5	7,51	7,6	7,6	6,5 - 9
T	25,2	25,1	24,7	25	25,4	25,2	25,4	25,3	25,1	25,2	25,3	25,2	Condiciones naturales + 5
SDT	134,1	125,3	127,2	129	84	84,53	73,5	80,7	35,1	37,5	35,5	36	máximo incremento de 10% de la condición natural
OD	4,13	4,6	4,27	4,3	4,8	4,87	5,04	4,9	6,11	5,73	5,8	5,9	>80

ELABORADO: AUTORA

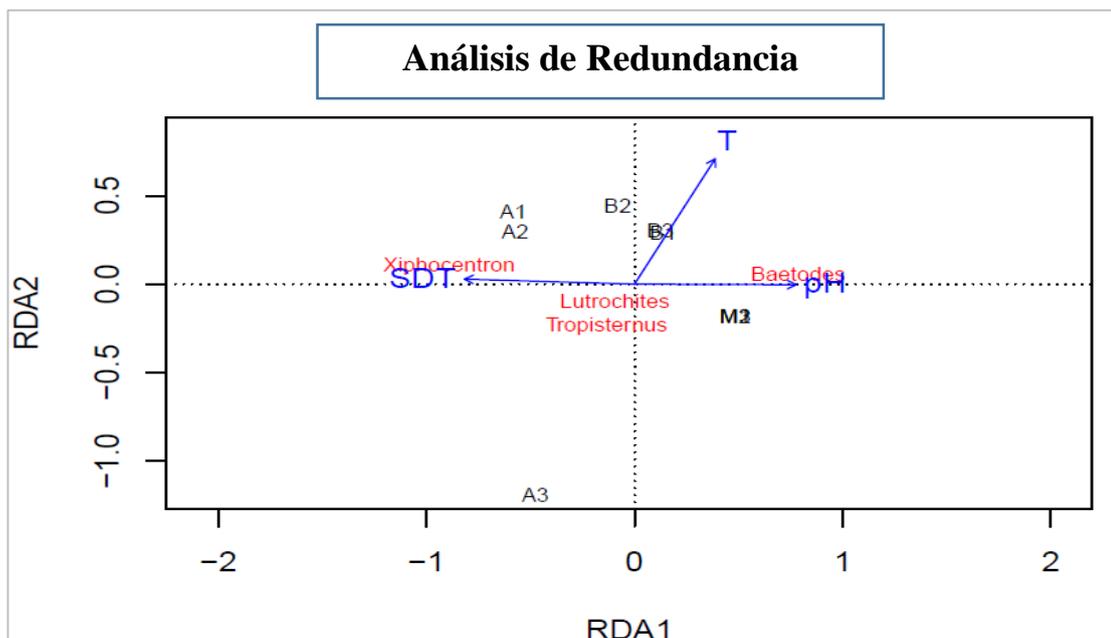
Nota: A (agrícola), B (bosque), M (mina).

4.3.1.1. Análisis de Redundancia

Para el análisis de redundancia se empleó los géneros de macroinvertebrados acuáticos que presentaban una mayor ponderación a 5%, teniendo en cuenta que el presente análisis es de correlación, en la ilustración 7 se puede apreciar que el género *Xiphocentron* de la cobertura agrícola punto 1, 2 y cobertura de bosque punto 2, es influenciado por los sólidos disueltos totales.

En tanto que el género *Baetodes* de la cobertura de mina en puntos 1,2, y 3 son influenciados por el potencial de hidrógeno (pH) porque se ajustan a este parámetro y facilita su desarrollo, mientras que para la cobertura de bosque el parámetro que más influye es la temperatura. Sin embargo, se visualiza que los géneros de macroinvertebrados que son más generalistas son: *Lutrochides* y *Tropisternus* que se adaptan a los parámetros existentes en el ambiente. Resultados semejantes se obtuvieron en el estudio de composición y distribución de la entomofauna acuática en arroyos de Tabasco, México, se obtuvo como resultado del ACP, que el pH y el oxígeno disuelto son las variables que tienen más peso en la ordenación de las familias de insectos; las familias correspondientes al orden Ephemeroptera se relacionaron principalmente con el pH (42). Además, el autor (38) menciona que existe una relación entre el potencial de hidrógeno (pH) con respecto a la alta densidad de la familia Baetidae.

Ilustración 7: Aplicación del análisis de Redundancia en relación existente a las variables ambientales y los géneros hallados.



ELABORADO: AUTORA

4.3.2. Aplicación del índice BMWP-Cr

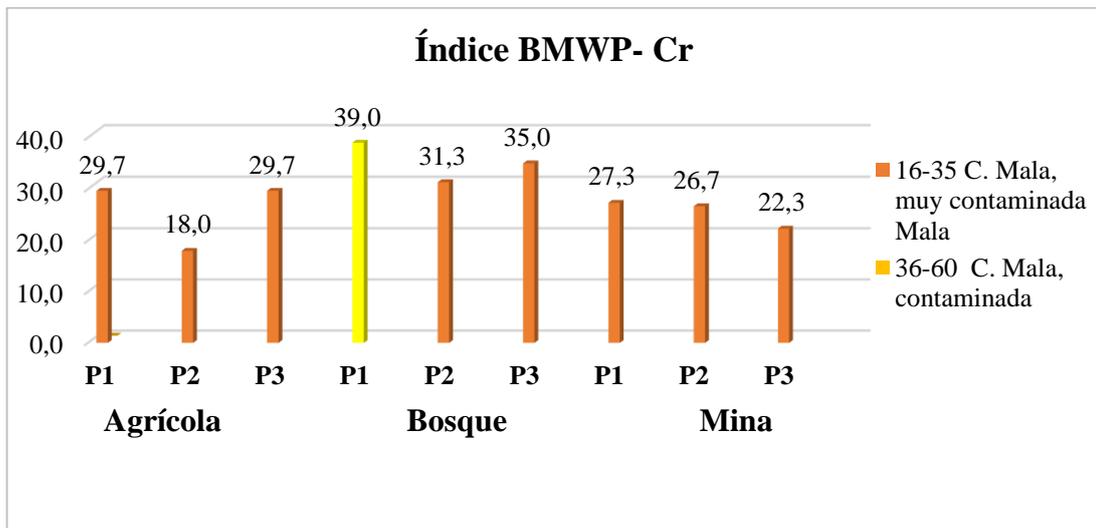
En el gráfico 3, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del índice BMWP-Cr dentro de los 3 puntos por cada uso de suelo, durante los meses de diciembre, enero y febrero 2020-2021, en la gráfica se especifican las ponderaciones que se establecieron trimestralmente. En la cobertura de bosque se visualiza que el P1 presenta un valor de 39,0 perteneciente a la calidad de agua mala, contaminada; mientras que los puntos restantes pertenecientes a la misma cobertura tienen valores de 31,3 y 35,0 correspondiente a calidad mala, muy contaminada.

En cuanto a la cobertura agrícola presenta valores de 18 y 29,7, encontrándose dentro del rango de calidad mala, muy contaminada, algo similar presenta la cobertura de mina con valores que oscilan entre 22,3 a 27,3 que pertenece a agua de calidad mala, muy contaminada. Teniendo en cuenta que los valores planteados están vinculados con la presencia de abundancia de macroinvertebrados recolectados en los puntos de estudio.

Resultados semejantes se obtuvieron en el estudio de la relación entre los usos de suelo y los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad hídrica en el río Quevedo, donde la zona de bosque presentó aguas contaminadas con una puntuación de 42.8, mientras que zona de mina se encuentra dentro del rango de aguas muy contaminadas con 29.2 y 22.2 (27).

La investigación realizada en el río San Pablo indica resultados semejantes donde detalla que la calidad del agua de acuerdo al índice BMWP-Cr, en relación con los usos de suelos (bosque, zona urbana y zona agrícola) en el periodo de enero, febrero y marzo, presenta una calidad de agua mala o contaminada ubicándose dentro del rango de (36-60), seguido por una calidad de agua mala o muy contaminada con valores que oscilan en un rango de (16-35) (26).

Gráfico 3: Aplicación del índice BMWP-Cr en los diferentes usos de suelo del estero “El Barro”.



ELABORADO: AUTORA

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ Mediante la investigación realizada en el transcurso de los meses de diciembre, enero y febrero del 2020-2021, se determinó que según la presencia de macroinvertebrados en las coberturas, agrícola, bosque y mina, predominan los géneros: *Baetodes* con 12,07% perteneciente al orden Ephemeroptera familia Baetidae, seguido por el género *Xiphocentron* con 8,62% concerniente al orden Trichoptera familia Xiphocentronidae.
- ✓ Con respecto a la abundancia de MAIA en relación a los géneros que predominan según las coberturas, el número de individuos en la zona agrícola es de 573 y el género predominante corresponde a *Xiphocentron* con 73,5 %, seguido de la zona de mina con 395 individuos y el género más representativo *Baetodes* con 65,6% y la zona de bosque con 334 individuos y género predominante *Baetodes* con 46,4%.
- ✓ En cuanto a los índices de diversidad, la cobertura de bosque es el más representativo referente a los índices: Simpson ($P2=0,7509$), Shannon ($P3=1,931$) y Pielou ($P3=0,6963$). Esto se debe a que en el uso de suelo de bosque existe mayor presencia de cobertura razón por la cual hay mayor protección al recurso hídrico.
- ✓ En relación a la caracterización de los componentes hidromorfológicos del estero El Barro; el índice (IHF) indica que la cobertura de bosque posee un calidad buena-moderada, mientras que la cobertura agrícola refleja una calidad deficiente; el índice (QBR) detalla que el uso de suelo bosque posee una calidad de agua buena-intermedia, mientras que la cobertura de mina posee una calidad de agua pésima a mala. Teniendo en cuenta que las principales causas de estos resultados son ocasionadas por la actividad antropogénica al no respetarse los límites planteados para la conservación de riberas.
- ✓ Referente a la relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos con los géneros de MAIA, se determinó que el género *Xiphocentron* está vinculado con el parámetro de oxígeno disuelto, seguido del género *Baetodes* que presenta relación en hábitats donde predomine un pH neutro, mientras que géneros *Lutrochides* y *Tropisternus* se adaptan a las condiciones existentes en el ambiente.
- ✓ Con respecto a la aplicación del índice BMWP-C, indica que el estero El Barro posee una calidad de agua mala, muy contaminada con valores entre 18 a 35, a excepción del P1 de la cobertura de bosque que presenta una calidad mala, contaminada. Estos

resultados se los puede relacionar con las notorias consecuencias y alteraciones que genera la cobertura agrícola y la extracción de áridos.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Realizar disertaciones a la comunidad referentes a las temáticas de cuidado y preservación del recurso hídrico.
- ✓ Determinar zonas de protección en las riberas de los cauces para disminuir su deterioro como se comprobó en la zona de estudio relacionado a la mina de extracción de piedra.
- ✓ Desarrollar estudios en la cuenca baja del río Quevedo para determinar las alteraciones existentes.
- ✓ Realizar investigaciones referentes a la calidad hídrica mediante macroinvertebrados bentónicos en los sitios de estudio en época seca y de esta manera verificar la variabilidad de géneros que se pueden registrar.
- ✓ Que el GAD de Quevedo y Buena Fé realicen actividades de reforestación de las riberas de los cuerpos hídricos con especies nativas.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍAS

6.1. Bibliografías

1. Balmaseda Espinosa C, García Hidalgo Y. Caracterización hidroquímica de las aguas de riego de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas. *Redalyc*. 2013;34(4):68–73.
2. Fernández Cirelli A. El agua: un recurso esencial. *Redalyc*. 2012;11:147–70.
3. Perez Ortega DJ, Segovia Ortega JA, Cabrera Moncayo PC, Delgado Vargas IA, Martins Pompêo ML. Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas. *Rev Investig Agrar y Ambient*. 2018;9(1):41–57.
4. Nuñez JC, Fragoso-Castilla PJ. Uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación del Agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia). *Inf Tecnológica*. 2019;30(5):319–30.
5. Campos Gómez I. Saneamiento Ambiental [Internet]. Primera. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia San José; 2000. 1–225 p. Available from: <https://books.google.com.ec/books?id=lsgrGBGIGeMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
6. Samboni Ruíz NE, Carvajal Escobar Y, Escobar JC. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ing e Investig SciELO*. 2007;27(3):172–81.
7. Rigola Lapeña M. Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales. [Internet]. Vol. 27. Colombia: Marcombo; 1989. 1–160 p. Available from: <https://books.google.com.ec/books?id=fQcXUq9WFC8C&printsec=frontcover&dq=Tratamiento+de+aguas+residuales:+Aguas+de+proceso+y+residuales&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwitgtr-39HtAhUEmVkkHctJCCUQ6AEwAHoECAAQAQ#v=onepage&q=sabor&f=false>
8. Zhen Wu BY. Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008. [Costa Rica]: Universidad Estatal a Distancia, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la UNED; 2009.
9. Ramos Olmos R, Sepúlveda Marqués R, Villalobos Moreto F. El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis [Internet]. Primera. Plaza y Valdés; 2003. 1–210 p. Available from: <https://books.google.com.ec/books?id=b8l-xhcHPEYC&printsec=frontcover&dq=El+agua+en+el+medio+ambiente:+muestreo>

+y+análisis&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwieifXY8NHtAhUKmlkKHau8AIIQ6AE
wAHoECAEQAg#v=onepage&q=El agua en el medio ambiente%3A muestreo y
análisis&f=fal

10. Sierra Ramírez CA. Calidad del agua, evaluación y diagnóstico. Primera. López Escobar LD, editor. Journal of Chemical Information and Modeling. Medellín-Colombia; 2011. 1–460 p.
11. Springer M. Biomonitoring acuático. Rev Biol Trop Scielo. 2010;58.
12. Guillén VL, Teck HD, Kohlmann B, Yeomans J. Microorganismos como bioindicadores de la calidad de aguas. Tierra Trop. 2012;8(1):65–93.
13. Lozano Ortiz L. La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá. Umbral Científico, Redalyc. 2005;(7):5–11.
14. Gamboa M, Reyes R, Arrivillaga J. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. Boletín Malariol y Salud Ambient Scielo [Internet]. 2008;48(2). Available from: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482008000200001
15. Rodríguez Badillo L, Pedro Ríos Guayasamín, Espinosa Chico M, Cedeño Loja P, Jiménez Ortiz G. Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana. Hidrobiológica. 2016;26(3):497–507.
16. Albarracín Guachichulca SL. Propuesta de manejo integral de la subcuenca hidrográfica del río Yanuncay, provincia del Azuay. [Cuenca]: Universidad Politécnica Salesiana; 2019.
17. Gaspari FJ, Rodríguez Vagaría AM, Senisterra GE, Delgado MI, Besteiro SI. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Argentina: Universidad Nacional de La Plata; 2013. 188 p.
18. Rodríguez-Eraso N, Pabón-Caicedo JD, Bernal-Suárez NR, Martínez-Collantes J. Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación; 2010. 1–80 p.
19. Pla L. Biodiversidad: inferencia basada en el índice de shannon y la riqueza Interciencia. Interciencia, Redalyc. 2006;31(8):583–90.
20. Soler PE, Berroterán JL, Gil JL, Acosta RA. Índice valor de importancia, diversidad

- y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agron Trop SciELO* [Internet]. 2012;62(1–4). Available from: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2012000100003
21. Sonco Suri R. Estudio de la diversidad alfa (α) y beta (β) en tres localidades de un bosque montano en la región de Madidi, La Paz-Bolivia. La Paz; 2013.
 22. Villarreal Arcos MJ. ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN EL RÍO PINDO GRANDE, SECTOR ESTACIÓN BIOLÓGICA PINDO MIRADOR, PROVINCIA DE PASTAZA. [Quito]: UNIVERSIDAD UTE; 2018.
 23. Quezada Morocho MM. Variación de la comunidad de macroinvertebrados y la relación con las características ambientales en riachuelos en el parámetro del Macizo del Cajas. Cuenca; 2019.
 24. Mayorga Mutre KD. Calidad Del Agua Y Estructura De La Comunidad De Macroinvertebrados Acuáticos De Los Esteros “El Limón”, “La S” Y “El Guayabo” Del Cantón El Empalme, Guayas-Ecuador. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Ambientales. 2016.
 25. Cepeda Cajas EL. Estructura Y Composición De La Comunidad De Macroinvertebrados Acuáticos Y Su Relación Con Los Usos De Suelo, En El Río Pumbo Grande, Cantón Pujilí, Ecuador. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2017.
 26. Pillasagua Cedeño JA. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en usos de suelo bosque, urbano y agrícola en el río San Pablo, cantón La Maná, Ecuador. UTEQ. Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2018.
 27. Toro Rincón A. "RELACIÓN ENTRE LOS USOS DE SUELO Y LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD HÍDRICA EN EL. [Quevedo]: UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO; 2018.
 28. González H, Crespo E, Acosta Raúl, Hampel Henrietta. Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del Cantón Cuenca. Cuenca; 2018.
 29. Urdanigo JP, Ponce MD, Cajas CTH, Fonseca CS, Benitez RY, Albán KA, et al. Diversity of aquatic macroinvertebrates along creeks with different riparian cover in Murocomba Protector Forest, Ecuador. *Rev Biol Trop*. 2019 Sep 1;67(4):861–78.
 30. Springer M. Capítulo 7: Trichoptera. *Rev Biol Trop*. 2010;58(4).

31. Forero-Céspedes AM, Gutiérrez C, Reinoso-Flórez G. Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. *Hidrobiológica*. 2016;26(3):459–74.
32. Muñiz V L, García V M, Hernández S S, Tubay P W, Jiménez O S. Acompañamiento técnico para la explotación de áridos y pétreos en el cantón Maridueña, Cnel Marcelino. 2017.
33. Meza-S AM, Rubio-M J, G-Días L, M-Walteros J. CALIDAD DE AGUA Y COMPOSICIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO CHINCHINÁ Water quality and composition of aquatic macroinvertebrates in the subwatershed of river Chinchiná. *Caldasia*. 2012;34(2):443–56.
34. González G SM, Ramírez YP, Meza S AM, Dias LG, Maritza González SG, Paulina Ramírez Y, et al. BOLETÍN CIENTÍFICO CENTRO DE MUSEOS MUSEO DE HISTORIA NATURAL DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y CALIDAD DE AGUA DE QUEBRADAS ABASTECEDORAS DEL MUNICIPIO DE MANIZALES. 2012;16(2):135–48.
35. López S, Huertas D, Jaramillo Á, Calderon D, Díaz J. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia). *Ing y Desarro*. 2019;37(2):277–88.
36. Morelli E, Verdi A. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Rev Mex Biodivers*. 2014 Dec 1;85(4):1160–70.
37. Ferrú M, Fierro P. Estructura de macroinvertebrados acuáticos y grupos funcionales tróficos en la cuenca del río lluta, desierto de atacama, arica y parinacota, chile. *Idesia (Arica)*. 2015 Nov 1;33(4):47–54.
38. Vega Chugchilán I. “RELACIÓN ENTRE LOS USOS DE SUELO Y LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD HÍDRICA EN EL RÍO PILALÓ, COTOPAXI, ECUADOR.” [Quevedo]: UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO; 2018.
39. Rivera JJ. Relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque Bogotá-Colombia. [Bogotá]: Universidad Nacional de Colombia; 2011.
40. Mora JM. USO DE MACROINVERTEBRADOS COMO MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO SÁLIMA (ATACAMES

- ECUADOR). [Esmeraldas]: Pontifica Universidad Católica del Ecuador; 2018.
41. TULSMA. Acuerdo N° 97/A - Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). 2015.
 42. Benítez Abud JA, Barba Macías E, Juárez Flores J. Composition and distribution of aquatic insects in streams of Tabasco, Mexico. *Hidrobiológica*. 2016;26(3):509–18.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1: Valoración de las familias de macroinvertebrados acuáticos para evaluar el índice BMWP- Cr.

VALOR	ORDEN	FAMILIA
9	O	Polythoridae
	D	Blephariceridae; Athericidae
	E	Heptageniidae
	P	Perlidae
	T	Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	E	Leptophlebiidae
	O	Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae
	T	Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae
	B	Blaberidae
7	C	Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae
	O	Gomphidae; Lestidae; Platystictidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae
	T	Philopotamidae
	Cr	Talitridae; Gammaridae
6	O	Libellulidae
	M	Corydalidae
	T	Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae
	E	Euthyplociidae; Isonychidae
5	L	Pyralidae
	T	Hydropsychidae; Helicopsychidae
	C	Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae
	E	Leptohyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae
	Cr	Crustacea
	Tr	Turbellaria
4	C	Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae
	D	Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae
	H	Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae
	O	Calopterygidae; Coenagrionidae
	E	Caenidae
	Hi	Hidracarina
	C	Hydrophilidae
	D	Psychodidae
Mo	Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae	

3	A	Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae
	Cr	Asellidae
2	D	Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	D	Syrphidae
	A	Oligochatea (todas las clases)

FUENTE: (27).

Nota: D: *Díptera*; E: *Ephemeroptera*; P: *Plecóptera*; T: *Trichoptera*; O: *Odonata*;
C: *Coleóptera*; M: *Megaloptera*; H: *Hemíptera*; L: *Lepidóptera*; B: *Blattodea*;
Tr: *Tricladida*; Cr: *Crustacea*; A: *Annelida*; Mo: *Molusco*

Anexo 3: Composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los meses de diciembre, enero y febrero según los usos de suelo del estero “El Barro”.

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	P1: AGRÍCOLA									P2: BOSQUE									P3: MINA									TOTAL	%
			D			E			F			D			E			F			D			E			F				
			M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5	0,4	
	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	2	5	3	3	2	3	6	5	3	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	2,8	
	Xiphocentronidae	<i>Xiphocentron</i>	36	68	16	55	59	31	54	72	30	0	18	0	17	14	10	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	488	37,5	
Coleoptera	Elmidae	<i>Neoelmis</i>	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,3		
	Hydrophilidae	<i>Tropisternus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	1,5		
	Lutrochidae	<i>Lutrochites</i>	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0,5		
Ephemeroptera		<i>Traulodes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,2		
	Leptophlebiidae	<i>Ecuaphlebia</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2	0	1	1	2	2	0	0	0	0	4	1	0	0	1	0	20	1,5		
		<i>Baetodes</i>	0	0	0	0	0	3	4	7	6	15	9	0	3	4	10	45	28	41	18	15	12	15	16	23	65	434	33,3		
	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	0	0	0	0	0	5	0	0	19	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	35	2,7		
		<i>Mayobaetis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	8	13	30	2,3		
		<i>Camelobaetidis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	4	2	0	2	5	0	0	0	3	10	2	0	0	2	0	45	3,5		
		Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	3	4	0	13	0	0	0	24	1,8	
Hemiptera	Caenidae	<i>Caenis stephen</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	16	1,2		
	Naucoridae	<i>Limnocoris</i>	0	0	0	4	3	7	0	0	1	1	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	1,7		
Odonata	Coenagrionidae	<i>Ishnura</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	2	5	4	0	0	0	0	2	2	5	3	2	2	32	2,5		
	Libellulidae	<i>Erithrodiplax</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2	6	0	3	0	0	0	0	1	0	0	4	1	0	0	21	1,6		

Anexo 4: Fotografías de los usos de suelo en el estero El Barro.



Fotografías del estero en la cobertura agrícola.



Fotografías del estero en la cobertura bosque.



Fotografías del estero en la cobertura mina de extracción de piedra.

Anexo 5: Recolección e identificación de los macroinvertebrados acuáticos.



Fotografías de la recolección de macroinvertebrados en las riberas del estero.



Fotografías de la identificación de macroinvertebrados en el laboratorio de la UTEQ.



Fotografía del Orden Ephemeroptera, familia Baetidae, género *Baetodes*.



Fotografía del Orden Trichoptera, familia Xiphocentronidae, género Xiphocentron.