



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL  
RÍO ISINCHE MEDIANTE BIOINDICADORES  
(MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS)"**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Mejía León Kleiner Paúl

**Tutor:**

Ágreda Oña José Luis

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Marzo 2026**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Mejía León Kleiner Paúl, con cédula de ciudadanía No. 1600828733, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: "**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO ISINCHE MEDIANTE BIOINDICADORES (MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS)**", siendo el Ingeniero Mg. José Luis Ágreda Oña, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 24 de febrero del 2026

Kleiner Paúl Mejía León  
C.C: 1600828733  
**ESTUDIANTE**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **Mejía León Kleiner Paúl**, identificado con cédula de ciudadanía **1600828733** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO ISINCHE MEDIANTE BIOINDICADORES (MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS)”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Abril 2021 - Agosto 2021

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutor: Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

Tema: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO ISINCHE MEDIANTE BIOINDICADORES (MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS)”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 24 días del mes de febrero del 2026.

Kleiner Paúl Mejía León  
**EL CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO ISINCHE MEDIANTE BIOINDICADORES (MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS)"** de Mejía León Kleiner Paúl, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 24 de febrero del 2026

Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.  
C.C: 0401332101  
**DOCENTE TUTOR**

## **AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Mejía León Kleiner Paúl, con el título del Proyecto de Investigación: "**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO ISINCHE MEDIANTE BIOINDICADORES (MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS)**" ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 24 de febrero del 2026

Ing. Vladimir Ortiz Bustamante, Ph.D.  
C.C: 0502188451  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**

Lic. Patricio Clavijo Cevallos, Ph.D.  
C.C: 0501444582  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

Dra. Kalina Fonseca Largo, Ph.D.  
C.C: 1723534457  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*A mi madre, por ser mi motor incondicional en todo momento, mi amparo en los momentos de duda y el cimiento sobre el cual he construido este sueño; este logro es tan suyo como mío.*

*Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme el espacio, los recursos y las herramientas necesarias para mi formación profesional y el desarrollo de esta investigación.*

*A mi amiga incondicional Nicol De la Cruz, quien fue una persona crucial en todo este proceso. Gracias por tu apoyo constante, tu paciencia y por ser el pilar que me sostuvo en cada etapa de este camino; tu presencia hizo que el desafío fuera superable.*

*Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, aportaron con su conocimiento, tiempo y palabras de aliento para la culminación de este trabajo. A todos ellos, mi más sincera gratitud.*

***Kleiner Paúl Mejía León***

## **DEDICATORIA**

*A mi madre, **Amparo León Freire**, por ser el pilar fundamental de mi vida y la razón principal por la que hoy culmino este objetivo. Sin sus consejos, su apoyo incondicional y ese amor infinito que solo una madre puede brindar, este camino no habría sido posible.*

*A mis abuelos, **Octavio Puco** y **Julia Freire**, por ser los arquitectos de mis sueños. Gracias a su ayuda constante y sus palabras de aliento, hoy puedo decir que esta meta es una realidad; sin ustedes, no estaría donde estoy.*

*A mis hermanos **Carola**, **María José**, **Ivonne** y **Carlos**, quienes han sido mi motor de fuerza. A pesar de la distancia física, sus porras y ánimos llegaron hasta donde me encontraba, recordándome siempre que no estaba solo. Aprecio profundamente cada gesto de apoyo que me brindaron.*

*A **mí mismo**, por el sacrificio, la resiliencia y las noches de desvelo dedicadas a que esta investigación fuera perfecta. Por no rendirme y creer en mi capacidad para lograr lo que un día pareció inalcanzable.*

**Kleiner Paúl Mejía León**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO ISINCHE  
MEDIANTE BIOINDICADORES (MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS)**

**Autor:**  
Mejía León Kleiner Paúl

**RESUMEN**

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la calidad del agua del río Isinche mediante el análisis integrado de macroinvertebrados bentónicos y nueve parámetros físico-químicos, aplicando el Índice de Calidad de Agua NSF (ICA NSF) en tres puntos específicos según la influencia antrópica: (P1) Hacienda Isinche Grande, (P2) Alpamalag de acurios y (P3) UTC “Campus Salache”. La evaluación físico-química, que incluyó pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitratos, nitritos, fosfatos y temperatura, arrojó clasificaciones diferenciadas según el ICA NSF: P1 (Malo), P2 (Regular) y P3 (Malo), evidenciando un deterioro significativo en los puntos con mayor presión antrópica. En el componente biológico, se registró un total de 750 individuos distribuidos en 12 familias, con predominancia de *Chironomidae* (275 individuos) y *Tubificidae* (85 individuos). Los índices biológicos mostraron coherencia con los resultados físico-químicos: el BMWP/Co indicó calidad crítica (33) en P1, aceptable (64) en P2 y dudosa (57) en P3. El ABI fue bajo (30) en P1 y moderado (52 y 45) en P2 y P3, mientras que el EPT% mostró valores mínimos en P1 (0%), intermedio en P2 (22%) y bajo en P3 (11,20%). La diversidad, medida con el índice de Shannon-Weaver, fue baja (1,54) en P1 y media (2,2) en P2 y P3. Los resultados reflejan una clara correlación entre la degradación físico-química y la respuesta biológica, confirmando que los puntos con mayor alteración ambiental (P1 y P3) presentan comunidades bentónicas dominadas por taxones tolerantes y una notable reducción de grupos sensibles (EPT). Esto sustenta la necesidad de implementar estrategias de gestión y recuperación ambiental focalizadas, particularmente en los tramos críticos identificados.

**Palabras clave:** bioindicadores, calidad de agua, integridad ecosistémica, ICA-NSF, Índice BMWP/Col,

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES**

**THEME: “WATER QUALITY ASSESSMENT IN THE ISINCHE RIVER  
USING BIOINDICATORS (BENTHIC MACROINVERTEBRATES)”**

**Author:**  
Mejía León Kleiner Paúl

**ABSTRACT**

This study aimed to determine the water quality of the Isinche River through the integrated analysis of benthic macroinvertebrates and nine physicochemical parameters, applying the NSF Water Quality Index (NSF-WQI) at three sampling points classified according to anthropogenic influence: (P1) Hacienda Isinche Grande, (P2) Alpamalag de Acurios, and (P3) UTC Salache Campus. The physicochemical evaluation included pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, BOD<sub>5</sub>, COD, nitrates, nitrites, phosphates, and temperature. The results yielded differentiated classifications according to the NSF-WQI: P1 (Bad), P2 (Medium), and P3 (Bad), evidencing significant deterioration at sites exposed to greater anthropogenic pressure. In the biological component, a total of 750 individuals distributed among 12 families were recorded, with a predominance of Chironomidae (275 individuals) and Tubificidae (85 individuals). The biological indices were consistent with the physicochemical findings. The BMWP/Col index indicated critical quality (33) at P1, acceptable quality (64) at P2, and doubtful quality (57) at P3. The ABI was low (30) at P1 and moderate (52 and 45) at P2 and P3, respectively, while the EPT% showed minimal values at P1 (0%), intermediate values at P2 (22%), and low values at P3 (11.20%). Diversity, measured using the Shannon–Weaver index, was low (1.54) at P1 and moderate (2.2) at P2 and P3.

The results demonstrate a clear correlation between physicochemical degradation and biological response, confirming that the sites with the greatest environmental alteration (P1 and P3) exhibit benthic communities dominated by tolerant taxa and a notable reduction of sensitive groups (EPT). These findings highlight the need to implement targeted management and environmental restoration strategies, particularly in the identified critical sections.

**Keywords:** bioindicators, water quality, ecosystem integrity, NSF-WQI, BMWP/Col Index.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	vi
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	vii
<i>DEDICATORIA</i> .....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
6. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	5
6.1. Objetivo General.....	5
6.2. Objetivos Específicos.....	6
7. ACTIVIDADES DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA.....	7
8.1. Agua.....	8

8.2.	Agua superficial.....	8
8.3.	Cuenca Hidrográfica.....	9
8.4.	Calidad de agua .....	10
8.4.1.	Fuentes de contaminación rio Isinche .....	10
8.5.	Bioindicadores .....	11
8.6.	Macroinvertebrados acuáticos .....	11
8.7.	Macroinvertebrados bentónicos.....	12
8.8.	Índice BMWP .....	13
8.9.	Índice de EPT .....	14
8.10.	Índice de ABI.....	14
8.11.	Índice de Shannon - Weaver.....	16
8.12.	Índice ICA NSF .....	17
8.12.1.	Parámetros considerados por el (ICA-NSF).....	17
8.12.2.	pH.....	18
8.12.3.	Temperatura del agua .....	18
8.12.4.	Nitratos .....	18
8.12.5.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	18
8.12.6.	Fosfato .....	18
8.12.7.	Turbiedad .....	19
8.12.8.	Oxígeno disuelto .....	19
8.12.9.	Solidos disueltos totales .....	19

8.12.10. Coliformes fecales.....	19
8.13. Marco Legal.....	20
9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS.....	26
10. METODOLOGÍA.....	26
10.1. Esquema metodológico.....	26
10.2. Tipo de investigación.....	27
10.2.1. Investigación cualitativa.....	27
10.2.2. Investigación descriptiva.....	27
10.2.3. Investigación de campo.....	28
10.2.4. Investigación explicativa.....	28
10.2.5. Investigación comparativa.....	29
10.2.6. Investigación bibliográfica.....	29
10.3. Métodos.....	30
10.3.1. Método inductivo.....	30
10.4. Equipos.....	30
10.4.1. Sistema de posicionamiento global.....	30
10.4.2. Medidor de Ph multiparámetro.....	31
10.5. Instrumentos.....	31
10.6. Técnicas.....	32
10.6.1. Recolección de muestras de agua según las pautas establecidas.....	32
por el gobierno.....	32

10.6.2.	Manejo y conservación de las muestras para el análisis .....	32
10.7.	Recolección de muestras para el análisis físico-químico. ....	34
10.8.	Materiales para la recolección de muestras y análisis de macroinvertebrados bentónicos y físicoquímicos.....	35
10.9.	Recolección de muestras para el análisis de macroinvertebrados. ....	35
10.10.	Protocolo de recolección de muestras hídricas.....	36
10.11.	Proceso para el análisis del pH.....	36
10.11.1.	Medición del pH.....	36
10.12.	Curvas de estimación para el cálculo del ICA.....	39
11.	Resultados.....	45
11.1.	Área de estudio .....	46
11.2.	Temperatura.....	46
11.3.	Puntos de muestreo .....	47
11.4.	Análisis de muestras de agua.....	48
11.5.	Análisis de agua en el laboratorio.....	50
11.5.1.	Comportamiento de la calidad del Agua en la microcuenca del río Isinche	
	50	
11.6.	Parámetros físicos.....	51
11.7.	Parámetros Químicos.....	52
11.8.	Parámetros microbiológicos .....	54
12.	Discusión.....	54
12.1.	Aplicación y cálculo de la metodología ICA-NSF.....	55

12.1.1.	P1 “Hacienda Isinche Grande” .....	55
12.1.2.	P2 Alpamalag de Acurios.....	57
12.1.3.	Universidad Técnica de Cotopaxi - Campus Salache .....	57
12.2.	Determinación del ICA en el río Isinche .....	58
12.3.	Comparación de la calidad del agua según la normativa ecuatoriana .....	59
12.4.	Índices de calidad para macroinvertebrados.....	61
12.5.	Propuesta de estrategias de mitigación para el río Isinche .....	64
12.6.	Diagrama de Ishikawa respecto a la calidad de agua del río Isinche .....	64
12.7.	Método del iceberg para la identificación de aspectos clave y propuestas de mitigación para el río Isinche.....	66
12.8.	Propuestas de medidas de mitigación para el río Isinche .....	68
12.9.	Propuestas de medidas de mitigación en el aspecto sociocultural.....	69
12.10.	Propuestas de medidas de mitigación en el aspecto económico.....	70
12.11.	Propuestas de medidas de mitigación en el aspecto ambiental .....	72
12.12.	Validación de las preguntas científicas .....	73
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	76
13.1.	Conclusiones.....	76
13.2.	Recomendaciones .....	77
14.	BIBLIOGRAFÍA .....	78
15.	ANEXOS .....	82

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Tabla 1.</b> Beneficiarios del Proyecto. ....	4
<b>Tabla 2</b> Procedimiento de los objetivos específicos para el proyecto.....	6
<b>Tabla 3.</b> Puntaje de familias para la obtención de BMWP. ....	13
<b>Tabla 4.</b> Parámetros de la calidad del agua para el índice BMWP. ....	14
<b>Tabla 5.</b> Índices para medir la calidad del agua . ....	15
<b>Tabla 6.</b> Especies tomadas a consideración para la puntuación de ABI. ....	15
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de biodiversidad según el índice Shannon –Weaver. ....	17
<b>Tabla 8.</b> Clasificación del "ICA" propuesto por Brown. ....	20
<b>Tabla 9.</b> Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. ....	24
<b>Tabla 10.</b> Tabla de materiales de campo, laboratorio y equipos para recolección de macroinvertebrados bentónicos y análisis de la investigación. ....	35
<b>Tabla 12.</b> Pesos relativos de los 9 parámetros. ....	39
<b>Tabla 13.</b> Ubicación y descripción de los puntos de muestreo. ....	48
<b>Tabla 14.</b> Resultados obtenidos mediante el muestreo in-situ de los parámetros de pH y temperatura del agua. ....	49
<b>Tabla 15.</b> Parámetros fisicoquímicos y microbiológico (resultados laboratorio). ....	50
<b>Tabla 16.</b> Variación de los parámetros físicos. ....	51
<b>Tabla 17.</b> Variación de los parámetros físicos. ....	52
<b>Tabla 18.</b> Variación de los parámetros microbiológicos.....	54
<b>Tabla 19.</b> Cálculo del porcentaje de Oxígeno Disuelto. ....	55
<b>Tabla 20.</b> Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona alta “Hacienda Isinche Grande”.....	56

<b>Tabla 21.</b> Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona media “Alpamalag de Acurios”.....	57
<b>Tabla 22.</b> Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona baja “Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache”.....	57
<b>Tabla 23.</b> Resultados de la aplicación del ICA-NSF en los tres puntos de muestreo.	59
<b>Tabla 24.</b> Clasificación normativa ecuatoriana (TULSMA).....	59
<b>Tabla 25.</b> Criterios de calidad de preservación de la flora y fauna.....	60
<b>Tabla 26.</b> Número de individuos y resultado de macroinvertebrados en los tres puntos de muestreo.....	62
<b>Tabla 27.</b> Propuestas de mitigación en el aspecto sociocultural.....	69
<b>Tabla 28.</b> Propuestas de mitigación en el aspecto económico.....	71
<b>Tabla 29.</b> Propuestas de mitigación en el aspecto ambiental.....	73

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Figura 1.</b> Esquema metodológico .....	26
<b>Figura 2.</b> Valoración de la calidad del agua en función de Coliformes Fecales.....	40
<b>Figura 3.</b> Valoración de la calidad del agua en función de pH.....	40
<b>Figura 4.</b> Valoración de la calidad del agua en función del DBO5.....	41
<b>Figura 5.</b> Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno.....	42
<b>Figura 6.</b> Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo.....	42
<b>Figura 7.</b> Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura.....	43
<b>Figura 8.</b> Valoración de la calidad de agua en función de la turbidez.....	44
<b>Figura 9.</b> Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total. ....	44
<b>Figura 10.</b> Valoración de la calidad de agua en función del % de S. O.....	45
<b>Figura 11.</b> Mapa del río Isinche. ....	46
<b>Figura 12.</b> Puntos de muestreo.....	48
<b>Figura 13.</b> Diagrama de Ishikawa.....	65
<b>Figura 14.</b> Gráfico de iceberg de los aspectos visibles y ocultos. ....	68

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título**

“Evaluación de la calidad del agua en el río Isinche mediante bioindicadores (macroinvertebrados bentónicos)”

### **Lugar de ejecución.**

Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi

### **Institución, unidad académica y carrera que auspicia**

Universidad Técnica de Cotopaxi-Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-  
Ingeniería Ambiental

### **Nombres de equipo de investigadores**

Tutor: Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

LECTOR 1: Ing. Ortiz Bustamante Vladimir Marconi. Mg.

LECTOR 2: Lic. Manuel Patricio Clavijo Cevallos. PhD.

LECTOR 3: Dra. Fonseca Largo Kalina Marcela, Ph.D.

Autor: Kleiner Paúl Mejía León

### **Área de Conocimiento.**

Ciencia Naturales. Medio Ambiente, Ciencias Ambientales.

### **Línea de investigación:**

Energías Alternativas y Renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

### **Línea de Vinculación:**

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

## 2. INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos son el sustento del desarrollo socioeconómico y la integridad ecológica del Ecuador. Su gestión sostenible exige no solo satisfacer la demanda creciente, sino también implementar sistemas de monitoreo y evaluación rigurosos que permitan diagnosticar y preservar su calidad en el tiempo (Hermosa Guano, 2024). En este marco, la biomonitorización con macroinvertebrados bentónicos se erige como una herramienta fundamental, reconocida por su sensibilidad, costo-efectividad y capacidad para integrar los efectos de las perturbaciones ambientales sobre periodos prolongados, reflejando la salud integral del ecosistema fluvial (Gresens et al., 2009)

El río Isinche, en la provincia de Cotopaxi, constituye un recurso hídrico estratégico para las comunidades locales, la actividad agropecuaria y la conservación de la biodiversidad andina. Sin embargo, como ocurre en gran parte de los ecosistemas lóticos de la región, enfrenta presiones antrópicas potenciales derivadas de la expansión de la frontera agrícola, los cambios en el uso del suelo y la posible falta de tratamiento de aguas residuales, factores que podrían comprometer su funcionalidad ecológica y su capacidad para proveer servicios ecosistémicos (Loera-Alvarado et al., 2019).

Las evaluaciones tradicionales, basadas exclusivamente en parámetros fisicoquímicos instantáneos, pueden subestimar impactos crónicos o de origen difuso. Por ello, un enfoque multimétrico que combine indicadores biológicos, fisicoquímicos y de hábitat proporciona una valoración más integral y completa de la calidad del agua (Carrera & Fierro, 2001). El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), adaptado para la región andina (BMWP-Col/ABI), permite clasificar la calidad acuática según la tolerancia de las familias de macroinvertebrados presentes, siendo un estándar ampliamente utilizado (Roldán Pérez, 2003). Este índice se complementa de manera sinérgica con el Índice de Calidad de

Agua de la NSF (ICA/NSF), que sintetiza variables fisicoquímicas clave (oxígeno disuelto, nitratos, pH, turbiedad, etc.) en un valor único y comparable (Cajas Sinchiguano et al., 2023).

Para una interpretación ecológica más completa, es esencial el cálculo de métricas complementarias como el Índice de Bioticidad Andina (ABI), desarrollado específicamente para ecosistemas altoandinos; el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, que cuantifica la riqueza y uniformidad de la comunidad; y el porcentaje de organismos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (%EPT), un indicador clásico de aguas bien oxigenadas y con baja perturbación. La conjunción de estos índices ofrece una visión multidimensional del estado de conservación del río (Ortiz-Burgos, 2016).

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La investigación se enfocó en la urgente necesidad de evaluar y conservar la calidad del agua en la microcuenca del río Isinche, ante las presiones derivadas de las actividades antrópicas en su entorno, como descargas agrícolas, domésticas y posibles efectos asociados al cambio climático. Los hallazgos de este estudio proporcionaron datos detallados y técnicamente válidos sobre el estado actual del recurso hídrico, esenciales para identificar fuentes específicas de contaminación y niveles de deterioro. Para ello, se empleó la metodología estandarizada desarrollada por la National Sanitation Foundation (NSF), mediante el análisis de 8 parámetros fisicoquímicos y 1 microbiológico, complementado con un estudio de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la salud ecosistémica. Este enfoque integral permitió calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) y evaluar de manera objetiva y comparable su condición desde una perspectiva química, microbiológica y biológica.

La importancia de esta investigación radicó en su capacidad para transformar datos técnicos en herramientas de gestión ambiental. Al establecer una línea base detallada, se permitió que las entidades locales no solo conocieran el nivel de contaminación, sino que pudieran priorizar zonas críticas de intervención. Este estudio fue fundamental para alertar

sobre los riesgos potenciales a la salud pública y la biodiversidad, sentando las bases para políticas de recuperación hídrica que antes carecían de un respaldo científico riguroso en la región.

La información generada no solo contribuyó a fundamentar decisiones informadas, diseñar estrategias de remediación y promover una gestión hídrica sostenible en la zona, sino que también ofreció una línea base ecológica y fisicoquímica de referencia para futuros monitoreos, planes de ordenamiento territorial e investigaciones científicas en la región. La inclusión de macroinvertebrados bentónicos agregó una dimensión biológica crucial, permitiendo evaluar impactos acumulativos y la integridad del ecosistema acuático, fortaleciendo así las capacidades locales para la protección integral del recurso hídrico a largo plazo.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios del presente proyecto se dividen de forma directa e indirecta, los cuales se detallan a continuación:

##### Tabla 1.

*Beneficiarios del Proyecto.*

<i>Beneficiarios directos</i>	<i>Beneficiarios indirectos</i>
<i>Población del cantón Pujilí</i>	<i>Población de los cantones vecinos</i>
<i>Hombres: 31.579</i>	<i>(Latacunga, Saquisilí, Salcedo,)</i>
<i>Mujeres: 35.401</i>	
<i>Total, de habitantes: 66.980</i>	<i>Total, de habitantes: 320,067</i>

Nota: Tomado y adaptado de la documentación oficial de GAD de Pujilí

#### 5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En Ecuador, la gestión del agua ha seguido un camino particular durante años, enfocándose primariamente en asegurar el suministro en cantidad, relegando la calidad a un segundo plano (Arellano et al., 2019). Esta aproximación es problemática, dado que la calidad del agua es un elemento central no solo para la salud de los sistemas acuáticos, sino también para el bienestar humano en su totalidad. Es la base que sostiene la vida en los cuerpos de agua

y un pilar fundamental para nuestra propia salud y desarrollo. Consecuentemente, los esfuerzos para frenar la contaminación o sanear los cuerpos de agua afectados han sido mínimos o, en el peor de los casos, impulsados por intereses particulares, sin una visión integral de conservación.

Esta problemática se evidencia de manera crítica en el Río Isinche, donde se han identificado conflictos antropogénicos y un uso inadecuado del recurso, una situación que, lamentablemente, se replica en varios ríos del país (Carabalí et al., 2019). Ante este escenario, los macroinvertebrados bentónicos emergen como una herramienta diagnóstica de gran relevancia. Su uso como bioindicadores es ampliamente reconocido por su capacidad para medir la calidad acuática de un cuerpo de agua (Purihuamán-Leonardo et al., 2022). Por ello, se subraya la importancia de estos organismos como eje principal en estudios de calidad del agua, ya que su diversidad, abundancia y taxonomía ofrecen una visión integrada de las condiciones del agua y las perturbaciones ambientales presentes.

En este contexto, la evaluación y actualización de la calidad del agua en el Río Isinche, empleando bioindicadores y un análisis comparativo con datos históricos, se vuelve un pilar fundamental para abordar esta problemática. La información derivada de estos estudios es crucial no solo para proteger el delicado ecosistema y salvaguardar la salud pública, sino también para asegurar una gestión sostenible de los recursos hídricos y fomentar un desarrollo genuinamente sostenible en la región. En última instancia, conocer la calidad del agua es la base para proteger lo más valioso: nuestra gente, nuestro entorno y la prosperidad futura de la comunidad.

## **6. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **6.1. Objetivo General**

Evaluar la calidad del agua en el río Isinche mediante bioindicadores (macroinvertebrados bentónicos)

## 6.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la zona de estudio y establecer puntos de muestreo relevantes en el río.
- Evaluar la calidad ecológica del río Isinche mediante el análisis de macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos, para diagnosticar el estado actual del cuerpo hídrico.
- Establecer un plan de medidas de mitigación fundamentadas en la evaluación de la calidad del agua, las cuales estarán dirigidas a mitigar los posibles impactos negativos identificados en la zona de estudio.

## 7. ACTIVIDADES DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 2**

*Procedimiento de los objetivos específicos para el proyecto.*

OBJETIVO	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Caracterizar la zona de estudio y establecer puntos de muestreo relevantes en el río.	Revisión bibliográfica y cartográfica de la zona de estudio. Identificación de la zona de estudio. Determinación y georreferenciación de los puntos en la zona de estudio.	Análisis de documentos bibliográficos, cartografía y estudios previos de la zona. Visita técnica In situ para observación directa de las condiciones ambientales. Establecimiento y georreferenciación de puntos de muestreo con equipo GPS, considerando el gradiente de intervención antrópica (zona alta, media y baja).	Rasgos físicos y ambientales de la zona de estudio caracterizados Reconocimiento visual y mapa georreferenciado del río Isinche. Identificación y señalamiento de los tres puntos de muestreo estratégicos: Hacienda Isinche Grande (P1), Alpamalag de Acurios (P2) y UTC Campus Salache (P3).

<p>Evaluar la calidad ecológica del río Isinche mediante el análisis de macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos, para diagnosticar el estado actual del cuerpo hídrico.</p>	<p>Recolección de muestras de macroinvertebrados en los puntos establecidos Medición <i>in situ</i> y recolección de muestras para análisis de parámetros físico-químicos del agua. Cuantificación e interpretación de los índices biológicos (BMWP/Co, ABI, EPT%, Shannon-Weaver) e índice ICA-NSF.</p>	<p>Aplicación de la técnica de red de patada para la recolección de macroinvertebrados; preservación en alcohol al 70% y transporte al laboratorio. Medición <i>in situ</i> de pH y temperatura con multiparámetro; toma de muestras para análisis de laboratorio de DBO<sub>5</sub>, DQO, nitratos, nitritos, fosfatos, turbidez, sólidos totales disueltos y coliformes fecales (NTE INEN 2169:98). Cálculo de los índices biológicos (BMWP/Col, ABI, EPT%, Shannon-Weaver) y del índice de calidad de agua ICA-NSF mediante interpolación y agregación ponderada.</p>	<p>Registro taxonómico y cuantificación de macroinvertebrados bentónicos presentes en cada punto de muestreo (750 individuos distribuidos en 12 familias). Resultados de los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados en laboratorio para los tres puntos de estudio.  Determinación de la calidad ecológica del río mediante la integración de índices biológicos e ICA-NSF: P1 (MALA/CRÍTICA), P2 (REGULAR/ACEPTABLE), P3 (MALA/DUDOSA).</p>
<p>Establecer un plan de medidas de mitigación fundamentadas en la evaluación de la calidad del agua, las cuales estarán dirigidas a mitigar los posibles impactos negativos identificados en la zona de estudio.</p>	<p>Identificación de las principales fuentes de impacto y causas raíz de la contaminación en cada punto (P1, P2, P3).  Diseño y estructuración de medidas de mitigación específicas por eje de acción (sociocultural, económico y ambiental).</p>	<p>Elaboración de diagrama de Ishikawa (causa-efecto) y método del iceberg para identificar aspectos visibles y causas ocultas de la contaminación en cada punto muestreado.  Revisión bibliográfica de modelos de gestión participativa ("Escuelas de Agua") y diseño de estrategias de mitigación estructuradas en ejes sociocultural, económico y ambiental, con actividades, responsables, cronograma e indicadores de seguimiento.</p>	<p>Diagrama de Ishikawa y método del iceberg que identifican las causas raíz de la contaminación diferenciadas por punto de muestreo (actividad ganadera en P1, agrícola en P2, descarga de aguas residuales en P3).  Plan de medidas de mitigación estructurado en tres ejes (sociocultural, económico y ambiental)</p>

**Nota:** El procedimiento para ejecutar el proyecto de investigación según los objetivos planteados. Elaborado por el investigador

**Elaborado por:** Autor

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

## **8.1. Agua**

Según Fernández Cirelli (2012), el agua ocupa más del 70% de la superficie terrestre, extendiéndose por océanos, lagos, ríos e incluso infiltrándose en el aire y el suelo. Es el origen y soporte de la vida, un elemento clave para equilibrar el clima global y una fuerza poderosa que moldea el planeta. Sus características únicas la hacen indispensable: es versátil, actuando como un solvente excepcional y participando en procesos metabólicos; almacena calor con eficacia y, curiosamente, se expande al congelarse. Además, su dinámica constante esculpe el terreno e influye en los patrones climáticos.

El agua constituye entre el 70 % y el 90 % de los organismos, y es el medio idóneo para que se lleven a cabo las reacciones vitales. Todos los organismos necesitan este recurso para subsistir, ya que las condiciones del agua son determinantes para el desarrollo y el crecimiento de los microorganismos (Ramos Olmos, 2003).

Este elemento es el más abundante en nuestro organismo y resulta vital para que funcionen correctamente procesos como la digestión, la circulación sanguínea y el metabolismo. Sin ella, simplemente no podríamos vivir (Rosado et al., 2011). La situación del agua preocupa a las autoridades y a la sociedad en general, pues en muchas partes del mundo su calidad dista mucho de ser apta para el consumo. Aproximadamente el 20% de la población global carece de acceso a agua libre de contaminantes, lo que evidencia la urgente necesidad de programas de gestión adecuada, especialmente ante los efectos que la escasez hídrica provoca en los organismos vivos (Benez et al., 1989).

## **8.2. Agua superficial**

El agua superficial se refiere a aquella que circula o se acumula sobre el terreno, en contacto directo con la atmósfera. Incluye cuerpos de agua como ríos, arroyos, lagos, lagunas, estanques y cauces artificiales como zanjas (Wait & Ramsey, 2007).

La escorrentía, conocida como *runoff* en inglés, es uno de los mecanismos de transporte del agua en el ciclo hidrológico. Este fenómeno se divide en cuatro tipos según el tiempo de llegada del agua a la estación de medición y su trayectoria: escorrentía superficial, subsuperficial, subterránea y precipitación directa sobre el cauce (Guisbert H. et al., 2006). La contaminación de las aguas superficiales representa un serio problema de salud pública. Cuando estos cuerpos de agua se contaminan, no solo albergan microorganismos peligrosos como parásitos, bacterias y virus, sino que además el exceso de nutrientes (especialmente fósforo, nitritos y nitratos) desencadena un proceso de eutrofización. Este fenómeno provoca el crecimiento explosivo de algas y la producción de cianotoxinas, transformando el agua en un potencial foco de enfermedades para las comunidades que dependen de estas fuentes hídricas (Pavan et al., 2022).

### **8.3. Cuenca Hidrográfica**

Según Rica Rodríguez Barrientos (2006), una cuenca hidrográfica es un territorio natural delimitado por las zonas más elevadas del relieve, donde las aguas provenientes de las lluvias se concentran para formar una red fluvial principal. Esta unidad geográfica queda definida por la topografía del terreno, que dirige naturalmente los cursos de agua hacia un río principal. Sus límites, conocidos como "divisoria de aguas", coinciden con las áreas más altas que rodean el sistema fluvial. El mismo autor también nos menciona que el concepto de cuenca – y sus derivados: subcuenca y microcuenca, es útil para gestionar el recurso hídrico.

Las cuencas desempeñan un papel crucial como fuentes naturales de agua para satisfacer la demanda de diversos usuarios de manera sostenible. Estos sistemas funcionan a través de complejas interacciones entre el ciclo hidrológico, las características del suelo, las condiciones climáticas y la cobertura vegetal, que en conjunto permiten la infiltración, almacenamiento y regulación del recurso hídrico (Ordoñez Gálvez, 2011).

El manejo integral de cuencas hidrográficas requiere un enfoque dual. Por una parte, implica el uso racional de los recursos naturales disponibles -su aprovechamiento, transformación y consumo- para impulsar el desarrollo económico. Por otra, exige acciones de conservación, protección y recuperación de estos mismos recursos, garantizando así la sostenibilidad ambiental a largo plazo (González Martín & Torrero, 2009).

#### **8.4. Calidad de agua**

Según Ministerio del Medio Ambiente et al. (2000), la calidad del agua se define como el conjunto de condiciones físicas, químicas y microbiológicas que permiten mantener ecosistemas acuáticos equilibrados y cumplir con objetivos de calidad ecológica. Esta variable resulta fundamental para caracterizar el medio hídrico, tanto para su evaluación ambiental como para la planificación y gestión hidrológica, ya que determina la aptitud del agua para conservar los ecosistemas y satisfacer los distintos usos demandados.

##### ***8.4.1. Fuentes de contaminación río Isinche***

**Actividad ganadera.** - Según Godino Genís & Llombart Amat (2021), los excrementos del ganado contienen sustancias como nutrientes, restos de medicamentos y microorganismos patógenos. Estos componentes pueden contaminar directamente las fuentes de agua cuando son arrastrados por la escorrentía desde los terrenos de cultivo. El incremento excesivo de nutrientes provoca proliferación acelerada de flora acuática (plantas y algas), generando el fenómeno de eutrofización (Arrieta Torres et al, 2018).

**Actividad Agrícola.** - El exceso en el uso de agroquímicos es arrastrado por el agua hacia los cultivos, terminando finalmente en los ríos. El uso de plaguicidas es altamente peligroso en los campos agrícolas, ya que afecta tanto ecosistemas terrestres como marinos, los insumos como herbicidas, insecticidas, acaricidas, fungicidas, nematocidas afectan de forma directa al medio ambiente, ocasionando la desaparición de especies alterando el ecosistema (Castillo et al, 2020).

### **8.5. Bioindicadores**

Los organismos en ecosistemas fluviales reflejan fielmente las condiciones ambientales de su hábitat, por lo que son valiosos bioindicadores. Su uso es ventajoso por su bajo costo frente a análisis químicos directos, su capacidad de integrar variaciones temporales y su sensibilidad a distintos tipos de alteraciones. Además, su diversidad en ríos permite detectar cambios sin necesidad de costosos procesos de calibración continua, respondiendo de manera natural a cualquier perturbación en el medio (Ministerio del Medio Ambiente, 2000). Cuando ocurre una perturbación intensa, la mayoría de las especies de la comunidad resultan afectadas, sobreviviendo solo aquellas con mayor tolerancia. En casos de alteración moderada, se observa la desaparición de algunas especies específicas junto con el surgimiento o aumento de otras mejor adaptadas a estas condiciones de estrés parcial (Clavijo et al., 2025). Por último, existen perturbaciones sutiles que, aunque no alteran visiblemente la composición general de la comunidad, pueden generar cambios significativos a nivel individual de los organismos, menos evidentes en una observación superficial (Ladrera et al., (2020).

### **8.6. Macroinvertebrados acuáticos**

Según Ladrera et al. (2020), se denomina macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados del agua con un tamaño que supera las 500  $\mu\text{m}$ , entre las cuales se puede citar: esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos.

El grupo de macroinvertebrados más amplio que se puede encontrar en aguas dulces es el de los insectos, cabe destacar que en su mayoría serán los de estados inmaduros (huevos y larvas) que por lo general son acuáticas.

Las familias de las larvas suelen incluir nombres como: *efemerópteros*, *plecópteros*, *odonatos* o *tricópteros*, en estos grupos podemos encontrar larvas acuáticas y terrestres y otras que lograron mutar para adaptarse a los dos ambientes

Los macroinvertebrados acuáticos desempeñan un rol ecológico clave en los ríos, siendo el grupo de mayor biomasa animal en muchos tramos fluviales. Estos organismos actúan como eslabón esencial en las cadenas tróficas, facilitando el flujo de energía desde los productores primarios hacia los depredadores superiores. Su importancia como base alimenticia hace que cualquier alteración en sus comunidades repercuta directamente en especies como peces, aves acuáticas y mamíferos semiacuáticos que dependen de ellos (Bustamante Mejia, 2020).

### **8.7. Macroinvertebrados bentónicos**

Los organismos invertebrados que habitan en el fondo de los cuerpos de agua dulce, como ríos y lagos, desempeñan un papel clave en la evaluación de la salud de estos ecosistemas. Estos pequeños animales no solo sirven como alimento para especies mayores, como peces, aves y anfibios, sino que también presentan una gran diversidad y adaptabilidad. Diferentes tipos de estas criaturas reaccionan de manera distinta ante la contaminación, ya sea por alteraciones químicas, físicas o cambios en la estructura del agua. Debido a su sensibilidad, actúan como indicadores de las modificaciones en el ambiente acuático, reflejando condiciones que pudieron haberse presentado hasta un mes antes de su análisis (Gresens et al., 2009).

Para que los macroinvertebrados se establezcan en un ambiente acuático, este debe reunir condiciones específicas, determinadas por su capacidad para resistir factores como los niveles de oxígeno, la acidez del agua (pH) y la presencia de metales (Clavijo et al., 2025). Además, en ecosistemas de agua dulce, ciertas especies de estos organismos bentónicos tienden a ser más abundantes y diversas en zonas poco profundas, disminuyendo su presencia a mayor profundidad. Sin embargo, algunos de ellos logran adaptarse incluso a áreas profundas, por debajo de la capa donde ocurren cambios bruscos de temperatura (termoclina) durante ciertas épocas del año (Lukhabi et al., 2024).

## 8.8. Índice BMWP

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) Fue establecido como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores, razones como el lado económico y tiempo fueron los responsables de su creación. El método solo necesita el nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP (Roldán Pérez, 2003).

**Tabla 3.**






*Puntaje de familias para la obtención de BMWP.*

Familias	Puntajes
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Pillodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemerae, Euthyplociidae, Gyrnidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae</i>	9
<i>Gemidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyaellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae</i>	6
<i>Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Tieridae</i>	5
<i>Chirysomelidae, Stratiomyidae, Halilplidae, Emplidae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae</i>	4
<i>Ceratopogonidae, Glossiphonidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae</i>	3
<i>Culicidae, Chronomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

**Nota:** Puntaje por familia para calcular BMWP Obtenida y adaptada de Roldán Pérez (2003).

**Tabla 4.**

*Parámetros de la calidad del agua para el índice BMWP.*

<b>Clase</b>	<b>Calidad</b>	<b>BMWP/Col</b>	<b>Significado</b>	<b>Color</b>
I	Buena	>100	Aguas muy limpias a limpias	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<16	Aguas fuertemente contaminadas	

**Nota:** Puntaje por familia para calcular BMWP  
Obtenida y adaptada de Roldán Pérez (2003).

### **8.9. Índice de EPT**

El estudio se realiza utilizando tres grupos de macroinvertebrados —Ephemeroptera (moscas de mayo), Plecoptera (moscas de piedra) y Trichoptera—, los cuales son bioindicadores de la calidad del agua debido a su alta sensibilidad a los contaminantes. Para calcular el índice hay que dividir el número de EPT recolectados en la muestra para el total de macroinvertebrados recolectados.

### **8.10. Índice de ABI**

Según Acosta et al. (2009), este indicador es una versión adaptada del índice BMWP, diseñado específicamente para evaluar la calidad del agua en ríos de alta montaña (entre 2,000 y 4,000 metros sobre el nivel del mar). A diferencia del método original, considera un grupo más reducido de familias de macroinvertebrados, ya que las condiciones de altitud limitan la presencia de ciertos organismos. Su aplicación permite valorar el estado ecológico de estos ecosistemas acuáticos particulares.

**Tabla 5.***Índices para medir la calidad del agua.*

ABI	Calidad de agua
>96	Muy bueno
59-96	Bueno
35-58	Regular
14-34	Malo

**Nota:** Puntaje de ABI por color  
Obtenida y adaptada de Acosta et al. (2009).

La tabla muestra el nivel de tolerancia de las especies asignados desde el 1 al 10 correspondiente a cada familia de macroinvertebrados, donde 1 corresponde a los organismos más tolerantes y 10 a los más sensibles, determinando la calidad del agua mediante la suma total de estos puntajes según las familias presentes en el muestreo.

**Tabla 6.***Especies tomadas a consideración para la puntuación de ABI.*

Orden	Familia	Puntuación ABI	Orden	Familia	Puntuación ABI
<i>Turbellaria</i>	<i>Planariidae</i>	5		<i>Belostomatidae</i>	4
<i>Hirudinea</i>		3		<i>Naucoridae</i>	5
<i>Oligochaeta</i>		1		<i>Helicopsychidae</i>	10
<i>Gasterópoda</i>	<i>Ancylidae</i>	6		<i>Calamoceratidae</i>	10
	<i>Physidae</i>	3		<i>Odontoceridae</i>	10
	<i>Hydrobiidae</i>	3		<i>Leptoceridae</i>	8
	<i>Lymnaeidae</i>	3		<i>Polycentropodidae</i>	8
<i>Bivalvia</i>	<i>Planorbidae</i>	3	<i>Lepidoptera</i>	<i>Pyralidae</i>	4
<i>Amphipoda</i>	<i>Sphaeriidae</i>	3	<i>Coleoptera</i>	<i>Philodactylidae</i>	5
<i>Ostracoda</i>	<i>Hyaellidae</i>	6		<i>Lampyridae</i>	5
<i>Hydracarina</i>		3		<i>Psephenidae</i>	3
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	4		<i>Scirtidae</i>	5
	<i>Leptophlebiidae</i>	10		<i>Staphylinidae</i>	3
	<i>Leptohyphidae</i>	7	<i>Diptera</i>	<i>Elmidae</i>	5
	<i>Oligoneuriidae</i>	10		<i>Dryopidae</i>	5
<i>Odonata</i>	<i>Aeshnidae</i>	6		<i>Gyrinidae</i>	3
	<i>Gomphidae</i>	8		<i>Dytiscidae</i>	3

	<i>Libellulidae</i>	6	<i>Hydrophilidae</i>	3
	<i>Coenagrionidae</i>	6	<i>Hydraenidae</i>	5
	<i>Calopterygidae</i>	8	<i>Simuliidae</i>	5
	<i>Polythoridae</i>	10	<i>Tabanidae</i>	4
<i>Plecoptera</i>	<i>Perlidae</i>	9	<i>Tipulidae</i>	5
	<i>Gripopterygidae</i>	10	<i>Limoniidae</i>	4
<i>Heteroptera</i>	<i>Veliidae</i>	5	<i>Ceratopogonidae</i>	4
	<i>Gerridae</i>	5	<i>Dixidae</i>	4
	<i>Corixidae</i>	5	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Notonectidae</i>	5	<i>Dolichopodidae</i>	4
	<i>Hydropilidae</i>	6	<i>Stratiomyidae</i>	4
	<i>Xiphocentronidae</i>	8	<i>Empididae</i>	4
	<i>Hydrobiosidae</i>	8	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Glossosomatidae</i>	7	<i>Cuticulidae</i>	2
	<i>Hydropsychidae</i>	8	<i>Muscidae</i>	2
	<i>Anamapsychidae</i>	10	<i>Ephydriidae</i>	2
	<i>Philopotamidae</i>	8	<i>Athericidae</i>	10
	<i>Limnephilidae</i>	7	<i>Syrphidae</i>	1

**Nota:** Puntaje de ABI por color  
Obtenido y adaptado de Acosta et al. (2009).

### 8.11. Índice de Shannon - Weaver

Según Ortiz-Burgos (2016), el índice de Shannon-Weaver cuantifica la biodiversidad considerando tanto la cantidad de especies presentes como la distribución equitativa de individuos entre ellas. Este indicador evalúa la riqueza biológica y el equilibrio en las poblaciones, donde valores más altos reflejan mayor diversidad y uniformidad en la comunidad estudiada, calculándose mediante una fórmula matemática específica que integra estos dos componentes fundamentales.

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i \quad (1)$$

Dónde:

$s$  = Número de especies (riqueza de especies)

$P_i$  = Proporción de individuos de las especies  $i$  respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie  $i$ ),  $n_i/N$

$n_i$  = Número de individuos de las especies  $i$

$N$  = Número de todos los individuos de todas las especies

**Tabla 7.**

*Clasificación de biodiversidad según el índice Shannon –Weaver.*

Índice de Shannon – Weaver	Diversidad
3-4	Alto
2-3	Medio
0-2	Bajo

**Nota:** Puntaje de ABI por color  
Obtenido y adaptado de Ortiz-Burgos (2016)

### 8.12. Índice ICA NSF

El índice ICA-NSF se fundamenta en una integración ponderada de diversas variables físico-químicas y bacteriológicas, cuyos resultados se expresan en una escala cuantitativa de 0 a 100. En este sistema, la puntuación es inversamente proporcional al grado de degradación ambiental; es decir, un incremento en la carga contaminante del cuerpo de agua se traduce en una reducción del valor del índice. Una vez obtenido el puntaje final, se procede a su interpretación cualitativa mediante una tabla de valores, la cual permite categorizar de forma estandarizada el estado de calidad del recurso hídrico en el área de estudio (Roldán Pérez, 2003).

#### 8.12.1. Parámetros considerados por el (ICA-NSF)

En el ICA- NSF existe un total de nueve parámetros a analizar en los cuales se encuentran los físico- químicos y microbiológicos, estos son:

### **8.12.2. pH**

Variable determinante en la calidad del agua, ya que regula la solubilidad de nutrientes (fósforo, nitrógeno) y la toxicidad de metales pesados (plomo, cadmio). Valores bajos de pH aumentan la biodisponibilidad de metales, mientras que niveles extremos (ácidos o alcalinos) pueden afectar la supervivencia de la biota acuática (Vázquez-Blanco et al., 2018).

### **8.12.3. Temperatura del agua**

Es uno de los parámetros físicos más relevantes, ya que se relaciona directamente con las actividades biológicas, su grado de saturación de oxígeno disuelto, sedimentación, la floculación, etc. Por ello es un dato necesario para determinar la calidad del agua (Ajcagul, 2016).

### **8.12.4. Nitratos**

Indicadores clave de contaminación antropogénica en cuerpos de agua, asociados a fertilizantes agrícolas, aguas residuales y escorrentías urbanas. Su monitoreo es vital para prevenir eutrofización y riesgos a la salud humana, especialmente en fuentes de consumo (Cabrera Molina et al., 2003).

### **8.12.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

El DQO o demanda química de oxígeno, indica el contenido de materia orgánica por la que esta compuesta el cuerpo de agua. Este parámetro mide la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua (Lecca, 2014).

### **8.12.6. Fosfato**

Son nutrientes que generalmente se encuentra en forma de sales, están ampliamente distribuidos en la naturaleza en formas muy diferentes. Por otro lado, los fosfatos son considerados un contaminante frecuente de los cuerpos de agua, debido al origen principal de los compuestos que se aplican como fertilizantes en zonas agrícolas y los detergentes se

emplean en zonas urbanas y pecuarias, lo cual provoca el crecimiento de algas en el cuerpo de agua (Vázquez, 2023).

#### ***8.12.7. Turbiedad***

Se refiere a la falta de transparencia del agua, causada por la presencia de partículas en suspensión, están suelen estar en estado solidos Tiene origen orgánico e inorgánico, se mide en unidades nefelométricas NTU ( Nephelometric turbidity unit) (M. Carrillo and P. Urgilés, 2016).

#### ***8.12.8. Oxígeno disuelto***

El OD en aguas limpias no están ligadas al OD, ya que tienen concentraciones de equilibrio que dependen de la presión atmosférica y de la temperatura del agua. Tomemos en cuenta es uno de los indicadores principales de contaminantes de un cuerpo de agua. Los bajos niveles de OD son causados por materia orgánica e inorgánica presentes en el cuerpo de agua (A. M. P. ENRIQUE POSADA, DANIEL MOJICA, NATALIA PINO, CARLOS, 2013).

#### ***8.12.9. Sólidos disueltos totales***

Los sólidos disueltos incluyen metales, sales, minerales y cualquier compuesto orgánico e inorgánico que logre disolverse en agua. Estas pequeñas partículas logran atravesar un filtro con un tamaño de poro nominal de 2.0  $\mu\text{m}$  (o menor) (Moreno, 2020).

#### ***8.12.10. Coliformes fecales***

La presencia de coliformes fecales en el suministro de agua es un indicio en el que se podría asegurar la presencia de aguas negras en el suministro u otro tipo de desechos en descomposición. Estos materiales fecales suelen encontrarse generalmente en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. La unidad empleada es NMP/100cm<sup>3</sup> (ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A, 2012).

**Tabla 8.***Clasificación del "ICA" propuesto por Brown.*

Calidad del agua	Color	Valor
Excelente	Azul	91 a 100
Buena	Verde	71 a 90
Regular	Amarillo	51 a 70
Mala	Tomate	26 a 50
Pésima	Rojo	0 a 25

**Nota.** Tomada de ICA-NSF-USA (BROWN,1970)

Adaptada por: Autor

### **8.13. Marco Legal**

Dentro del marco legal de la presente investigación se tomó en cuenta el siguiente instrumento jurídico:

#### **Constitución de la República Capítulo segundo - Derechos del buen vivir Sección primera - Agua y alimentación**

**Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable.** El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

#### **(CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008) Sección segunda - Ambiente sano**

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

#### **(CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008)**

**Capítulo séptimo - Derechos de la naturaleza Art. 71.-** La naturaleza o *Pacha Mama*, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia

y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

**(CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008) TÍTULO VI  
RÉGIMEN DE DESARROLLO Capítulo primero - Principios generales 22**

**Art. 276.-** El régimen de desarrollo tiene una variedad de objetivos, sin embargo, el objetivo 4 se refiere a: Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

**(CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008).**

**Capítulo segundo - Biodiversidad y recursos naturales Sección primera -  
Naturaleza y ambiente**

**Art. 395.-** La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras;

2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional;

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales;

4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

**(CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008)**

**Art. 396.-** El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva.

Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas. Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles. **(CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008)**

**Art. 397.-** En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. **(CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008)**

**Art. 398.-** Toda decisión o autorización estatal que pueda afectar al ambiente deberá ser consultada a la comunidad, a la cual se informará amplia y oportunamente. El sujeto

consultante será el Estado. La ley regulará la consulta previa, la participación ciudadana, los plazos, el sujeto consultado y los criterios de valoración y de objeción sobre la actividad sometida a consulta. El Estado valorará la opinión de la comunidad según los criterios establecidos en la ley y los instrumentos internacionales de derechos humanos. Si del referido proceso de consulta resulta una oposición mayoritaria de la comunidad respectiva, la decisión de ejecutar o no el proyecto será adoptado por resolución debidamente motivada de la instancia administrativa superior correspondiente de acuerdo con la ley. **(CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008) Sección sexta - Agua 24**

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua. **(CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008)**

#### **Normativa Ambiental Vigente TULSMA**

Las normativas establecidas en el país desempeñan un papel fundamental en el control de diversos aspectos que regulan el comportamiento del ser humano, puesto que conllevan a la determinación, protección, conservación y sostenibilidad del país.

Del mismo modo, la normativa para la determinación de la calidad del agua posee razones claves de importancia, debido a que estos reglamentos generan controles en los cuerpos de agua para garantizar los límites permisibles y requisitos para el cumplimiento de calidad del agua en sus diversos ámbitos de uso, consumo humano, riego, pecuario etc. Según los criterios de calidad del agua de la normativa TULSMA (L. de Gestión, 2012).

Se tomó como referencia la tabla 3 en base a los criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario, que se presentan a continuación.

**Tabla 9.**

*Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.*

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Clorofenoles		mg/l	0,5	0,5	0,5
Bifenilos policlorados/PCBs	Concentración total de PCBs	mg/l	0,001	0,001	0,001
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH	-	6,5 - 9	6,5 - 9	6,5 - 9,5
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H <sub>2</sub> S	mg/l	2	2	2
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	mg/l	0,02	0,02	0,4
Aluminio	Al	mg/l	0,1	0,1	1,5
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	0,1	1,5
Boro	B	mg/l	0,75	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	1	1	5
Cianuro Libre	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,01	0,01	0,01
Zinc	Zn	mg/l	0,18	0,18	0,17
Cloro residual	Cl	mg/l	0,01	0,01	0,01
Estaño	Sn	mg/l	-	-	2,00
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2	0,2
Plomo	Pb	mg/l	-	-	0,01

Cobre	Cu	mg/l	0,02	0,02	0,05
Cromo total	Cr	mg/l	0,05	0,05	0,05
Fenoles monohídricos	Fenoles	mg/l	1	1	1
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Concentración total de HAPs	mg/l	3	3	3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1	0,1
Materia flotante	visible		Ausencia	Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	2	2	1
Níquel	Ni	mg/l	25	25	0,1
Plaguicidas organoclorados totales	Conc. de organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Conc. de organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0	10,0
Piretroides	Conc. de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05	0,05
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,01	5
Selenio	Se	mg/l	0,01	0,01	0,01
Tensoactivos	Substancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5	0,5
Temperatura	°C	-	Condicion s naturales + 3; Máxima 20	Condicion s naturales + 3; Máxima 32	Condicion s naturales + 3; Máxima 32
Coliformes Fecales	-	nmp/100 ml	200	200	200

**Nota.** Criterios a tomar de la tabla N°3 del TULSMA

Adaptada por: Autor

## 9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS

¿Las actividades antrópicas que generan efluentes al río Isinche influyen en la presencia de macroinvertebrados?

¿Existe relación entre la calidad de agua del río con la diversidad de macroinvertebrados encontrados?

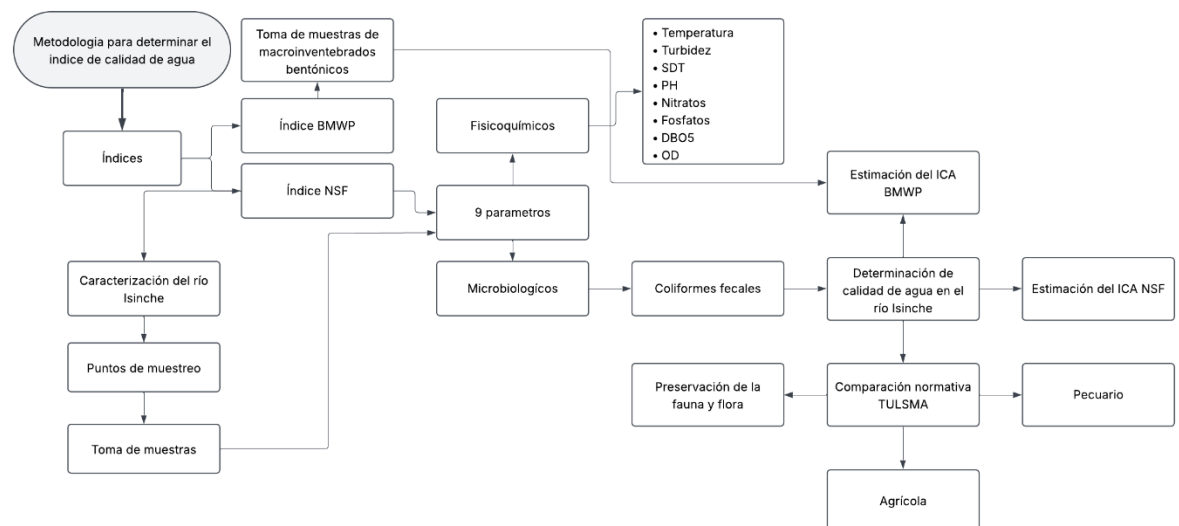
## 10. METODOLOGÍA

### 10.1. Esquema metodológico

Se diseñó un esquema metodológico detallado, que define los procedimientos basados en metodologías específicas para calcular el índice de calidad del agua, caracterizar el área de estudio y aplicar los datos obtenidos comparándolos con la normativa ecuatoriana vigente. Este enfoque se centró en los criterios de uso del agua del río Isinche, permitiendo un entendimiento profundo de la investigación realizada.

**Figura 1.**

*Esquema metodológico*



Nota. Elaborado por el autor

## **10.2. Tipo de investigación**

### ***10.2.1. Investigación cualitativa***

La investigación se enmarcó dentro de un enfoque cualitativo, orientándose hacia la comprensión de las propiedades y cualidades del ecosistema lótico estudiado. Este estudio se basó en la observación sistemática y la caracterización de los componentes del entorno para evaluar la condición ambiental del recurso hídrico. Se hizo énfasis en la descripción detallada de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, analizando su composición y presencia como reflejo de la salud del ecosistema, más allá de una simple cuantificación numérica.

Adicionalmente, se incluyeron valoraciones de los atributos físico-químicos del agua, entre los que se describieron: pH, nitratos, temperatura, DBO, fosfatos, turbidez, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y coliformes fecales. Este análisis permitió realizar una interpretación profunda y contextualizada de la realidad ambiental del río, facilitando la elaboración de diagnósticos descriptivos y una comprensión objetiva de las condiciones ecológicas encontradas en el área de estudio.

### ***10.2.2. Investigación descriptiva***

Siguiendo lo expuesto por Ochoa-Pachas y Yunkor-Romero (2020), este estudio descriptivo buscó especificar las propiedades y perfiles de los componentes ambientales que se sometieron a análisis, permitiendo una caracterización detallada del río. En este sentido, la investigación se centró en una variable de interés cualitativa, orientada a detallar la composición y el estado del entorno natural sin manipular deliberadamente las condiciones encontradas.

Bajo este concepto, la investigación se empleó con el fin de identificar los diferentes tipos de macroinvertebrados acuáticos que se encontraron en el río Isinche. Se realizó una descripción exhaustiva que inició por clase, orden y familia, detallando los rasgos morfológicos y ecológicos de cada grupo con la ayuda de guías taxonómicas especializadas. Asimismo, este

proceso descriptivo permitió interpretar de manera integral la condición hídrica, vinculando la presencia de los organismos con las características físico-químicas del afluente observadas durante el trabajo de campo.

### ***10.2.3. Investigación de campo***

De acuerdo con González-Osorio et al. (2022), la investigación de campo consistió en la recolección directa de datos primarios con objetivos específicos, lo que permitió no solo comprender y analizar, sino también interactuar con el entorno natural. En este contexto, el "campo" se identificó como el espacio físico donde ocurrieron los fenómenos investigados, facilitando una participación activa en el entorno real de las comunidades vinculadas al tema.

Aplicando este enfoque al estudio del río Isinche, esta metodología permitió evaluar su condición ambiental in situ, identificar problemáticas visibles y determinar los puntos estratégicos para la toma de muestras de agua. El trabajo de campo se ejecutó en el río Isinche, provincia de Cotopaxi, donde se tomaron como referencia los tres puntos de muestreo previamente evaluados por (Pio Hidalgo et al., 2024).

Punto 1: Hacienda Isinche Grande.

Punto 2: Alpamalag de Acurios

Punto 3: Universidad Técnica de Cotopaxi campus SALACHE.

### ***10.2.4. Investigación explicativa***

De acuerdo con Guevara Albán et al. (2020), la investigación explicativa buscó establecer relaciones de causa-efecto, yendo más allá de la simple descripción de un fenómeno para identificar sus orígenes. A diferencia de los estudios descriptivos, este enfoque profundizó en el "porqué" de los problemas, utilizando métodos que permitieron validar los hallazgos mediante la interconexión de variables.

Este nivel de investigación se empleó con el fin de relacionar los resultados de los parámetros físico-químicos con el estado de las comunidades biológicas (Índice BMWP/Col).

Esta relación permitió determinar de manera integral la calidad de los puntos seleccionados en el río Isinche, identificando cómo las presiones antrópicas específicas actuaron como causas del deterioro observado en la biodiversidad y la composición química del afluente

#### ***10.2.5. Investigación comparativa***

De acuerdo con Piovani y Krawczyk (2017), la investigación comparativa constituyó un enfoque metodológico que analizó de manera sistemática dos o más variables, fenómenos o contextos, con el objetivo de descubrir sus semejanzas, diferencias y tendencias. Este método se aplicó para profundizar en el análisis de un tema, facilitando la generación de conclusiones basadas en la contrastación rigurosa de datos.

Bajo este enfoque, el estudio realizó un análisis comparativo con datos recolectados en periodos anteriores, examinando las tendencias de cambio y la evolución de la calidad del agua durante dicho lapso. Para ello, se emplearon métodos de contraste que permitieron cuantificar las variaciones, evaluar su significancia y establecer patrones temporales. Este procedimiento fue fundamental para comprender la dinámica de los cambios observados en los parámetros físico-químicos y biológicos del río Isinche a lo largo del tiempo.

#### ***10.2.6. Investigación bibliográfica***

Durante el desarrollo del estudio, se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica en la que se analizaron críticamente diversas fuentes especializadas, tales como artículos científicos indexados, libros académicos, informes técnicos y tesis doctorales de relevancia reciente. Este proceso sistemático permitió identificar las teorías base sobre bioindicadores y calidad del agua, contrastar los enfoques conceptuales de los índices bióticos y detectar las tendencias actuales en la gestión de microcuencas.

Esta fundamentación documental sirvió para sustentar la interpretación de los hallazgos en el río Isinche, proporcionando el marco comparativo necesario para validar los resultados

obtenidos en el campo y el laboratorio, asegurando que el estudio estuviera alineado con los estándares científicos vigentes.

### **10.3. Métodos**

#### ***10.3.1. Método inductivo***

De acuerdo con Politécnica et al. (2025), este método se fundamentó en la observación y la experimentación para obtener conclusiones generales a partir de casos particulares. A través de la identificación de patrones o tendencias en los datos recolectados, se formularon principios que pudieron ser aplicados a situaciones de similar naturaleza.

El procedimiento aplicado en la investigación se estructuró de la siguiente manera:

1. Recolección de datos: Se tomaron muestras de macroinvertebrados y de agua en los puntos seleccionados del río Isinche, las cuales fueron analizadas en laboratorio y registradas sistemáticamente.
2. Formulación de inferencias: Con base en los resultados y patrones biológicos obtenidos en cada punto, se plantearon deducciones sobre el estado de salud integral del ecosistema hídrico.
3. Toma de decisiones: Finalmente, las conclusiones derivadas permitieron establecer propuestas técnicas para el manejo y preservación de los recursos hídricos en la microcuenca.

Este enfoque permitió generalizar los hallazgos específicos de los puntos de muestreo para facilitar la toma de decisiones informadas sobre la calidad ambiental del río.

### **10.4. Equipos**

#### ***10.4.1. Sistema de posicionamiento global***

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) constituyó un instrumento fundamental que permitió determinar con exactitud las coordenadas geográficas de los sitios de estudio. Cabe destacar que se emplearon los puntos de muestreo establecidos en el trabajo de investigación de Pio Hidalgo et al. (2024), lo cual facilitó la georreferenciación precisa de las estaciones de monitoreo y garantizó la continuidad espacial del análisis en la microcuenca.

#### **10.4.2. Medidor de Ph multiparámetro**

El medidor de pH multiparámetro constituyó el equipo portátil utilizado exclusivamente para determinar el pH (grado de acidez o alcalinidad) y la temperatura del agua en los puntos de muestreo. Este instrumento permitió obtener lecturas rápidas y precisas directamente en el campo, asegurando la confiabilidad de estos dos indicadores fundamentales.

Su uso se limitó a la medición *in situ* de ambos parámetros, lo cual optimizó el tiempo de monitoreo en la microcuenca del río Isinche. La temperatura registrada fungió además como un factor de control necesario para la correcta interpretación de las condiciones físicas del afluente al momento de la recolección de las muestras biológicas.

#### **10.5. Instrumentos**

- Libreta de campo

La libreta de campo se utilizó para documentar las características del sitio de estudio, incluyendo referencias geográficas, condiciones ambientales observadas, así como la fecha y hora exacta de cada muestreo. Este registro detallado permitió garantizar el cumplimiento de los objetivos establecidos para el análisis del cuerpo de agua.

- Bibliotecas digitales

Se utilizaron bibliotecas virtuales especializadas, como Google Académico, SciELO y repositorios institucionales, las cuales ofrecen acceso inmediato a recursos académicos en formato digital (libros, artículos científicos y material multimedia). Estas fuentes garantizaron la obtención de información confiable y actualizada para el desarrollo del estudio.

- Google Earth

Sistema de visualización geográfica que permitió georreferenciar con precisión las ubicaciones seleccionadas para el muestreo.

- Excel

Software de análisis de datos empleado para generar gráficos comparativos, facilitando la interpretación de los resultados obtenidos en laboratorio.

- Computadora

Equipo esencial para el procesamiento de información, ejecución de software especializado, elaboración de gráficos y almacenamiento seguro de los datos recolectados.

## **10.6. Técnicas**

### ***10.6.1. Recolección de muestras de agua según las pautas establecidas por el gobierno.***

Para recolectar las muestras de agua del río Isinche se tomó en cuenta la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98 – “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS” 35

### ***10.6.2. Manejo y conservación de las muestras para el análisis***

Recipiente adecuado: El contenedor destinado a contener la muestra, incluyendo su tapa, no debe ser una fuente de contaminación ni absorber o retener los componentes que se desean analizar. Además, no debe reaccionar con los elementos específicos de la muestra, como en el caso de la reacción entre fluoruros y vidrio. El uso de recipientes opacos o de vidrio de color ámbar puede reducir significativamente la influencia de la exposición a la luz. Es recomendable designar un conjunto exclusivo de recipientes para análisis especiales, con el fin de minimizar el riesgo de contaminación cruzada. En el caso de muestras sólidas o semisólidas, se deben utilizar jarras o botellas con abertura amplia. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1998)

Llenado del recipiente: Cuando se preparen muestras destinadas a la evaluación de parámetros físicos y químicos, es importante llenar los frascos por completo y cerrarlos de manera que no quede espacio de aire sobre la muestra. De esta manera, se reduce la interacción entre la fase gaseosa y la agitación durante el transporte, evitando alteraciones en el contenido

de dióxido de carbono, variaciones en el pH, la conversión de bicarbonatos a carbonatos precipitables y la oxidación del hierro, lo que a su vez minimiza posibles cambios de color, entre otros efectos. En contraste, las muestras destinadas al análisis microbiológico, es recomendable nollenar completamente los recipientes, dejando un espacio de aire después de cerrarlos. Esto posibilitará mezclar la muestra antes del análisis y prevenir una contaminación accidental. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1998).

**Refrigeración y congelación de las muestras.** - Es recomendable almacenar las muestras a temperaturas más bajas que las registradas durante la recolección. Los envases deben llenarse casi en su totalidad, pero no completamente. La refrigeración o congelación de las muestras resulta efectiva si se lleva a cabo inmediatamente después de su obtención. Se aconseja utilizar cajas térmicas o refrigeradores portátiles desde el lugar de muestreo. En muchos casos, un enfriamiento simple (mediante baño de hielo o en un refrigerador con temperaturas entre 2°C y 5°C) y su conservación en un lugar oscuro son suficientes para mantener la muestra durante su transporte al laboratorio y durante un periodo breve antes del análisis. El congelamiento a -20°C permite extender el tiempo de almacenamiento, pero es fundamental controlar cuidadosamente el proceso de congelación y descongelación para devolver la muestra a su estado de equilibrio inicial después de descongelarla. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1998)

**Identificación de las muestras.** - Es esencial que los envases de las muestras estén etiquetados de manera legible y duradera, de modo que en el laboratorio se pueda identificar sin ambigüedad. Es importante tomar nota de todos los detalles relevantes en el momento de la recolección, como la fecha y hora del muestreo, el nombre del muestreador, la naturaleza y cantidad de preservantes agregados, así como el tipo de análisis previsto. Estos registros contribuirán a una correcta interpretación de los resultados posteriormente. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1998)

**-Transporte de las muestras.** - Es esencial que los envases de las muestras estén etiquetados de manera legible y duradera, de modo que en el laboratorio se pueda identificar sin ambigüedad. Es importante tomar nota de todos los detalles relevantes en el momento de la recolección, como la fecha y hora del muestreo, el nombre del muestreador, la naturaleza y cantidad de preservantes agregados, así como el tipo de análisis previsto. Estos registros contribuirán a una correcta interpretación de los resultados posteriormente. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1998)

#### **10.7. Recolección de muestras para el análisis físico-químico.**

En el presente estudio de calidad del agua, se adoptó como referencia el Acuerdo Ministerial 097-A, el cual establece los límites máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según el uso asignado al recurso hídrico (consumo humano, riego, recreación, etc.).

Para la toma de muestras, se siguieron los protocolos estandarizados descritos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98, que especifica los procedimientos de recolección, preservación y transporte de muestras de agua para análisis de laboratorio. Esta normativa garantizó la obtención de datos confiables y comparables con los estándares nacionales. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo”. Los parámetros analizados en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la ciudad de Latacunga-Salache fueron: Ph, EC, mientras que para el análisis de: Nitratos, Nitritos las muestras fueron enviadas a un laboratorio externo para su análisis.

### 10.8. Materiales para la recolección de muestras y análisis de macroinvertebrados bentónicos y fisicoquímicos

A continuación, se detalla los materiales que se utilizaron para la recolección de muestras tanto de macroinvertebrados bentónicos como las muestras de agua para los análisis físico-químicos.

#### Tabla 10.

*Tabla de materiales de campo, laboratorio y equipos para recolección de macroinvertebrados bentónicos y análisis de la investigación.*

<b>Materiales de campo</b>	<b>Materiales de laboratorio</b>	<b>Equipos</b>
Cuaderno de campo	Guía de identificación para macroinvertebrados	Microscopio estereoscópico
Tamiz	Tubos de ensayo	Multiparámetro
Balde de 1/2 litro	Gotero	
Botellas de amber	Agua destilada	
Gotero	Pinzas entomológicas	
Botas, guantes	Alcohol al 70% para desinfectar muestras	
Alcohol al 70% para almacenar muestras	Vaso de precipitación	
Red de recolección de patada	Bandeja	
Frascos de vidrio	Bata	
GPS	Gotero	
Marcador permanente		
Etiquetas para identificación		
Cooler		

**Nota.** Materiales para identificar los bioindicadores y analizar los parámetros fisicoquímicos seleccionados.  
**Elaborado por:** autor

### 10.9. Recolección de muestras para el análisis de macroinvertebrados.

La recolección de organismos se realizó mediante la técnica de red de patada, un método estandarizado en estudios de macroinvertebrados bentónicos que implica agitar activamente el sustrato del lecho fluvial para capturar los organismos adheridos a los sedimentos en una red especializada. Los sedimentos recolectados fueron transferidos

inmediatamente a una bandeja blanca de polietileno para facilitar la identificación visual de los especímenes.

Los macroinvertebrados fueron separados manualmente utilizando pinzas entomológicas y preservados en frascos de vidrio ámbar con solución conservante de alcohol al 70%, debidamente etiquetados con información del sitio, fecha y coordenadas GPS. En el laboratorio, los organismos fueron procesados mediante:

1. Clasificación taxonómica en tubos de ensayo independientes por punto de muestreo
2. Conservación en alcohol al 70% para mantener la integridad estructural
3. Cuantificación numérica y registro sistemático en bases de datos digitales (Excel)

#### **10.10. Protocolo de recolección de muestras hídricas**

1. **Preparación del recipiente:** Los frascos de vidrio ámbar se acondicionaron mediante triple enjuague con agua del mismo cuerpo hídrico a muestrear, garantizando la eliminación de contaminantes previos.
2. **Toma de la muestra:** Cada recipiente se llenó por completo con agua del río, evitando la formación de burbujas de aire que pudieran alterar los parámetros de oxígeno disuelto.
3. **Identificación:** Cada muestra fue debidamente etiquetada con información detallada del punto de muestreo (coordenadas, fecha/hora), permitiendo su diferenciación durante el análisis comparativo.
4. **Preservación y transporte:** Las muestras se mantuvieron en conservación térmica (2-5°C) en contenedores isotérmicos, cumpliendo con los requisitos de la Norma INEN 2169 hasta su procesamiento en laboratorio.

#### **10.11. Proceso para el análisis del pH**

##### ***10.11.1. Medición del pH***

El procedimiento de análisis inicia con la calibración del multiparámetro utilizando soluciones buffer en el orden establecido (6.86, 4.00 y 9.18) para garantizar lecturas precisas. Posteriormente, se destapan las muestras de agua recolectadas en los puntos de muestreo y se sumerge el sensor del equipo en cada una para medir los parámetros requeridos. Finalmente, el

cabezal del multiparámetro se lava cuidadosamente con agua destilada entre cada medición, evitando así posibles contaminaciones cruzadas que pudieran afectar los resultados de las muestras posteriores. Este protocolo asegura la obtención de datos confiables y consistentes en todo el proceso.

El Índice de Calidad del Agua (ICA) adopta una escala que varía entre 0 y 100, donde valores más elevados denotan una mejor calidad. Este índice decrece en correspondencia con el incremento de los niveles de contaminación en los cuerpos hídricos de la zona de estudio. Según la metodología propuesta por Brown, se establece lo siguiente:

Los cursos de agua con un ICA superior a 90 suelen sostener una comunidad biótica acuática diversa y equilibrada. Por el contrario, aquellos con un ICA clasificado como regular exhiben una diversidad biológica reducida y pueden manifestar una tendencia a la proliferación algal.

Las masas de agua categorizadas con un ICA en el rango de calidad mala frecuentemente presentan una baja diversidad en su biota acuática, lo que puede ser indicativo de procesos de contaminación incipientes o establecidos.

Los sistemas acuáticos con un ICA en la categoría pésima se caracterizan por una marcada pobreza en su diversidad biológica, problemas ambientales significativos y se consideran inadecuados para actividades recreativas que impliquen contacto directo, como la natación.

Para la estimación del ICA en un punto de muestreo determinado, es requisito medir los nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que lo constituyen: Coliformes Fecales, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO<sub>5</sub>), Nitratos, Fosfatos, Cambio de Temperatura, Turbidez, Sólidos Disueltos Totales y Oxígeno Disuelto

La determinación numérica del ICA requiere disponer de las mediciones de dichos parámetros. Su cálculo y evaluación se basan en técnicas de agregación multiplicativa y

ponderada, asignando a cada variable un peso específico conforme a la propuesta metodológica de Brown. Para el cálculo del índice puede emplearse una función de agregación multiplicativa ponderada (Guevara Alban et al., 2020).

Para determinar el cálculo del índice de la calidad del agua se emplea la siguiente ecuación:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (sub_i * w_i) \quad (2)$$

Donde:

$W_i$  = pesos relativos asignados a cada parámetro (sub) y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

$Sub_i$  = subíndice del parámetro  $i$ , otorgado mediante gráficas o interpolación para realizar la sumatoria.

Para la implementación del cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA), se emplean pesos relativos asignados a cada parámetro, Adicionalmente, se aplica un procedimiento de interpolación lineal para obtener el subíndice correspondiente a cada variable, utilizando la siguiente expresión:

$$y = y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \cdot (y_1 - y_0) \quad (3)$$

Donde:

- $y$ : valor del subíndice a determinar.
- $y_0, y_1$ : valores de subíndice asociados a las referencias  $x_1$  y  $x_2$ , respectivamente.
- $x_1, x_2$ : valores de medición más próximos al valor conocido, obtenidos de la tabla de referencia.
- $x_0$ : valor medido del parámetro evaluado.

**Tabla 11.***Pesos relativos de los 9 parámetros.*

N°	Parametro	Wi
1	Temperatura	0.10
2	pH	0.12
3	DBO	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Turbidez	0.08
7	Oxígeno Disuelto	0.17
8	Solidos disueltos totales	0.08
9	Coliformes Fecales	0.15

Nota. Pesos relativos para el calculo del Subi. Fuente: (Vázquez-Blanco et al., 2018).

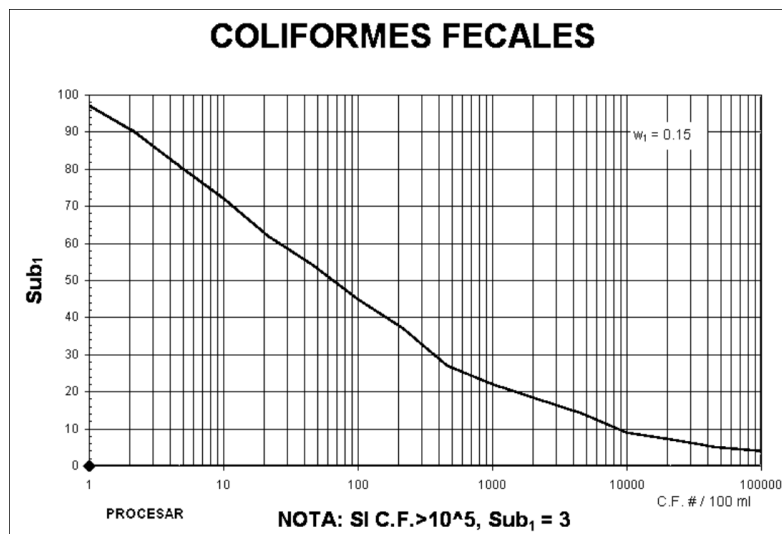
Adaptado por: Autor

### 10.12. Curvas de estimación para el cálculo del ICA

El cálculo del subíndice ( $Sub_i$ ) para el Índice de Calidad General sigue el siguiente procedimiento: Si la concentración de Coliformes fecales supera 100.000 Bac/100 mL, el valor de (SubI) se fija en 3. Si la concentración es inferior a dicho umbral, se debe ubicar el valor en el eje X, determinar el correspondiente valor en el eje Y, y este resultado se tomará como (SubI) para Coliformes fecales. Posteriormente, este subíndice se eleva al peso  $w_i$  correspondiente.

**Figura 2.**

Valoración de la calidad del agua en función de Coliformes Fecales.

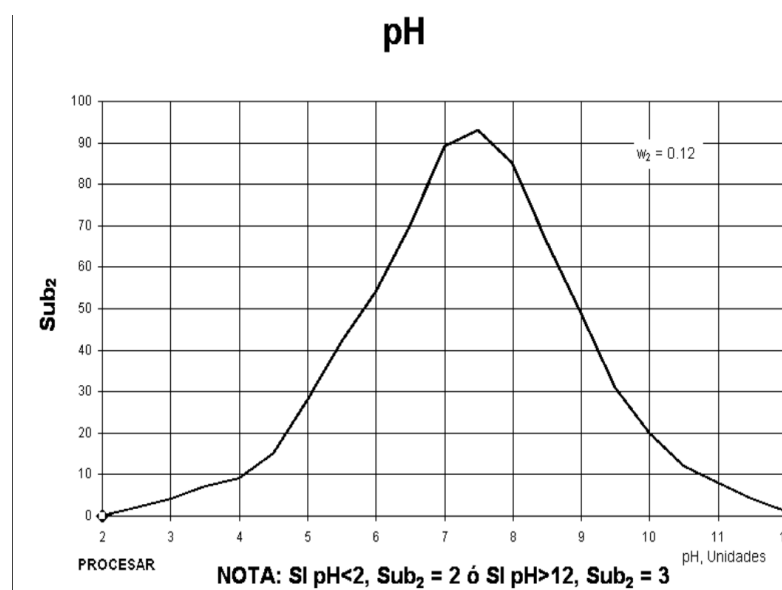


Nota. Tomado de **Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades, el (Sub2) se fija en 2; si el pH es mayor o igual a 10 unidades, el (Sub2) se establece en 3. Para valores de pH entre 2 y 10, se debe consultar la figura del Ph para localizar el valor en el eje de (X) y luego interpolar el valor correspondiente en el eje de (Y). El valor obtenido se considera el (Sub2) para el pH, y posteriormente se debe multiplicar por el peso w2.

**Figura 3.**

Valoración de la calidad del agua en función de pH.

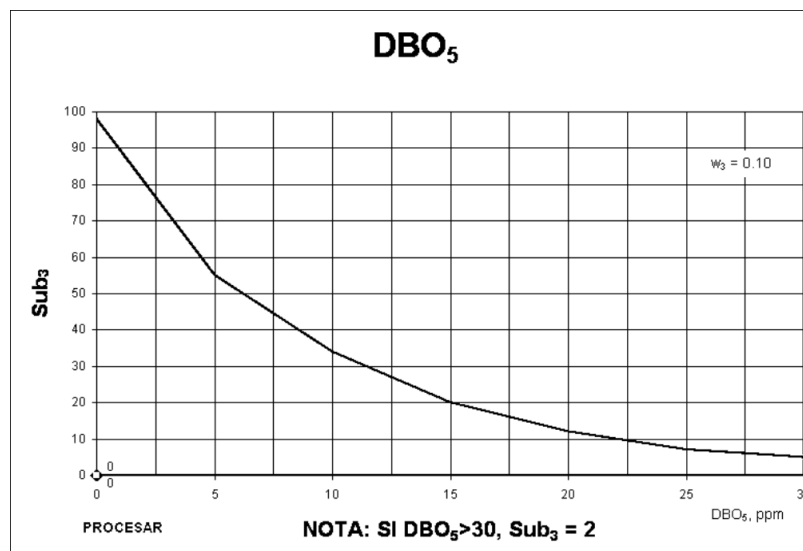


Nota. Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

Si la DBO5 es mayor de 30 mg/L el (Sub3) es igual a 2. Si la DBO5 es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la figura se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub3) de DBO5 y se procede a elevarlo al peso  $w_3$ .

#### Figura 4.

Valoración de la calidad del agua en función del DBO5.

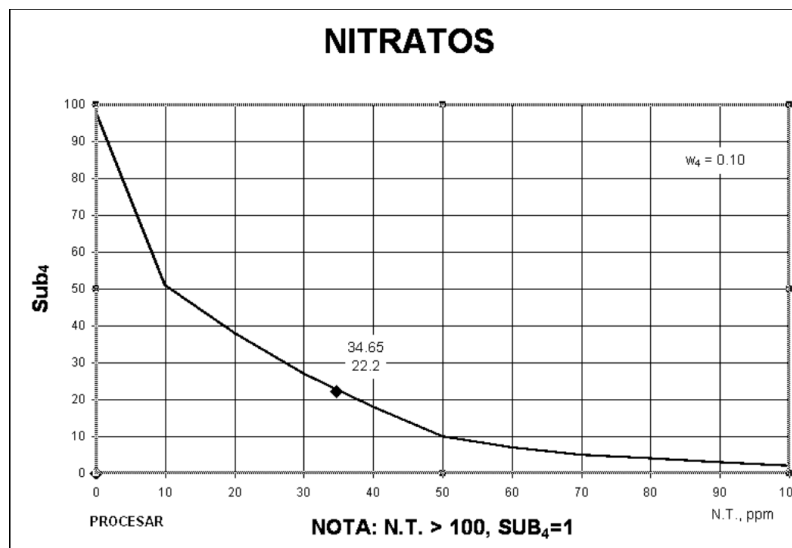


Nota. Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub4) es igual a 2. Si Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la figura, se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub4) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso  $w_4$ .

**Figura 5.**

*Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno.*

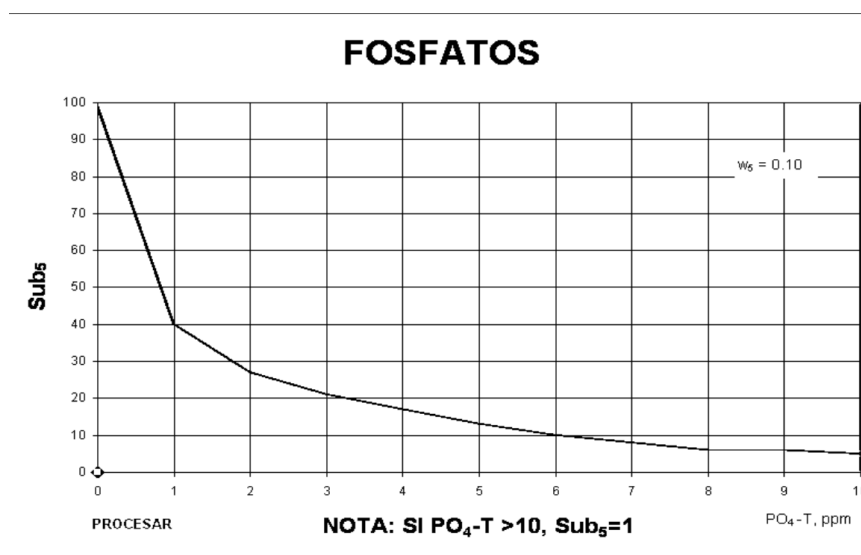


**Nota. Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

Si la concentración de Fosfatos supera los 10 mg/L, el (Sub5) se establece en 5. Si la concentración es inferior a 10 mg/L, se debe consultar la Figura 4. 8 para encontrar el valor en el eje de (X) y luego interpolar el valor correspondiente en el eje de (Y). El valor obtenido se toma como él (Sub5) para los Fosfatos y luego se multiplica por el peso  $w_5$

**Figura 6.**

*Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo.*

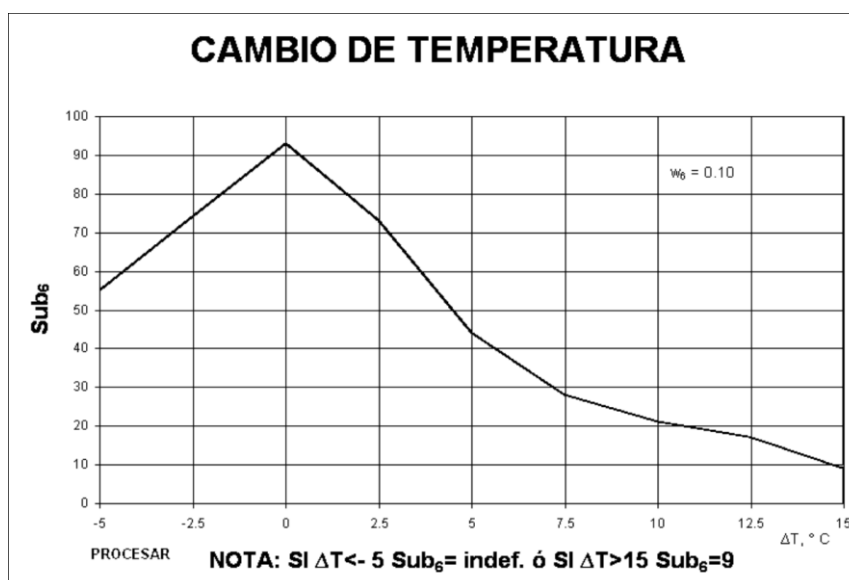


**Nota. Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

Para determinar el (Sub6) del parámetro de Temperatura, primero se debe calcular la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de la muestra. Si esta diferencia excede los 15°C, el (Sub6) se fija en 9. Si la diferencia es menor a 15°C, se debe consultar la figura para encontrar el valor correspondiente en el eje de (X) y luego interpolar el valor en el eje de (Y). El valor obtenido se considera el (Sub6) para la Temperatura y se multiplica por el peso  $w_6$

### Figura 7.

*Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura.*

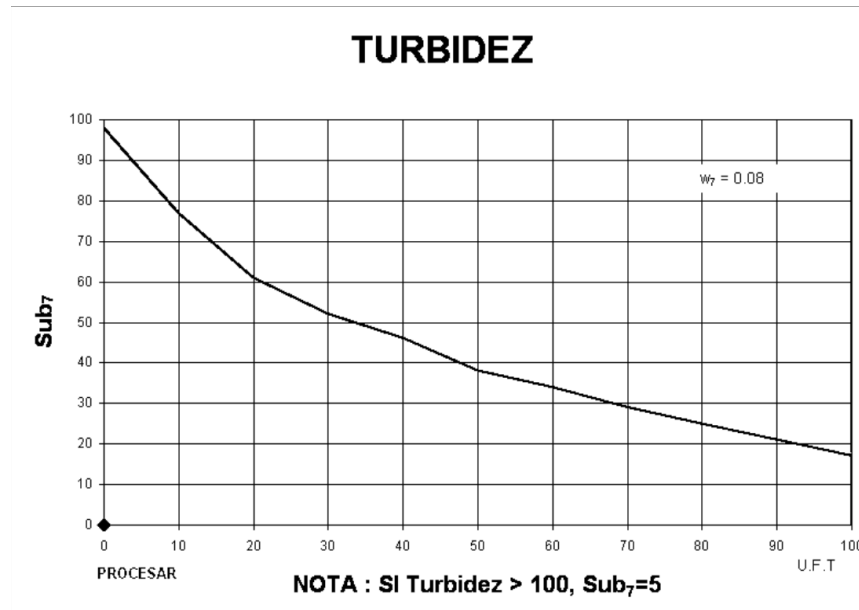


**Nota. Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

Si la Turbidez supera los 100 FAU, el (Sub7) se establece en 5. En caso contrario, si la Turbidez es inferior a 100 FAU, se debe consultar la gráfica correspondiente para encontrar el valor en el eje de (X) y luego interpolar el valor en el eje de (Y). El valor obtenido se asigna como él (Sub7) para la Turbidez y se ajusta mediante el peso  $w_7$

**Figura 8.**

Valoración de la calidad de agua en función de la turbidez.

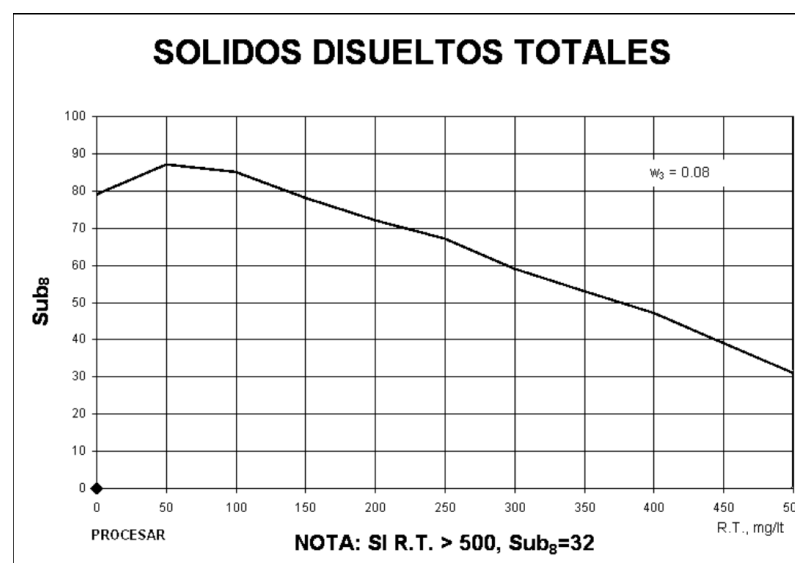


**Nota. Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

Si la concentración de Sólidos Disueltos Totales supera los 500 mg/L, el (Sub8) se fija en 3. Si la concentración es menor a 500 mg/L, se debe consultar para ubicar el valor en el eje de (X) y luego interpolar el correspondiente valor en el eje de (Y). El valor obtenido se considera el (Sub8) para los Sólidos Disueltos Totales y se multiplica por el peso  $w_8$

**Figura 9.**

Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total.



**Nota. Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

Para calcular el valor del oxígeno disuelto (OD), es esencial primero determinar el porcentaje de saturación del OD en el agua, basándose en el valor de saturación del OD correspondiente a la temperatura del agua (ver Figura 4. 6). Si el porcentaje de saturación del OD supera el 140%, se asigna  $sub_i = 47$ . Si el porcentaje es inferior al 140%, el valor correspondiente a  $sub_9$  se encuentra en la gráfica de la Figura 4. 12, con un peso relativo de  $w_i = 0.1$

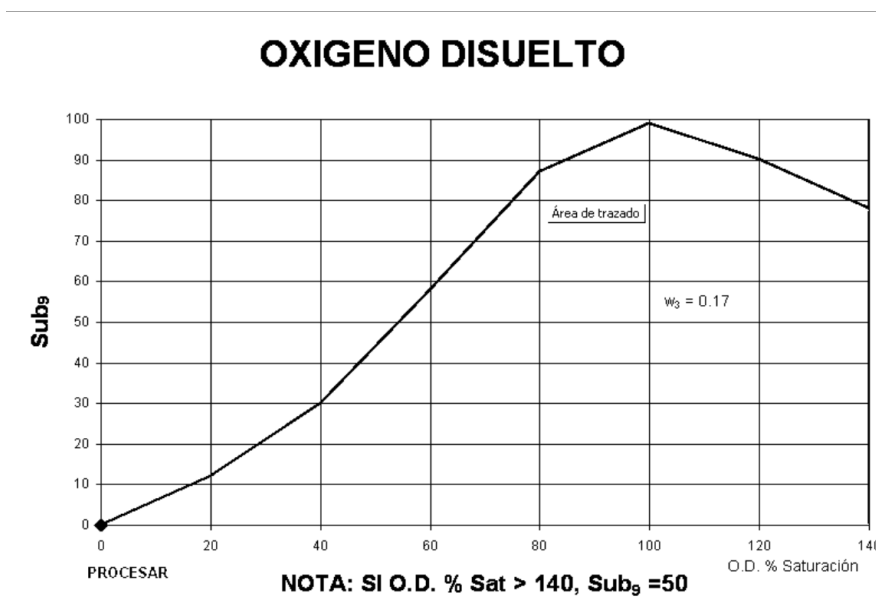
$$\%ODS = \frac{\text{Oxígeno disuelto (Muestra)}}{\text{Oxígeno disuelto saturado}} * 100 \quad (4)$$

Dónde:

% ODS: Porcentaje de saturación

### Figura 10.

*Valoración de la calidad de agua en función del % de S. O.*



Nota. Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

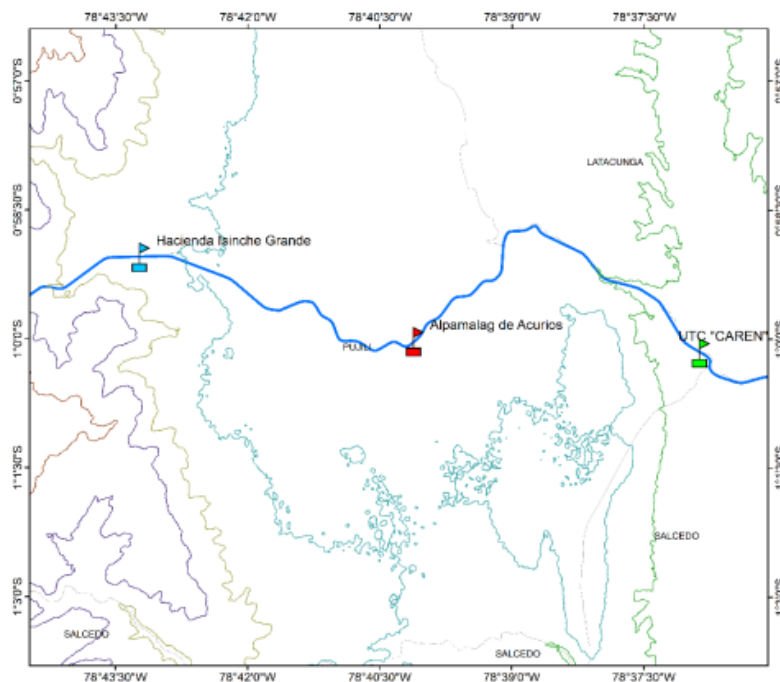
## 11. Resultados

### 11.1. Área de estudio

El río Isinche nace en la cordillera andina del centro-norte ecuatoriano, recorriendo los cantones de Pujilí, Salcedo y Latacunga hasta su confluencia con el río Cutuchi. Este sistema fluvial presenta problemas de contaminación con doble origen: por un lado, procesos naturales como la erosión y sedimentación asociados a su geología; y por otro, impactos antropogénicos más severos causados por actividades agrícolas intensivas, descargas de aguas servidas sin tratamiento y manejo inapropiado de desechos, que representan las principales amenazas para su equilibrio ecológico.

#### Figura 11.

*Mapa del río Isinche.*



**Nota.** Adaptado de (Pio Hidalgo et al., 2024)

**Elaborado por:** autor

### 11.2. Temperatura

Según Víctor et al. (2023), el río estudiado, al encontrarse en la región andina de Cotopaxi, está fuertemente marcado por el clima local. Aquí predomina un clima de tundra, lo que significa que las temperaturas varían entre frías y templadas. Durante el día, la temperatura promedio oscila entre los 13°C y 15°C, pero al caer la noche, baja considerablemente,

ubicándose entre los 4°C y 7°C. Además, la temporada invernal, que va de diciembre a mayo, se caracteriza por ser más húmeda y fría, con temperaturas que se mueven entre los 5°C y 15°C.

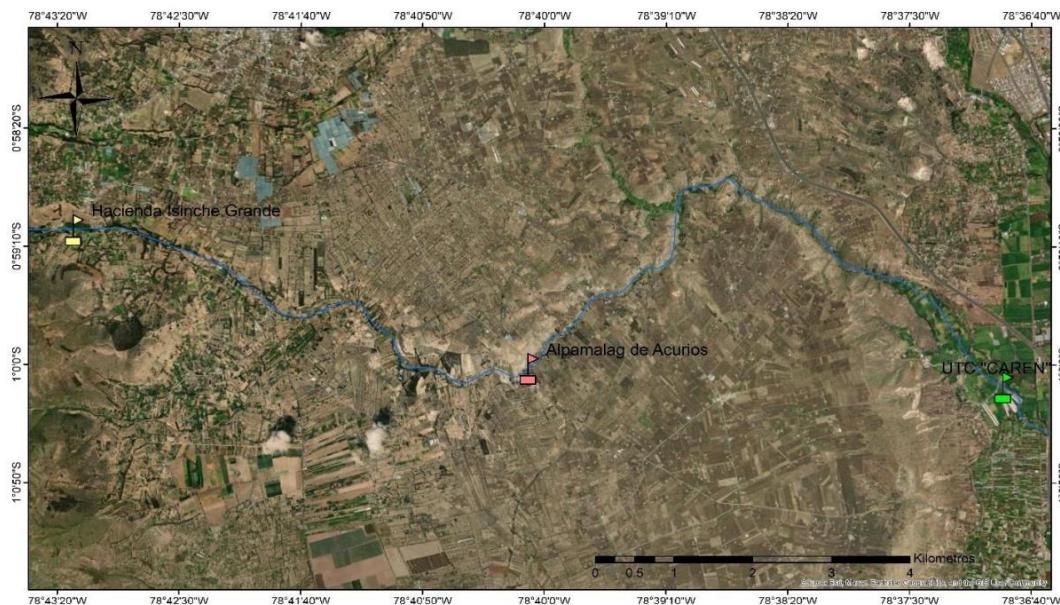
Según lo planteado por Fustamante Idrogo (2020), las temperaturas más altas en el agua actúan como un acelerador, apurando tanto las reacciones químicas como los procesos biológicos. Esto tiene varias consecuencias: la materia orgánica se descompone más rápido, la disponibilidad de nutrientes cambia y la capacidad del agua para mantener oxígeno disuelto disminuye. Además, estas condiciones más cálidas favorecen el crecimiento de algas y otros organismos acuáticos, lo que a su vez podría aumentar la turbidez del agua.

### **11.3. Puntos de muestreo**

P1 El primer punto propuesto, fue asignado como inicial de referencia, debido a la pureza de la misma (González-Osorio et al. 2022), nos menciona que los sitios con mayor vegetación suelen albergar, agua en estado más puro y conservado, debido a la riparia vegetativa que mayormente se encuentra en estas zonas.

P2 se seleccionó como un punto intermedio, reflejando la intensificación de la carga contaminante difusa proveniente de actividades agrícolas y ganaderas.

P3 se ubicó estratégicamente en el punto de descarga de aguas residuales de un campus universitario, para cuantificar el impacto directo de una fuente puntual de contaminación. Esta zonificación permitió analizar la progresión de la degradación hídrica desde condiciones de menor alteración hasta escenarios de impacto significativo.

**Figura 12.***Puntos de muestreo.***Nota.** Puntos ubicados en Google Maps**Elaborado por:** autor**Tabla 12.***Ubicación y descripción de los puntos de muestreo.*

Puntos	Ubicación	Coordenadas		Altitud
		Longitud (X)	Latitud (Y)	
P1	Hacienda Isinche Grande	753703.00	9891133.00	3007 msnm
P2	Alpalagal de Acurios	759480.32	9889327.52	2887 msnm
P3	Universidad Técnica de Cotopaxi campus SALACHE	765511.60	9889083.66	2695 msnm

**Nota.** Tomado y adaptado de (Pio Hidalgo et al., 2024)**Elaborado por:** autor

#### 11.4. Análisis de muestras de agua

Utilizando el medidor multiparamétrico (WATER TESTER), se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura del agua y pH. También se registró la

temperatura ambiente. Es importante destacar que el equipo fue revisado y calibrado previamente para asegurar su precisión y adecuación en la toma de muestras.

Para el protocolo de medición “in situ” se desarrolló de la siguiente manera:

- Para determinar el pH y la temperatura del agua, el equipo se lava con agua destilada para prevenir la contaminación de las muestras y evitar alteraciones en las mediciones de los parámetros.
- Para evaluar los parámetros, se tomó agua del cuerpo hídrico en un recipiente de vidrio previamente homogenizado, donde se realizaron las mediciones respectivas.
- Luego, se introdujo la en el recipiente hasta que la medición se estabilizó, permitiendo registrar los datos de cada parámetro.
- Además, se cumplió con la toma de muestras en los tres puntos. Finalmente, se conservó las muestras para su respectivo traslado.
- Mediciones “in situ”

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos mediante el muestreo in situ de los parámetros de pH y temperatura del agua, determinados con el medidor portátil. Estos resultados muestran la variabilidad de los valores en los tres puntos de muestreo en el río Isinche.

**Tabla 13.**

*Resultados obtenidos mediante el muestreo in-situ de los parámetros de pH y temperatura del agua.*

Puntos de muestro	Parámetros	Unidad	Valores
P1	pH	upH	9,20
	Temperatura del agua	°C	14°
P2	pH	upH	6,95
	Temperatura del agua	°C	15°
P3	pH	upH	9,35
	Temperatura del agua	°C	14°

**Nota.** Parámetros obtenidos en los tres puntos de estudio

**Elaborado por:** autor

## 11.5. Análisis de agua en el laboratorio

Para el análisis de las muestras recolectadas, se utilizó un equipo portátil para su transporte a un laboratorio acreditado, donde se analizaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la microcuenca del río Isinche.

### 11.5.1. Comportamiento de la calidad del Agua en la microcuenca del río Isinche

La calidad del agua en la microcuenca del río Isinche varía según el grado de afectación de las riberas del río, influenciado por actividades antropogénicas. Los resultados obtenidos, presentados en la tabla correspondiente, muestran la variación de los datos en tres zonas del río, basados en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del ICA-NSF.

**Tabla 14.**

*Parámetros fisicoquímicos y microbiológico (resultados laboratorio).*

Parámetros	Unidades	Hacienda Isinche Grande	Alpamalag de Acurios	UTC campus SALACHE
Coliformes fecales (CF)	NMP/100 ml	< 1020	< 180	< 1050
Potencial de hidrógeno (pH)	U	9,20	6,95	9,35
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mgO <sub>2</sub> /l	< 60	< 25	< 120
Nitratos (N-N0-3)	mg/L	12,5	8,6	12,6
Fosfatos (P-PO43-)	mg/L	5	0,2	8
Temperatura	°C	14°	15°	14°
Turbidez	NTU	< 15,9	< 4	< 25,1
Sólidos totales disueltos (STD)	mg/L	650	454	750

Oxígeno disuelto	mg/L	8,20	6,30	15,2
(OD)				

**Nota.** Daros obtenidos en el laboratorio

**Elaborado por.** autor

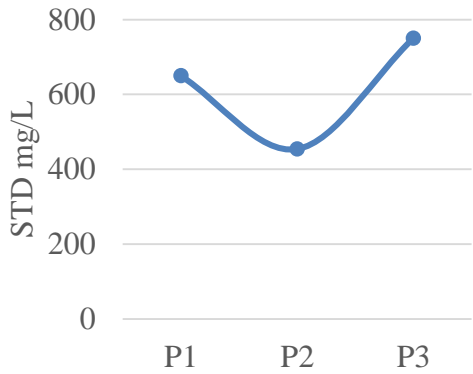
### 11.6. Parámetros físicos

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento de los parámetros físicos medidos en los tres puntos de muestreo en la microcuenca del río Isinche.

**Tabla 15.**

*Variación de los parámetros físicos.*

Parámetro	Unidad	Resultado	Gráfica								
Temperatura	°C	Según los resultados, se puede observar que el punto 1 y 3 llegan a tener la misma temperatura, influenciado por el momento que fue tomado en ambos puntos. Por otro lado, el P2 se registró una temperatura de °C siendo la que más llega a destacar.	<p><b>Temperatura</b></p> <table border="1"> <tr><th>Punto</th><th>Temperatura (°C)</th></tr> <tr><td>P1</td><td>14,0</td></tr> <tr><td>P2</td><td>15,0</td></tr> <tr><td>P3</td><td>14,0</td></tr> </table>	Punto	Temperatura (°C)	P1	14,0	P2	15,0	P3	14,0
Punto	Temperatura (°C)										
P1	14,0										
P2	15,0										
P3	14,0										
Turbidez	NTU	En el caso de la turbidez nos encontramos con un aumento progresivo empezando por 25.1 en el P3, 15.9 en el P1 y finalizando con 4 en el P2. Estos resultados nos indican la presencia de partículas en suspensión en el agua, atribuibles a la escorrentía superficial y la erosión del suelo, provocado por la contaminación de desechos comunes e industriales	<p><b>Turbidez</b></p> <table border="1"> <tr><th>Punto</th><th>Turbidez (NTU)</th></tr> <tr><td>P1</td><td>15,9</td></tr> <tr><td>P2</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>P3</td><td>25,1</td></tr> </table>	Punto	Turbidez (NTU)	P1	15,9	P2	4,0	P3	25,1
Punto	Turbidez (NTU)										
P1	15,9										
P2	4,0										
P3	25,1										

Sólidos totales disueltos	mg/l	Según los datos obtenidos, se observa el P3, 750 mg/l, P1, 650 mg/l y finalmente P2, con 454 mg/l. Estos resultados reflejan la presencia de minerales y otras sustancias disueltas en el agua, influenciadas por actividades humanas.	<p style="text-align: center;"><b>Sólidos totales disueltos</b></p>  <table border="1" style="display: none;"> <caption>Data for Sólidos totales disueltos</caption> <thead> <tr> <th>Punto</th> <th>STD (mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P1</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>454</td> </tr> <tr> <td>P3</td> <td>750</td> </tr> </tbody> </table>	Punto	STD (mg/L)	P1	650	P2	454	P3	750
Punto	STD (mg/L)										
P1	650										
P2	454										
P3	750										

**Nota:** Detalle del comportamiento de los parámetros físicos, en los tres puntos de muestreo

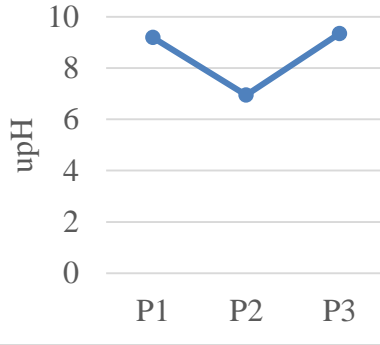
**Elaborado por:** autor

### 11.7. Parámetros Químicos

En la tabla que se muestra a continuación se determinan los resultados de los parámetros químicos medidos para evaluar el comportamiento e impacto de la calidad del agua en los 3 puntos de muestra.

**Tabla 16.**

*Variación de los parámetros físicos.*

Parámetro	Unidad	Resultado	Gráfica								
pH	upH	Según los resultados se encontró que el P1(9.20) y P3(9.35) tienen un aumento evidente frente al P2 (6.95) debido a la entrada de sustancias alcalinas, A pesar de estas variaciones los valores están en un rango considerado óptimo para el desarrollo de procesos biológicos.	<p style="text-align: center;"><b>pH</b></p>  <table border="1" style="display: none;"> <caption>Data for pH</caption> <thead> <tr> <th>Punto</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P1</td> <td>9.20</td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>6.95</td> </tr> <tr> <td>P3</td> <td>9.35</td> </tr> </tbody> </table>	Punto	pH	P1	9.20	P2	6.95	P3	9.35
Punto	pH										
P1	9.20										
P2	6.95										
P3	9.35										

Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/l	Se observa que los niveles varían por punto y van en crecimiento, en el P3 y P1 se registra una concentración de 12.5, 12.6 mg/l, lo cual se atribuye a la actividad agrícola ya que los nitratos son comunes en fertilizantes y tienen la capacidad de filtrarse a los cuerpos de agua, en el P2 (8.6 mg/l) muestra una menor ausencia de nitratos.	<p><b>Nitratos</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Punto</th> <th>Nitratos (NO<sub>3</sub>) mg/l</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P1</td> <td>12.5</td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>8.6</td> </tr> <tr> <td>P3</td> <td>12.6</td> </tr> </tbody> </table>	Punto	Nitratos (NO <sub>3</sub> ) mg/l	P1	12.5	P2	8.6	P3	12.6
Punto	Nitratos (NO <sub>3</sub> ) mg/l										
P1	12.5										
P2	8.6										
P3	12.6										
Fosfatos (F04)	mg/l	De acuerdo a los datos obtenidos, indican cambios a través de los 3 puntos siendo el P3 (8 mg/l) el más alto por otro lado siguiéndole el P1 con (5 mg/l) en contraste P2 (0.196), esto refleja menor influencia de acciones humanas y fuentes antropogénicas.	<p><b>Fosfatos</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Punto</th> <th>Fosfatos (FO<sub>3</sub>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P1</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>0.196</td> </tr> <tr> <td>P3</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>	Punto	Fosfatos (FO <sub>3</sub> )	P1	5	P2	0.196	P3	8
Punto	Fosfatos (FO <sub>3</sub> )										
P1	5										
P2	0.196										
P3	8										
Oxígeno Disuelto	mg/l	Los datos muestran acumulación de oxígeno disuelto en varios puntos del río, en P3 se registra una acumulación de 15.2 mg/l debido a la entrada de afluentes adicionales y a una mayor acción biológica, en P2 con 6.3 mg/l siendo la de menor rango atribuida a la presencia de fuentes de agua pura, y P1 con 8.2 mg/l.	<p><b>Oxigeno disuelto</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Punto</th> <th>(OD)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P1</td> <td>8.2</td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>6.3</td> </tr> <tr> <td>P3</td> <td>15.2</td> </tr> </tbody> </table>	Punto	(OD)	P1	8.2	P2	6.3	P3	15.2
Punto	(OD)										
P1	8.2										
P2	6.3										
P3	15.2										

DBO5	mg/l	Se puede observar que los niveles se ven afectados en los puntos asignados, siendo el más alto el P3 con 120 mg/l siguiéndole el P1 con 60 mg/l y por último el P2 el cual cuenta con 25 mg/l, por lo tanto, a mayor DBO5, mayor es la cantidad de materia orgánica degradable.	
------	------	---	--

**Nota:** Detalle del comportamiento de los parámetros químicos, en los tres puntos de muestreo

**Elaborado por:** autor

### 11.8. Parámetros microbiológicos

En la tabla presentada a continuación se analiza el comportamiento del parámetro microbiológico, indicando el nivel de presencia de coliformes fecales en los 3hi puntos seleccionados del río Isinche

**Tabla 17.**

*Variación de los parámetros microbiológicos.*

Parámetro	Unidad	Resultado	Gráfica
Coliformes fecales	NMP/100ml	Se encontró un aumento desde el P1 hasta el P3 con concentraciones que varían entre 1020 NMP/100ml hasta 1050 NMP/100ml. Esto se debe a las descargas de aguas residuales y las prácticas agrícolas, el P1 es el menos afectado con una menor intervención de actividades antrópicas.	

**Nota:** Detalle del comportamiento de los parámetros microbiológicos, en los tres puntos de muestreo

**Elaborado por:** autor

## 12. Discusión

## 12.1. Aplicación y cálculo de la metodología ICA-NSF

Mediante la recolección de muestras y la posterior obtención de los resultados analizados por el laboratorio, se aplicó la metodología NSF para determinar el grado de contaminación del agua utilizando la ecuación propuesta por Brown.

### 12.1.1. P1 “Hacienda Isinche Grande”

#### Oxido disuelto

Para calcular el valor del parámetro de oxígeno disuelto, se tomó en cuenta la temperatura de la muestra y el porcentaje de oxígeno disuelto saturado, de este modo permitió la obtención del  $Subi$  necesario para multiplicar con el peso relativo, generando así el valor del parámetro evaluado. A continuación, se describe el procedimiento para obtener el valor del parámetro.

#### Procedimiento

Para determinar el oxígeno disuelto saturado, se empleó la tabla en donde se encuentran los valores dependiendo la temperatura de la muestra y la ecuación basada en la metodología, una vez obtenido este valor, se calculó el porcentaje de oxígeno disuelto saturado. Por último, se realizó una interpolación para obtener el resultado del parámetro nombrado.

**Tabla 18.**

*Cálculo del porcentaje de Oxígeno Disuelto.*

Muestra 1	Temperatura de muestra	Oxígeno disuelto saturado	%Oxígeno disuelto saturado
8.20	14	10.29	60.1

**Nota.** Cálculo de una muestra para el porcentaje de oxígeno disuelto

**Elaborado por:** Autor

Para los valores se empleó la ecuación correspondiente según lo descrito en la metodología para obtener los valores necesarios para la interpolación y determinar el  $Subi$ .

Luego, se multiplicó este valor por el peso relativo correspondiente al parámetro, permitiendo así calcular el índice de calidad del oxígeno disuelto, como se presenta en la ecuación

$$y = 0 + \frac{(60.1-0)}{(63-0)} \cdot (62.5 - 0) \quad (5)$$

$$y = 87.8$$

**Tabla 19.**

*Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona alta "Hacienda Isinche Grande".*

Parámetros	MI	Datos ICA Parcial	Peso Relativo	Total
Oxígeno disuelto	8.20	87.8	0.17	14.93
Coliformes fecales	1020	21.3	0.15	3.20
pH	9.20	39.2	0.12	4.70
DBO5	60	2	0.10	0.20
Nitratos	12.5	47.5	0.10	4.75
Fosfatos Totales	5	13	0.10	1.30
Cambio Temperatura	-2	78	0.10	7.8
Turbidez	15.9	85.6	0.08	6.85
Solidos totales disueltos	650	32	0.08	2.56
			<b>1.00</b>	<b>46.29</b>
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>				<b>MALA</b>

**Nota. Elaborado por:** Autor

Mediante los valores obtenidos de la tabla nos arrojó una puntuación de **46.29**, misma que se puede clasificar dentro de la categoría **MALA** según la escala del Índice de Calidad del Agua NSF (ICA-NSF). Esto indica que, aunque el agua no presenta una contaminación severa, sí requiere atención en algunos parámetros críticos para mejorar su calidad y prevenir deterioros futuros.

### 12.1.2. P2 Alpamagal de Acurios

**Tabla 20.**

*Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona media “Alpamagal de Acurios”.*

Parámetros	MI	Datos ICA Parcial	Peso Relativo	Total
Oxígeno disuelto	6.30	61.9	0.17	10.52
Coliformes fecales	180	38.9	0.15	5.84
pH	6.95	87.5	0.12	10.50
DBO5	25	7.8	0.10	0.78
Nitratos	8.6	56.5	0.10	5.65
Fosfatos Totales	0.2	87.4	0.10	8.74
Cambio Temperatura	-1	78	0.10	7.80
Turbidez	4	90	0.08	7.20
Solidos totales disueltos	454	38.5	0.08	3.08
			1.00	60.11
CALIDAD DEL AGUA				REGULAR

**Nota. Elaborado por:** Autor

El análisis realizado en el segundo punto de muestreo arrojó un valor de **60.11** en el Índice de Calidad del Agua NSF (ICA-NSF), lo que sitúa la calidad del recurso hídrico en la categoría **REGULAR**. Este resultado refleja una condición desfavorable en términos generales, con la mayoría de los parámetros evaluados dentro de los rangos aceptables establecidos por la normativa vigente.

### 12.1.3. Universidad Técnica de Cotopaxi - Campus Salache

**Tabla 21.**

*Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona baja “Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache”.*

Parámetros	MI	Datos ICA Parcial	Peso Relativo	Total
------------	----	----------------------	---------------	-------

Oxígeno disuelto	15.20	50	0.17	8.50
Coliformes fecales	1050	21	0.15	3.15
pH	9.35	36	0.12	4.32
DBO5	120	2	0.10	0.20
Nitratos	12.6	47.5	0.10	4.75
Fosfatos Totales	8	6	0.10	0.60
Cambio Temperatura	-2	78	0.10	7.8
Turbidez	25.1	56.5	0.08	4.52
Solidos totales disueltos	750	32	0.08	2.56
			1.00	36.40
CALIDAD DEL AGUA				MALA

**Nota. Elaborado por:** Autor

La evaluación del tercer punto de muestreo (UTC Salache) determinó un índice de calidad de agua de 36.40, clasificándolo como **MALA** según la escala NSF-ICA. Este resultado refleja una degradación significativa, impulsada principalmente por parámetros críticos: el oxígeno disuelto presentó sobresaturación (>140%), lo que redujo su subíndice a 50; la DBO<sub>5</sub> (120 mg/L) mostró un subíndice bajo (2), indicando una carga orgánica elevada; y los coliformes fecales (1050 NMP/100 mL) y fosfatos (8 mg/L) presentaron valores que reflejan contaminación antrópica. La combinación de estos factores sugiere una fuerte influencia de descargas no tratadas, posiblemente de origen doméstico y agrícola, que comprometen la salud del ecosistema acuático y restringen los usos del recurso.

## 12.2. Determinación del ICA en el río Isinche

A continuación, se presenta una tabla con los resultados obtenidos al aplicar el ICA en el muestreo que se realizó en los tres puntos del río Isinche. Los resultados evidencian una variabilidad espacial marcada y una condición general de deterioro en la calidad del agua a lo largo del tramo estudiado. El Punto 2 (Alpamalag de Acurios) es el único que alcanza una

clasificación **REGULAR** (color amarillo) con un valor de 60.11, indicando una calidad aceptable, aunque con margen de mejora, particularmente en parámetros como oxígeno disuelto y nitratos. En contraste, los Puntos 1 y 3 se sitúan en la categoría **MALA** (color rojo) con valores de 46.29 y 36.40, respectivamente. Esta clasificación refleja un impacto ambiental significativo, impulsado principalmente por elevados niveles de DBO<sub>5</sub>, coliformes fecales y, en el caso del Punto 3, una sobresaturación de oxígeno disuelto que sugiere procesos de eutrofización.

**Tabla 22.**

*Resultados de la aplicación del ICA-NSF en los tres puntos de muestreo.*

RESULTADOS			
PUNTOS DE MUESTREO	CATEGORIA	TOTAL	COLOR
Zona alta “Hacienda Isinche Grande”	MALA	46.29	MALA
Zona media “Alpamalag de Acurios”	REGULAR	60.11	REGULAR
Zona Baja “UTC Extensión Salache”	MALA	36.40	MALA
<b>ICA-NFS Rio Isinche</b>	<b>MALA</b>	<b>47.6</b>	<b>MALA</b>

**Nota. Elaborado por:** Autor

### 12.3. Comparación de la calidad del agua según la normativa ecuatoriana

**Tabla 23.**

*Clasificación normativa ecuatoriana (TULSMA).*

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA NORMATIVA ECUATORIANA	
Dentro de los límites permisibles	Amarillo claro
Fuera de los límites permisibles	Rosa claro

**Nota. Elaborado por:** Autor

Los resultados obtenidos del análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los tres puntos de muestreo del río Isinche fueron comparados con la tabla 3 del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), para determinar el cumplimiento de los límites permisibles del criterio de calidad de agua para preservación de la flora y fauna respectivamente.

**Tabla 24.***Criterios de calidad de preservación de la flora y fauna.*

Parámetros	Unidades	Datos de Muestreo			Limites Permisibles (TULSMA)
		M1	M2	M3	Preservación flora y fauna
Oxígeno Disuelto	mg/l	8.20	6.30	15.20	No menores al 80% y no menores a 6 mg/l
Coliformes Fecales	NMP/100 MI	< 1020	< 180	< 1050	Máximo 200
pH	upH	9.20	6.95	9.35	6.5 – 9
DBO5	mg/l	< 60	< 25	< 120	NE
Nitratos	mg/l	12.5	8.6	12.6	NE
Fosfatos Totales	mg/l	5	0.2	8	NE
Temperatura	°C	14°	15°	14°	Condiciones naturales +5 máximo 20
Turbidez	NTU	< 15.9	< 4	< 25.1	NE
Solidos Totales Disueltos	mg/l	650	454	750	NE

**Nota.** Elaborado por el autor

Se identifican incumplimientos significativos en otros parámetros clave: el pH en los puntos M1 y M3 supera el límite máximo permitido (9.0), lo que indica condiciones de alcalinidad no aptas para preservación de la flora y fauna; los nitratos en M1 y M3 exceden el límite pecuario (10 mg/L); y los coliformes fecales en M1 y M3 presentan una elevada concentración que sobrepasa los límites tanto para preservación (200 NMP/100 mL) como para uso pecuario y agrícola (1000 NMP/100 mL). Estos resultados reflejan una afectación diferenciada a lo largo de la microcuenca, con el punto M2 (Alpamalag de Acurios) mostrando un comportamiento más favorable, mientras que los puntos M1 y M3 evidencian presiones antrópicas que comprometen la calidad del agua para los usos evaluados.

#### **12.4. Índices de calidad para macroinvertebrados**

A continuación, se presentan dos tablas unificadas con los resultados del estudio de macroinvertebrados acuáticos. La Tabla N°22 muestra la composición taxonómica y el número total de individuos recolectados en los tres puntos de muestreo. La Tabla N°23 resume los valores obtenidos para los índices biológicos aplicados y su correspondiente evaluación de la calidad ecológica en cada sitio.

**Tabla 25.**

Número de individuos y resultado de macroinvertebrados en los tres puntos de muestreo.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	N° INDIVIDUOS	TOTAL
<i>Insecta</i>	<i>Diptera</i>	<i>CHIRONOMIIDAE</i>	275	
<i>Ciltellata</i>	<i>Haplotaxida</i>	<i>TUBIFICIDAE</i>	85	
<i>Turbellaria</i>	<i>Tricladida</i>	<i>PLANARIIDAE</i>	73	
<i>Ciltellata</i>	<i>Rhynchobdellida</i>	<i>GLOSSIPHONIIDAE</i>	45	750
<i>Malacostraca</i>	<i>Amphipoda</i>	<i>HYALELLIDAE</i>	60	
<i>Insecta</i>	<i>Diptera</i>	<i>TABANIIDAE</i>	40	
<i>Gasteropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>PHYSIDAE</i>	11	
<i>Insecta</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>NAUCORIDAE</i>	8	
<i>Malacostraca</i>	<i>Decapoda</i>	<i>PALAEMONIDAE</i>	70	
<i>Insecta</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>BAETIDAE</i>	43	
<i>Insecta</i>	<i>Trichoptera</i>	<i>LEPTOCERIDAE</i>	15	
<i>Insecta</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>OLIGONEURIIDAE</i>	25	

Punto de muestreo	BMWP/Co	Calidad	ABI	Calidad	EPT%	Calidad	Shannon-Weaver	Biodiversidad
Hacienda Isinche Grande	33	CRITICA	30	BAJO	0%	MUY BAJO	1,54	BAJO
Alpalag de Acurios	64	ACEPTABLE	52	MODERADO	22%	MEDIO	2,2	MEDIO
UTC Campus "SALACHE"	57	DUDOSA	45	MODERADO	11,20%	BAJO	2,2	MEDIO

**Nota.** Elaborado por el autor

En la tabla se puede observar que la muestra de macroinvertebrados bentónicos cuenta con un total de 750 individuos distribuidos en diversas clases, órdenes y familias, con una predominancia notoria de la clase Insecta del orden Diptera y familia CHIRONOMIDAE, sumando 275 individuos. Esta alta presencia de Chironomidae puede ser indicativa de condiciones de calidad de agua comprometida, ya que son organismos tolerantes a la contaminación. Le sigue en abundancia la clase Ciltellata del orden Haplotaxida y familia TUBIFICIDAE, con 85 individuos, lo que sugiere ambientes con materia orgánica en descomposición.

En cuanto a los puntos de muestreo, la Hacienda Isinche Grande presenta un puntaje BMWP/Co de 33, un ABI de 30 y un EPT del 0%, lo que sugiere una calidad crítica del agua. Su biodiversidad, medida por el índice de Shannon-Weaver, es baja (1.54). Esta combinación de valores indica una fuerte presión ambiental, posiblemente por contaminación orgánica, que reduce la presencia de taxones sensibles.

El punto Alpalag de Acuarios muestra un BMWP/Co de 64, un ABI de 52 y un EPT del 22%, resultando en una calidad aceptable a moderada. La biodiversidad es media (Shannon-Weaver = 2.2), lo que sugiere una comunidad más equilibrada y un ambiente con menor perturbación, aunque aún con margen de mejora.

Finalmente, UTC Campus registra un BMWP/Co de 57, un ABI de 45 y un EPT del 11,20%, indicando una calidad dudosa a moderada. Su biodiversidad es media (Shannon-Weaver = 2.2), pero el bajo porcentaje de EPT (organismos sensibles) refleja cierta alteración ambiental, posiblemente vinculada a actividades humanas en la zona del campus que afectan la calidad del agua.

### **12.5. Propuesta de estrategias de mitigación para el río Isinche**

El planteamiento de acciones correctivas para el río Isinche nace como una respuesta impostergable ante la crítica situación ambiental que atraviesa este cuerpo de agua. En este marco, se formulan medidas específicas orientadas a revertir los efectos negativos ocasionados por la contaminación y el deterioro del ecosistema fluvial. La finalidad primordial de estas acciones es conservar la calidad hídrica del río Isinche y proteger su diversidad biológica, con el propósito de garantizar su permanencia en el tiempo y contribuir al bienestar de las poblaciones que subsisten gracias a sus aguas y los recursos de su entorno.

### **12.6. Diagrama de Ishikawa respecto a la calidad de agua del río Isinche**

El diagrama de Ishikawa, denominado también "espina de pescado" o diagrama causa-efecto, constituye una valiosa herramienta para entender la magnitud y origen de la contaminación del río Isinche. Este esquema toma como eje central el problema principal: la contaminación del cuerpo hídrico. A partir de allí, se desglosan las causas fundamentales que evidencian la incidencia directa de la ganadería, la agricultura, las actividades recreativas y las descargas residuales provenientes del campus Salache.

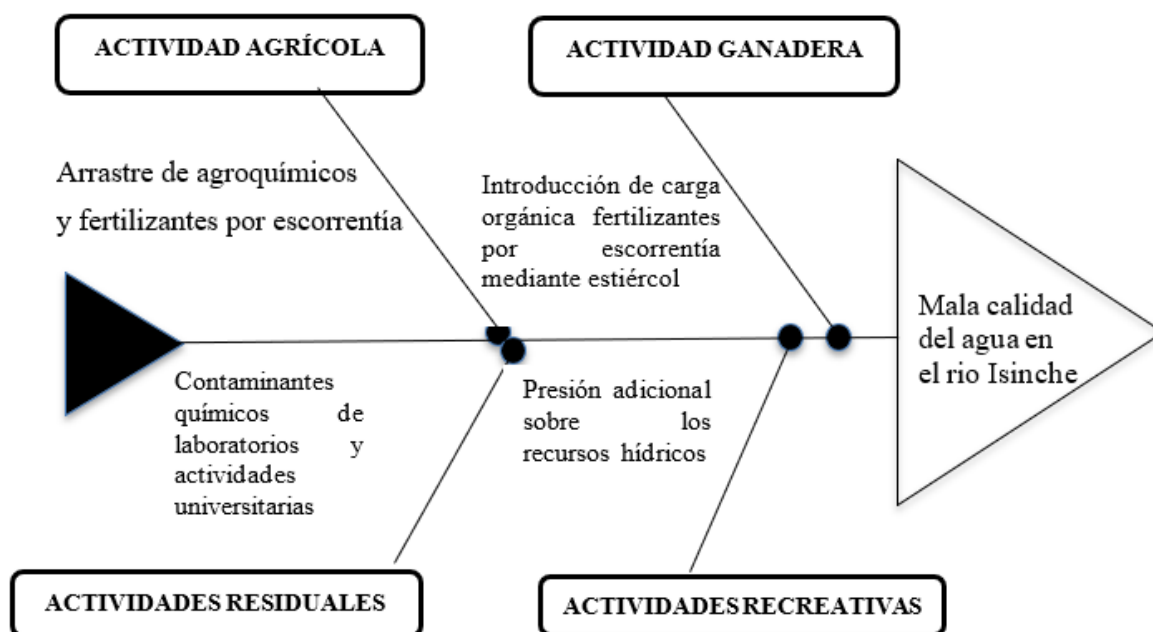
La actividad ganadera se manifiesta como un elemento preponderante en el detrimento de la calidad acuática, debido al arrastre de nutrientes y desechos orgánicos. Por su parte, la agricultura intensiva, caracterizada por la aplicación desmedida de fertilizantes y plaguicidas, agrava la problemática al transportar estos compuestos hacia el cauce mediante la escorrentía. Las prácticas recreativas, aunque en apariencia inofensivas, introducen residuos sólidos y sustancias químicas que alteran el equilibrio del ecosistema. Finalmente, las aguas servidas del campus Salache representan un foco contaminante de gran relevancia, al descargar efluentes sin el tratamiento adecuado directamente al río.

Este examen pormenorizado, representado gráficamente mediante el diagrama de Ishikawa, actúa como una guía visual que facilita la comprensión integral de los factores que

originan la contaminación. Dicho enfoque amplio sienta las bases para el diseño de acciones concretas que impulsen prácticas más responsables en cada uno de los rubros identificados, coadyuvando de esta manera a la preservación duradera del río Isinche y su entorno ecológico.

**Figura 13.**

*Diagrama de Ishikawa.*



Nota. Elaborado por el autor

El diagnóstico representado en la ilustración describe las causas y efectos asociados al deterioro de la calidad hídrica del río Isinche. En el Punto 1 (P1), correspondiente a la Hacienda Isinche Grande, localizada a 3 km del cantón Pujilí, se evidenció una marcada presencia de actividades agrícolas, pecuarias y recreativas en las zonas aledañas al cauce. La selección de este sitio respondió a la necesidad de evaluar sus potenciales afectaciones. De acuerdo con Cajas Sinchiguano et al. (2023), las perturbaciones abarcan desde la contaminación química derivada del arrastre de agroquímicos y desechos pecuarios, hasta el aporte de carga orgánica producto del estiércol. A ello se suman procesos de erosión, sedimentación del suelo,

afectaciones a la biodiversidad acuática y una mayor presión sobre los recursos hídricos ocasionada por las actividades recreativas.

El Punto 2 (P2), denominado Alpamalag de Acurios, ubicado en el sector noroccidental del cantón Salcedo, en la zona limítrofe con el sureste de Pujilí, fue escogido por su condición de tramo medio y por la relevancia de las labores agropecuarias en sus alrededores. Según Purihuamán-Leonardo et al. (2022), este tipo de actividades generan impactos considerables en los cuerpos de agua aledaños, entre los que destacan la contaminación por escorrentía de agroquímicos y la incorporación de materia orgánica proveniente del estiércol, lo que incide directamente en la disminución de los niveles de oxígeno disuelto. Adicionalmente, la pérdida de cobertura vegetal y la compactación del suelo derivadas de estas prácticas favorecen el incremento de la erosión y los procesos de sedimentación fluvial.

La incorporación del Punto 3 (P3), correspondiente al campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, obedece a que en este lugar se vierten aguas residuales generadas por las actividades institucionales cotidianas. Conforme a lo señalado por González-Osorio et al. (2022), los efluentes universitarios descargados en ríos cercanos pueden ocasionar alteraciones significativas en la calidad del agua, producto de la presencia de contaminantes químicos provenientes de laboratorios y actividades académicas, así como de carga orgánica derivada de desechos biológicos y materiales en descomposición.

### **12.7. Método del iceberg para la identificación de aspectos clave y propuestas de mitigación para el río Isinche**

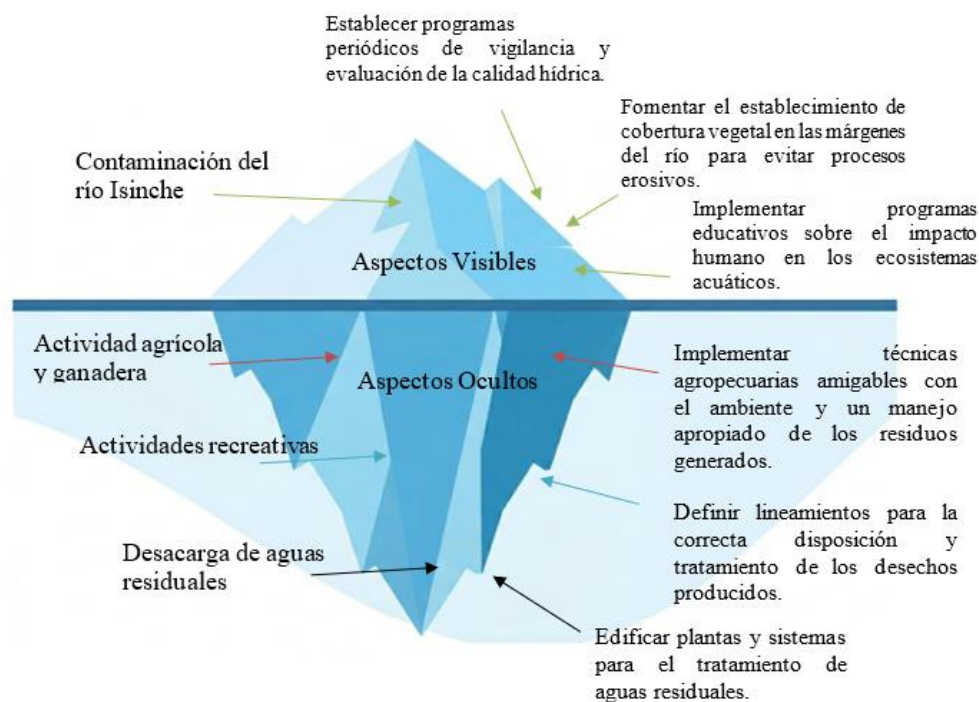
La representación del iceberg aplicada al río Isinche integra dos dimensiones: los elementos visibles y aquellos que permanecen ocultos. En la parte superior emergente se sitúa la contaminación del río, junto con acciones planteadas para reducir los efectos provocados fundamentalmente por la intervención antrópica. Por debajo de la superficie, en la sección no visible, se encuentran las causas estructurales que originan el deterioro, entre las que figuran

las labores agrícolas y ganaderas caracterizadas por el empleo intensivo de plaguicidas y fertilizantes, las prácticas recreativas y el vertimiento directo de efluentes residuales carentes de tratamiento, incluyendo los provenientes del campus Salache.

A partir de la identificación de estas causas subyacentes, se derivan medidas orientadas a contrarrestar la problemática. Entre ellas se propone impulsar prácticas agropecuarias sostenibles, tales como la rotación de cultivos y el control integrado de plagas, con miras a reducir la utilización de productos químicos. Asimismo, se sugiere implementar un manejo adecuado del estiércol mediante técnicas como el compostaje, para prevenir el transporte de nutrientes y microorganismos patógenos hacia el cauce. Se plantean también lineamientos para la gestión integral de residuos, abarcando su recolección, separación, aprovechamiento y disposición final ambientalmente adecuada, como mecanismo para evitar la contaminación hídrica y fomentar prácticas responsables. Finalmente, se enfatiza la necesidad de desarrollar infraestructura destinada al tratamiento de aguas residuales, con el propósito de garantizar que los efluentes sean depurados antes de su incorporación al río Isinche.

**Figura 14.**

*Gráfico de iceberg de los aspectos visibles y ocultos.*



Nota. Elaborado por el autor

## 12.8. Propuestas de medidas de mitigación para el río Isinche

Las acciones planteadas para disminuir los niveles de contaminación en el río Isinche se presentan de manera estructurada en las tablas 27, 28 y 29. Dichas recomendaciones han sido formuladas a partir de la identificación de las principales fuentes contaminantes, todas ellas asociadas a actividades de origen antrópico. Para cada una se ha definido un objetivo particular de intervención, considerando las dimensiones sociocultural, económica y ambiental, con el fin de abordar la problemática desde enfoques complementarios que permitan mitigar el deterioro de este cuerpo de agua.

### 12.9. Propuestas de medidas de mitigación en el aspecto sociocultural

En lo que respecta a la dimensión sociocultural, y conforme a lo expuesto en la tabla 23, la estrategia planteada para enfrentar la contaminación del río Isinche se orienta a fortalecer la percepción comunitaria respecto al valor del recurso hídrico. Para ello se propone la implementación de procesos formativos y de sensibilización ambiental, dentro de los cuales destaca la creación de una escuela de aguas como instancia transversal de educación comunitaria. Estas iniciativas contemplan la formación de la población desde edades tempranas mediante programas pedagógicos que fomenten prácticas responsables en el uso del agua, así como la organización de jornadas participativas —tales como limpiezas de riberas y reforestaciones— que propicien el involucramiento activo de la ciudadanía en la conservación del río. De igual manera, se busca incidir en la reducción de la contaminación de origen agropecuario a través de la capacitación técnica dirigida a productores, promoviendo el manejo racional de agroquímicos y el mejoramiento de las condiciones edáficas. Estas acciones podrán ejecutarse mediante la articulación con instituciones educativas del territorio, liderazgos comunitarios y entidades con competencia ambiental.

#### Tabla 26.

*Propuestas de mitigación en el aspecto sociocultural.*

Aspecto sociocultural		
<b>Objetivo:</b> Promover la concienciación del cuidado del recurso hídrico		
Línea de acción	Actividades específicas	Entidades involucradas

---

 Aspecto sociocultural
 

---

	<p>Desarrollar programas educativos orientados a la protección de los recursos hídricos en instituciones educativas locales, contemplando la conformación de una "Escuela de Aguas" de carácter comunitario destinada a la capacitación continua de líderes sociales y productores agropecuarios.</p>	<p>Instituciones educativas locales; Autoridades Ambientales</p>
<p>Desarrollo de programas educativos y Escuela de Aguas</p>	<p>Promover jornadas de participación ciudadana enfocadas en la conservación del río, que incluyan campañas de saneamiento de riberas y proyectos de restauración vegetal con especies propias de la zona.</p>	<p>GADs Municipales y Parroquiales; Comunidad organizada</p>
	<p>Brindar formación técnica a los agricultores en materia de prácticas agroecológicas, con el fin de reducir el empleo de productos químicos, recuperar la calidad del suelo y minimizar el arrastre de contaminantes de origen agrícola hacia el cauce del río.</p>	<p>MAG; Organizaciones agrícolas</p>

---

Nota. Desarrollado por el autor

### 12.10. Propuestas de medidas de mitigación en el aspecto económico

En el ámbito económico, y con el propósito de disminuir la contaminación del río Isinche (como se detalla en la tabla 28), se propone la adopción de Prácticas Agroecológicas Sostenibles. Esto incluye proporcionar financiamiento para la incorporación de tecnologías que disminuyan la carga contaminante previo al vertimiento de aguas al cauce, protegiendo así su calidad. De igual manera, se plantea la adopción de técnicas agrícolas sostenibles —como sistemas de riego eficientes y métodos de conservación del suelo— con el fin de reducir el arrastre de contaminantes hacia el río y favorecer la salud del ecosistema acuático. A esto se suma la necesidad de construir infraestructuras para el tratamiento de aguas residuales,

fundamentales para remover contaminantes antes de su descarga, garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental y promover la sostenibilidad y conservación del río a largo plazo.

**Tabla 27.**

*Propuestas de mitigación en el aspecto económico.*

Ámbito económico		
<b>Objetivo:</b> Disminuir los índices de contaminación presentes en el río		
<b>Línea de acción</b>	<b>Actividades específicas</b>	<b>Entidades involucradas</b>
Fomento de prácticas agroecológicas sustentables	Otorgamiento de incentivos económicos y créditos para la incorporación de tecnologías limpias, destacando sistemas de riego tecnificado y métodos de conservación de suelos.	Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales; Dirigencias comunales; Asociaciones de productores; Autoridades ambientales
	Creación de estímulos fiscales y reconocimientos económicos para promover la transición hacia modelos productivos agroecológicos.	Ministerio de Agricultura y Ganadería; GAD municipales
Infraestructura para saneamiento de efluentes	Instauración de corredores ribereños y franjas de protección vegetal en los márgenes del río Isinche.	GAD municipales y parroquiales; Población organizada
	Instalación de sistemas de depuración de aguas residuales acordes a las condiciones del territorio y la tipología de contaminantes existentes, priorizando la optimización de la PTAR del Campus Salache.	Universidad Técnica de Cotopaxi; GAD municipales

---

 Ámbito económico
 

---

Gestión y captación de recursos financieros destinados a la construcción y mantenimiento de infraestructura para tratamiento de efluentes.	GAD municipales; Entidades de cooperación internacional y nacional
Aplicación de normativas y régimen sancionatorio para prevenir descargas no autorizadas de aguas residuales.	Autoridad Ambiental competente; Instancias técnicas intersectoriales

---

Nota. Desarrollado por el autor

### 12.11. Propuestas de medidas de mitigación en el aspecto ambiental

Finalmente, en la dimensión ambiental, el manejo integral de los residuos generados por la actividad agrícola constituye un componente fundamental de esta propuesta. Dicha iniciativa, detallada en la tabla 29, busca intervenir directamente sobre las fuentes de contaminación agropecuaria que inciden en el deterioro del río. Como primera medida, se sugiere implementar un programa de análisis de suelos en las áreas cultivables cercanas al cauce, con el propósito de detectar zonas críticas con acumulación significativa de residuos agrícolas y generar información precisa que oriente una gestión eficiente. Una segunda acción de relevancia consiste en aplicar un modelo de manejo integrado de plaguicidas, ajustado a las particularidades identificadas en el muestreo, orientado a disminuir la carga de contaminantes químicos arrastrados por escorrentía, lo que incidirá favorablemente en la preservación de la calidad hídrica del río Isinche. Adicionalmente, se plantea como medida operativa la instalación de centros de acopio para residuos agrícolas y plantas de compostaje, infraestructura que no solo facilitará la separación en origen y el manejo adecuado de los desechos, sino que también promoverá la transición hacia modelos productivos más sostenibles. Mediante estas acciones no solo se busca mitigar la contaminación fluvial, sino también establecer las bases

para impulsar activamente la recuperación y el equilibrio de los ecosistemas presentes en la zona.

**Tabla 28.**

*Propuestas de mitigación en el aspecto ambiental.*

Ámbito ambiental		
<b>Objetivo:</b> Reducir la contaminación y favorecer la integridad ecológica del río Isinche		
<b>Línea de acción</b>	<b>Actividades específicas</b>	<b>Entidades involucradas</b>
Manejo integral de desechos provenientes de actividades agrícolas	Ejecución de un plan de muestreo y análisis de suelos en las áreas agrícolas adyacentes al cauce, con el fin de localizar zonas críticas con elevada concentración de residuos agroquímicos.	MAG; GAD municipales; Organizaciones campesinas y agrícolas
	Implementación de estrategias de manejo integrado de plagas orientadas a disminuir la carga de contaminantes químicos transportados por escorrentía, en función de los resultados obtenidos en el muestreo.	MAG (acompañamiento técnico); Productores agrícolas
	Creación de puntos de acopio para residuos agrícolas y plantas de compostaje que faciliten la separación en origen y el aprovechamiento de materiales orgánicos.	GAD municipales; Comunidad organizada

Nota. Desarrollado por el autor

### 12.12. Validación de las preguntas científicas

¿Las actividades antrópicas que generan efluentes al río Isinche influyen en la presencia de macroinvertebrados?

Las actividades antrópicas que se desarrollan en el área de estudio sí influyen en la presencia y composición de macroinvertebrados bentónicos, como se pudo evidenciar en los resultados obtenidos.

En el P1 Hacienda Isinche Grande se encontraron 250 individuos distribuidos en 8 familias, con predominancia de Chironomidae (120 ind.) y Tubificidae (45 ind.), organismos tolerantes a ambientes contaminados, exhibiendo una calidad de agua Crítica según el índice BMWP/col y Mala de acuerdo al ICA-NSF. Esto se debe a que en este punto predominan actividades ganaderas intensivas que generan aportes de materia orgánica y nutrientes al cauce.

En el P2 Alpamalag de Acurios se muestrearon 250 individuos distribuidos en 11 familias, presentando una calidad de agua Aceptable según el índice BMWP/col y Regular conforme al ICA-NSF. Este punto mostró la mejor condición relativa debido a una menor presión antrópica, aunque aún con presencia de actividades agrícolas que explican los niveles moderados de nitratos (8,6 mg/L).

El P3 UTC Campus Salache, al estar ubicado aguas abajo de la descarga de aguas residuales del campus universitario, registró 250 individuos distribuidos en 11 familias, con dominancia de Chironomidae (95 ind.) y Tubificidae (40 ind.), evidenciando una calidad de agua Dudosa según el BMWP/col y Mala de acuerdo al ICA-NSF. Este punto recibe aguas residuales que contienen materia orgánica, detergentes y nutrientes, lo que se refleja en los elevados valores de DBO<sub>5</sub> (120 mg/L), coliformes fecales (1050 NMP/100 mL) y fosfatos (8 mg/L). Esta carga contaminante genera condiciones desfavorables que explican la ausencia de organismos sensibles (EPT 11,20%) y el predominio de taxones tolerantes, demostrando claramente que las actividades antrópicas generan graves problemas de contaminación y alteran la composición de las comunidades de macroinvertebrados.

¿Existe relación entre la calidad de agua del río con la diversidad de macroinvertebrados encontrados?

Existe una estrecha relación entre la calidad de agua del río Isinche y la diversidad de macroinvertebrados bentónicos encontrados, debido a que las condiciones fisicoquímicas del medio determinan la supervivencia, desarrollo y establecimiento de las diferentes especies.

En el P1 Hacienda Isinche Grande se evidenció una diversidad baja según el índice de Shannon-Weaver (1,54), con ausencia total de órdenes sensibles EPT (0%). Esta condición se relaciona directamente con la calidad de agua Mala determinada por el ICA-NSF (46,29%), donde parámetros como pH alcalino (9,20), nitratos elevados (12,5 mg/L) y DBO<sub>5</sub> (60 mg/L) generan un ambiente desfavorable para organismos sensibles, permitiendo únicamente el desarrollo de taxones tolerantes.

En el P2 Alpamalag de Acurios se registró una diversidad media (Shannon-Weaver 2,2) con presencia de órdenes EPT (22%). Esta condición se corresponde con la calidad de agua Regular del ICA-NSF (60,11%), donde los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de rangos más favorables (pH 6,95, nitratos 8,6 mg/L, fosfatos 0,2 mg/L), permitiendo el establecimiento de familias con distintos niveles de sensibilidad.

En el P3 UTC Campus Salache se observó una diversidad media (Shannon-Weaver 2,2) pero con un bajo porcentaje de EPT (11,20%). Esta aparente contradicción se explica porque, aunque hay presencia de algunas familias sensibles como Oligoneuriidae (20 ind.) y Baetidae (8 ind.), la comunidad está dominada por organismos tolerantes debido a la mala calidad de agua reflejada en el ICA-NSF (36,40%), con parámetros críticos como DBO<sub>5</sub> extremadamente alta (120 mg/L), coliformes fecales elevados (1050 NMP/100 mL) y sobresaturación de oxígeno disuelto (15,2 mg/L) que indica eutrofización.

Los resultados demuestran una correlación directa entre la degradación fisicoquímica y la respuesta biológica: a peor calidad de agua, menor presencia de organismos sensibles y mayor dominancia de taxones tolerantes, confirmando que los macroinvertebrados bentónicos constituyen herramientas efectivas para evaluar la integridad ecológica del río Isinche.

## 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 13.1. Conclusiones

- Se llevó a cabo la caracterización ambiental del tramo estudiado del río Isinche, definiendo tres estaciones de muestreo estratificadas según el gradiente de intervención antrópica y las características geomorfológicas del cauce. Los puntos seleccionados — Hacienda Isinche Grande (P1), Alpalag de acujos (P2) y UTC Campus “SALACHE” (P3)— representan escenarios diferenciados de uso de suelo y presión humana, lo que permitió obtener una visión espacialmente representativa de las condiciones ecológicas y fisicoquímicas del sistema fluvial. Esta delimitación metodológica constituye una base robusta para la evaluación bioindicadora y el análisis comparativo de la calidad del agua.
- La evaluación integral de la calidad ecológica del río Isinche, mediante el análisis simultáneo de parámetros fisicoquímicos (ICA NSF) y la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (BMWP/Co, ABI, EPT%, Shannon-Weaver), permitió diagnosticar un estado ambiental que oscila entre regular y crítico, con una degradación acentuada en el sector superior (P1). En dicho punto se registraron valores de BMWP/Co críticos (33), ausencia de taxones sensibles (EPT = 0%) y condiciones fisicoquímicas adversas ( $\text{pH} > 9$ , nitritos  $\approx 0.43$  mg/L). Los puntos P2 y P3, aunque con mejor condición relativa (BMWP aceptable a dudoso), mostraron dominancia de grupos tolerantes (Chironomidae, Tubificidae) y reducción en la diversidad específica. Estos hallazgos evidencian una afectación significativa de la integridad ecológica del río, atribuible a presiones antrópicas diferenciadas a lo largo de su curso.
- A partir del diagnóstico integral que evidenció la correlación entre la degradación fisicoquímica y la respuesta negativa de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, se estableció una propuesta de medidas de mitigación fundamentada en los impactos negativos identificados en cada punto de muestreo. Dicha propuesta, estructurada en los ámbitos sociocultural, económico y ambiental, incorpora la creación de una Escuela de Aguas como eje transversal de formación comunitaria, así como acciones específicas para el control de la contaminación difusa de origen agropecuario en P1 y P2, y la optimización de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales

en P3. Las medidas propuestas responden directamente a las causas de contaminación identificadas, ofreciendo una hoja de ruta viable para la recuperación progresiva del recurso hídrico y la mitigación de los impactos antrópicos que afectan su integridad ecológica.

### **13.2. Recomendaciones**

- Se recomienda para futuras investigaciones similares, que el GAD Municipal del Cantón Pujilí, en conjunto con el MAATE, incorporar un Índice de Calidad de Agua (ICA) más robusto que permita obtener una visión integral de la calidad del recurso hídrico, esto ayudará a tener diferentes perspectivas. Es preciso que estos análisis tomen como referencia necesaria los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente - TULSMA, Libro VI, Anexo 1), para garantizar que la calidad de agua es legalmente válida y técnicamente comparable con la normativa ecuatoriana.
- Se sugiere a las autoridades, personal docente y estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, que decidan replicar esta investigación, lo realicen en condiciones ambientales distintas a las evaluadas en el presente estudio, considerando variaciones en parámetros climáticos, regímenes estacionales y características hidrológicas contrastantes. Esto permitiría ampliar el conocimiento sobre la dinámica de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en respuesta a diferentes escenarios ambientales.
- Se recomienda impulsar la implementación de la Escuela de Aguas en conjunto con personas de la comunidad de Isinche, como estrategia de educación ambiental y participación comunitaria, involucrando a instituciones educativas, líderes locales y organizaciones de base, con el propósito de garantizar la sostenibilidad de las acciones de mitigación a largo plazo y fomentar una cultura de corresponsabilidad en la gestión del recurso hídrico.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

- Arellano, A., Lindao, V., Arellano, A., & Lindao, V. (2019). Efectos de la gestión y la calidad del agua potable en el consumo del agua embotellada. *Revista Digital Novasinergia*, 2(1), 15–23. <https://doi.org/10.37135/UNACH.NS.001.03.02>
- Arrieta Torres, P., Trujillo Padilla, J., & Arrieta Almario, Á. (2018). Análisis de aspectos ambientales generados por las prácticas ganaderas en el área de influencia de la ciénaga de Betancí en el municipio de Montería (Colombia). *Espacios*, 39(2018), 1–12. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n44/a18v39n44p24.pdf>
- Benez, M. C., Kauffer Michel, E. F., & Álvarez Gordillo, G. del C. (1989). Frontera norte. *Frontera norte*, 22(43), 129–158. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73722010000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722010000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Bustamante Mejia, Y. (2020). *Evaluación de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos en el río Yanayacu, ChotaCajamarca 2019* [UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA]. <https://repositorio.unach.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c7c4d3de-6b10-4657-8679-b273849d04a0/content>
- Cabrera Molina, E., Hernández Garcíadiego, L., Gómez Ruíz, H., & Cañizares Macías, Ma. del P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88–92. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0583-76932003000100014&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Cajas Sinchiguano, J. A., Córdova Mosquera, A., & Chavarría Párraga, J. E. (2023). CALIDAD DE AGUA EN RÍO CUTUCHI MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS, LATACUNGA, ECUADOR. *ESPAMCIENCIA*, 14(2), 115–123. [https://doi.org/https://doi.org/10.51260/revista\\_espamciencia.v14i2.413](https://doi.org/https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v14i2.413)

- Carabalí, J. Q., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., Carrera-Villacrés, D., Carabalí, J. Q., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco. *Siembra*, 6(2), 46–57. <https://doi.org/10.29166/SIEMBRA.V6I2.1641>
- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua* (1; 1). <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56374.pdf>
- Castillo, B., Ruiz, J. O., Manrique, M. A. L., & Pozo, C. (2020). Contamination by agricultural pesticides in crop fields in Cañete Contenido. *ISSN*, 41(10), 1–12.
- Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147–170.
- Clavijo, P., , E., Jara, M., Molina, K., & Manzaba, R. (2025). Determinación de calidad del agua por bioindicadores en el río Machángara, Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. *Brazilian Journal of Development*, 11(2), e77350–e77350. <https://doi.org/10.34117/BJDV11N2-020>
- Fustamante Idrogo, F. I. (2020). *Evaluación del comportamiento de los parámetros físico-químicos y microbiológicos para determinar la calidad de agua de categoría III en la quebrada “San Mateo” - distrito de Chota, 2019*. <https://hdl.handle.net/20.500.14142/138>
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *¿QUÉ ES CUENCA HIDRÓLOGICA?*
- Godino Genís, J., & Llombart Amat, P. (2021). *IMPACTOS NEGATIVOS PARA EL MEDIO AMBIENTE GENERADOS POR EL SECTOR GANADERO: CONTAMINACIÓN Y CAMBIO CLIMÁTICO*. Universidad Politécnica de Valencia.
- González Martín, Nuria., & Torrero, M. P. (2009). Boletín mexicano de derecho comparado. *Boletín mexicano de derecho comparado*, 48(143), 615–643. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0041-86332015000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0041-86332015000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

- González-Osorio, B. B., Saá-Yáñez, L. M., Simba-Ochoa, L. F., Barragán-Monrroy, R., & Cadme-Arevalo, M. L. (2022, enero 18). *Vegetación riparia y la calidad del recurso hídrico en la zona centro del litoral Ecuatoriano*. *Terra Latinoamericana*, vol. 40, e1070, 2022. <https://www.redalyc.org/journal/573/57371833052/html/>
- Gresens, S., Smith, R., Sutton-Grier, A., & Kenney, M. (2009). Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality: The intersection of science and policy. *Terrestrial Arthropod Reviews*, 2(2), 99–128. <https://doi.org/10.1163/187498209X12525675906077>
- Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., & Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163–173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Guisbert H., E., Ramos R., O., Gemio, R., Choque, R., Flores, H., & Niura, A. (2006). CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA DE LA LOCALIDAD DE BELEN PITUTA “B”, MUNICIPIO DE GUAQUI, BOLIVIA. *Revista Boliviana de Química*, 23(1), 27–33. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602006000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602006000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Hermosa Guano, F. (2024). La protección constitucional de los recursos hídricos en Ecuador: un compromiso necesario para un futuro sostenible. *Arandu UTIC*, 11(2), 1373–1388. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.344>
- Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, N. (s/f). *MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS: UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA*. Recuperado el 15 de junio de 2025, de <http://www.ehu.es/>
- Loera-Alvarado, L. A., Torres-Aquino, M., Martínez-Montoya, J. F., Cisneros-Almazán, R., Martínez-Hernández, J. de J., Loera-Alvarado, L. A., Torres-Aquino, M., Martínez-Montoya,

- J. F., Cisneros-Almazán, R., & Martínez-Hernández, J. de J. (2019). Calidad del agua de esorrentí+a para uso agrícola captada en bordos de almacenamiento. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(17), 283–295. <https://doi.org/10.19136/ERA.A6N17.1867>
- Lukhabi, D. K., Mensah, P. K., Asare, N. K., Akwetey, M. F. A., & Faseyi, C. A. (2024). Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality: A case study of estuarine ecosystems along the coast of Ghana. *Heliyon*, 10(7), e28018. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E28018>
- Ministerio del Medio Ambiente, secretaria general Técnica, & Centro de publicaciones. (2000, septiembre). *Libro blanco del agua en España*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/spa192539.pdf>
- Ortiz-Burgos, S. (2016). Shannon-Weaver Diversity Index. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 572–573. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4\\_233](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_233)
- Pavan, J. V., Masachessi, G., Prez, V. E., Cola, G. Di, Re, V. E., & Nates, S. V. (2022). Evaluación de la calidad de aguas superficiales en espacios recreacionales, una propuesta integradora de marcadores químicos y microbiológicos. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas*, 79(2), 210. <https://doi.org/10.31053/1853.0605.V79.N2.33403>
- Pio Hidalgo, A. D., Tipanguano Veintimilla, I., & Oña Ágreda, L. (2024). *Caracterización de la calidad de agua el río Isinche para el análisis de la descarga en la planta de tratamiento del campus CEASA*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11732>
- Purihuamán-Leonardo, C. N., Sánchez-Bustamante, E. F., Purihuamán-Leonardo, C. N., & Sánchez-Bustamante, E. F. (2022). Comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicador de calidad de agua en un sector del río Chotano, Perú. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(3), 117–127. <https://doi.org/10.18845/TM.V35I2.5662>
- Ramos Olmos, Raudel. (2003). *El agua en el medio ambiente : muestreo y análisis*. 210.
- Rica Rodríguez Barrientos, C. (2006). InterSedes: Revista de las Sedes Regionales. *Revista de las Sedes Regionales*, VII(12), 113–125. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66612867008>

- Roldán Pérez, G. A. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia (Uso del metodo BMWP/Col.* (G. A. Roldán Pérez, Ed.; Antioquia, Vol. 1). Editorial Universidad de Antioquia. <https://books.google.com.ec/books?id=ZEjgIKZTF2UC&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- Rosado, C. I., Villarino Marín, A. L., Martínez, J. A., Cabrerizo, L., Gargallo, M., Lorenzo, H., Quiles, J., Planas, M., Polanco, I., Romero De Ávila, D., Russolillo, J., Farré, R., Moreno Villares, J. M., Riobó, P., & Salas-Salvadó, J. (2011). Artículo especial Importancia del agua en la hidratación de la población española: documento FESNAD 2010. *Nutr Hosp*, 26(1), 27–36. <https://doi.org/10.3305/nh.2011.26.1.5167>
- Vázquez-Blanco, S., González-Freire, L., Dávila-Pousa, M. C., Crespo-Diz, C., Vázquez-Blanco, S., González-Freire, L., Dávila-Pousa, M. C., & Crespo-Diz, C. (2018). Determinación del pH como criterio de calidad en la elaboración de fórmulas magistrales orales líquidas. *Farmacia Hospitalaria*, 42(6), 221–227. <https://doi.org/10.7399/FH.10932>
- Víctor, G. T., Evelyn, J. R., Lourdes, T. R., Gabriela, B. Galarza., Jeanneth, O. R., & Edison, G. Pérez. (2023). PHYSICOCHEMICAL WATER QUALITY OF THE LIMPIOPUNGO LAGOON AT COTOPAXI NATIONAL PARK – ECUADOR. *Revista sanitaria de investigación*, IV(01). <https://doi.org/10.34896/RSI.2023.95.20.001>
- Wait, D., & Ramsey, C. (2007). THE MEASUREMENT PROCESS. *Introduction to Environmental Forensics*, 83–128. <https://doi.org/10.1016/B978-012369522-2/50005-1>

## 15. ANEXOS