



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

### **Y APLICADAS**

#### **CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

#### **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UBICADO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI.**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN HIDRÁULICA.

#### **AUTORES:**

Joselyn Thalya Santafe Alvarez

Brayan Isael Saltos Vega

#### **TUTOR:**

Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza. MSc.

**LATACUNGA, AGOSTO 2024**





## DECLARACIÓN DE LA AUDITORÍA

Santafe Alvarez Joselyn Thalya con cédula de ciudadanía No. **050436392-0**, Saltos Vega Brayan Isael, con cédula de ciudadanía No. **050417786-6**, declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UBICADO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, siendo el Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza M.Sc, 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, agosto del 2024

  
Santafe Alvarez Joselyn Thalya  
C.C: 050436392-0

  
Saltos Vega Brayan Isael  
C.C: 050417786-6



## AVAL DE TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

**“DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UBICADO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”** de Santafe Alvarez Joselyn Thalya, Saltos Vega Brayan Isael, de la carrera de Hidráulica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto del 2024

Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza M. Sc.

C.C:171762106-2

**TUTOR**



## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

### AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad del tribunal de lectores, aprueba el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, por cuanto, los postulantes: Joselyn Thalya Santafe Alvarez, con cedula de ciudadanía No. 0504363920 y Brayan Isael Saltos Vega, con cedula de ciudadanía No. 0504177866, con el Título del Proyecto de Investigación: **“DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UBICADO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**. Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos 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, agosto de 2024

Para consistencia firma:

Ing. Marco Riofrio.  
C.C.: 160068291-6  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**

Ing. Hernan Yanes  
C.C.: 050130013-1  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

Ing. Rudys Cusme  
C.C.: 131377089-1  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **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 **SANTAFE ALVAREZ JOSELYN THALYA** identificado con cédula de ciudadanía No.**050436392-0** de estado civil soltera , a quien en lo sucesivo se denominará **LA 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.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UBICADO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI**”, 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: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Abril 2024 – Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 22 de Agosto del 2024

Tutor: Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza MSc.

Tema: “**DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UBICADO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI**”

**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, **LA 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 **LA 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:

f) 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.

g) La publicación del trabajo de grado.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

j) 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 **LA 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 **LA 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 **LA 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, al mes de agosto del 2024.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, sweeping horizontal stroke with a smaller, more complex mark above it.

Santafe Alvarez Joselyn Thalya

**LA CEDENTE**

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.

**LA CESIONARIA**

## 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 **SALTOS VEGA BRAYAN ISABEL** identificado con cédula de ciudadanía No. **050417786-6** 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.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UBICADO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI**”, 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: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Abril 2024 – Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 22 de Agosto del 2024

Tutor: Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza MSc.

Tema: “**DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UBICADO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI**”

**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:

- f) 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.
- g) La publicación del trabajo de grado.
- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) 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, al mes de agosto del 2024.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and curves, positioned above the name of the cedente.

Saltos Vega Brayan Isael  
**EL CEDENTE**

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la culminación de este sueño, que día a día caminaron junto a mi siendo un apoyo y fortaleza. En primer lugar, agradecer a Dios por guiar mis pasos, como no también agradecer a mi madre, mi esposo, mis hermanos(as), mis suegros, mis cuñados(as) y a mi amado hijo.*

*Durante mi trayectoria académica, he tenido el privilegio de contar con el apoyo invaluable de estimados docentes, cuyo conocimiento y compromiso han marcado profundamente mi desarrollo y aprendizaje, agradezco sinceramente a cada uno de ellos por su paciencia y dedicación brindada.*

*Quiero expresar un reconocimiento especial a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, por haberme brindado la oportunidad de adquirir conocimientos y formarme como profesional en este ámbito.*

*Expresar mi gratitud a mi tutor el Ing. Jimmy Toaza, por sus valiosos consejos y por compartir su conocimiento conmigo durante este proceso, han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo*

*A mis amigos quienes me brindaron su apoyo moral, escucharon mis ideas y me ayudaron a mantenerme motivada durante los momentos más difíciles.*

***Joselyn Thalya Santafe Alvarez***

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento todos quienes me han acompañado en la travesía en la culminación de esta parte de mi vida, brindándome apoyo y fortaleza en cada paso, agradezco a mi madre, padre, hermanas (o) por a pesar de todo siempre ser un apoyo en cada situación y darme valentía para seguir adelante.*

*Durante mi trayectoria académica, he tenido el privilegio de contar con el respaldo de docentes excepcionales, cuyo conocimiento y dedicación han sido cruciales para mi desarrollo de esta etapa profesional. A cada uno de ellos, les agradezco sinceramente por la paciencia y compromiso brindado de manera única y especial.*

*Mi más sincero reconocimiento va para la universidad Técnica de Cotopaxi y a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en este campo.*

*La vida me enseñó siempre denotar lo importante que llegas a ser en mi vida y con énfasis gritaremos haber conseguido este logro.*

***Brayan Isael Saltos Vega***

## DEDICATORIA

*Con inmenso amor y afecto dedico este trabajo a mi madre Marlene Alvarez, quien siempre ha creído en mí, brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, apoyándome en cada paso de mi vida, es una forma de atribuirle su amor llenándole de alegría al saber que he alcanzado aquello que tanto anhelaba. A mi amado hijo Ian Rios, por ser mi motor, mi mayor inspiración, mi alegría y la razón por la que me esfuerzo cada día para ser mejor; a mi esposo José Luis Rios, por sus palabras de confianza y por no cortarme las alas para realizarme profesionalmente. A mis hermanos, suegra y cuñadas por siempre estar dispuestas a cuidar a mi hijo para que yo pueda asistir a clases y sobre todo darme esas palabras de apoyo para no rendirme. A Naye una amiga incondicional que me deja la Universidad, gracias por siempre apoyarme de una u otra manera. A todos mis amigos quienes fueron parte de mi formación profesional y que hasta el día de hoy continuamos compartiendo amistad. Finalmente, me dedico este logro a mí misma, porque es una satisfacción personal saber que me encuentro en la etapa final para obtener mi título, a pesar de altas y bajas que he tenido a lo largo de este tiempo, muchas veces estuve a punto de rendirme, pero las palabras de mi familia y sobre todo ver a mi hijo crecer día a día me llenaban de fuerzas de seguir firme por mi objetivo.*

**Joselyn Thalya Santafe Alvarez**

## **DEDICATORIA**

*Le dedico el resultado de este trabajo principalmente a mis padres Gloria Vega y Luis Saltos quienes siempre me apoyaron y nunca dejaron que me derrumbe antes adversidades en esta travesía, quienes con sus consejos llegaron a darme apoyo, quienes estuvieron en los buenos y malos momentos.*

*Con mucho afecto dedico este logro a mis hermanos Tania Saltos, Araceli Saltos y Dilan Saltos que a pesar de la distancia siempre estuvieron para darme palabra de aliento en cada momento de dificultad en diferentes situaciones de mi vida.*

*No puede faltar mi apoyo incondicional y mi orgullo mi amiga Leslie Calero que con cada uno de sus consejos me motivo a seguir y conseguir lo que siempre me he propuesto.*

*El anhelo de haberlo conseguido será el beneficio de una buena persona, cada momento vivido será recordado, amigos, conocidos siempre dejaran huellas que se enfoca en crecer y aprender como persona.*

***Brayan Isael Saltos Vega***

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

### TÍTULO: “DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UBICADO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”

#### **Autores:**

Joselyn Thalya Santafe Alvarez

Brayan Isael Saltos Vega

#### **RESUMEN**

Este proyecto de investigación se enfoca en el análisis del índice de calidad del agua (NSF) misma que evalúa parámetros físicoquímicos y microbiológico mediante una ecuación ponderada multiplicativa para analizar la condición del agua en la microcuenca. El objetivo de este estudio fue determinar el índice de calidad del agua (NSF) de la microcuenca del río Cutuchi ubicado en la provincia de Cotopaxi. Para ello, se realizó la caracterización de la zona de estudio, donde se identificó tres puntos de muestreo en la parroquia de Aláquez, Latacunga y la parroquia San Miguel. Aplicando una metodología cuantitativa basada en el índice propuesto por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (ICA-NSF), se recolectaron 3 muestras compuestas a lo largo de su trayectoria. Con relación a los resultados obtenidos se identifica el estado del cauce del río registrando en la zona alta un ICA de 52,16 (Regular), en la zona media un ICA de 40,65 (Mala) y en la zona baja se obtuvo un ICA de 38,41 lo que correspondió a (Mala). Denotando una ponderación en relación a los tres puntos de muestros de 43,74, reflejando una categorización como Mala, debido actividades las antropogénicas, ganaderas y pecuarias. Además, se comparó los parámetros establecidos por el ICA-NSF con normativa ecuatoriana vigente TULSMA, de acuerdo a los criterios de usos establecidos. Por consiguiente se detectó variabilidad de los límites permisibles en la microcuenca evidenciando una contaminación en el parámetro de los Coliformes Fecales de acuerdo al uso direccionado. Por lo tanto, la calidad del agua se encuentra en un estado Mala en términos de contaminación.

**Palabras clave:** Microcuenca Cutuchi, Contaminación, Índice de calidad (NSF), Caracterización, Normativa TULSMA.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**  
**TITLE: “DETERMINE THE WATER QUALITY INDEX(NSF)**  
**OF THE CUTUCHI RIVER MICROBASIN LOCATED IN**  
**COTOPAXI PROVINCE”**

**Authors:**

Joselyn Thalya Santafe Alvarez

Brayan Isael Saltos Vega

**ABSTRACT**

This research project focuses on analyzing the Water Quality Index (NSF), which evaluates physico-chemical and microbiological parameters through a weighted multiplicative equation to assess water conditions in a microbasin. The aim of the study was to determine the Water Quality Index (NS) for the Cutuchi River microbasin located in Cotopaxi Province. The study involved characterizing the area identifying three sampling points in the parishes of Alaquez, Latacunga, and San Miguel. A quantitative methodology was applied, based on the index proposed by the National Sanitation Foundation of the United States (ICA-NSF), with three composite samples collected along the river's course. Results indicated that the river's upper zone had an ICA of 52.16 (Regular), the middle zone had an ICA of 40.65 (Poor), and the lower zone had an ICA of 38.41 (Poor). The overall average ICA across the three sampling points was 43.74, categorizing the water quality as Poor, primarily due to anthropogenic, agricultural, and livestock activities. Additionally, the ICA-NSF parameters were compared with Ecuadorian regulations (TULSMA), revealing variability in permissible limits and contamination in Fecal Coliforms. Thus, the water quality in the Cutuchi River microbasin is classified as Poor in terms of contamination.

**Keywords:** Cutuchi Microbasin, Contamination, water Quality Index (NSF), Characterization, TULSMA Regulations.



## AVAL DE TRADUCCIÓN

Cinthia Mariuxi Viera Freire con de cédula de identificación número: 050445188-1 Licenciada en: Ciencias de la educación mención plurilingüe (Inglés-Francés) con número de registro de la SENESCYT: 1005-2021-2309789; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **"DETERMINAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UBICADO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI"** de : **Joselyn Thalya Santafe Alvarez** y **Brayan Isael Saltos Vega**, egresados de la carrera de **Ingeniería Hidráulica**, pertenecientes a la Facultad de: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, 19 agosto, 2024

Lic. Cinthia Mariuxi Viera Freire

CI: 0504451881

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INFORMACIÓN GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.3. OBJETIVO Y CAMPO DE ACCIÓN.....</b>	<b>3</b>
2.3.1. Objetivo de Investigación:.....	3
2.3.2. Campo de acción: .....	3
<b>2.4. BENEFICIARIOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.5. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2.6. HIPÓTESIS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.7. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
2.7.1. General.....	4
2.7.2. Específicos.....	4
<b>2.8. SISTEMAS DE TAREAS .....</b>	<b>5</b>
<b>3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>7</b>
3.2.1. El agua .....	7
3.2.2. Fuentes de agua .....	8
3.2.3. Utilidad de aguas superficiales .....	8
3.2.4. Calidad de agua .....	8
3.2.5. Contaminación antropogénica de los ecosistemas acuáticos.....	9
3.2.6. Fuentes de Contaminación del Agua .....	9
3.2.6.1. Fuentes Naturales .....	9
3.2.6.2. Fuentes Artificiales.....	9
3.2.7. Consecuencias de la Contaminación del Agua.....	10
3.2.8. La cuenca Hidrográfica .....	10
3.2.8.1. Clasificación de una Cuenca Hidrográfica .....	11
3.2.8.2. Microcuenca .....	11

3.2.8.3.	Partes de la cuenca hidrográfrica .....	12
3.2.8.4.	Importancia de una Cuenca Hidrográfrica .....	13
3.2.9.	Características Físicas y Biofísicas de una Cuenca Hidrográfrica.....	13
3.2.9.1.	Área de drenaje.....	13
3.2.9.2.	Forma.....	14
3.2.9.3.	Sistema de drenaje .....	14
3.2.10.	Componentes de una cuenca hidrográfrica .....	14
3.2.10.1.	Función Ambiental .....	14
3.2.10.2.	Componente Físico .....	14
3.2.11.	Delimitación de la cuenca.....	14
3.2.12.	Utilización de herramientas SIG.....	15
3.2.13.	Características morfométricas de una cuenca.....	15
3.2.14.	Parámetros morfométricos de la microcuenca hidrografía.....	16
3.2.14.1.	Perímetro (P) (km):.....	16
3.2.14.2.	Longitud axial (La) (km):.....	16
3.2.14.3.	Longitud del curso principal (L) (m):.....	16
3.2.14.4.	Longitud total del drenaje (Ln) (km):.....	16
3.2.14.5.	Área de la cuenca (A):.....	16
3.2.14.6.	Ancho de la cuenca (W): .....	16
3.2.14.7.	Coefficiente de Compacidad (Cc) o Índice de Gravelius: .....	16
3.2.14.8.	Relación de Elongación (Re):.....	17
3.2.14.9.	Factor de forma de Horton (Rf):.....	17
3.2.15.	Metodologías para determinar el índice de calidad de agua.....	17
3.2.15.1.	Índice de Calidad del Agua: .....	17
3.2.15.2.	Índice de calidad general (ICG): .....	18
3.2.15.3.	Índice Simplificado de Calidad de Aguas (ISQA): .....	18
3.2.15.4.	Índice Automático de Calidad de Aguas (IAQA): .....	18
3.2.15.5.	Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF):.....	19
3.2.16.	Parámetros considerados por el ICA-NSF.....	19
3.2.16.1.	Temperatura del agua: .....	19
3.2.16.2.	PH:.....	20
3.2.16.3.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):.....	20
3.2.16.4.	Nitratos: .....	20
3.2.16.5.	Fosfatos: .....	20

3.2.16.6. Turbiedad:.....	21
3.2.16.7. Oxígeno disuelto (OD): .....	21
3.2.16.8. Sólidos disueltos totales (SDT): .....	21
3.2.16.9. Coliformes fecales: .....	21
3.2.17. Normativa Ambiental Vigente TULSMA: .....	21
<b>4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1. METODOLOGÍA.....</b>	<b>22</b>
4.1.1. Esquema metodológico .....	22
<b>4.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>23</b>
<b>4.3. METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA .....</b>	<b>24</b>
4.3.1. Caracterización de la microcuenca .....	24
4.3.2. Parámetros Morfométricos .....	25
4.3.2.1. Ancho de la cuenca (W) .....	25
4.3.2.2. Coeficiente de Compacidad (Cc) o índice Gravelius. ....	26
4.3.2.3. Razón de Elongación (Re).....	26
4.3.2.4. Factor de forma de Horton (Rf).....	26
4.3.3. Determinación del índice de la calidad del agua NSF.....	27
4.3.3.1. Estimación del índice de la calidad del agua general (ICA-NSF).....	27
4.3.3.2. Curvaturas de estimación para el cálculo del ICA-NFS.....	29
4.3.4. Análisis de los resultados para la evaluación bajo la normativa ambiental vigente con los parámetros establecidos por el ICA-NSF.....	35
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
5.1.1. Metodología ICA-NSF .....	35
5.1.2. Caracterización de la microcuenca del río Cutuchi y selección de puntos.....	37
5.1.3. Muestreo .....	38
5.1.4. Análisis de muestras de agua.....	40
5.1.4.1. Mediciones “in situ” .....	40
5.1.4.2. Análisis de agua en el laboratorio .....	41
5.1.5. Comportamiento de la calidad del Agua en la microcuenca del río Cutuchi .....	41
5.1.6. Parámetros físicos.....	41

5.1.7. Parámetros químicos .....	43
5.1.8. Parámetros microbiológicos .....	45
5.1.9. Aplicación y cálculo de la metodología ICA-NSF.....	45
5.1.10. Determinación del ICA en la microcuenca del Rio Cutuchi .....	48
5.1.11. Comparación de la calidad del agua según la normativa ecuatoriana .....	50
5.1.12. Parámetros fisicoquímicos en estado regular .....	51
5.1.13. Parámetros fisicoquímicos en estado malo.....	51
<b>5.2. DISCUSIÓN.....</b>	<b>52</b>
<b>5.3. EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL Y AMBIENTAL .....</b>	<b>53</b>
5.3.1. Impacto social.....	53
5.3.2. Impacto ambiental .....	53
<b>5.4. PRESUPUESTO REFERENCIAL.....</b>	<b>54</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>6.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>6.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>7. REFERENCIAS .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1:</b> Beneficiarios directos e indirectos de la microcuenca del río Cutuchi [6,7,8]. .....	3
<b>Tabla 3. 1:</b> Clasificación de cuencas propuestas para el Ecuador. ....	11
<b>Tabla 4. 1:</b> Coordenadas de los puntos de muestreo. ....	24
<b>Tabla 4. 2:</b> Clasificación del coeficiente de compacidad o Gravelius.....	26
<b>Tabla 4. 3:</b> Relación de la forma Horton. ....	27
<b>Tabla 4. 4:</b> Clasificación del "ICA" propuesto por Brown.....	27
<b>Tabla 4. 5:</b> Pesos relativos de los 9 parámetros.....	29
<b>Tabla 4. 6:</b> Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce [45]. ....	34
<b>Tabla 5. 1:</b> Cuadro comparativo de metodologías para la determinación ICA. ....	36
<b>Tabla 5. 2:</b> Características Morfométricos de la microcuenca río Cutuchi. ....	37
<b>Tabla 5. 3:</b> Descripción de los materiales empleados para la toma de muestras.....	39
<b>Tabla 5. 4:</b> Resultados obtenidos mediante el muestreo in-situ de los parámetros de pH y temperatura del agua.....	40
<b>Tabla 5. 5:</b> Parámetros fisicoquímicos y microbiológico (resultados laboratorio). ....	41
<b>Tabla 5. 6:</b> Variación de los parámetros físicos. ....	42
<b>Tabla 5. 7:</b> Variación de los parámetros físicos. ....	43
<b>Tabla 5. 8:</b> Variación de los parámetros microbiológicos.....	45
<b>Tabla 5. 9:</b> Calculo del porcentaje de Oxígeno Disuelto.....	46
<b>Tabla 5. 10:</b> Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona alta “Aláquez”. ....	46
<b>Tabla 5. 11:</b> Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona media “Latacunga”.....	47
<b>Tabla 5. 12:</b> Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona baja “San Miguel”. ....	48
<b>Tabla 5. 13:</b> Resultados de la aplicación del ICA-NSF en los tres puntos de muestreo. ....	49
<b>Tabla 5. 14:</b> Clasificación normativa ecuatoriana (TULSMA).....	50
<b>Tabla 5. 15:</b> Criterios de calidad uso pecuario, agrícola y preservación de la flora y fauna...	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3. 1:</b> División de una cuenca hidrográfica. ....	12
<b>Figura 3. 2:</b> Partes de una cuenca hidrográfica [27].....	13
<b>Figura 4. 1:</b> Esquema metodológico.....	22
<b>Figura 4. 2:</b> Área de estudio Microcuenca del río Cutuchi en la Provincia de Cotopaxi. ....	23
<b>Figura 4. 3:</b> Mapa de ubicación de los puntos de muestreo. ....	25
<b>Figura 4. 4:</b> Valoración de la calidad del agua en función de Coliformes Fecales[45]. ....	30
<b>Figura 4. 5:</b> Valoración de la calidad del agua en función de pH[45].....	30
<b>Figura 4. 6:</b> Valoración de la calidad del agua en función del DBO5[45].....	31
<b>Figura 4. 7:</b> Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno[45]. ....	31
<b>Figura 4. 8:</b> Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo [45]. ....	32
<b>Figura 4. 9:</b> Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura[45]. ....	32
<b>Figura 4. 10:</b> Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez [45]. ....	33
<b>Figura 4. 11:</b> Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total [45].....	33
<b>Figura 4. 12:</b> Valoración de la calidad de agua en función del % de S. O[45]. ....	35
<b>Figura 5. 1:</b> Obtención del área y perímetro de la microcuenca. ....	37
<b>Figura 5. 2:</b> Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Cutuchi.....	38
<b>Figura 5. 3:</b> ICA-NSF en los puntos de muestro de la microcuenca del río Cutuchi.....	49

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Tema del proyecto:** “Determinar el índice de calidad del agua (NSF) de la microcuenca del río Cutuchi ubicado en la Provincia de Cotopaxi”

**Modalidad de Titulación:**

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación

**Carrera:** Ingeniería Hidráulica

**Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:** Determinar el índice de calidad del agua (NSF) de la microcuenca del río Cutuchi ubicado en la Provincia de Cotopaxi.

**Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:**

**Autores:**

Joselyn Thalya Santafe Alvarez

Brayan Isael Saltos Vega

**Tutor:**

Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza MSc.

**Área de conocimiento:** 2508.11

Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO.

07 ingeniería industrial y construcción	071 meteorología hidrología	073 calidad del agua
---	-----------------------------	----------------------

**Línea de investigación:** Meteorología hidrología mecánica de fluidos, sistemas y obras hidráulicas.

**Sublíneas de investigación de la Carrera:**

Gestión y manejo sostenible y/o sustentable del recurso hídrico.

## **2. INTRODUCCIÓN**

En Ecuador, los recursos hídricos están ligados a una de las principales tareas como es la demanda y la satisfacción de agua para diversas necesidades sociales. La gestión de este recurso requiere una distribución de manera sostenible tanto en el tiempo como en el espacio, tomando en atención a la calidad del agua [1, 2].

El agua es uno de los recursos más esenciales en todos los seres vivos. Su importancia no se limita únicamente a la necesidad de beber y mantenerse hidratado, también juega un papel fundamental en la regulación de los ecosistemas terrestres, asegurando el equilibrio vital para la supervivencia de plantas y animales. Además, se destaca por ser un regulador natural clave del clima [3].

La microcuenca del río Cutuchi ubicada en la provincia de Cotopaxi, no escapa a esta realidad. Este cuerpo de agua desempeña un papel crucial en la provisión de agua para uso agrícola y otros usos, así como en el mantenimiento de la biodiversidad local. Sin embargo, las crecientes actividades antropogénica y la falta de prácticas de manejo adecuadas pueden estar afectando su calidad [4].

El índice de calidad del agua desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF) proporciona una herramienta efectiva para evaluar la calidad del agua en términos cuantitativos. Este índice es ampliamente utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de comparar lo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo [5].

Esta situación resalta la urgente necesidad de abordar las fuentes de contaminación y degradación del agua en la microcuenca del río Cutuchi. Se requiere una acción coordinada entre las autoridades locales, los actores comunitarios, los sectores industriales y agrícolas para implementar medidas efectivas de gestión ambiental y protección de los recursos hídricos en la región. De lo contrario, los impactos negativos en la salud humana y el ecosistema acuático podrían agravarse, comprometiendo la sostenibilidad ambiental y socioeconómica de la zona.

### **2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

La contaminación del río presenta retos relacionados a la pureza del agua y la salud del ecosistema, por lo que se utiliza el método del índice de calidad del agua en la microcuenca del

río Cutuchi para llevar a cabo el análisis de 8 parámetros fisicoquímicos y uno microbiológico, dado que se ha observado la influencia de actividades humanas a lo largo de las orillas del río.

## 2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el índice de calidad del agua, según la metodología ICA-NSF en la microcuenca del río Cutuchi y cuáles son los principales factores que influyen en dicho índice?

## 2.3. OBJETIVO Y CAMPO DE ACCIÓN

### 2.3.1. Objetivo de Investigación:

Índice de calidad del agua.

### 2.3.2. Campo de acción:

2508.11 Calidad de las Aguas

## 2.4. BENEFICIARIOS

Los beneficiarios del proyecto de investigación son la población aledaña a la microcuenca del río Cutuchi perteneciente al cantón Latacunga, con un total de 26861 habitantes entre directos e indirectos. Por lo tanto, en la **Tabla 2. 1** se especifican la población en general en la zona de estudio.

**Tabla 2. 1:** Beneficiarios directos e indirectos de la microcuenca del río Cutuchi [6, 7, 8].

BENEFICIARIOS DIRECTOS				BENEFICIARIOS INDIRECTOS			
Moradores de la Parroquia Aláquez		Moradores del Cantón Latacunga		Moradores de la Parroquia San Miguel		Universidad Técnica de Cotopaxi	
Hombres:	1914	Hombres:	2513	Hombres:	1980	Estudiantes primer ciclo en adelante:	10500
Mujeres:	2065	Mujeres:	3769	Mujeres:	2690	Estudiantes nivelación:	1080
						Docentes:	350
Total:	3979	Total:	6282	Total:	4670	Total:	4670 11930

Elaborado por: Autores

## 2.5. JUSTIFICACIÓN

La investigación se enfoca en la urgente necesidad de conservar la pureza del agua en la microcuenca del río Cutuchi, ubicada en la provincia de Cotopaxi, frente a amenazas como el

aumento demográfico, la expansión de actividades humanas y el cambio climático. Los hallazgos de este estudio proporcionarán datos detallados sobre la calidad del agua, esenciales para identificar problemas de contaminación y deterioro del recurso hídrico. Por consiguiente, se empleará la metodología desarrollada por la National Sanitation Foundation (NSF), para realizar análisis de 8 parámetros fisicoquímicos y 1 microbiológico, con el fin de evaluar de manera técnica la calidad del agua. No obstante, los beneficiarios de este estudio abarcan desde las comunidades locales hasta las autoridades gubernamentales, científicos y defensores del medio ambiente, ya que contribuyen directamente a proteger la salud pública y promover la sostenibilidad regional. Los resultados también servirán como referencia para futuros proyectos y estudios en la región.

La calidad del río Cutuchi se ha visto afectada negativamente debido a la presencia de industria como ESSITY, plantaciones como Finca la Esperanza y Positano Farms, descargas de plaguicidas provenientes de NOVA y haciendas como San Rafael. Esta situación representa un problema socioambiental que agrava la contaminación de las reservas hídricas [5].

## **2.6. HIPÓTESIS**

El uso de la metodología National Sanitation Foundation (NSF) revelarán niveles elevados de contaminación en zonas de la microcuenca del río Cutuchi donde hay una mayor concentración de industrias y población.

## **2.7. OBJETIVOS**

### **2.7.1. General**

Determinar el índice de calidad del agua mediante la metodología National Sanitation Foundation (NSF) en la microcuenca del río Cutuchi.

### **2.7.2. Específicos**

- Levantar información bibliográfica acerca de la calidad del agua en la microcuenca seleccionada.
- Determinar la zona de estudio con el uso de software de SIG para la caracterización de los puntos de muestreo.
- Calcular el índice de la calidad del agua a través de la metodología ICA-NSF en la microcuenca del río Cutuchi.

- Analizar los resultados para la evaluación bajo la normativa ambiental vigente en el Ecuador.

## 2.8. SISTEMAS DE TAREAS

Objetivos	Actividad (Tareas)	Resultados de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Explorar los fundamentos teóricos sobre los enfoques metodológicos utilizados para calcular el índice que evalúa la calidad del agua.	Investigación de fuentes bibliográficas de autores y sitios de confianza.	Redacción de las metodologías para la determinación del ICA.	<b>Técnica:</b> Recopilación de información bibliográfica. <b>Instrumentos:</b> Artículos científicos, Tesis, Documentos académicos.
Utilizar sistemas de información geográfica (SIG) para delimitar la microcuenca del río Cutuchi y seleccionar los puntos de muestreo.	Definición de los límites geográficos de la microcuenca Cutuchi. Identificación y elección de los lugares de muestreo.	Mapas Datos geoespaciales	<b>Técnica:</b> Observación Medición <b>Instrumento:</b> Software QGIS
Calcular el índice de calidad del agua según la metodología ICA-NSF para evaluar la condición del agua en la microcuenca del río Cutuchi.	Aplicación de los criterios del índice de calidad del agua según la metodología ICA NSF. Recolección de muestras de agua en in-situ y evaluación de las muestras de agua.	Recolección de las muestras de agua y transportarlas al laboratorio, siguiendo las instrucciones de preservación de muestras definidas por la institución.	<b>Técnicas:</b> Muestreo del agua Análisis de parámetros físicos-químicos y microbiológicos <b>Instrumentos</b> Equipos de laboratorio Medidores portátiles
Analizar el cumplimiento con las regulaciones ambientales actuales en el Ecuador.	Análisis y comprensión de los resultados, conforme a las regulaciones ecuatorianas para su uso en actividades agrícolas y ganaderas.	Análisis y resultados de la investigación.	<b>Técnica:</b> Redacción de resultados <b>Instrumentos:</b> Normativa Ambiental

### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

Mediante investigaciones se determinó la variación espacio-temporal de la calidad del agua del río Cutuchi utilizando el índice de calidad para aguas superficiales de la NSF. El estudio hidrometeorológico, que abarcó datos de cinco estaciones meteorológicas y una hidrológica durante 2005-2015, y los análisis del Índice de Calidad de Agua (ICA) entre 2011-2015, reveló una temperatura promedio anual de 13.7 °C, una precipitación de 634 mm/año y un caudal promedio anual de 11.15 m<sup>3</sup>/s, con un ICA-NSF promedio de 58.17, calificándolo como "regular" y sin cambios significativos en cinco años. Los muestreos realizados entre septiembre de 2019 y enero de 2020 mostraron que algunos parámetros superaron los Límites Máximos Permisibles (LMP) según el TULSMA (2015), como el oxígeno disuelto (4.46 mg/L en 2012), coliformes fecales (350,000 NMP/10mL en enero de 2020), fosfatos (2249 µg/L), arsénico (0.055 mg/L en octubre de 2019) y turbidez (128 NTU en 2012 y 192 NTU en octubre de 2019) [9].

En un estudio realizado para evaluar la calidad del agua del río Cutuchi, en la provincia de Cotopaxi, se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y se compararon con la normativa ambiental vigente (TULSMA). Se recolectaron 20 muestras en cinco puntos a lo largo del gradiente longitudinal del río, desde las partes altas hasta su confluencia con el río Ambato. El análisis reveló que el río presenta una ligera expansión en su cauce, sin riesgo de inundaciones. Sin embargo, tres de los cinco puntos de muestreo no cumplieron con los límites permisibles de TULSMA para turbidez (180,2 NTU), DBO5 (55,7 mg/l) y coliformes (3115,5 NMP/100 ml), especialmente en las zonas bajas, donde las actividades antropogénicas aumentan la carga de contaminantes. El índice de calidad ICA-NSF calificó la calidad del agua como regular en la parte alta del río y mala en las zonas medias y bajas [10].

Según estudios realizados por la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) – Unidad de Negocio HIDROPAUTE, que gestiona importantes proyectos hidroeléctricos, se busca monitorear la calidad del agua en los ríos Mazar y Pindilig, principales afluentes de la cuenca del río Paute, con el objetivo de cumplir su política de gestión integral como empresa pública líder en garantizar la soberanía energética del país y fomentar el desarrollo sostenible. En esta tesis, se aplicó el Índice de Calidad de Agua (ICA) utilizando el modelo de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (ICA-NSF), que incluye 9 parámetros clave: temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos,

sólidos disueltos totales y coliformes fecales. Estos parámetros se analizaron durante los monitoreos efectuados en ambos ríos entre mayo y noviembre de 2015 [11] .

En la microcuenca Nagsiche, situada en el cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, se evaluó la calidad del agua utilizando el índice de calidad del agua de la NSF. Se establecieron tres puntos de muestreo en las parroquias de Cusubamba y Panzaleo. La metodología empleada fue cuantitativa, basada en el índice de calidad de agua propuesto por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (ICA-NSF), con la recolección de muestras en los tres puntos de la microcuenca. Los resultados indicaron que la cuenca alta tuvo un ICA de 60,35, clasificada como regular; la cuenca media presentó un ICA de 53,34, también regular; y la cuenca baja mostró un ICA de 50,36, categorizada como mala. La calidad del agua en la microcuenca Nagsiche presentó un promedio de 55,68, lo que llevó a una clasificación general de regular, atribuida a las actividades que se realizan en las riberas del río. Al comparar los parámetros del ICA-NSF con la normativa ecuatoriana vigente (TULSMA), se observó variabilidad en la microcuenca, con contaminación en parámetros como Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, DBO5, Temperatura y Nitratos, reflejando condiciones regulares de contaminación fisicoquímica y microbiológica [9].

## **3.2. MARCO REFERENCIAL**

### **3.2.1. El agua**

El agua es fundamental para el funcionamiento de los seres humanos, la biodiversidad, el medio ambiente y todos los seres vivos del planeta. A pesar de los esfuerzos por fomentar su conservación y sensibilizar sobre la importancia de este recurso natural limitado, su protección sigue siendo crucial. [12].

El agua ha sido siempre objeto de regulaciones legales debido a su importancia para la navegación, el riego, la alimentación humana y la higiene personal y pública. Como bien jurídico, existen derechos (El derecho humano al agua es fundamental según, el artículo 12 de los derechos del Buen Vivir) y obligaciones asociadas a las aguas que fluyen por cauces naturales, así como a las contenidas en cuerpos de agua artificiales como lagos o lagunas [13].

Es crucial considerar el agua como un recurso con un marco legal, ya que es esencial para la vida misma. Esto implica que las personas tienen derechos y responsabilidades variadas dependiendo del tipo de agua y su ubicación geográfica [14].

### 3.2.2. Fuentes de agua

Las fuentes de agua se encuentran naturalmente en el entorno, incluyendo la lluvia, aguas superficiales, aguas subterráneas y océanos, entre otras. Las aguas superficiales son más vulnerables a la contaminación debido a fenómenos naturales como la erosión y actividades humanas que han afectado negativamente nuestros cuerpos de agua [15].

### 3.2.3. Utilidad de aguas superficiales

Las aguas superficiales están asociadas con una variedad de actividades, principalmente agrícolas y ganaderas, que se llevan a cabo en grandes extensiones de terreno. Estas prácticas causan la contaminación de las aguas superficiales a través de la escorrentía, que arrastra y disuelve las sustancias acumuladas en el suelo. Entre las sustancias comunes encontradas en estas aguas, debido a la contaminación difusa, se incluyen fertilizantes y fitosanitarios utilizados en la agricultura, así como materia orgánica y sustancias tóxicas derivadas de las actividades ganaderas, los vertederos urbanos y algunas industrias [16].

Los usos del agua se pueden categorizar en tres tipos distintos:

- **La infraestructura social:** se refiere a usos que benefician a la sociedad en general, donde el agua se emplea como un recurso esencial para el consumo directo.
- **En el ámbito de la agricultura, la silvicultura y la acuicultura:** el agua se utiliza como recurso intermedio para crear condiciones adecuadas para el desarrollo de especies vegetales o animales de interés.
- **En la industria:** el agua se emplea como recurso intermedio en actividades de procesamiento industrial y energético [9].

Existen dos formas principales de utilización del agua: consuntiva y no consuntiva.

- **El uso consuntivo:** implica la extracción de agua de su fuente natural, lo que reduce su disponibilidad temporal y espacialmente (el riego en la agricultura).
- **El uso no consuntivo:** implica que la mayor parte del agua utilizada se devuelve a la fuente de abastecimiento, aunque puede alterar su disponibilidad temporal y calidad en cierta medida (generación de energía hidroeléctricas) [17].

### 3.2.4. Calidad de agua

Se refiere a un conjunto de parámetros físicos, químicos o biológicos que determinan los posibles usos del agua, y este concepto es relevante únicamente en función de su aplicación

específica. Esto implica que los cuerpos de agua adecuados para la supervivencia de peces no siempre son aptos para actividades recreativas como nadar, y el agua destinada al consumo humano o para usos domésticos puede no ser apropiada para aplicaciones industriales. [1].

En Ecuador, la calidad del agua es crucial, por lo que se establecen parámetros específicos para su evaluación y las áreas de análisis. El TULSMA, en su Libro VI, Anexo 1, establece los criterios para la calidad del agua, incluyendo los límites permitidos para las descargas a los cuerpos de agua [18].

### **3.2.5. Contaminación antropogénica de los ecosistemas acuáticos**

La contaminación en ecosistemas acuáticos implica daños causados por actividades humanas, como la liberación de sustancias dañinas, el calentamiento del agua por la refrigeración de industrias, descarga de agentes patógenos o desechos sólidos dispersos, entre otros impactos perjudiciales [19].

### **3.2.6. Fuentes de Contaminación del Agua**

#### **3.2.6.1. Fuentes Naturales**

Dependiendo de los terrenos que atraviesa el agua puede contener componentes de origen natural procedentes del contacto con la atmósfera y el suelo (Ej. Sales minerales, calcio, magnesio, hierro etc.). Aunque pueden ser nocivos para la salud, en general son sustancias que se pueden identificar fácilmente y eliminar [20].

#### **3.2.6.2. Fuentes Artificiales**

El desarrollo industrial ha provocado la presencia de ciertos componentes que son peligrosos para el medio ambiente y para los organismos y difíciles de eliminar. Además, hay una amplia gama de sustancias que contribuyen a esta contaminación:

- Sustancias que provienen de sistemas de eliminación de residuos humanos, como heces, orina y detergentes.
- Sustancias derivadas de procesos industriales, como grasas, aceites, y diversos productos químicos.
- Sustancias utilizadas en la agricultura para combatir plagas y enfermedades que afectan tanto a humanos como a animales, como pesticidas, herbicidas e insecticidas, entre otros [20].

### **3.2.7. Consecuencias de la Contaminación del Agua**

Los contaminantes representan una grave amenaza para este valioso recurso natural y un riesgo significativo para la salud del planeta. La contaminación del agua puede tener consecuencias letales e irreversibles si no se toman medidas para remediarla.

La contaminación del agua destruye la cadena alimentaria acuática. Inicialmente, los organismos vivos en el agua mueren, lo que a su vez afecta a las especies animales que viven en el lecho marino y se alimentan de estos organismos. Este proceso genera un efecto en cadena que altera toda la red alimentaria, desde el fondo del agua hasta los animales que viven en tierra. [21]. Además, esta contaminación causa cambios en el aspecto y olor del agua, su contaminación limita el acceso a este recurso vital para la vida.

La propagación de enfermedades puede ocurrir de varias maneras:

#### **a) Directos**

Directamente, a través del consumo de agua contaminada de fuentes de abastecimiento o el contacto con la piel y mucosas durante actividades recreativas, laborales o terapéuticas. Esto puede provocar infecciones locales en la piel dañada o sistémicas en personas con sistemas inmunológicos comprometidos.

#### **b) Indirectos**

El agua puede ser vehículo de infecciones o transmitirse a través de alimentos que han sido regados con aguas residuales. Además, pueden acumular poli virus, lo cual puede afectar a quienes los consumen, y determinados insectos acuáticos son vectores de enfermedades como el paludismo o la fiebre amarilla. La susceptibilidad a estas enfermedades varía según factores como la edad, prácticas de higiene personal, nivel de acidez gástrica, función intestinal y estado del sistema inmunológico [22].

### **3.2.8. La cuenca Hidrográfica**

Está constituida por una serie de superficies de suelo y vertientes que conforman una red de drenaje, se ha desarrollado de forma natural a partir de los cursos de agua recolectados por las precipitaciones. Estos cursos de agua convergen en un único punto de salida o desagüe [22].

### 3.2.8.1. Clasificación de una Cuenca Hidrográfica

Las cuencas hidrográficas pueden definirse a varios niveles. El agua que fluye por varios barrancos se une para formar un pequeño arroyo, muchos un arroyo se combina para formar un arroyo más grande, los arroyos más grandes desembocan en un río, etc. La corriente más pequeña se llama corriente de primer orden. Dos corrientes de primer orden se unen para formar una corriente de segundo orden, dos corrientes de segundo orden se unen para formar una corriente de tercer orden, y así sucesivamente. (ver **Tabla 3. 1**) [23].

**Tabla 3. 1:** Clasificación de cuencas propuestas para el Ecuador.

<b>Categoría</b>	<b>Superficie en Has.</b>	<b>Superficie en Km<sup>2</sup>.</b>
Sistema hidrográfico	Mayor a 300,000	Mayor a 3,000
Cuenca hidrográfica	100,001 a 300,000	1,001 a 3,000
Subcuenca	15,001 a 100,000	151 a 1,000
Microcuenca	4,000 a 15,000	40 a 150
Nanocuenca	Menor a 4,000	Menor a 40

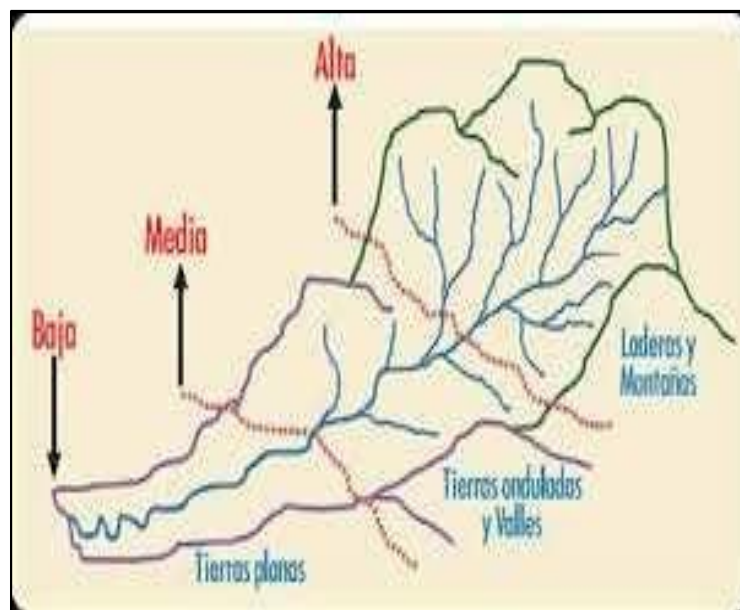
**Fuente:** INEFAN (1995)

### 3.2.8.2. Microcuenca

Una microcuenca se describe como una unidad geográfica pequeña (ver **Figura 3. 1**) habitada por un número limitado de familias que gestionan los recursos locales, principalmente el suelo, el agua y la vegetación [24].

Esencialmente, una microcuenca forma parte de una subcuenca más grande, contribuyendo su drenaje al curso principal del agua. En otras palabras, una subcuenca se compone de varias microcuencas que desembocan en ella [25].

Desde el punto de vista operativo, la microcuenca posee un área que puede ser planificada mediante la utilización de recursos locales y un número de familias que puede ser tratado como un núcleo social que comparte intereses comunes (agua, servicios básicos, Infraestructura, organización, entre otros.) [26].



**Figura 3. 1:** División de una cuenca hidrográfica.

**Fuente:** Universidad del Norte (2020)

### 3.2.8.3. Partes de la cuenca hidrográfica

De acuerdo con la dinámica del flujo de agua, dentro de una cuenca se pueden distinguir tres áreas funcionales diferentes (**ver Figura 3. 2**).

- **Cuenca alta**

Las áreas adyacentes donde se desarrolla un sistema montañoso en la parte más alta de la cuenca son fundamentales para la formación de los primeros cuerpos de agua. En estas zonas, la acumulación inicial de agua da lugar a la escorrentía primitiva una vez que el suelo ha alcanzado su capacidad de retención y absorción de agua.

- **Cuenca media**

Esta área se considera una región de transición entre la cuenca alta y la cuenca baja, donde los flujos de agua provenientes de la parte superior se combinan, contribuyendo con distintos caudales para la formación del cauce principal.

- **Cuenca baja**

La principal característica de esta sección de la cuenca es su topografía llana, que junto con la presencia de un ecosistema significativo, facilita el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas en esta área [1].



**Figura 3. 2:** Partes de una cuenca hidrográfica [27].

**Fuente:** Ecología Verde (2012)

#### **3.2.8.4. Importancia de una Cuenca Hidrográfica**

Las cuencas hidrográficas son fundamentales para mantener el equilibrio de los ecosistemas y para el progreso de las actividades humanas:

- Primero, controlan el flujo del agua, lo que disminuye el riesgo de desastres naturales como inundaciones y deslizamientos de tierra.
- Asimismo, mantienen la calidad del agua y proporcionan recursos de agua dulce, que son esenciales para la supervivencia de toda la biodiversidad del planeta.
- La velocidad del agua en las cuencas permite la generación de energía hidroeléctrica, que es clave para el desarrollo de diversas actividades.
- Finalmente, es importante destacar la belleza escénica de las cuencas fluviales, que frecuentemente contribuye a nuestras actividades recreativas [27].

#### **3.2.9. Características Físicas y Biofísicas de una Cuenca Hidrográfica**

##### **3.2.9.1. Área de drenaje**

Se define como la proyección horizontal delimitada por la línea divisoria de aguas. Es esencial distinguir entre el área de la superficie de la cuenca y el área proyectada, ya que el área de drenaje no incluye las laderas de montañas o colinas, sino solo su proyección horizontal. En

Ecuador, donde las cuencas se originan en zonas montañosas, la diferencia entre estas dos áreas puede ser considerable.[28].

### **3.2.9.2. Forma**

Esta determinada por factores geológicos y es fundamental porque afecta el tiempo de concentración, que se refiere al período necesario para que una gota de lluvia viaje desde el punto más distante de la cuenca hasta el punto de salida [28].

### **3.2.9.3. Sistema de drenaje**

Está formado por una red de canales hidrográficos diseñados para recolectar y dirigir el agua fuera del área a drenar. Esta disposición evita la acumulación de agua externa y previene el encharcamiento en las zonas bajas, las cuales pueden ser utilizadas para actividades agrícolas, ganaderas o desarrollos urbanos [29].

## **3.2.10. Componentes de una cuenca hidrográfica**

En Ecuador, se utiliza además el concepto de demarcación hidrográfica, que es definido por la Unión Europea como: “la zona marina y terrestre compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas subterráneas y costeras asociadas” [28].

### **3.2.10.1. Función Ambiental**

La función ambiental de una cuenca hidrográfica se manifiesta a través de varias acciones clave: alberga bancos de germoplasma, regula la recarga de agua, conserva la biodiversidad y preserva la diversidad de los suelos. [28].

### **3.2.10.2. Componente Físico**

El agua, el suelo, el subsuelo, y el aire constituyen el componente físico de la cuenca hidrográfica, presenta desde su parte más alta hasta su base, un relieve inclinado y cortados por quebradas. Los suelos que se encuentran en el área son variados, en la parte alta los suelos están relacionados con bosques naturales, estos mantienen humedad y tienen una fertilidad natural media [30].

## **3.2.11. Delimitación de la cuenca**

La delimitación de cuencas es fundamental y va más allá del establecimiento del límite natural del área de drenaje, hasta convertirse en la unidad principal de análisis ambiental, permitiendo

identificar y evaluar procesos, así como las interacciones que en ella ocurran, aspectos esenciales para la planificación y toma de decisiones sobre los recursos naturales [31].

Para delimitar una cuenca hidrográfica, se inicia por identificar el punto de salida o drenaje de la cuenca y se traza el perímetro siguiendo la línea divisoria de aguas, teniendo en cuenta previamente las curvas de nivel o el relieve y/o la red hidrográfica [32].

### **3.2.12. Utilización de herramientas SIG**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS) es un marco de trabajo para reunir, gestionar y analizar datos. Arraigado en la ciencia geográfica, SIG integra diversos tipos de datos. Analiza la ubicación espacial y organiza capas de información para su visualización, utilizando mapas y escenas 3D. Con esta capacidad única, SIG revela el conocimiento más profundo escondido en los datos, como patrones, relaciones y situaciones, ayudando a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes [33].

Mediante investigación, se emplean programas como QGIS o ArcGIS para manejar estos sistemas, donde un sistema especializado en la caracterización y modelado de cuencas hidrográficas integra herramientas específicas para el análisis hidrológico en una interfaz GIS personalizada. Sus componentes fundamentales incluyen modelos para determinar la dirección del flujo del agua en tierra, la identificación de puntos óptimos para el muestreo de calidad del agua, la estimación de caudales en ríos y la evaluación de la calidad en relación con contaminantes, utilizando la funcionalidad de delimitación que ofrece QGIS.

### **3.2.13. Características morfométricas de una cuenca**

Las características morfométricas implican la aplicación de métodos que, mediante el análisis de la morfología y geomorfología, cuantifican los rasgos específicos de las cuencas hidrográficas en valores numéricos. Esto permite una comparación precisa entre diferentes áreas de la superficie terrestre. Estos parámetros están estrechamente vinculados con el régimen hidrológico de una cuenca o microcuenca, ya que este régimen es el resultado de una combinación compleja de factores, siendo el clima y la topografía los más influyentes. La configuración de la superficie terrestre, especialmente su altitud, afecta de manera significativa factores cruciales del régimen hidrológico, como la precipitación, la escorrentía, la infiltración y la formación de depósitos y sedimentos [34].

### **3.2.14. Parámetros morfométricos de la microcuenca hidrografía.**

#### **3.2.14.1. Perímetro (P) (km):**

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros [35].

#### **3.2.14.2. Longitud axial (La) (km):**

Esta medida se considera como la longitud en línea recta, desde el punto de nacimiento de la corriente hasta el punto de desembocadura a un caudal mayor, o punto más bajo de la cuenca. A esta línea recta se le considera como el eje principal de la cuenca [36].

#### **3.2.14.3. Longitud del curso principal (L) (m):**

Es la distancia medida desde el punto más distante del curso colector (el de mayor orden) de la cuenca hasta la desembocadura [37].

#### **3.2.14.4. Longitud total del drenaje (Ln) (km):**

Es la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan en una cuenca determinada [37].

#### **3.2.14.5. Área de la cuenca (A):**

Se define como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía que, de manera directa o indirecta, se dirige hacia un mismo cauce natural. Esta superficie está delimitada por la línea divisoria de aguas de la zona en estudio y se expresa generalmente en kilómetros cuadrados. Este parámetro es crucial, ya que cualquier error en su medición puede afectar significativamente los resultados. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo mediciones exactas y confirmadas para asegurar la exactitud de este valor. [38].

#### **3.2.14.6. Ancho de la cuenca (W):**

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L), y se designa por la letra W. De forma que:  $W = A/L$  [39].

#### **3.2.14.7. Coeficiente de Compacidad (Cc) o Índice de Gravelius:**

Es la relación entre el perímetro P de la cuenca y el perímetro de un círculo que tendría la misma área A. Este índice ayuda a caracterizar la forma y compactación de la cuenca hidrográfica [35].

#### **3.2.14.8. Relación de Elongación (Re):**

Se define como la relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la cuenca y cuyo diámetro sea igual la longitud de la cuenca [35].

#### **3.2.14.9. Factor de forma de Horton (Rf):**

Es importante evaluar cuán cuadrada o alargada es una cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo tiene menor riesgo de crecientes en comparación con una de igual superficie pero con un factor de forma más alto. Los factores geológicos juegan un papel clave en la configuración de la fisiografía de una región y en la formación de sus cuencas hidrográficas. Los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y determinar la forma de sus cuencas hidrográficas. Un valor de Kf superior a uno indica el grado de achatamiento de la cuenca o de un río principal corto, lo que resulta en una mayor tendencia a concentrar el escurrimiento durante lluvias intensas y, por ende, en la formación de grandes crecidas. [35].

### **3.2.15. Metodologías para determinar el índice de calidad de agua**

#### **3.2.15.1. Índice de Calidad del Agua:**

El desarrollo de un índice de calidad del agua (ICA) debe representar de manera general la calidad del agua y no estar limitado a un solo conjunto de parámetros. Para generar un ICA, es esencial seleccionar una variedad de parámetros representativos, determinar los subíndices correspondientes a cada uno de estos parámetros y elegir el método de agregación más adecuado. Los distintos índices pueden variar según el número y tipo de parámetros seleccionados, los métodos utilizados para calcular los subíndices y el método de agregación implementado.

Este índice abarca una amplia gama de contaminantes, incluyendo parámetros clave como los coliformes fecales. Además, se consideran características generales como el pH, el oxígeno disuelto y la temperatura. El pH está vinculado a los niveles de toxicidad de diversos contaminantes, mientras que el oxígeno disuelto y la temperatura están estrechamente relacionados con la dinámica de los ecosistemas acuáticos. También se evalúan los niveles de nitratos y fosfatos para determinar la presencia de nutrientes. Por último, se toma en cuenta la demanda bioquímica de oxígeno, que puede servir como un indicador de contaminación por materia orgánica.

### **3.2.15.2. Índice de calidad general (ICG):**

El Índice de Calidad General (ICG) ofrece una medida global y consolidada de la calidad del agua. Se calcula utilizando una fórmula de agregación que combina 23 parámetros de calidad del agua; de estos, 9 son considerados básicos y son imprescindibles en todos los casos, mientras que los 14 restantes, denominados complementarios, solo se utilizan en estaciones o períodos específicos. Mediante ponderaciones matemáticas que evalúan la contribución de cada parámetro al índice total, se obtiene un valor final único que varía de 0 (agua altamente contaminada) a 100 (agua completamente limpia) [40].

La escala de clasificación establece que la calidad del agua se califica como excelente cuando el valor del ICG está entre 90 y 100, buena si oscila entre 80 y 90, intermedia entre 70 y 80, admisible entre 60 y 70, y deficiente cuando el índice está por debajo de 60 [41].

### **3.2.15.3. Índice Simplificado de Calidad de Aguas (ISQA):**

El ISQA fue desarrollado en España en 1982 para evaluar la calidad del agua, este índice se basa en cinco parámetros fisicoquímicos y se utiliza principalmente para determinar si el agua es adecuada para consumo humano y otros usos específicos. Aunque proporciona una evaluación rápida y fácil de entender de la calidad del agua, se recomienda complementarlo con otros índices para obtener una perspectiva más completa. Los parámetros utilizados incluyen DQO, sólidos totales, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del agua, y se puntúan de 0 (calidad mínima) a 100 (calidad máxima) [42].

### **3.2.15.4. Índice Automático de Calidad de Aguas (IAQA):**

El Índice Automático de Calidad de Aguas (IAQA) es una herramienta utilizada para evaluar la calidad del agua en diferentes cuerpos hídricos. Este índice se basa en la integración de varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, proporcionando una medida cuantitativa que refleja el estado general del agua. La metodología para calcular el IAQA varía según la región y la normativa específica, pero generalmente incluye los siguientes pasos:

- Selección de Parámetros
- Medición de Parámetros
- Asignación de Pesos
- Normalización de Datos
- Cálculo del Índice
- Clasificación de la Calidad del Agua [43].

### **3.2.15.5. Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF):**

El NSF es uno de los índices más reconocidos y utilizados, desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos en 1970. Este índice multiparámetro utiliza nueve parámetros para evaluar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del agua. Proporciona una estimación del grado de contaminación en diferentes puntos y momentos específicos, lo que facilita identificar posibles restricciones basadas en las actividades relacionadas con el uso del recurso hídrico [44].

### **3.2.16. Parámetros considerados por el ICA-NSF**

Este índice, creado en 1970, es uno de los más utilizados para evaluar la calidad del agua y permite medir los cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo en secciones específicas de ríos. Permite comparar la calidad del agua en distintos tramos del mismo río y entre ríos de diferentes regiones del mundo. Los resultados obtenidos ayudan a determinar la salud de un tramo particular del río. Para calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA), se consideran 9 parámetros:

- Coliformes Fecales (en NMP/100 ml)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) (en mg/l)
- Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/l)
- Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/l)
- Cambio de Temperatura (en °C)
- Turbidez (en NTU)
- Sólidos Disueltos Totales (en mg/l)
- Oxígeno Disuelto (DO<sub>3</sub> en mg/l) [45].

#### **3.2.16.1. Temperatura del agua:**

La temperatura es una medida de la energía cinética media de las moléculas de agua. Se mide en una escala lineal de grados Centígrados o grados Fahrenheit [46].

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente [29].

#### **3.2.16.2. PH:**

El pH es una medida que determina la acidez o alcalinidad del agua, basada en la concentración de iones de hidrógeno en la misma. La escala del pH, que va de 0 a 14, es logarítmica, lo que significa que un aumento de una unidad en la escala representa una disminución diez veces mayor en la concentración de iones de hidrógeno. Así, una reducción en el pH hace que el agua sea más ácida, mientras que un aumento en el pH indica que el agua es más básica [47].

#### **3.2.16.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba utilizada para medir la cantidad de oxígeno necesario para la descomposición biológica de materia orgánica en aguas residuales, ya sean municipales, industriales o en general. Esta prueba ayuda a evaluar el impacto de las descargas de efluentes domésticos e industriales en la calidad del agua de los cuerpos receptores. Los resultados de la prueba de DBO son fundamentales en ingeniería para el diseño y planificación de plantas de tratamiento de aguas residuales. [48].

#### **3.2.16.4. Nitratos:**

Los nitratos son compuestos solubles que contienen nitrógeno y oxígeno. En el medio ambiente, los nitritos ( $\text{NO}_2$ ) tienden a convertirse en nitratos ( $\text{NO}_3$ ), siendo estos últimos más comunes en aguas superficiales. Los nitratos son esenciales para el crecimiento de las plantas, pero su presencia en altas concentraciones puede indicar contaminación debido a prácticas agrícolas intensivas o aportes de aguas subterráneas contaminadas. La concentración normal en aguas superficiales es baja, pero puede aumentar considerablemente debido a actividades humanas como la agricultura y la ganadería [49].

#### **3.2.16.5. Fosfatos:**

Al igual que los nitratos los fosfatos son un nutriente importante de la naturaleza, que en caso de estar presentes en concentraciones demasiado elevadas potencian el crecimiento de las algas y plantas. Sin embargo, los cuerpos de agua a menudo presentan contaminantes comunes provenientes principalmente de fertilizantes agrícolas y detergentes utilizados en áreas urbanas y rurales. Estos elementos pueden estimular un crecimiento desmedido de algas, disminuyendo el oxígeno disuelto en el agua y ocasionando problemas de contaminación [50].

### **3.2.16.6. Turbiedad:**

La turbiedad se refiere a la falta de transparencia del agua debido a la presencia de partículas en suspensión como sedimentos y fitoplancton. Se mide en unidades nefelométricas NTU y puede tener orígenes tanto inorgánicos, como la erosión de arcillas y arenas, como orgánicos, como microorganismos. Altos niveles de turbiedad indican una menor calidad del agua, ya que afectan su apariencia visual y pueden interferir con la vida acuática [51].

### **3.2.16.7. Oxígeno disuelto (OD):**

El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua. El oxígeno libre es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas, y otros organismos; por eso, desde siempre, se ha considerado como un indicador de la capacidad de un río para mantener la vida acuática [52].

### **3.2.16.8. Sólidos disueltos totales (SDT):**

Los sólidos disueltos totales proceden de aguas subterráneas, aguas superficiales, aguas residuales humanas e industriales, efluentes urbanos y agrícola. Las sales del ambiente que arrastra la lluvia o deshielo también pueden contribuir al aumento de SDT del suministro de agua. Los SDT incluyen las sales, los minerales, los metales y cualquier otro compuesto orgánico o inorgánico que se encuentra disuelto en el agua [53].

### **3.2.16.9. Coliformes fecales:**

Los coliformes son indicadores de contaminación del agua y los alimentos. La determinación y concentración de estas bacterias en el agua condensada para usos de agua agrícola e industrial que proporciona una herramienta de control indispensable para conocer su calidad [54].

### **3.2.17. Normativa Ambiental Vigente TULSMA:**

Las regulaciones ambientales son fundamentales para gestionar distintos aspectos del comportamiento humano y la preservación del entorno natural. En lo que respecta a la calidad del agua, la normativa TULSMA define criterios y límites aceptables para garantizar que los cuerpos de agua mantengan estándares de calidad apropiados. Estos estándares son esenciales para usos como el consumo humano, el riego agrícola y las actividades pecuarias, entre otros.

Esta normativa busca las regulaciones no solo se enfocan en proteger la calidad del agua, sino también en fomentar su conservación y sostenibilidad mediante un estricto control de contaminantes y una gestión responsable de los recursos hídricos.

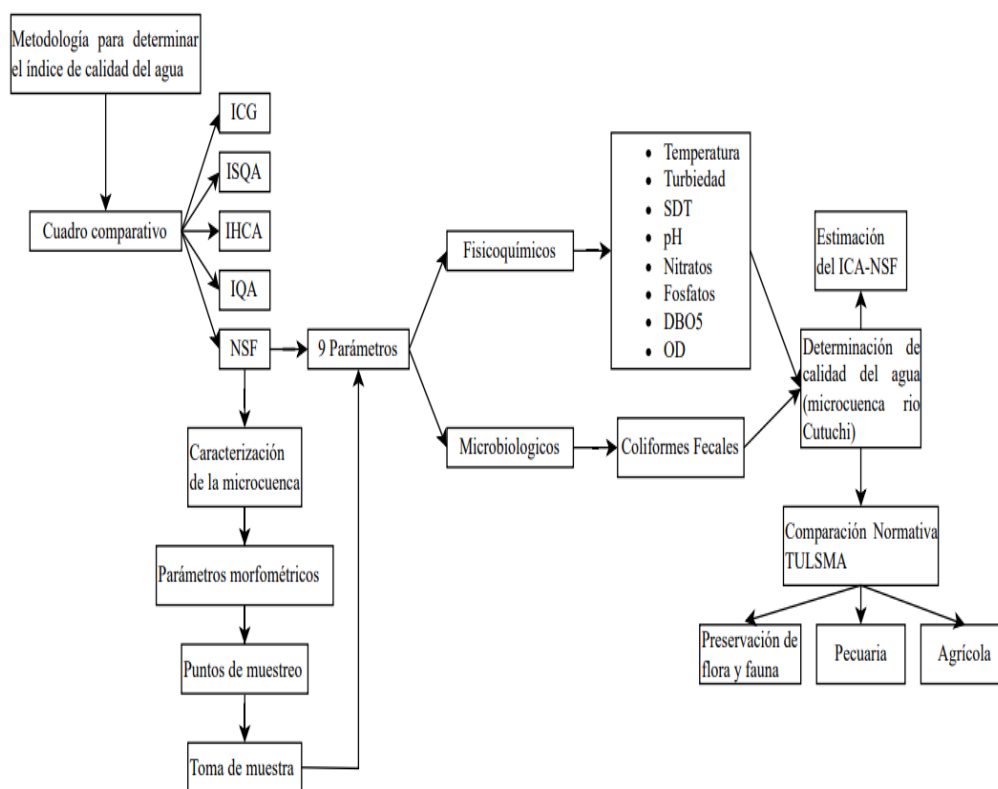
## 4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

### 4.1. METODOLOGÍA

Esta investigación se centró en dar un enfoque cuantitativo debido a que se enfatiza en el análisis número utilizando el índice de calidad del agua NSF. La investigación abarca niveles descriptivos, documentales y de campo, con el objetivo de describir, analizar y detallar información relevante sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del área estudiada. Se utilizó un enfoque deductivo para evaluar la contaminación y la calidad del agua en la microcuenca del río Cutuchi, mediante el análisis de muestras de agua y la aplicación de la metodología NSF para evaluar la calidad del agua.

#### 4.1.1. Esquema metodológico

Se diseñó un esquema metodológico detallado (**ver Figura 4.1**), 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 en la microcuenca Cutuchi, permitiendo un entendimiento profundo de la investigación realizada.



**Figura 4.1:** Esquema metodológico.

**Elaborado por:** Autores

#### 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La microcuenca del río Cutuchi se extiende por 174,4 km<sup>2</sup>, con la mayor parte ubicada en la parroquia Mulaló, dentro de la provincia de Cotopaxi. También se extiende hacia el noreste de la parroquia Machachi y, al oeste, una pequeña porción se encuentra en la parroquia San Juan de Pastocalle. Su ubicación es crucial, ya que extrae agua de las fuentes de la microcuenca del río Cutuchi, desempeñando un papel clave en la protección de estas fuentes de agua [55].

El río Cutuchi forma parte de la subcuenca del río Patate, cuenca del río Pastaza. Esta microcuenca se ubica en la provincia de Cotopaxi, comprende los cantones de Saquisilí, Pujilí, Latacunga, Salcedo. (ver Figura 4. 2) [56].

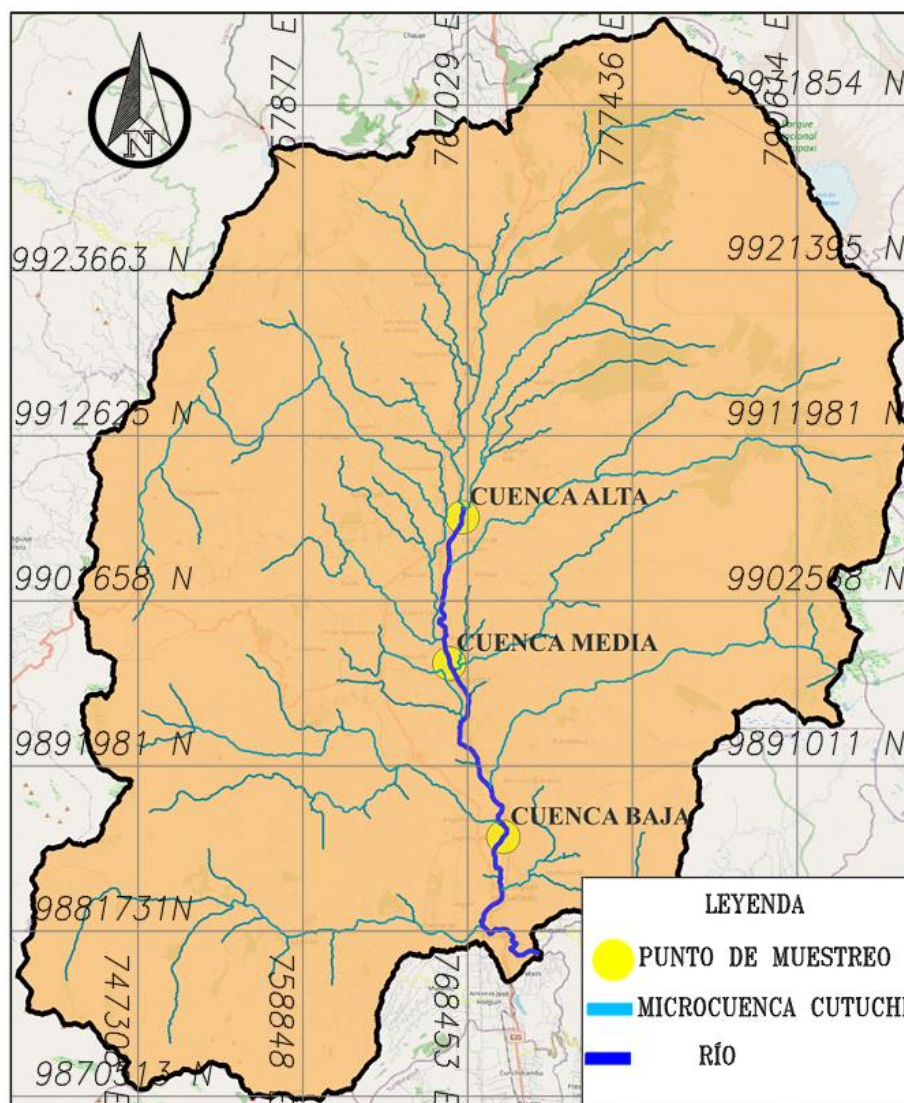


Figura 4. 2: Área de estudio Microcuenca del río Cutuchi en la Provincia de Cotopaxi.

Elaborado por: Autores

### 4.3. METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

La elección de metodologías para evaluar el índice de calidad del agua se fundamenta en las características definidas por el estudio a realizar. Cada metodología ofrece procesos y técnicas de estimación que varían según diversos factores, como los parámetros que se van a analizar, las ponderaciones asignadas, los usos principales y las limitaciones que cada una tiene para evaluar, clasificar y caracterizar la calidad del agua. Por lo tanto, se elabora un cuadro comparativo basado en las siguientes metodologías de ICA. Índice de Calidad General (ICG)

- Índice Simplificado General de Calidad de agua (ISQA)
- Índice Automático de Calidad de agua (IAQA)
- Índice Holandés de Calidad de agua (IHCA)
- Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF)

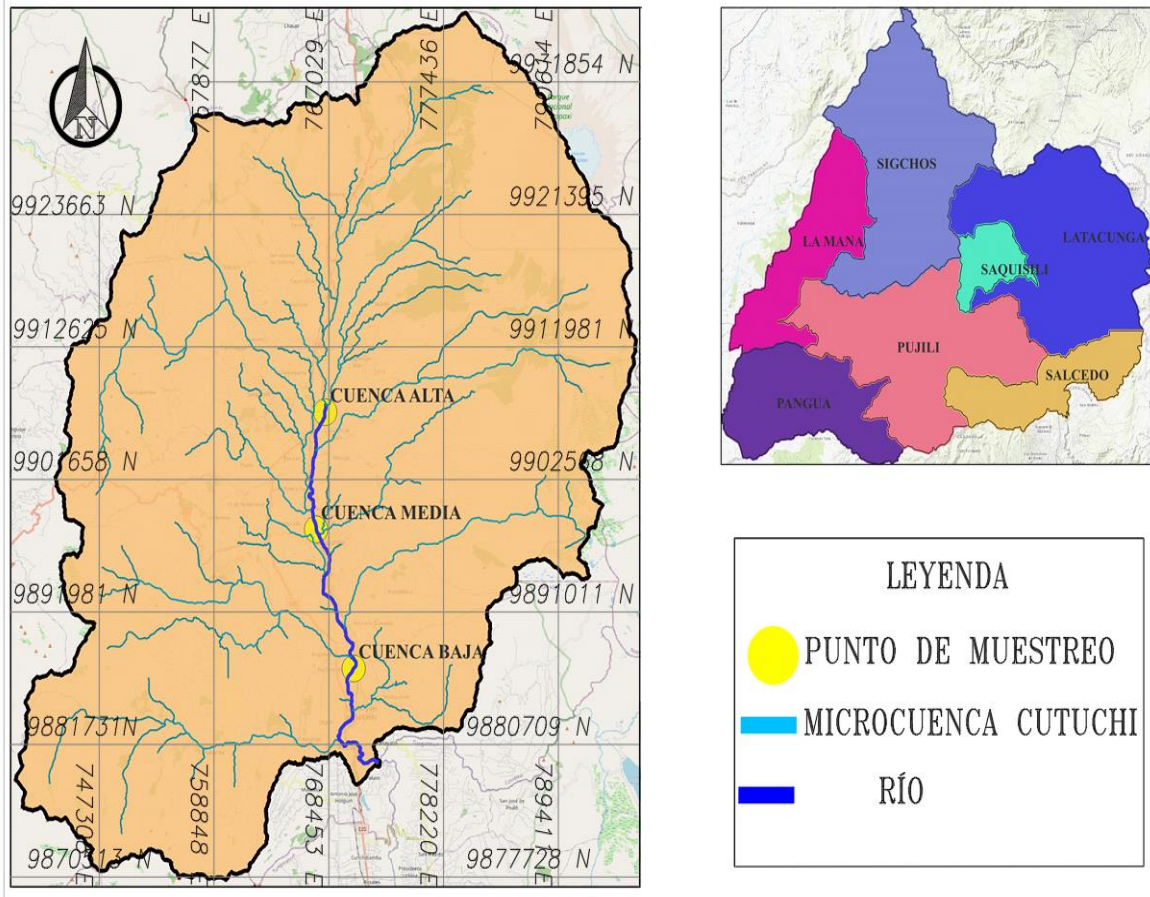
#### 4.3.1. Caracterización de la microcuenca

Para la georreferencia del área de estudio, se utiliza el software QGIS, que facilita la creación del mapa base para el proyecto de investigación. Considerando los detalles geográficos, la accesibilidad, las áreas potenciales de contaminación y las actividades humanas cercanas a las orillas del río, se identificaron tres puntos representativos de muestreo: zona alta, media y baja. Estos puntos se seleccionaron para la recolección y conservación de muestras, siguiendo las técnicas de muestreo establecidas en la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013. Por lo tanto, en la **Tabla 4. 1** y la **Figura 4. 3** se detallan las coordenadas de los puntos de muestreo del área de estudio.

**Tabla 4. 1:** Coordenadas de los puntos de muestreo.

PUNTOS DE MUESTREO	COORDENADAS		ALTURA m.s.n.m	LUGAR
	ESTE	NORTE		
1	765162	9905892	2850	Zona alta
2	764813	9896852	2756	Zona media
3	767513	9887644	2654	Zona baja

**Elaborado por:** Autores



**Figura 4. 3:** Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

**Elaborado por:** Autores

### 4.3.2. Parámetros Morfométricos

Se realizó el cálculo del perímetro y del área de la microcuenca de interés directamente desde la tabla de atributos en el software QGIS. Para ello, se utilizó la función "Agregar archivo" para integrar los campos necesarios. Luego, con la herramienta "Calculadora de campos", se obtuvieron los valores correspondientes para el área (en km<sup>2</sup>) y el perímetro (en km).

#### 4.3.2.1. Ancho de la cuenca (W)

$$W = \frac{A}{L} \quad (4.1)$$

Dónde:

W: Ancho de la cuenca

A: Área de la cuenca

L: Longitud de la cuenca

#### 4.3.2.2. Coeficiente de Compacidad (Cc) o índice Gravelius.

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (4. 2)$$

Dónde:

Kc: índice de Gravelius (adimensional)

P: Perímetro de la cuenca (Km)

A: Área de la cuenca en (Km<sup>2</sup>)

Dado que, el coeficiente de compacidad abarca la forma y geometría de la cuenca generando la clasificación del coeficiente, en la **Tabla 4. 2**.

**Tabla 4. 2:** Clasificación del coeficiente de compacidad o Gravelius.

Kc	Clasificación	Interpretación Ambiental
1 a 1,25	Casi Redonda a oval-redonda	Alta tendencia a inundaciones
1,25 a 1,50	Oval Redonda a oval-alargada	Mediana tendencia a inundaciones
1,50 a 1,75	Oval alargada a alargada	Baja tendencia a inundaciones
>1,75	Alargada	Cuencas propensas a la conservación

**Fuente:** Villela e Matos (1975), citado por (Cerignoni & Rodrigues)

#### 4.3.2.3. Razón de Elongación (Re)

$$Re = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L} \quad (4. 3)$$

Dónde:

Re: Relación de elongación

A: Área de la cuenca.

L: Longitud de la cuenca.

#### 4.3.2.4. Factor de forma de Horton (Rf)

$$Rf = \frac{A}{La^2} \quad (4. 4)$$

Dónde:

Rf: Factor de forma de Horton (Adimensional)

A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

La: Longitud axial de la cuenca (Km)

**Tabla 4. 3:** Relación de la forma Horton.

Rango de valores	Forma de la cuenca
<0,22	Muy alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,30 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargadamente ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,12	Muy Ensanchada
>1,20	Redondeando el desagüe

**Fuente:** Villela e Matos (1975), citado por (Cerignoni & Rodrigues)

#### 4.3.3. Determinación del índice de la calidad del agua NSF

Para evaluar la calidad del agua en la microcuenca del río Cutuchi, se utiliza la metodología ICA-NSF desarrollada por Brown. Esta metodología emplea una escala numérica de 0 a 100 puntos que integra los valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológico. Esta puntuación proporciona una medida compuesta de la calidad del agua, reflejando cómo estos parámetros interactúan y variando según el nivel de contaminación presente en el curso de agua evaluado.

##### 4.3.3.1. Estimación del índice de la calidad del agua general (ICA-NSF)

El índice ICA-NSF emplea una combinación ponderada de las variables de respuesta, expresando los resultados en una escala numérica de 0 a 100. Esta puntuación disminuye conforme aumenta el nivel de contaminación en el curso de agua de la zona estudiada. Posteriormente, se utiliza una tabla específica (**Tabla 4. 4**) para categorizar la calidad general del agua según los resultados obtenidos en el cálculo del índice.

**Tabla 4. 4:** 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

**Fuente:** ICA-NSF-USA (BROWN,1970)

**Elaborado por:** Autores

Por lo tanto, el ICA acoge un valor máximo de 100 y valor mínimo de 0, va disminuyendo con él la creciente de la contaminación dentro del curso de agua de la zona de estudio, de acuerdo por Brown se detalla lo siguiente.

- Las aguas con un ICA superior a 90 suelen mantener una buena diversidad de organismos acuáticos. En contraste, las aguas con un ICA en la categoría regular generalmente presentan una menor diversidad de vida acuática y pueden favorecer el crecimiento de algas.
- Las aguas clasificadas con un ICA en la categoría mala suelen presentar una baja diversidad de vida acuática y pueden estar experimentando problemas de contaminación.
- las aguas con un ICA en la categoría pésima presentan una escasa diversidad de vida acuática, problemas significativos y suelen ser inapropiadas para actividades de contacto directo, como la natación.
- Para calcular el ICA en un punto específico, es necesario medir los 9 parámetros que lo componen: Coliformes Fecales, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5), Nitratos, Fosfatos, Cambio de Temperatura, Turbidez, Sólidos Disueltos Totales y Oxígeno Disuelto [45].

Para determinar el valor del ICA en un punto cualquiera es necesario tener las mediciones de los 9 parámetros antes mencionados, el cálculo del índice, la evaluación numérica del ICA, son técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de los pesos específicos aportados en la investigación de Brown. Para calcular el índice de Brown se puede utilizar una función ponderada multiplicativa (ICA<sub>m</sub>) [57].

Para determinar el cálculo del índice de la calidad del agua se emplea la siguiente **ecuación (4.5)**

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (sub_i * w_i) \quad (4.5)$$

Donde:

$w_i$  = pesos relativos asignados a cada parámetro ( $sub_i$ ) 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 aplicación del cálculo para la determinación de la calidad del agua se emplea el uso de pesos relativos asignados para cada parámetro en el cual se visualiza en la **Tabla 4. 5** a su vez se realiza la interpolación para la obtención del subíndice de cada parámetro como la ecuación:

$$y = y_0 + \frac{x-x_0}{x_1-x_0} \cdot (y_1 - y_0) \quad (4.6)$$

Dónde:

y: Valor de propiedad a determinar.

$y_0, y_1$ : Valores de las propiedades asociados a la referencia  $x_1, x_2$  respectivamente.

$x_1, x_2$ : Valores de las propiedades leídos en la tabla más próximos al de la propiedad conocida.

$x_0$ : Valor de la propiedad conocida o deseada.

**Tabla 4. 5:** Pesos relativos de los 9 parámetros.

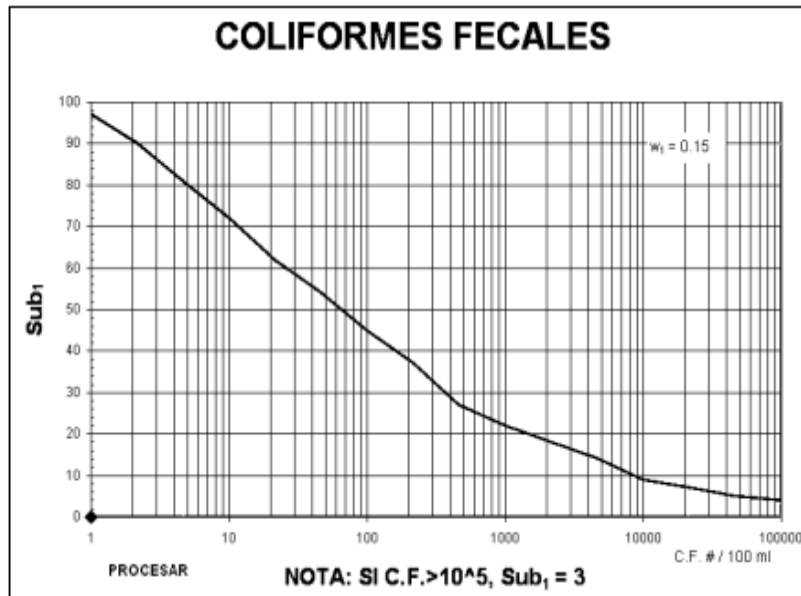
<b>I</b>	<b>sub<sub>i</sub></b>	<b>w<sub>i</sub></b>
1	Temperatura	0.10
2	PH	0.12
3	DBO	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Turbidez	0.08
7	Oxígeno disuelto	0.17
8	Sólidos disueltos totales	0.08
9	Coliformes Fecales	0.15

**Fuente:** Landwehr y Denniger (1976)

**Elaborado por:** Autores

#### 4.3.3.2. Curvaturas de estimación para el cálculo del ICA-NFS

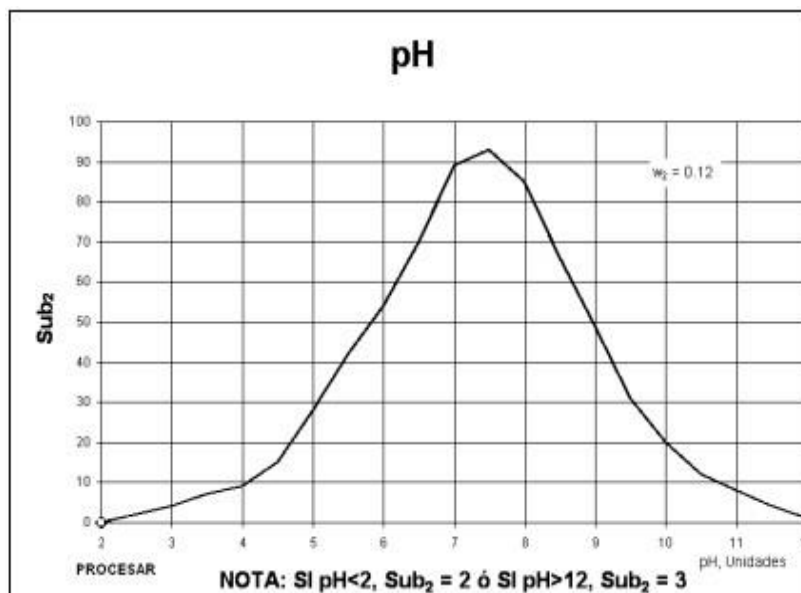
Para calcular el valor de (Sub<sub>i</sub>) del Índice de Calidad General, se deben seguir estos pasos: Si los Coliformes fecales superan los 100,000 Bact/100 mL, el (Sub<sub>1</sub>) se establece en 3. Si el valor de Coliformes fecales es inferior a 100,000 Bact/100 mL, se debe consultar la **Figura 4. 4** para localizar el valor en el eje de (X), determinar el valor correspondiente en el eje de (Y). Este valor obtenido se considera el (Sub<sub>1</sub>) para los Coliformes fecales, y a continuación, se debe elevar al peso w<sub>1</sub>. [45].



**Figura 4. 4:** Valoración de la calidad del agua en función de Coliformes Fecales [45].

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

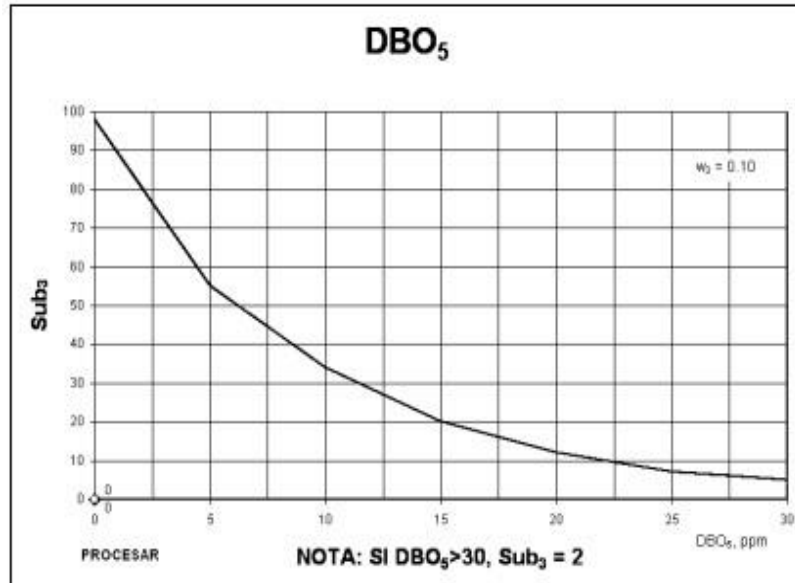
Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades, el (Sub2) se fija en 2; si el pH es mayor o igual a 10 unidades, el (Sub2) se establece en 3. Para valores de pH entre 2 y 10, se debe consultar la **Figura 4. 5** para localizar el valor en el eje de (X) y luego interpolar el valor correspondiente en el eje de (Y). El valor obtenido se considera el (Sub2) para el pH, y posteriormente se debe multiplicar por el peso  $w_2$ . [45].



**Figura 4. 5:** Valoración de la calidad del agua en función de pH[45].

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

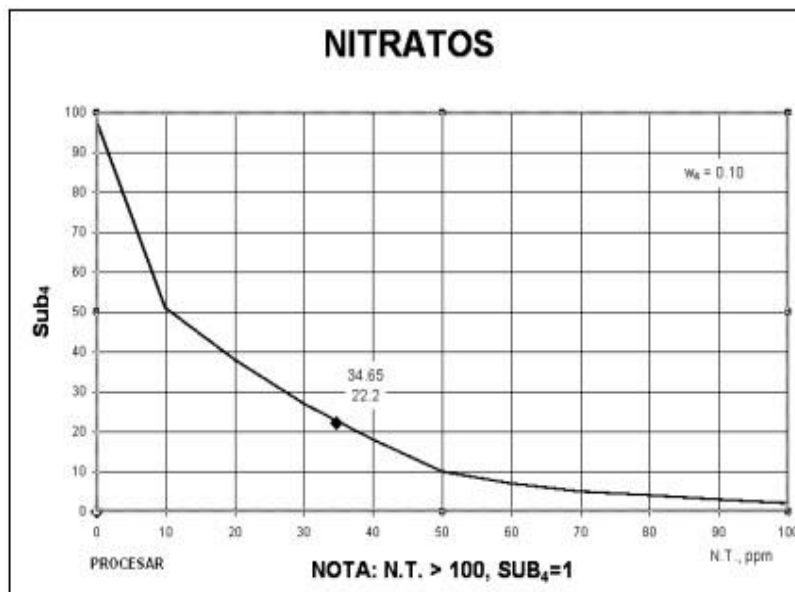
Si la DBO5 es mayor de 30 mg/L el (Sub3) es igual a 2. Si la DBO5 es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 4. 6** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub3) de DBO5 y se procede a elevarlo al peso w3 [45].



**Figura 4. 6:** Valoración de la calidad del agua en función del DBO5[45].

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

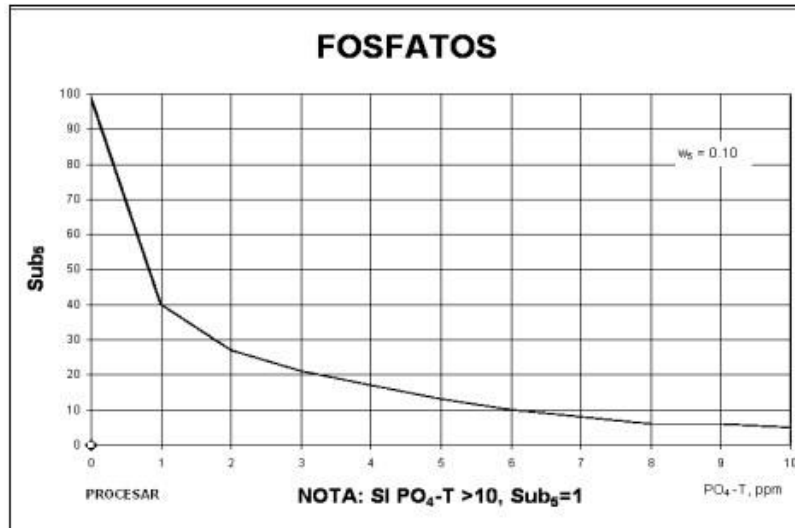
Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub4) es igual a 2. Si Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 4. 7** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub4) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso w4 [45].



**Figura 4. 7:** Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno[45].

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

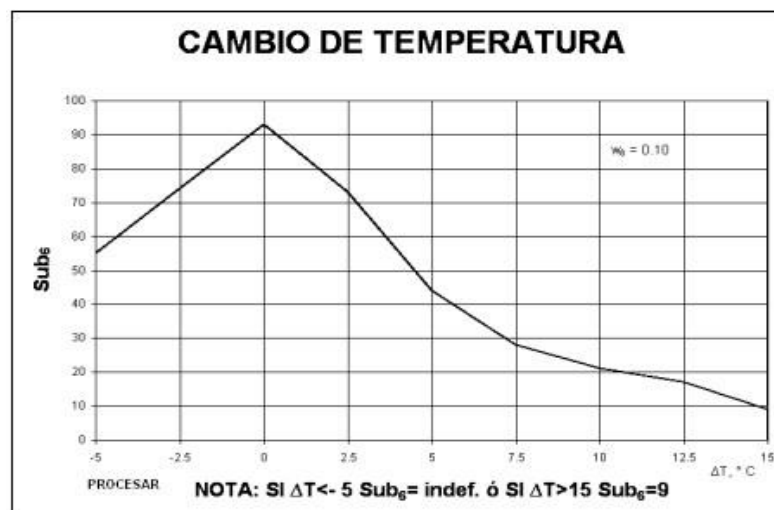
Si la concentración de Fosfatos supera los 10 mg/L, el (Sub5) se establece en 5. Si la concentración es inferior a 10 mg/L, se debe consultar la **Figura 4. 8** para encontrar el valor en el eje de (X) y luego interpolar el valor correspondiente en el eje de (Y). El valor obtenido se toma como él (Sub5) para los Fosfatos y luego se multiplica por el peso w5 [45].



**Figura 4. 8:** Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo [45].

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

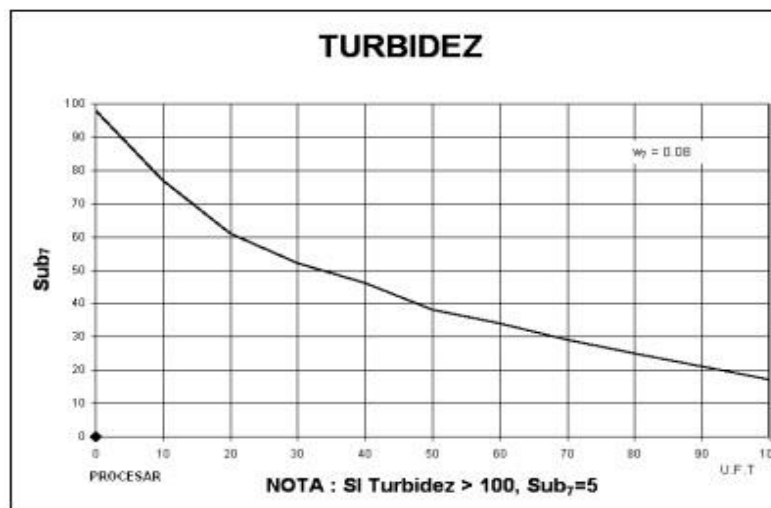
Para determinar el (Sub6) del parámetro de Temperatura, primero se debe calcular la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de la muestra. Si esta diferencia excede los 15°C, el (Sub6) se fija en 9. Si la diferencia es menor a 15°C, se debe consultar la **Figura 4. 9** para encontrar 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 w6 [45].



**Figura 4. 9:** Valoración de la calidad de agua en función de la Tempura [45].

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

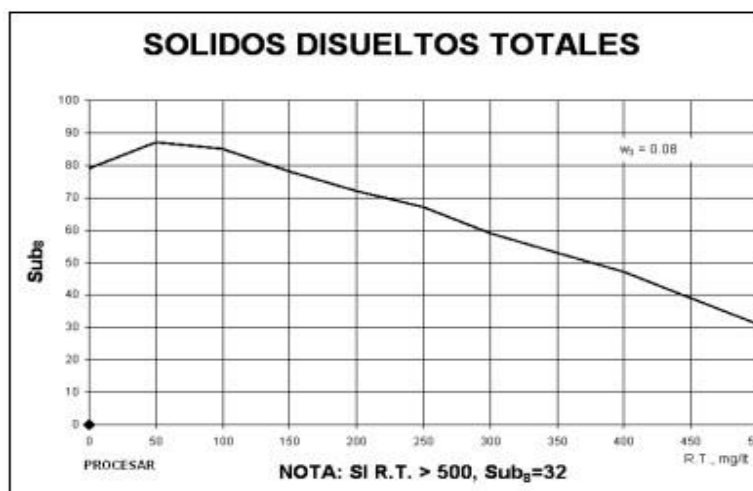
Si la Turbidez supera los 100 FAU, el (Sub7) se establece en 5. En caso contrario, si la Turbidez es inferior a 100 FAU, se debe consultar la gráfica correspondiente para encontrar el valor en el eje de (X) y luego interpolar el valor en el eje de (Y). El valor obtenido se asigna como el (Sub7) para la Turbidez y se ajusta mediante el peso  $w_7$  **Figura 4. 10** [45].



**Figura 4. 10:** Valoración de la calidad de agua en función de la [45].

**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 la **Figura 4. 11** 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  $w_8$  [45].



**Figura 4. 11:** Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total [45].

**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  $subi = 47$ . Si el porcentaje es inferior al 140%, el valor correspondiente a  $sub$  se encuentra en la gráfica de la **Figura 4. 12**, con un peso relativo de  $wi = 0.1$  [45].

$$\%ODS = \frac{\text{Oxígeno disuelto (Muestra)}}{\text{Oxígeno disuelto saturado}} * 100 \quad (4. 7)$$

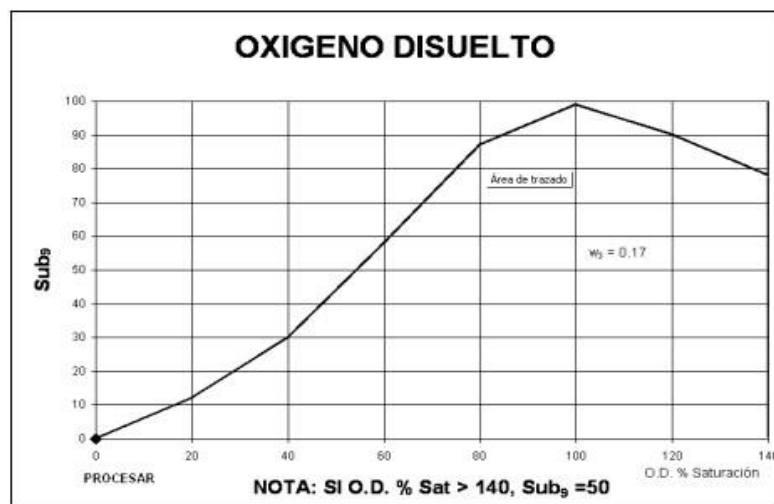
Dónde:

% ODS: Porcentaje de saturación

**Tabla 4. 6:** Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce [45].

Temp.	OD	Temp.	OD	Temp.	OD	Temp.	OD
°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.40	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.72
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.41	42	6.22
10	11.27	21	8.90	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

**Fuente:** Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)  
**Elaborado por:** Autores



**Figura 4. 12:** Valoración de la calidad de agua en función del % de S. O[45].

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

#### **4.3.4. Análisis de los resultados para la evaluación bajo la normativa ambiental vigente con los parámetros establecidos por el ICA-NSF**

En el Ecuador, existe la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes aplicada al recurso agua, contenida en el texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente Libro VI anexo 1, establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para la descarga en los cuerpos de agua en base a los criterios de la calidad del agua de acuerdo a las tablas propuestas por la normativa según sus usos como: consumo humano y doméstico, preservación de la vida acuática, uso agrícola, uso pecuario y fines recreativos. Es por ello por lo que la normativa establece controles en los cuerpos de agua para garantizar el cumplimiento de los estándares establecidos para el recurso hídrico [57].

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

La evaluación de la pureza del agua es fundamental para garantizar que cumpla con los estándares requeridos para ser utilizada en diversas actividades productivas.

#### **5.1.1. Metodología ICA-NSF**

Según el análisis comparativo expuesto en la **Tabla 5. 1**, se detallan las técnicas utilizadas para evaluar la calidad del agua en función de los parámetros relevantes los usos predominantes y las limitaciones a cada enfoque. Por ende, para este estudio se selecciona la metodología ICA-NSF ideada por Brown en 1970, esta herramienta es ampliamente reconocida para analizar el

comportamiento de la calidad del agua en sección específicas de un río a lo largo del tiempo, además, se distingue por su enfoque riguroso y exhaustivo, su factibilidad de aplicación, su capacidad para guiar mejoras y su adaptabilidad a diferentes entornos y necesidades de investigación.

**Tabla 5. 1:** Cuadro comparativo de metodologías para la determinación ICA.

<b>Índice</b>	<b>Índice de Calidad General (ICG)</b>	<b>Índice Simplificado General de Calidad del Agua (ISQA)</b>	<b>Índice Automático de Calidad del Agua (IAQA)</b>	<b>Índice Holandés de Calidad del Agua (IHCA)</b>	<b>Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF)</b>
<b>Descripción</b>	Análisis de la calidad del agua acorde a 23 parámetros fisicoquímicos.	Análisis de la calidad del agua acorde a 5 parámetros fisicoquímicos.	Una versión modificada del ISQA que emplea el carbono orgánico total (COT) en vez de la demanda química de oxígeno (DQO).	Análisis de la calidad del agua superficial basado en DBO5, N-NH4+ y PSO.	Método de evaluación multiparámetros que emplean 9 parámetros diferentes para determinar la calidad de agua.
<b>Parámetros Utilizados</b>	9 parámetros básicos y 14 opcionales.	Conductividad, oxígeno disuelto, DQO, sólidos totales y temperatura del agua.	Conductividad, oxígeno disuelto, carbono orgánico total, sólidos totales y temperatura del agua.	. DBO5, N-NH4+ y PSO.	Parámetros microbiológicos y fisicoquímicos
<b>Ponderación</b>	De 0 a 100	De 0 a 100	De 0 a 100	De 0 a 100	De 0 a 100
<b>Usos Principales</b>	Análisis general de la calidad del agua	Análisis de la aptitud del agua para el consumo humano y otros fines específicos.	El análisis de la calidad del agua mediante el uso del COT, proporciona una mayor exactitud en los resultados	Análisis de la calidad del agua superficial.	Evaluación de la contaminación en diversos sitios(puntos).
<b>Limitaciones</b>	Elevado gasto financiero y tiempo necesario para los análisis.	Es necesario complementarlo con otros índices para lograr una visión más integra.	Depende de la exactitud y precisión de los datos.	No considera otros parámetros.	No abarca otros aspectos socioambientales.

**Elaborado por:** Autores

### 5.1.2. Caracterización de la microcuenca del río Cutuchi y selección de puntos

Mediante la delimitación de la zona de estudio, se determinaron los parámetros morfométricos utilizando las ecuaciones específicas para cada característica. El factor de forma se calculó aplicando la **ecuación (4.4)**, el factor de compacidad utilizando la **ecuación (4.2)**, y la densidad de drenaje se obtuvo con el software QGIS. Los resultados obtenidos se presentan en la **Figura 5. 1** y la **Tabla 5. 2**, donde se visualizan los datos derivados de la delimitación del área de estudio.

NOMRE	AREA(M2)	AREA (HA)	AREA (KM2)	PERIM (KM)	PERIM (M)
1 MICROCUENC	21920000	2191	219,20	74,53	7453000

**Figura 5. 1:** Obtención del área y perímetro de la microcuenca.

**Elaborado por:** Autores

**Tabla 5. 2:** Características Morfométricos de la microcuenca río Cutuchi.

<b>Características Morfométricos de la microcuenca del río Cutuchi.</b>		
<b>Características</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Perímetro	Km	74,53
Longitud Axial	Km	20,45
Longitud del cauce principal	Km	22,27
Longitud total del drenaje	Km	298,65
Área de la cuenca	Km <sup>2</sup>	219,20
Ancho de la cuenca	Km	10,72
Factor de Forma de Horton	-	0,52
Coficiente de Compacidad	-	1,16
Razón de Elongación	-	0,82

**Elaborado por:** Autores

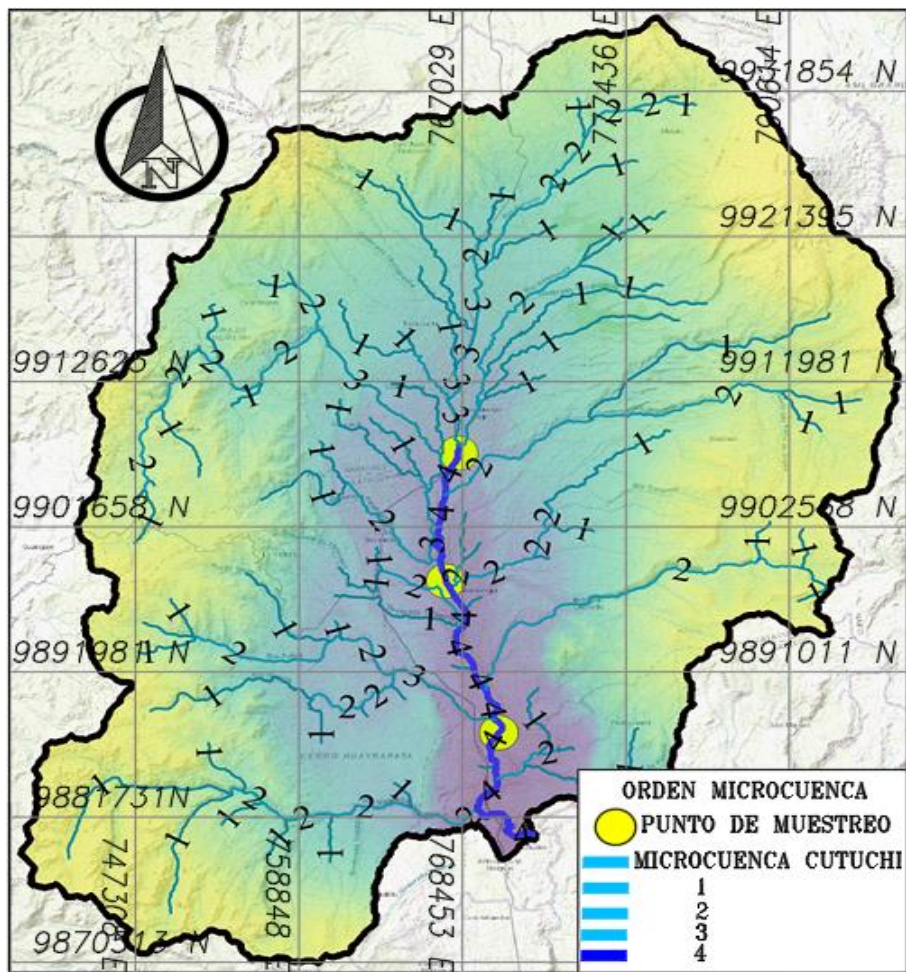


Figura 5. 2: Orden la microcuena del río Cutuchi.

Elaborado por: Autores

### 5.1.3. Muestreo

Para la toma de muestras, se siguió la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 sobre la calidad del agua y técnicas de muestreo, utilizando los materiales mencionados en la **Tabla 5. 3**. El procedimiento empleado para la recolección de muestras en la microcuena fue el siguiente:

- Para recolectar las muestras, se debe posicionarse en el centro del río, ya que allí la homogeneidad es mayor, lo que permite una mejor evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.
- La muestra debe ser recolectada a una profundidad media del río y en sentido opuesto al flujo de la corriente.
- Antes de recolectar la muestra, se homogeneizaron las botellas, lavándolas tres veces con el agua del río para evitar la contaminación por factores externos.
- Para recolectar el volumen total de agua, se utilizaron botellas de ámbar.

- Para las muestras destinadas al análisis microbiológico, se emplearon frascos de polietileno herméticamente cerrados, que fueron sellados para evitar el contacto con el aire.

**Tabla 5. 3:** Descripción de los materiales empleados para la toma de muestras.

N°	Unidad	Materiales	Descripción
3	U	Recipiente	Envase de plástico con capacidad de 100 ml (homogenizar el agua para coliformes fecales).
4	Pares	Guantes quirúrgicos	Látex ( evitar el contacto y la manipulación de la muestra).
3	U	Embaces	Polietileno de un litro (toma de muestra).
2	U	Mandiles	Distinción de personas ordinarias.
		Set de materiales de oficina	Libreta, lápiz, borrador (anotar datos esenciales).
1	U	Cámara fotográfica	Respaldo de actividades en campo.
1	U	Medidor multiparamétrico	Utilizado para medir parámetros como el pH y temperatura del agua.
2	Pares	Botas de caucho	Implementos para la toma de muestras en diferentes puntos de la zona de estudio.
2	U	Fundas de hielo	Conservación de las muestras para el transporte a una temperatura adecuada.
1	U	Cooler	Conservación y cuidado de las muestras.

Elaborado por: Autores

#### 5.1.4. Análisis de muestras de agua

##### 5.1.4.1. Mediciones “in situ”

Utilizando el medidor multiparamétrico (HANNA HI 9829), 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, las sondas fueron lavadas 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 plástico previamente homogenizado, donde se realizaron las mediciones respectivas.
- Luego, se introdujo la sonda 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.

Por lo tanto, en la **Tabla 5. 4** 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 de la microcuenca del río Cutuchi.

**Tabla 5. 4:** Resultados obtenidos mediante el muestreo in-situ de los parámetros de pH y temperatura del agua.

Puntos de muestreo	Parámetros	Unidad	Valores
Cuenca alta	pH	upH	6,22
	Temperatura del agua	°C	15,57
Cuenca media	pH	upH	4,93
	Temperatura del agua	°C	13,02
Cuenca baja	pH	upH	4,18
	Temperatura del agua	°C	13,94

Elaborado por: Autores

#### 5.1.4.2. 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 Cutuchi.

#### 5.1.5. Comportamiento de la calidad del Agua en la microcuenca del río Cutuchi

La calidad del agua en la microcuenca del río Cutuchi 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 5. 5:** Parámetros fisicoquímicos y microbiológico (resultados laboratorio).

Parámetros	Unidades	Cuenca alta	Cuenca media	Cuenca baja
Temperatura de la Muestra	°C	15,57	13,02	13,94
Turbidez	NTU	30,40	273,00	176,00
Solidos Totales Disueltos	mg/l	97,00	195,00	295,00
pH	unidades	7,93	8,01	8,08
Nitratos	mg/l	0,03	0,17	0,06
Fosfatos Totales	mg/l	0,13	0,24	0,30
Oxígeno Disuelto	mg/l	1,80	1,79	1,63
DBO5	mg/l	72,10	81,45	69,95
Coliformes Fecales	Bac/100ml	67,00	1980,00	2032,00

Elaborado por: Autores

#### 5.1.6. Parámetros físicos

En la **Tabla 5. 6** se muestra el comportamiento de los parámetros físicos medidos en los tres puntos de muestreo en la microcuenca del río Cutuchi.

**Tabla 5. 6:** Variación de los parámetros físicos.

Parámetro	Unidad	Resultado	Gráfica								
Temperatura	°C	Según los resultados, se observa una disminución en la temperatura en los tres puntos de muestreo, influenciado por la altitud de cada punto y el momento en el que se tomaron las muestras. Además, se destaca que, en el mes de julio, específicamente en la M1 se registró una temperatura máxima de 15,57 °C, mientras que la temperatura mínima registrada durante el muestreo corresponde a la M2 con 13.02°C en dicho mes.	<p>The bar chart 'Temperatura' displays the temperature in degrees Celsius for three sampling points. The y-axis ranges from 11.5 to 16. The x-axis lists the sampling points M1, M2, and M3. The bars show values of approximately 15.6 for M1, 13.0 for M2, and 13.9 for M3.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Puntos de muestreo</th> <th>Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>15.57</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>13.02</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>13.92</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos de muestreo	Temperatura (°C)	M1	15.57	M2	13.02	M3	13.92
Puntos de muestreo	Temperatura (°C)										
M1	15.57										
M2	13.02										
M3	13.92										
Turbidez	NTU	Según los resultados se aprecia un aumento progresivo de la M1 a la M2 y una disminución a la M3 en los valores de turbidez, desde la cuenca alta con 30,4 NTU hasta la cuenca media con 273 NTU y culminando en la cuenca baja con 176 NTU. Estos resultados indican la presencia de partículas en suspensión en el agua, atribuibles a la escorrentía superficial y la erosión del suelo, provocadas por la contaminación de desechos domésticos e industriales.	<p>The bar chart 'Turbiedad' displays turbidity in mg/l for three sampling points. The y-axis ranges from 0 to 300. The x-axis lists the sampling points M1, M2, and M3. The bars show values of approximately 30 for M1, 273 for M2, and 176 for M3.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Puntos de muestreo</th> <th>Turbiedad (mg/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>30.4</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>273</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>176</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos de muestreo	Turbiedad (mg/l)	M1	30.4	M2	273	M3	176
Puntos de muestreo	Turbiedad (mg/l)										
M1	30.4										
M2	273										
M3	176										
Solidos Totales Disueltos	mg/l	Con los datos obtenidos, se observa un incremento especialmente en la M3 con 295 mg/l, seguido por la M2 con 195 mg/l finalmente en la M1 con 97 mg/l. Estos resultados reflejan la presencia de minerales y otras sustancias disueltas en el agua, influenciadas por las actividades humanas.	<p>The bar chart 'Sólidos totales Disuelto' displays total dissolved solids in mg/l for three sampling points. The y-axis ranges from 0 to 300. The x-axis lists the sampling points M1, M2, and M3. The bars show values of approximately 97 for M1, 195 for M2, and 295 for M3.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Puntos de muestreo</th> <th>Sólidos totales Disueltos (mg/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>97</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>195</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>295</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos de muestreo	Sólidos totales Disueltos (mg/l)	M1	97	M2	195	M3	295
Puntos de muestreo	Sólidos totales Disueltos (mg/l)										
M1	97										
M2	195										
M3	295										

**Elaborado por:** Autores

### 5.1.7. Parámetros químicos

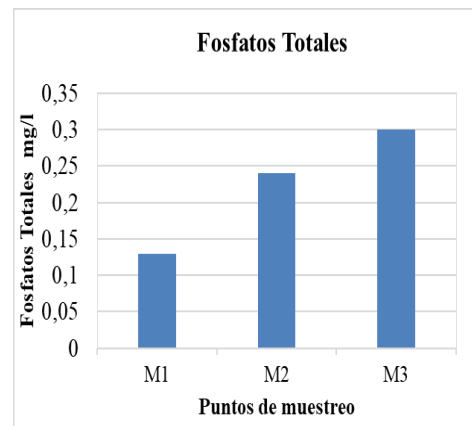
En la **Tabla 5. 7** se determinan los resultados de los parámetros químicos medidos para evaluar el comportamiento e impacto de la calidad del agua en los 3 puntos de muestra.

**Tabla 5. 7:** Variación de los parámetros físicos.

Parámetro	Unidad	Resultado	Gráfica								
pH	upH	<p>Según los resultados se observa que en la cuenca alta se determinó un pH de 7,93 lo que indica una condición neutra ligeramente alcalina, generalmente favorable para la vida acuática, en la cuenca media el pH aumenta a 8,01 lo cual se atribuye a la entrada de sustancias alcalinas y en la cuenca baja se determinó un pH de 8,08 de igual forma indicando sustancias alcalinas. A pesar de estas variaciones los valores están en un rango de 7 a 8,5 es considerado óptimo para el desarrollo de procesos biológicos y la preservación de la vida acuática.</p>	<table border="1"> <caption>Data for pH Chart</caption> <thead> <tr> <th>Puntos de muestreo</th> <th>pH upH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>7,93</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>8,01</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>8,08</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos de muestreo	pH upH	M1	7,93	M2	8,01	M3	8,08
Puntos de muestreo	pH upH										
M1	7,93										
M2	8,01										
M3	8,08										
Nitratos (NO3)	mg/l	<p>Se puede observar que los niveles de nitrato varían en los diferentes puntos de la microcuenca, en la M2 se registra una concentración de 0.17 mg/l (concentración baja) lo cual se atribuye a diversas fuentes, principalmente a la actividad agrícola ya que los nitratos son comunes en fertilizantes y tienen la capacidad de filtrarse hacia los cuerpos de agua. De este modo en la cuenca alta muestra ausencia de nitratos lo que sugiere una menor actividad agrícola, finalmente en la cuenca baja presenta una concentración de 0,06 mg/l lo que muestra una disminución a lo largo de la microcuenca.</p>	<table border="1"> <caption>Data for Nitratos Chart</caption> <thead> <tr> <th>Puntos de muestreo</th> <th>Nitratos mg/l</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>0,17</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>0,06</td> </tr> </tbody> </table>	Puntos de muestreo	Nitratos mg/l	M1	0,00	M2	0,17	M3	0,06
Puntos de muestreo	Nitratos mg/l										
M1	0,00										
M2	0,17										
M3	0,06										

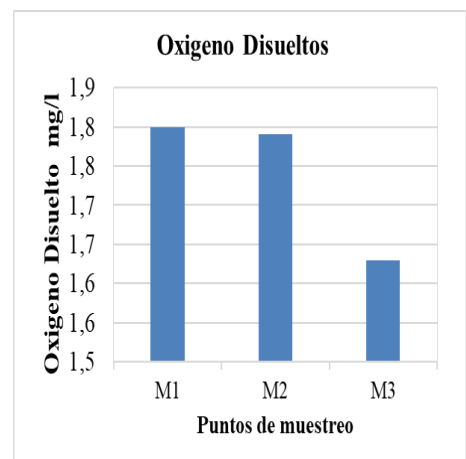
Fosfatos (FO4) mg/l

De acuerdo con los datos obtenidos los niveles de fosfatos totales indican cambios a lo largo de la cuenca, existiendo más alto en la cuenca baja con 0.3 mg/l en comparación con la cuenca baja que registra 0.13 mg/l. Estos datos reflejan la influencia de acciones humanas y fuentes antropogénicas, como el uso de detergentes, fertilizantes y la agricultura, que aumentan los niveles de fosfatos en el agua.



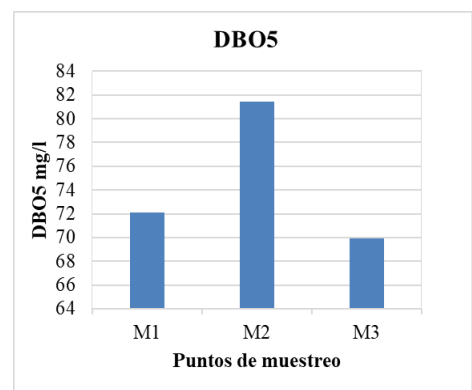
Oxígeno Disuelto mg/l

Los datos revelan la acumulación de oxígeno disuelto en diferentes puntos de la microcuenca, en la M1 se registra una acumulación de 1,8 mg/l debido a la entrada de afluentes adicionales y a una mayor acción biológica, en la M2 la concentración es ligeramente baja con 1,79 mg/l atribuida a la presencia de fuentes de agua fresca y a una menor acción agrícola y pecuaria, en cuanto a la M3 la concentración es de 1,63 mg/l.



DBO5 mg/l

Se puede observar que los niveles de DBO5 son imparciales, en la M1 se determinó un valor de 72,1 mg/l en cuanto en la M3 se tiene un valor de 69,95 mg/l, destacando un rango de concentración más alta en la cuenca media (M2) con un valor máximo registrado de 81,45 mg/l. Por lo tanto, a mayor DBO5, mayor es la cantidad de materia orgánica degradable presente. Además, se ha determinado que las aguas residuales domésticas de las comunidades aumentan la acumulación de DBO5 en los ríos.



**Elaborado por:** Autores

### 5.1.8. Parámetros microbiológicos

En la **Tabla 5. 8** se analiza el comportamiento del parámetro microbiológico, indicando el nivel de presencia de coliformes fecales en los 3 puntos seleccionados de la microcuenca del Río Cutuchi.

**Tabla 5. 8:** Variación de los parámetros microbiológicos.

Parámetro	Unidad	Resultado	Gráfica								
Coliformes Fecales	Bac/100ml	Se observa un incremento en los niveles de coliformes fecales en la microcuenca, con concentraciones que varían entre 67 Bac/100ml (M1) y 2032 Bac/100ml. Este aumento se debe a las actividades ganaderas, las descargas de aguas residuales y las prácticas agrícolas, en cuanto a la M1 es la menos afectada lo que indica una menor intervención de actividades antrópicas.	<table border="1"> <caption>Data for Coliformes Fecales Bar Chart</caption> <thead> <tr> <th>Punto de muestreo</th> <th>Concentración (Bac/100ml)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>67</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>2032</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>2032</td> </tr> </tbody> </table>	Punto de muestreo	Concentración (Bac/100ml)	M1	67	M2	2032	M3	2032
Punto de muestreo	Concentración (Bac/100ml)										
M1	67										
M2	2032										
M3	2032										

Elaborado por: Autores

### 5.1.9. 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 (4.5)** propuesta por Brown.

#### a) Zona alta “Aláquez”

##### 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  $Sub_i$  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 4. 6** y la **ecuación (4.7)** basada en la temperatura descrita en la metodología, una vez obtenido este valor, se calculó el

porcentaje de oxígeno disuelto saturado (ver **Tabla 5. 9**). Luego, se realizó una interpolación para obtener el resultado del parámetro nombrado.

**Tabla 5. 9:** Cálculo del porcentaje de Oxígeno Disuelto.

<b>Muestra 1</b>	<b>Temperatura de Muestra °C</b>	<b>Oxígeno Disuelto Saturado</b>	<b>% Oxígeno Disuelto Saturado</b>
1,80	15,57	10,33	17,42

**Elaborado por:** Autores

### **Interpolación**

Para los valores se empleó la **Figura 4. 12** según lo descrito en la metodología para obtener los valores necesarios para la interpolación y determinar el  $Sub_i$ . 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 **Tabla 5. 10**.

$$y = 5 + \frac{(17.42 - 10)}{(20 - 10)} \cdot (10 - 5)$$

$$y = 8.71$$

**Tabla 5. 10:** Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona alta “Aláquez”.

<b>Parámetros</b>	<b>M1</b>	<b>Datos ICA Parcial</b>	<b>Peso Relativo</b>	<b>Total</b>
Oxígeno Disuelto	1,80	8,71	0,17	1,48
Coliformes Fecales	67,00	51,20	0,15	7,68
pH	7,93	88,50	0,12	10,62
DBO5	72,10	2,00	0,10	0,20
Nitratos	0,03	96,00	0,10	9,60
Fosfatos Totales	0,13	92,00	0,10	9,20
Cambio Temperatura	9,13	23,00	0,10	2,30
Turbidez	30,40	52,30	0,08	4,18
Solidos Totales Disueltos	97,00	86,20	0,08	6,89
			<b>1,00</b>	<b>52,16</b>
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>				<b>REGULAR</b>

**Elaborado por:** Autores

Por medio de los valores determinados en la **Tabla 5. 10** se obtuvo un resultado de **52,16** reportando una calidad de agua **REGULAR**, esto muestra que, en la primera estación de muestreo, se evidencian influencias significativas de afluentes adicionales y una mayor actividad biológica en la calidad del agua debido a actividades ganaderas y prácticas agrícolas. Además, la contaminación, está vinculado a la aplicación de fertilizantes, uso de detergentes en la zona alta de la microcuenca.

**b) Zona media “Latacunga”**

**Tabla 5. 11:** Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona media “Latacunga”.

<b>Parámetros</b>	<b>M2</b>	<b>Datos ICA Parcial</b>	<b>Peso Relativo</b>	<b>Total</b>
Oxígeno Disuelto	1,79	8,33	0,17	1,42
Coliformes Fecales	1980,00	19,8	0,15	2,97
pH	8,01	86,00	0,12	10,32
DBO5	81,45	2,00	0,10	0,20
Nitratos	0,17	92,50	0,10	9,25
Fosfatos Totales	0,24	83,00	0,10	8,30
Cambio Temperatura	12,08	18,50	0,10	1,85
Turbidez	273,00	5,00	0,08	0,40
Solidos Totales Disueltos	195,00	74,30	0,08	5,94
			<b>1,00</b>	<b>40,65</b>
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>				<b>MALA</b>

**Elaborado por:** Autores

De acuerdo con los valores reportados en la **Tabla 5. 11** se determinó un resultado de **40,65** reportando una calidad de agua **MALA**, se identificó un valor de oxígeno disuelto de 1,79, afectado por la llegada de afluentes adicionales y una mayor actividad biológica. Los coliformes fecales presentaron un valor de 1980,00, atribuible a actividades ganaderas, vertidos de aguas residuales y prácticas agrícolas. El pH, registrado en 8,01, señala una condición neutra ligeramente alcalina, favorable para la vida acuática. La DBO5 mostró una alta concentración, reflejando la influencia de actividades humanas y fuentes antropogénicas. El nivel de nitratos, con una variación mínima de 0,24, se debe principalmente a la concentración de fertilizantes en

la zona, esto muestra que en la segunda estación de muestreo existen problemas de contaminación por aguas servidas producto de actividades antropogénicas, aguas industriales sin previo tratamiento y con descargas directas al río Cutuchi.

**c) Zona baja “San Miguel”**

**Tabla 5. 12:** Resultado aplicación del ICA-NSF en la zona baja “San Miguel”.

<b>Parámetros</b>	<b>M3</b>	<b>Datos ICA Parcial</b>	<b>Peso Relativo</b>	<b>Total</b>
Oxígeno Disuelto	1,63	7,70	0,17	1,31
Coliformes Fecales	2032,00	18,60	0,15	2,79
pH	8,08	82,00	0,12	9,84
DBO5	69,95	2,00	0,10	0,20
Nitratos	0,06	93,00	0,10	9,30
Fosfatos Totales	0,30	76,00	0,10	7,60
Cambio Temperatura	11,70	19,00	0,10	1,90
Turbidez	176,00	5,00	0,08	0,40
Solidos Totales Disueltos	295,00	63,40	0,08	5,07
			<b>1,00</b>	<b>38,41</b>
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>				<b>MALA</b>

**Elaborado por:** Autores

Se indica mediante valores señalados en la **Tabla 5. 12** que se identifica un resultado de **38,41** reportando una calidad de agua **MALA**, en la tercera estación de muestreo los parámetros indican una alta cantidad de contaminantes como: la influencia de actividades humanas, la agricultura intensiva, y la urbanización suele ser más pronunciada en las zonas bajas de los ríos, donde los contaminantes tienden a acumularse. Esto incluye el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, descargas industriales sin tratar, y desechos urbanos. La calidad del agua puede verse deteriorada por los contaminantes arrastrados desde el área superior de la microcuenca.

**5.1.10. Determinación del ICA en la microcuenca del Río Cutuchi**

Como se puede apreciar en la **Tabla 5. 13** en la que se presenta el promedio de los índices de calidad de agua para cada punto de muestreo de la microcuenca, los cuales están representados por una clasificación diferente. En la **Muestra 1** con los resultados obtenidos la calidad de agua se categoriza como **REGULAR** con un valor de **52,16** que se le representa mediante el color amarillo indicando que la contaminación no es significativa, en la **Muestra 2** ubicado en Latacunga la calidad de agua se categorizo como **MALA** con un valor de **40,65** que se le

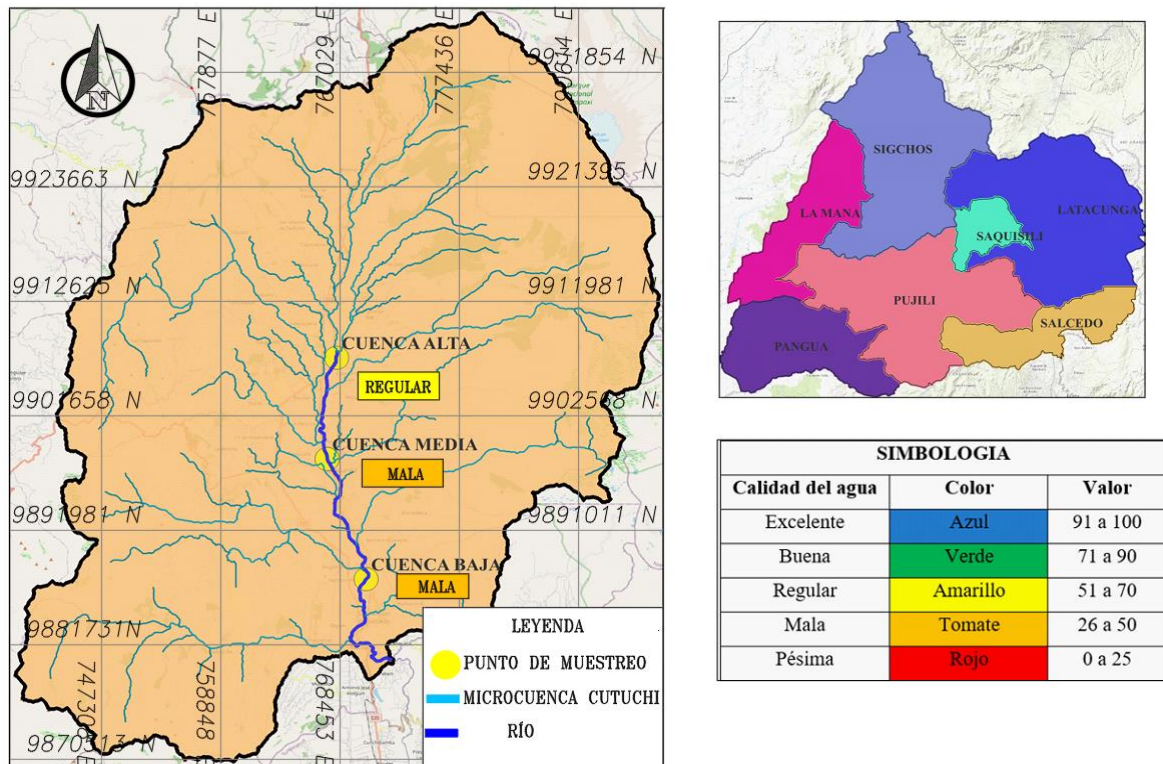
presenta mediante el color tomate indicando que la contaminación es mayor, dado que la microcuenca pasa por una zona poblada lo que genera alternaciones debido a las descargas de aguas residuales de las viviendas aledañas al río, así mismo en la **Muestra 3** que se encuentra ubicado en San Miguel, se categorizo como **MALA** con un valor de **38,41**.

**Tabla 5. 13:** Resultados de la aplicación del ICA-NSF en los tres puntos de muestreo.

<b>RESULTADOS</b>			
<b>PUNTOS DE MUESTREO</b>	<b>CATEGORÍA</b>	<b>TOTAL</b>	<b>COLOR</b>
Zona alta “Aáquez”	REGULAR	52,16	Amarillo
Zona media “Latacunga”	MALA	40,65	Tomate
Zona baja “San Miguel “	MALA	38,41	Tomate
<b>ICA-NSF Microcuenca Cutuchi</b>	<b>MALA</b>	<b>43,74</b>	<b>Tomate</b>

Elaborado por: Autores

Posteriormente en la **Figura 5. 3** se puede visualizar la categorización en cada muestra correspondiente a los resultados obtenidos según el ICA-NSF, lo que permite determinar el grado de calidad de agua de la microcuenca del río Cutuchi.



**Figura 5. 3:** ICA-NSF en los puntos de muestro de la microcuenca del río Cutuchi.

Elaborado por: Autores

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

**Tabla 5. 14:** Clasificación normativa ecuatoriana (TULSMA)

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

**Elaborado por:** Autores

Los resultados obtenidos del análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los tres puntos de muestreo de la microcuenca del río Cutuchi fueron comparados con la tabla 3, tabla 6 y tabla 8 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 (**Tabla 5. 14**) del criterio de calidad de agua para riego agrícola, pecuaria y preservación de la flora y fauna respectivamente, en la **Tabla 5. 15** se presenta la evaluación de cumplimiento.

**Tabla 5. 15:** Criterios de calidad uso pecuario, agrícola y preservación de la flora y fauna.

Parámetros	Unidades	Datos de Muestreo			Límites Permisibles (TULSMA)		
		M1	M2	M3	Preservación flora y fauna	Pecuaria	Agrícola
Oxígeno Disuelto	mg/l	1,8	1,79	1,63	No menores al 80% y no menores a 6mg/l	3,0	NE
Coliformes Fecales	Bac/100ml	67,00	1980,00	2032,00	Máximo 200	<1000	1000
pH	Unidades	7,93	8,01	8,08	6,5-9	6-9	6-9
DBO5	mg/l	72,10	81,45	69,95	NE	NE	NE
Nitratos	mg/l	0,03	0,17	0,06	NE	10	NE
Fosfatos Totales	mg/l	0,13	0,24	0,30	NE	NE	NE
Temperatura	°C	15,57	13,02	13,94	Condiciones naturales+3 máximo 20	NE	NE
Turbidez	NTU	30,40	273,00	176,00	NE	NE	NE
Solidos Totales Disueltos	mg/l	97,00	195,00	295,00	NE	3000	3000

**Elaborado por:** Autores

Para oxígeno disuelto, pH, nitratos, temperatura y sólidos totales disueltos se encuentran en cumplimiento de los límites permisibles reportados en la tabla 3,6 y 8 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), a excepción de los coliformes fecales en la M2 y M3 que presentan una elevada concentración de la carga contaminante.

#### **5.1.12. Parámetros fisicoquímicos en estado regular**

El análisis de calidad de agua en la **Muestra 1** de la microcuenca del Río Cutuchi se puede identificar en un estado **REGULAR** causado por las actividades de los seres vivos provocando alteraciones en los parámetros fisicoquímicos. No obstante, la conservación de la demanda hídrica es crucial en la actualidad, ya que el agua es esencial para diversos procesos en distintos campos laborales, por esta razón es fundamental implementar recomendaciones y medidas de mitigación para reducir la alteración de los parámetros fisicoquímicos del agua y disminuir la contaminación. A continuación, se presentan las medidas de mitigación y recomendaciones sugeridas para disminuir la contaminación del agua.

#### **Medidas de Mitigación:**

- Minimizar las descargas industriales y domésticas para prevenir la entrada de contaminantes al agua.
- Desarrollar proyectos de sistemas de alcantarillados para los habitantes aledaños al río, evitando así la contaminación de los cuerpos receptores.
- Fomentar prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan el uso de fertilizantes, la erosión del suelo y rebajar la escorrentía.

#### **Recomendaciones:**

- Implementar monitoreos regulares.
- Promover la educación ambiental.

#### **5.1.13. Parámetros fisicoquímicos en estado malo**

En relación con los parámetros fisicoquímicos para uso agrícola, pecuario, doméstico y la preservación ecológica, se identifica ciertos parámetros como: Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, DBO5, Temperatura Ambiente, que superan los rangos establecidos por la normativa **TULSMA**, la presencia de estos parámetros con niveles elevados puede causar daños tanto a la salud como al medio ambiente.

### **Medidas de Mitigación:**

- Regularizar y monitorear rigurosamente los vertidos industriales y agrícolas.
- Control ambiental para identificar fuentes de contaminación y aplicar medidas.
- Implementar las normativas ambientales.
- Control de la deforestación.

### **Recomendaciones:**

- Desarrollo de programas educativos para la comunidad enfocados en la importancia de preservar los recursos hídricos.
- Fomentar prácticas de agrícolas sostenibles para reducir la escorrentía y la entrada de productos químicos en los cuerpos de agua y manteniendo niveles adecuados de oxígeno disuelto.
- Respaldar a las autoridades en la promoción de programas de conservación forestal y reforestación cerca de las fuentes de agua.

## **5.2. DISCUSIÓN**

La delimitación de la microcuenca del río Cutuchi favorece reconocer áreas con menor y mayor influencia de actividad humana, lo cual es crucial para determinar las fuentes de contaminación que afectan al cauce de la microcuenca. En la zona (preguntar si es zona, punto o cuenca) alta, la contaminación comienza con el pastoreo en las riberas y la destrucción de la vegetación nativa, debido al avance de la frontera agrícola. En la zona media, las principales fuentes de contaminación provienen de las descargas de aguas residuales de los hogares cercanos a la microcuenca y del vertido de basura en las riberas. En la zona baja, la contaminación proviene de desechos de basura, vertidos de actividades humanas y residuos de haciendas. El análisis de la calidad del agua utilizando el índice de agua (ICA-NSF) es muy útil, ya que considera 9 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Sólidos Totales (ST), Temperatura, Oxígeno disuelto (OD), Coliformes Fecales, Nitratos, Fosfatos, pH y Turbiedad.

Particularmente, la alta presencia de coliformes fecales en la zona baja con un valor de 2032 Bac/100ml, insinúa una fuerte influencia de descargas de aguas residuales y prácticas agrícolas, lo que plantea riesgos significativos para la salud pública y destaca la necesidad urgente de abordar las fuentes de contaminación. La variabilidad en la temperatura también es notable en la microcuenca, puede estar influenciada por la altitud y las condiciones climáticas locales, pero

el aumento a lo largo puede indicar presencia de factores ambientales y antropogénicos que afectan la temperatura del agua.

La aplicación de la metodología ICA-NSF subraya la magnitud de los problemas ambientales con una calificación MALA para la zona media, donde se registró una acumulación de DBO5 de 81,45 mg/l este valor resalta la necesidad inmediata de poner en práctica medidas de mitigación para tratar la contaminación en esta área crítica.

Comparando los resultados con la normativa ecuatoriana, se señala desafíos significativos exclusivamente en relación con los coliformes fecales. La normativa establece un límite permisible de 1000 Bac/100ml para el agua utilizada en riego agrícola, la zona media supera este límite con un valor de 2032 Bac/100ml, esto enfatiza la importancia de tratar las fuentes de contaminación y desarrollar las prácticas de gestión de agua en la región.

### **5.3. EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL Y AMBIENTAL**

#### **5.3.1. Impacto social**

La indagación subraya el impacto social derivado de la contaminación de la microcuenca del río Cutuchi, por lo que no es adecuada para las actividades agrícolas y pecuarias locales. Así mismo la presencia de contaminantes plantea problemas serios sobre la seguridad y factibilidad del agua para el riego y la alimentación del ganado, afectando directamente la salud y el sustento de la comunidad. Además, se destaca la urgencia de crear conciencia sobre los riegos asociados con el uso del agua contaminada, ya que esto impacta la salud del ganado, la calidad de los cultivos y la seguridad alimentaria. En definitiva, la indagación aboga por el desarrollo de medidas adecuadas para mitigar la contaminación y asegurar la sustentabilidad de las actividades agrícolas y pecuarias.

#### **5.3.2. Impacto ambiental**

La mala calidad del agua en la parte media y baja de la microcuenca del río Cutuchi impacta negativamente tanto a nivel humano como ambiental, la biodiversidad se ve afectada debido a las variaciones significativas de contaminación, lo que provoca irregularidades en el crecimiento de la vegetación, afecta a la vida acuática y terrestre que se encuentran alrededor de la microcuenca. Los animales, especialmente el ganado, pueden sufrir enfermedades intestinales al consumir esta agua contaminada, además la degradación del paisaje influye en la calidad de vida de los residentes locales, deteriorando tanto el entorno natural como la ética del área.

#### 5.4. PRESUPUESTO REFERENCIAL

PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO					
RECURSOS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
<b>EQUIPOS DE PROTECCIÓN</b>	Botas	2	Pares	10,00	20,00
	Guantes de látex	6	Pares	0,25	1,50
	Mandiles	2	Unidades	25,00	50,00
	Mascarillas	6	Unidades	0,25	1,50
	<b>SUBTOTAL</b>				
<b>EQUIPOS TOMA DE MUESTRAS</b>	Cámara fotográfica	1	Día	15,00	15,00
	Cooler	1	Unidad	35,00	35,00
	GPS	1	Día	20,00	20,00
	Hielo	2	Fundas	1,50	3,00
	<b>SUBTOTAL</b>				
<b>MATERIALES DE OFICINA</b>	Borrador	1	Unidad	0,35	0,35
	Lápiz	1	Unidad	0,50	0,50
	Libreta	1	Unidad	0,80	0,80
	Impresiones	300	Hojas	0,10	30
	<b>SUBTOTAL</b>				
<b>LABORATORIO</b>	Oxígeno Disuelto	3		13,90	41,70
	Coliformes	3		13,90	41,70
	Fecales				
	pH	3		13,90	41,70
	DBO5	3		13,90	41,70
	Fosfatos	3		13,90	41,70
	Nitratos	3		13,90	41,70
	Turbidez	3		13,90	41,70
	Solidos Totales	3		13,90	41,70
	Disueltos				
	DQO	3		13,90	41,70
<b>SUBTOTAL</b>					<b>375,30</b>
<b>GASTOS ADICIONALES</b>	Alimentación	9	Platos	3,50	31,50
	Trasporte	3	Ruta	30,00	90,00
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>121,50</b>
				<b>SUBTOTAL IMPREVISTOS</b>	674,45
				<b>15%</b>	67,445
			<b>TOTAL</b>	<b>741,90</b>	

Elaborado por: Autores

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- En esta investigación, se ha revisado bibliografía de diferentes metodologías para determinar la calidad de agua, incluyendo ICG, ISQA, IAQA, IHCA y NSF, resultando en la selección la metodología ICA-NSF debido a su amplia aceptación y eficacia para evaluar la calidad del agua en diferentes tramos específicos de microcuencas, cuencas y ríos. Esta metodología determina la estimación de 8 parámetros fisicoquímicos y 1 microbiológico, utilizando criterios rigurosos que aseguren una evaluación integral. Su facilidad de uso, orientación clara y adaptabilidad en diversos contextos la convierte en una herramienta versátil y confiable para distintas necesidades de estudio. La aplicación de la metodología por consecuente no solo facilita el monitoreo y evaluación precisa del índice de la calidad del agua, sino también proporciona una base sólida para futuras investigaciones y acciones de gestión de la conservación del recurso hídrico. Por lo tanto, la metodología ICA-NSF destaca como una opción robusta y confiable en el campo de la calidad del agua, ofreciendo datos de ponderación precisa y adaptabilidad que respaldan su utilidad en una amplia gama de contexto y necesidades de investigación.
- Utilizando el software de SIG para la determinación y caracterización de la microcuenca del río Cutuchi ha permitido a evaluación detallada de su morfología y la georreferencia precisa de los puntos de muestreo. Adicional, permitiendo la identificación de zonas de fácil acceso y áreas con mayor contaminación para la toma de muestreo. El análisis mostró que la microcuenca presenta una configuración detallada, con un factor de forma de Horton de 0,52 y un coeficiente de capacidad de 1,16, lo que indica una alta propensión para la conservación de los recursos hídricos. Estos hallazgos subrayan la eficacia de las herramientas SIG en la planificación, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y acciones de conservación.
- Aplicando la metodología ICA-NSF, se logró determinar el índice de la calidad del agua de la microcuenca del río Cutuchi, evidenciando una notable variabilidad en los resultados obtenidos. La clasificación de la calidad del agua en conformidad a la metodología aplicada determina: zona alta 52,16 (regular), zona media 40,65 (mala) y zona baja 38,41 (mala), reflejando la presencia de contaminantes, estrechamente vinculados con las actividades antropogénicas, industriales y agrícolas, entorno a las orillas del río. Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de implementar medidas

de gestión y control para mitigar la contaminación y mejorar la calidad del agua en la microcuenca.

- La evaluación de los resultados conforme a la normativa ambiental vigente en Ecuador, parámetros establecidos por el TULSMA para uso agrícola, pecuario y preservación de flora y fauna, ha revelado una característica negativa en el parámetro de los coliformes fecales en la microcuenca. Este marcador evidencia una elevada concentración del contaminante, lo que afecta su idoneidad para usos previos. En base a estos resultados, es fundamental adoptar medidas correctivas y de gestión para abordar las deficiencias identificadas y mejorar la calidad del recurso hídrico.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- Es recomendable implementar metodologías continuas y periódicas para evaluar la calidad del agua, especialmente usando ICA-NSF. El monitoreo constante ayuda a proteger el medio ambiente y la salud al detectar y mitigar fuentes de contaminación tempranamente. Es crucial involucrar a todas las partes interesadas, incluidas las comunidades locales, para asegurar una evaluación completa y una toma de decisiones adecuada.
- Utiliza los datos de la caracterización de la microcuenca del río Cutuchi para diseñar medidas de conservación del agua ajustadas. Implementa un programa de monitoreo continuo con SIG para actualizar la información sobre la morfología y los puntos de muestreo, lo que permitirá detectar cambios y responder a nuevas fuentes de contaminación. Además, usa SIG para planificar rutas de acceso seguras y eficientes para la toma de muestras en zonas difíciles o contaminadas.
- Se sugiere llevar a cabo diferentes muestreos de la calidad del agua durante diferentes periodos del año, con el objetivo de mejorar la precisión y el comportamiento del grado de contaminación además del comportamiento del río. Estas prácticas ayudaran a generar datos actualizados y pertinentes que faciliten el estudio y la gestión de las principales fuentes de contaminación. Además, es importante establecer un enfoque efectivo en la gestión del agua.
- Es crucial la involucración y el trabajo conjunto en actividades de protección y conservación de las fuentes de agua entre comunidades aledañas a la microcuenca Cutuchi. Esto facilitará la discusión sobre factores clave que influyen en deterioración de la calidad del agua, fomentando una cooperación efectiva para enfrentar y reducir los problemas asociados con su degradación.

## 7. REFERENCIAS

- [1] C. Novillo and P. Adrián, “Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca hidrográfica del Río Tutanangoza mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y la aplicación del ICA-NSF”.
- [2] Fundacionaquae, “La importancia del agua en los seres vivos,” 2024.
- [3] G. S. Remigio H, “Estado y gestión de los recursos hídricos en el Ecuador,” 2024.
- [4] Carlos Lombardo Gutiérrez Altamirano, “LA CONTAMINACIÓN DEL RIO CUTUCHI,” 2010.
- [5] Rojas Benavides Carla Yessenia, “EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI, EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2019-2020,” 2020.
- [6] G. M. Salcedo, “Salcedo Cotopaxi Ecuador,” 2024.
- [7] Universidad Técnica de Cotopaxi, “UTC historia,” 2015.
- [8] INEC, “Población y Demografía,” 2010.
- [9] E. J. Cocha Chicaiza and N. M. Iza Toapanta, “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA NAGSICHE UBICADO EN EL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI,” 2024.
- [10] J. Cajas Sinchiguano and A. Córdova Mosquera, “CALIDAD DE AGUA EN RÍO CUTUCHI MEDIANTE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS, LATACUNGA, ECUADOR,” 2023.
- [11] G. Ávila, F. Fernando, C. Alvarado, S. D. Creador Urgilés Calle, and P. Dennisse, “Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig,” 2016. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23518dc.identificador.urihttp://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1130797https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1130797?show=full>
- [12] “La importancia del agua en los seres vivos.pdf.”
- [13] R. O. S. De, H. Del, and P. Barrezueta, “APROVECHAMIENTO DEL AGUA,” pp. 1–43, 2014.

- [14] INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA, “Metodología general basada en criterios técnicos de identificación, delimitación y preservación de zonas de recarga hídrica de acuíferos,” no. Faustino, 2010.
- [15] J. Escobar, *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*, vol. 50, no. 1680–9017. 2002.
- [16] L. Situaci and P. Existentes, “Situación general y aspectos normativos,” 2010.
- [17] L. F. Zarza, “Cuáles son los usos del agua,” 2020.
- [18] C. S. Guanotásig Molina, “EVALUACIÓN DE FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CUTUCHI EN EL SECTOR LA ESTACIÓN DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI.,” 2022.
- [19] C. Europea and L. Uni, “Actualidad del problema de la contaminación de aguas marinas,” pp. 1–14, 2004.
- [20] G. García, “La contaminación del agua,” pp. 1–5, 2011.
- [21] M. DIAZ, “Consecuencias de la contaminación del agua,” p. 2, 2009.
- [22] G. M. Esquivel Ibañez, ““ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO SAN PABLO EN EL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE,” 2012.
- [23] Vinay Harswal, “Importancia del Desarrollo de las Cuencas Hidrográficas en la Gestión de los Recursos Hídricos,” 2021.
- [24] A. Morales, “Guía metodológica para el manejo participativo de microcuencas,” 2007.
- [25] J. Ordóñez, “¿Qué Es Cuenca Hidrológica ?,” *Sociedad Geológica de Lima*, vol. 1, pp. 1–44, 2011.
- [26] FAO, “La Microcuenca como ámbito de planificación de los recursos naturales,” *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, p. 10, 2009.
- [27] J. Bordino, “Cuencas hidrográficas,” 2023.
- [28] A. M. C. Á. C. P. C. C. L. O. M. A. Michelle Vásconez, “Cuencas Hidrográficas,” 2019.
- [29] P. A. Cárdenas Novillo, “Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca hidrográfica del río Tutanangoza mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y la aplicación del ICA-NSF,” Cuenc, 2020.

- [30] A. N, “CAPÍTULO 1 CUENCAS HIDROGRÁFICAS. CONCEPTO DE CUENCA HIDROGRÁFICA,” 2020.
- [31] Jumbo Castillo Freddy Aníbal, “Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA,” *Universidad Técnica de Machala, Machala - Ecuador*, vol. 4, 2015.
- [32] FRANZPC, “Delimitar una cuenca hidrográfica en ArcGIS,” 2021.
- [33] Aeroterra, “Sistemas de Información Geográfica”.
- [34] Patricia Porras, “CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA,” 2018.
- [35] Julian Rojas, “MORFOMETRIA DE CUENCAS,” 2014.
- [36] Oscar Lenin Juera Sivilaca, “ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA ESTUDIO HIDROLÓGICO Y BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CATAMAYO HASTA LA ESTACIÓN EL ARENAL EN LOJA-ECUADOR 2011 TESIS DE GRADO PREVIA A LA,” Loja, 2011.
- [37] M. Juliana, D. Río, L. de Armentia, and D. Marco, “Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires,” vol. 27, no. 1, 2018.
- [38] B. L. Cardona, “Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas,” 2011.
- [39] Pedro Villegas, “Análisis Morfométrico de una cuenca,” 2013.
- [40] Libro Blanco del Agua en España, “LA CALIDAD DE LAS AGUAS,” 2010.
- [41] E. B. Córdoba and E. J. V. Ferrer, “ANÁLISIS DE LA CALIDAD GENERAL DEL AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR: PERIODO 2000-2009,” *Departamento de Economía Aplicada de la Universidad de Valencia*, 2012.
- [42] P. Torres, C. Hernán, C. • Paola, and J. Patiño, “WATER QUALITY INDEX IN SURFACE SOURCES USED IN WATER PRODUCTION FOR HUMAN CONSUMPTION. A CRITICAL REVIEW,” 2009.
- [43] H. Boyacioglu, “Development of a water quality index based on a European classification scheme,” vol. 11, p. 43, 2007, [Online]. Available: <http://www.wrc.org.za>

- [44] Nelson J. Fernández P., “Capítulo III ÍNDICES DE CALIDAD (ICAs) Y DE CONTAMINACIÓN (ICOs) DEL AGUA DE IMPORTANCIA MUNDIAL,” 2007.
- [45] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, “Servicio Nacional de Estudios Territoriales ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL ‘ICA,’” 2005.
- [46] “Foletto Informativo 3.1.2.0 Folleto Informativo Temperatura ¿Qué es la temperatura del agua?”
- [47] “Folleto Informativo pH ¿Qué es el pH?”
- [48] Ninoschtka Freire Morán, “DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO Calidad del Agua,” 2009.
- [49] P. W. A. Sigler and J. Bauder, “Nitrato y Nitrito.” [Online]. Available: <http://www.epa.gov/>
- [50] GRAF Iberica, “Fosfatos (P),” [Online]. Available: <https://www.graf.info/es-es/depositos-soterrados/como-recuperar-agua-de-lluvia/lexico/fosfatos-p.html>
- [51] U. De Medida, “VARIABLE INDICADOR Agua Turbidez (JTU),” 2015. [Online]. Available: <http://www.dmcca.es/documentum/publicaciones/manual2008.pdf>
- [52] De media U, “VARIABLE INDICADOR Agua,” 2015. [Online]. Available: [http://es.wikipedia.org/wiki/Partes\\_por\\_mill%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Partes_por_mill%C3%B3n)
- [53] C.Sofia, “Significado de los sólidos disueltos en el agua,” 2021, Accessed: Jul. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/solidos-disueltos-totales-tds/>
- [54] de Azúcar, “Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrífugas,” vol. 51, no. 2, pp. 70–73, 2017, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223154251011>
- [55] D. De Posgrado, A. I. E. Shervin, J. Molina, T. M. Renán, and A. L. Landázuri, “DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA DEFINIR ÁREAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL EN LAS RIBERAS DEL RÍO CUTUCHI LATACUNGA,” Latacunga, 2023.
- [56] C. De *et al.*, “DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI MEDIANTE EL MÉTODO DE TENNANT EN PYTHON, PERIODO 1988 - 2014, LATACUNGA-ECUADOR.,” Latacunga, 2019.

[57] J. E. Chicaiza and M. N. Iza, “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (NSF) DE LA MICROCUENCA NAGSICHE UBICADO EN EL,” Latacunga, 2024.

