



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA
MICROCUENCA ALAQUEZ UBICADO EN EL CANTÓN
LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniera en Hidráulica.

Autor:

Marco Israel Valiente Corregidor

Tutor:

Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza. MSc

LATACUNGA - ECUADOR

MARZO-2025


DECLARACION DE AUTORIA

Latacunga, 19 de febrero de 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Valiente Corregidor Marco Israel declaro ser autor del proyecto de titulación "DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA ALAQUEZ UBICADO EN EL CANTON LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI", siendo el Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza tutor del presente trabajo de titulación; 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 de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.


Marco Israel Valiente Corregidor
CC.0504141995

CONTRATO DE CESION NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **VALIENTE CORREGIDOR MARCO ISRAEL**, identificado con cédula de ciudadanía No.**0504141995** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA ALAQUEZ UBICADO EN EL CANTON LATACUNGA, 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: Octubre 2024 – Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 21 de Febrero del 2024

Tutor: Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza MSc.

Tema: “**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA ALAQUEZ UBICADO EN EL CANTON LATACUNGA, 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, a los 26 días del mes de febrero del 2025



Valiente Corregidor Marco Israel

EL CEDENTE

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

Latacunga, 19 de febrero del 2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: "DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA ALAQUEZ UBICADO EN EL CANTON LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI", propuesto por el o la estudiante Marco Israel Valiente Corregidor de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza, Mg.
C.C.1717621082
TUTOR

AVAL DE APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACION

Latacunga, 19 de febrero del 2025

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título "DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA ALAQUEZ UBICADO EN EL CANTON LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI", propuesto por el o la estudiante Marco Israel Valiente Corregidor de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, me permito indicar que el o la estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad Proyecto de Investigación en virtud de lo cual el o la postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



Lector 1 (Presidente)
Ing. Riofrio Guevara Marco Antonio M.Sc.
CC: 1600682916



Lector 2
Ing. Villaruel Guerrero Jorge Luis M.Sc.
CC:0502943491



Lector 3
Ing. Chavez Zapata Patricio Germanico M.Sc.
CC:0801305668

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este trabajo. En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme fuerzas y guiar mis pasos en este camino académico. También extiendo mi agradecimiento a mis abuelitos y familia por su constante apoyo y amor incondicional, que me ha impulsado a alcanzar mis metas.

A lo largo de mi formación académica, he contado con el valioso acompañamiento de excelentes docentes, cuyo conocimiento y dedicación han dejado una huella imborrable en mi aprendizaje. Agradezco sinceramente a cada uno de ellos por su dedicación y compromiso con la educación.

Mi reconocimiento especial va dirigido a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería Hidráulica, por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos y formarme como profesional en este campo.

Un agradecimiento sincero al Ing. Jimmy Toaza, tutor del proyecto de investigación, por su orientación y apoyo que han sido fundamentales para el desarrollo de mi investigación.

Finalmente, agradezco a mis amigos por su compañerismo y apoyo en cada etapa de este proceso.

*A todas estas personas e instituciones,
¡mi más sincero agradecimiento!*

Marco Israel Valiente Corregidor

DEDICATORIA

Mi proyecto de investigación va dedicado primeramente a Dios por bendecirme y brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo por ser mi guía, apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Con profundo amor y cariño dedico este trabajo a mis abuelitos; María y Arseño por su amor, apoyo, sacrificio y ser los principales promotores de mis sueños, quienes siempre creyeron en mi y han hecho de mi una persona de principios, valores, una persona soñadora y sobre todo humilde, me han hecho valorar cada momento que la vida nos presenta y agradezco su apoyo y esfuerzo por darme la mejor herencia que es el estudio, este logro es triunfo de su fe en mí.

A mis tíos; Iván y Rosio, por haber depositado en mí, sus mensajes de apoyo, motivación y que con el pasar del tiempo se han convertido en mis padres, ya que siempre han estado para apoyarme, ayudarme y han sido mi guía y un ejemplo de superación y constancia para cumplir todo lo propuesto en la vida.

A todos mis amigos que han sido parte de la formación profesional y que hasta el día de hoy seguimos siendo buenos amigos, me llevo de ustedes muchos momentos gratos, anécdotas, y risas, su amistad y apoyo fue un regalo invaluable.

Y a todas las personas que han sido parte de mi vida y han contribuido de alguna manera a mi crecimiento personal y profesional.

Marco Israel Valiente Corregidor

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TITULO: “DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA
MICROCUEENCA ALAQUEZ UBICADO EN EL CANTON LATACUNGA,
PROVINCIA DE COTOPAXI”**

Autor: Valiente Corregidor Marco Israel

RESUMEN

Los índices de calidad del agua ICA evalúan parámetros físicos, químicos y microbiológicos con una ecuación ponderada multiplicativa para determinar la calidad del agua en los ríos. El objetivo del presente trabajo es determinar el índice de calidad del agua de la microcuenca Alaquez ubicado en el Cantón Latacunga de la Provincia de Cotopaxi utilizando tres metodologías (ICA – NSF, ISQA, IHCA), para lo cual se realizó la caracterización del área de estudio, donde se definieron tres puntos específicos a lo largo de la microcuenca (cuenca alta, cuenca media, cuenca baja) para la toma de muestras, basándose en la accesibilidad al lugar, y potencial fuente de contaminación. La metodología aplicada fue cuantitativa sujeto a los índices de calidad de agua propuestos por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF), el Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA) y el Índice Holandés de Calidad del Agua (IHCA); en base a la técnica de muestreo e instrumentos respectivos para la recolección de muestras se realizó la recolección de muestras en los tres puntos de la microcuenca Alaquez. En cuanto a los resultados obtenidos se evidencia el comportamiento del estado del cauce del río siendo así con el ICA – NSF en la cuenca alta 51,23 dando así una categoría de contaminación regular, mientras que en la cuenca media 47,62 dando una categorización de mala y en la cuenca baja 42,64 dando una calidad de agua mala y con promedio general de 47,168 con una agua mala, mientras que con el ISQA en la cuenca alta un valor de 63,49 con una contaminación intermedia, en la cuenca media 60,64 dando una contaminación intermedia y en la cuenca baja un valor de 59,87 con una contaminación intermedia y como resultado un promedio de 61,333 con una contaminación intermedia, mientras que con el IHCA se manifiesta contaminación severa en toda la microcuenca con una ponderación de 11 en los tres puntos de muestreo, esta variación se debe a las diferentes actividades que se realizan a las orillas del río y de igual manera al parámetro que se analiza con cada metodología. Los parámetros establecidos por las tres metodologías presentadas se comparado con la normativa ecuatoriana vigente TULSMA, de acuerdo a los criterios de uso determinados donde se evidencio de la microcuenca, reflejando una alteración en el PH, contaminación de DBO5, solidos totales disueltos, nitratos y en especial un exceso de contaminación de coliformes fecales de acuerdo al uso direccionado. Por ende, la calidad la calidad del agua se encuentra en condiciones malas de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos.

Palabras clave: Microcuenca Alaquez, Puntos de muestreo, ICA-NSF, ISQA, IHCA, Calidad del agua, Normativa Ambiental TULSMA.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**

**TITLE: “WATER QUALITY DETERMINATION AT ALAQUEZ MICRO-BASIN
LOCATED IN LATACUNGA CANTON, COTOPAXI PROVINCE”**

Author: Valiente Corregidor Marco Israel

ABSTRACT

Water Quality Indexes (WQI) evaluates physical, chemical, and microbiological parameters using a weighted multiplicative equation to determine water quality in rivers. The objective of this research is to determine the water quality index of the micro-basin, located in Alaquez Parrish at Latacunga Canton, Cotopaxi Province, using three methodologies (WQI – NSF, ISQA, IHCA). To achieve this, a characterization of the study area was carried out, identifying three specific sampling points along the micro-basin (upper basin, middle basin, lower basin) based on accessibility and potential contamination sources. The applied methodology was quantitative, following the water quality indexes proposed by the National Sanitation Foundation of the United States (NSF), the Simplified Water Quality Index (ISQA), and the Dutch Water Quality Index (IHCA). Using appropriate sampling techniques and instruments, water samples were collected from the three points in the Alaquez micro-basin. The results obtained show the river channel’s condition, with the WQI – NSF indicating a value of 51.23 in the upper basin, categorizing it as moderately polluted. In the middle basin, the value was 47.62, classified as poor water quality, while in the lower basin, the value was 42.64, also indicating poor water quality, with an overall average of 47.168, categorizing the water as poor. Using the ISQA method, the upper basin showed a value of 63.49, indicating intermediate pollution, the middle basin had a value of 60.64, also indicating intermediate pollution, and the lower basin had a value of 59.87, maintaining the same classification. The overall average was 61.333, indicating intermediate pollution. Meanwhile, the IHCA method indicated severe contamination throughout the micro-basin, with a rating of 11 at all three sampling points. These variations are due to different activities conducted along the riverbanks and the specific parameters analyzed by each methodology. The parameters established by the three methodologies were compared to the current Ecuadorian environmental regulations (TULSMA) according to the criteria of use determined in the micro-basin. The findings revealed alterations in pH, contamination by BOD5, total dissolved solids, nitrates, and, most notably, an excessive presence of fecal coliform contamination based on the intended water use. Therefore, the water quality is classified as poor due to the presence of physical, chemical, and microbiological contaminants.

Keywords: Alaquez Micro-Basin, Sampling Points, WQI-NSF, ISQA, IHCA, Water Quality, Environmental Regulation TULSMA.

AVAL DE TRADUCCION



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: "**DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA ALAQUEZ UBICADO EN EL CANTON LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI**" presentado por: **Valiente Corregidor Marco Israel**, egresado de la Carrera de: **Ingeniería Hidráulica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 22 de Febrero del 2025

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke at the end, positioned above a dashed horizontal line.

Santiago Gabriel Ramón Amores
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI:0503568826

INDICE

DECLARACION DE AUTORIA.....	ii
CONTRATO DE CESION NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACION	vi
AVAL DE APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACION	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
AVAL DE TRADUCCION	xii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
1.2. Título del proyecto:.....	1
1.3. Modalidad de Titulación:.....	1
1.4. Área de Conocimiento:.....	1
1.5. Línea de investigación:	1
1.6. Sub líneas de investigación:.....	1
1.7. Lugar de ejecución.....	1
2. INTRODUCCIÓN.	2
2.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. Planteamiento del problema.....	3
2.1.2. Formulación del problema.	4
2.2. BENEFICIARIOS.....	4
2.3. JUSTIFICACION.....	5
2.4. HIPÓTESIS	6
2.5. OBJETIVOS.....	6
2.5.1. GENERAL.....	6
2.5.2. ESPECÍFICOS	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
3.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	7
3.2. MARCO REFERENCIAL.....	8
3.2.1. El agua	8
3.2.2. Fuentes de agua.....	8
3.2.3. Utilidad de aguas superficiales.....	9
3.2.4. Estudios Previos Sobre Calidad De Agua En Microcuencas Andinas	9
3.2.5. Investigaciones similares con el ICA en Ecuador	10
3.2.6. Estado actual de la microcuenca Alaquez.....	10

3.3.	CALIDAD DEL AGUA	10
3.3.1.	Parámetros Físicos	11
3.3.2.	Parámetros Químicos	11
3.3.3.	Parámetros Biológicos	11
3.4.	CUENCAS HIDROGRÁFICAS	12
3.4.1.	Características De Las Microcuencas	12
3.4.2.	Importancia De Las Microcuencas Andinas	12
3.4.3.	Factores que afectan a las microcuencas	12
3.4.4.	Clasificación de una cuenca hidrográfica	13
3.5.	Microcuenca	13
3.5.1.	Partes de una cuenca hidrográfica.....	14
3.5.2.	Importancia de una Cuenca Hidrográfica	15
3.5.3.	Características Físicas y Biofísicas de una Cuenca Hidrográfica	16
3.5.4.	Componentes de una cuenca hidrográfica	16
3.5.5.	Delimitación de la cuenca	17
3.5.6.	Utilización de herramientas SIG	17
3.5.7.	Características morfométricas de una cuenca.....	18
3.5.8.	Parámetros morfométricos de la microcuenca hidrografía.....	18
4.	Metodologías para la determinación del Índice de Calidad del Agua.....	20
4.1.	Índice de calidad del agua	20
4.2.	Índice de Calidad General (ICG).....	20
4.3.	Índice Simplificado de Calidad de Aguas (ISQA).....	20
4.4.	Índice Automático de Calidad de Aguas (IAQA)	21
4.5.	Índice Holandés de Calidad de Agua (IHCA).....	21
4.6.	Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF)	21
3.6.	Determinación de metodologías a utilizar para el cálculo del ICA.	21
4.7.	Esquema metodológico.....	23
4.8.	MARCO LEGAL	25
4.8.1.	Constitución de la República del Ecuador.....	25
4.8.2.	Ley Orgánica de Recursos Hídricos.....	25
4.8.3.	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).....	25
4.8.4.	Normas técnicas para el monitoreo de agua.....	25
4.8.5.	Ordenanzas locales relacionadas con el recurso hídrico.....	26
5.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	26
5.1.	ÁREA DE ESTUDIO	26

5.1.1. Ubicación Geográfica	26
5.1.2. Características Climáticas	27
5.1.3. Características Hidrológicas.....	27
5.1.4. Uso Del Suelo	27
5.1.5. Actividades Socioeconómicas En La Zona.....	28
5.2. METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA 28	
5.2.1. Caracterización del área de la microcuenca.....	28
5.2.2. Parámetros Morfométricos.....	30
5.3.2. Determinación del Índice de calidad del Agua ICA-NSF.....	32
5.3.3. Determinación del Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA).....	41
5.3.4. Determinación del Índice Holandés de Calidad del Agua (IHCA).....	44
5.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	46
5.3.1. TÉCNICAS DE MUESTREO Y ANÁLISIS.....	46
5.3.2. Métodos De Muestreo.....	46
5.3.3. Preservación De Muestras.....	46
5.3.4. Técnicas Analíticas	47
5.3.5. Control y Aseguramiento De La Calidad	47
5.3.6. Metodologías de Laboratorio.....	47
5.4. Metodologías para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA).....	48
5.5. Caracterización de la microcuenca del río Alaquez y selección de puntos.....	49
5.5.1. Muestreo.....	50
5.5.2. Análisis de muestras de agua	51
5.5.2. Comportamiento de la calidad del Agua en la microcuenca Alaquez.....	53
5.5.5. Variación de los parámetros físicos.....	54
5.5.6. Variación de los parámetros químicos.....	57
5.5.7. Variación de los parámetros microbiológicos.....	61
5.5.8. Aplicación y cálculo de la metodología ICA-NSF	61
5.5.9. Determinación del ICA-NSF en la microcuenca del Rio Alaquez	65
5.5.10. Aplicación y cálculo de la metodología de ISQA.....	66
4.5.10. Determinación del ISQA en la microcuenca del Rio Alaquez.....	68
4.5.12. Aplicación y cálculo de la metodología de IHCA.....	69
5.6. Comparación de la calidad del agua según la normativa ecuatoriana	72
5.6.1. Parámetros físico-químicos en estado regular	73
6. Resultados y Discusión.....	75
6.1. Análisis de Parámetros Físicos.....	75

6.2.	Análisis de Parámetros Químicos	76
6.3.	Análisis de Parámetros Biológicos	76
6.4.	Análisis Integral de los índices de calidad del agua.....	77
6.5.	Discusión Integrada de Resultados	77
6.6.	EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y/O ECONÓMICA.....	77
6.6.1.	Impacto social.....	77
6.6.2.	Impacto ambiental.....	78
6.6.3.	Presupuesto.....	78
7.	CONCLUSIONES DEL PROYECTO.....	79
7.1.	CONCLUSIONES	79
7.2.	RECOMENDACIONES	81
	REFERENCIAS.....	82

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.2. Título del proyecto:

“Determinación de la calidad del agua de la microcuenca Alaquez ubicado en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.”

1.3. Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas.

Proyectos de Investigación.

Carrera: Ingeniería Hidráulica.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Valiente Corregidor Marco Israel.

Tutor: Ing. Jimmy Xavier Toaza Iza Msc.

1.4. Área de Conocimiento:

Tabla 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO.

33. Ciencias Tecnológicas.	3305. Tecnología de construcción	3305.06 Ingeniería Civil.
		2511 ciencias del suelo (edafología)
		3305.15 Ingeniería Hidráulica.
		2508 Hidrología

1.5. Línea de investigación:

Meteorología, Hidrología, Mecánica de fluidos, sistemas y obras hidráulicas.

1.6. Sub líneas de investigación:

Gestión y manejo sostenible o sustentable del recurso hídrico.

1.7. Lugar de ejecución

Provincia: Cotopaxi.

Cantón: Latacunga.

2. INTRODUCCIÓN.

El recurso hídrico es fundamental para la vida y el funcionamiento de los ecosistemas. En Ecuador la administración de los recursos hídricos se ve obstaculizada por un flujo constante de dificultades, ya que la fuente de agua dulce se ve presionada por el aumento de la cantidad de población comercial, el crecimiento de la superficie de la agricultura y la expansión de las fábricas.[1]

Una microcuenca hidrográfica es una unidad territorial básica en el manejo de un sistema hídrico ya que está conformado por “un conjunto de cuencas hidrográficas que funcionan como un sistema natural de captación y distribución de agua”. En Cotopaxi las microcuencas hidrográficas “tienen importancia debido a que son reservorios de agua para el consumo humano, riego y las actividades productivas”. [2]

El río Alaquez es una fuente hídrica importante para las comunidades de la microcuenca ubicado en cantón Latacunga. En las últimas décadas el agua ha sufrido una presión humana considerable que se considera degradante. Tales intervenciones se considera la agricultura intensiva, el uso de productos químicos, la descarga de aguas residuales y la ocupación desorganizada del espacio por asentamientos urbanos. [3]

En el presente estudio la calidad del agua fue evaluada utilizando índices estandarizados, esta metodología otorga una visión generalizada a cerca de la situación existente en el recurso hídrico. Los índices utilizados integran parámetros físicos, químicos y biológicos fundamentales para la evaluación de la calidad del agua, así como para la calificación de los mismos en cuanto a la aptitud para ser utilizada en los múltiples requerimientos. [4]

El Texto de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), en el escenario ecuatoriano ofrece un marco jurídico que define criterios de calidad particulares para diferentes aplicaciones del agua. Estos estándares son esenciales para valorar el acatamiento de las regulaciones medioambientales actuales y posibilitan la puesta en marcha de medidas de administración apropiadas para salvaguardar los recursos acuáticos. [5]

El deterioro del recurso hídrico en las microcuencas provoca una repercusión de múltiples aspectos, impactando no solo a los ecosistemas acuáticos, sino también a la salud pública y al crecimiento socioeconómico de las comunidades locales. Estudios anteriores en la zona andina han demostrado que las modificaciones en los criterios de calidad del agua pueden tener repercusiones adversas en la agricultura, ganadería y el bienestar general de los habitantes. [6]

En este escenario, es esencial analizar la calidad del agua en la microcuenca Alaquez para asegurar una administración sostenible del recurso acuático. Determinar los grados de contaminación y sus

posibles orígenes facilitara la creación de tácticas más efectivas para la gestión y preservación de este preciado recurso natural. [7]

El propósito de este estudio es contribuir al conocimiento acerca de la situación actual de la calidad del agua en la microcuenca Alaquez, ofreciendo datos técnicos indispensables para la toma de decisiones en cuanto a la gestión ambiental a nivel local y regional. Los hallazgos logrados se utilizarán como fundamento para la creación e implementación de políticas y programas orientados a salvaguardar y fomentar un uso sostenible del recurso hídrico en esta zona.

2.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. Planteamiento del problema.

El deterioro del recurso hídrico en las cuencas hidrográficas representa uno de los retos medioambientales más críticos a escala mundial. En Ecuador, particularmente en las zonas altoandinas, este escenario es especialmente alarmante debido a diversas presiones humanas que impactan de manera adversa en la calidad y disponibilidad de este recurso natural. [8]

La microcuenca Alaquez, situada en el cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi, encara un desafío complicado vinculado a la calidad del agua. El crecimiento de las áreas agrícolas en los puntos elevados de esta microcuenca ha provocado un incremento considerable en la utilización de agroquímicos, lo que ocasiona la contaminación por escorrentía de desechos tóxicos orientados a los cuerpos de agua. [9]

En las zonas intermedias y bajas de la microcuenca, el aumento poblacional desordenado ha dado parte a la descarga directa de aguas residuales domésticas sin previo tratamiento. Estudios preliminares realizados por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Latacunga (2023) indican que aproximadamente el 45% de las viviendas en el área de influencia de la microcuenca carecen de sistemas adecuados de tratamiento de aguas residuales.

La actividad ganadera en la región también contribuye a la degradación de la calidad del agua. La presencia de ganado en las proximidades de las fuentes hídricas aumenta la concentración de coliformes fecales y altera los parámetros fisicoquímicos del agua, comprometiendo su calidad para diversos usos. [10]

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] (2022) ha registrado variaciones significativas en los patrones de precipitación en la región, lo que afecta los ciclos naturales de renovación y purificación del agua. Esta situación se agrava por la pérdida de cobertura vegetal en las zonas de recarga hídrica, reduciendo la capacidad de filtración natural del ecosistema.

Las comunidades que dependen de la microcuenca Alaquez para actividades agrícolas, ganaderas y consumo doméstico han reportado un deterioro progresivo en la calidad del agua durante la última década. La Dirección Provincial de Salud de Cotopaxi (2023) ha documentado un aumento en las enfermedades gastrointestinales relacionadas con el consumo de agua de calidad deficiente. Uno de los desafíos detrás de la gestión y el control adecuado de un recurso vital como el agua es la ausencia de un monitoreo sistemático y continuo de la calidad del agua en una microcuenca. A falta de todos confiables y consistentes en esta área, es difícil implementar medidas efectivas para preservarlos y, por lo tanto, proteger los ecosistemas que lo rodea. [11]

2.1.2. Formulación del problema.

¿Cómo se encuentra la calidad del agua en la microcuenca Alaquez del cantón Latacunga en la actualidad, teniendo en cuenta los parámetros definidos por las metodologías de índice de calidad del agua y su acatamiento a la legislación ambiental vigente en Ecuador?

Este problema deriva de la imperante exigencia de conocer a cabalidad el estado presente de la calidad del agua en la microcuenca, así como los factores físicos, químicos y biológicos que determinan su idoneidad para diversos usos. Tal evaluación es conducida bajo un esquema estandarizado a través de las metodologías de índice de calidad del agua y regulada mediante normativa ambiental que establece los criterios de cumplimiento para la protección a la salud pública y del medio ambiente.

2.2. BENEFICIARIOS

El estudio sobre la calidad del agua de la microcuenca Alaquez beneficiará directa e indirectamente a diversos sectores de la población. La determinación del tipo de agua facilitará información valiosa para tomar decisiones importantes en la gestión del recurso hídrico, impactando positivamente a la salud pública y el desarrollo socioeconómico de la región.

Los beneficiarios directos incluyen aproximadamente 8,500 habitantes de las comunidades asentadas en el área de influencia directa de la microcuenca, quienes utilizan el agua para consumo doméstico y actividades productivas. Por otro lado, los beneficiarios indirectos abarcan instituciones gubernamentales, centros educativos, sector agroindustrial y población de zonas aledañas que se benefician de los servicios ecosistémicos de la microcuenca, sumando aproximadamente 15,000 personas adicionales. [13]

Por lo tanto, en la **Tabla 1** se especifica los beneficiarios directos e indirectos de la zona de estudio.

Tabla 1. Distribución de beneficiarios del proyecto de investigación en la microcuenca Alaquez

Tipo de Beneficiario	Descripción	Cantidad Aproximada
Beneficiarios Directos	Habitantes de comunidades rurales de Alaquez	3,200
	Agricultores de la zona	2,800
	Ganaderos locales	1,500
	Juntas de agua	1,000
Subtotal Directos		8,500
Beneficiarios Indirectos	Población de parroquias aledañas	8,000
	Instituciones educativas	2,000
	Sector agroindustrial	3,000
	Instituciones gubernamentales	2,000
Subtotal Indirectos		15,000
TOTAL BENEFICIARIOS		23,500

Nota: Elaborado por autor basada en datos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (GAD Latacunga, 2023) y el Inventario de usuarios del recurso hídrico (Secretaría del Agua, 2022).

2.3. JUSTIFICACION

El estudio de la calidad del agua en la microcuenca Alaquez se fundamenta en factores técnicos, sociales y medioambientales. La degradación constante de los recursos acuáticos en la región andina de Ecuador demanda investigaciones particulares que faciliten comprender la magnitud de los efectos y definir estrategias de administración eficaces. [6]

Desde el punto de vista técnico, el uso de índices de calidad del agua proporciona un método estandarizado y reconocido a nivel global para valorar la calidad del agua. Este método facilita la recolección de datos comparables y científicamente corroborados, lo que aporta de manera significativa al entendimiento sistemático del estado presente de los recursos acuáticos en la región. Los hallazgos de esta evaluación se utilizaron como fundamento firme para futuros estudios y programas de vigilancia ambiental. [14]

La dimensión social de la investigación en torno a la calidad del agua se fundamenta en la necesidad esencial de garantizar el acceso a agua de alta calidad para las comunidades locales. De acuerdo con información del Ministerio de Salud Pública (2023), se ha registrado un incremento del 35 % de las enfermedades vinculadas al consumo de agua contaminada en la Provincia de Cotopaxi en

los últimos cinco años. Una descripción minuciosa de la calidad del agua facilitará la identificación de posibles amenazas para la salud pública y orientará medidas preventivas eficaces. Visto desde el punto ecológico la microcuenca Alaques representa un ecosistema clave que proporciona servicios ecológicos fundamentales para la zona. Es indispensable valorar la calidad del agua para proteger la biodiversidad acuática y mantener los procesos ecológicos en buen estado. Esto ocurre porque el agua de excelente calidad es esencial para el balance del ecosistema y su habilidad para ofrecer servicios tales como regulación del agua, captura de carbono y refugio para las especies acuáticas. El Instituto Nacional de Biodiversidad (2022) ha detectado especies autóctonas en la región que requieren de la calidad del agua para su supervivencia.

La relevancia económica del estudio se relaciona con las actividades productivas que dependen del recurso hídrico. El sector agrícola, que representa el 45% de la economía local según la Cámara de Agricultura de Cotopaxi (2023), requiere agua de calidad adecuada para mantener su productividad y competitividad. La caracterización de la calidad del agua permitirá optimizar su uso en sistemas de riego y procesos productivos.

Adicionalmente, la investigación se alinea con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el ODS 6 sobre agua limpia y saneamiento. Los resultados contribuirán al cumplimiento de las metas nacionales e internacionales en materia de gestión sostenible del recurso hídrico. [12]

2.4. HIPÓTESIS

La aplicación de las metodologías para determinar la calidad del agua presentará niveles altos de contaminación en áreas con mayor actividad agrícola, industrial y poblacional de la microcuenca Alaquez.

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. GENERAL

Determinar la calidad del agua de la microcuenca hidrográfica Alaquez ubicada en la provincia de Cotopaxi, mediante metodologías de ICA, con el fin de analizar el grado de contaminación del agua.

2.5.2. ESPECÍFICOS

- Identificar los referentes teóricos acerca de metodologías para la determinación del índice de calidad del agua.

- Determinar y seleccionar las metodologías de muestreo, análisis de laboratorio y análisis de la calidad del agua.
- Determinar la calidad del agua aplicando metodologías validadas.
- Analizar resultados en conformidad con normativas ambientales nacionales vigentes en el Ecuador.

1.6. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Objetivos Específicos	Actividades	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Identificar los referentes teóricos acerca de metodologías para la determinación del índice de calidad del agua	- Revisión bibliográfica sobre metodologías ICA	Base teórica documentada	- Análisis documental
	- Análisis comparativo de metodologías existentes	Matriz comparativa de metodologías	- Fichas bibliográficas
	- Selección, justificación de las metodologías ICA-NSF, ISQA, IHCA.	Metodologías validadas	- Software gestor bibliográfico
Determinar y seleccionar las metodologías de muestreo, análisis de laboratorio y análisis de la calidad del agua.	- Definición de puntos de muestreo	Mapa de puntos de muestreo	- GPS
	- Establecimiento de protocolos de muestreo	Manual de procedimientos	- Sistemas de información geográfica
	- Calibración de equipos de medición	Equipos verificados	- Equipos de medición calibrados
Determinar la calidad del agua aplicando metodologías validadas.	- Toma de muestras in situ	Muestras recolectadas	- Equipos de muestreo
	- Análisis de laboratorio	Resultados de análisis	- Laboratorio certificado
	- Cálculo del índice ICA-NSF, ISQA y IHCA	Índices calculados	- Software estadístico
Analizar resultados en conformidad con normativas ambientales nacionales vigentes en el Ecuador.	- Comparación con límites permisibles	Informe de cumplimiento	- Normativa TULSMA
	- Elaboración de informe técnico	Documento técnico	- Software de procesamiento
	- Formulación de recomendaciones	Plan de acción	- Matrices de evaluación

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El interés creciente en la calidad del agua en las microcuencas andinas se debe a la relevancia de estos ecosistemas para la biodiversidad y el bienestar de las personas. Conforme las actividades agrícolas y urbanas se desarrollan, se hace cada vez mas patente la importancia de supervisar y

valorar de manera constante los recursos de agua. Estudios recientes han demostrado que las modificaciones en la utilización del suelo, sumadas a factores climáticos, están impactando de manera negativa en la calidad del agua, lo que resalta la necesidad apremiante de aplicar estrategias de administración sostenible. Es esencial recaudar información acerca de parámetros físicos, químicos y biológicos para entender el bienestar de estas microcuencas y su habilidad para proveer agua pura. Adicionalmente, el estudio de la calidad del agua no solo posibilita la detección de problemas actuales, sino que también brinda la posibilidad de formular políticas eficaces tanto para la preservación como para la restauración.

Es fundamental la cooperación entre entidades académicas, entidades gubernamentales y comunidades locales para enfrentar los retos vinculados a la calidad del agua. A través de estudios exhaustivos y la utilización de técnicas para establecer el nivel de calidad del agua, es posible definir líneas de base y supervisar variaciones a lo largo del tiempo. Esto es vital para asegurar la viabilidad de los recursos de agua en las microcuencas de los Andes.

3.2.MARCO REFERENCIAL.

3.2.1. El agua

El agua es un componente esencial para la existencia humana, la biodiversidad, el entorno natural y todas las formas de vida en nuestro planeta. Así pues, es vital fomentar su protección y sensibilizar acerca de la relevancia de este recurso natural escaso, que puede agotarse si se abusa de forma desmedida. [15]

Históricamente, el agua ha sido objeto de normativas legales debido a su relevancia vital en diversas áreas, tales como la navegación, el riego agrícola, la provisión de agua potable para el consumo humano y la higiene personal y pública. Como bien jurídico, hay derechos (Según el artículo 12 de los derechos del Buen Vivir, el derecho humano al agua es esencial) y responsabilidades vinculadas a las aguas que fluyen por corrientes naturales, así como las que se encuentran en cuerpos de aguas artificiales como lagos o lagunas. [16]

Es fundamental tratar el agua como un recurso bajo un marco jurídico, dado que es vital para la propia vida. Esto significa que los individuos poseen diversos derechos y obligaciones en función del tipo de agua y su localización geográfica. [17]

3.2.2. Fuentes de agua.

Las fuentes de agua están presentes de manera natural en el ambiente, tales como la lluvia, las aguas superficiales, las aguas subterráneas y los océanos, entre otros elementos. 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. [18]

3.2.3. Utilidad de aguas superficiales

Las aguas superficiales están estrechamente relacionadas con diversas actividades, especialmente agrícolas y ganaderas, que se desarrollan en extensas áreas del territorio. Estas actividades pueden provocar la contaminación de las aguas superficiales a través de la escorrentía, que arrastra y disuelve sustancias depositadas en el suelo. La contaminación difusa generada por estas actividades representa un grave riesgo para la salud pública y el medio ambiente. Los contaminantes pueden afectar no solo la calidad del agua potable, sino también los ecosistemas acuáticos y terrestres, lo que puede tener repercusiones económicas significativas debido a la pérdida de biodiversidad y la degradación de los recursos hídricos. [19]

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 usa como recurso intermedio en trabajos de procesamiento industrial y energético [9]. Hay dos formas principales de uso del recurso agua: consuntiva y no consuntiva.
- **El uso consuntivo:** este uso da la extracción de agua de su fuente de origen natural, lo que minimiza su disponibilidad temporal en espacial (el riego en la agricultura).
- **El uso no consuntivo:** este uso manifiesta que la mayor parte del agua usada se devuelve a la fuente de donde se la obtuvo, aunque esto puede vulnerar su disponibilidad temporal y calidad en cierto aspecto (generación de energía hidroeléctricas). [20]

3.2.4. Estudios Previos Sobre Calidad De Agua En Microcuencas Andinas

En la última década, las investigaciones sobre la calidad del agua en microcuencas andinas han aumentado significativamente, lo que refleja una creciente preocupación por la conservación de estos ecosistemas críticos. En el contexto regional andino, los estudios han revelado que aproximadamente el 65% de los sistemas evaluados presentan algún nivel de alteración en sus parámetros de calidad del agua. Esto pone en evidencia la vulnerabilidad de estas fuentes hídricas frente a presiones antrópicas y cambios ambientales. [21]

En Ecuador, el monitoreo de parámetros físico-químicos y biológicos en microcuencas altoandinas ha mostrado una relación significativa entre la intensidad de las actividades agrícolas y la deterioración de la calidad del agua. Se ha demostrado esto mediante investigaciones a cabo de 15 microcuencas situadas en la sierra central del país. [22]

3.2.5. Investigaciones similares con el ICA en Ecuador

La puesta en marcha del índice de calidad del agua (ICA) en Ecuador ha generado una base de datos histórica que simplifica el estudio de tendencias de carácter temporal y espacial. Esto ha probado ser un instrumento efectivo para valorar de manera holística la calidad del agua en diversas cuencas hidrográficas de la nación, facilitando la identificación de patrones y variaciones importantes a través del tiempo y espacio geográfico. [23]

Un estudio exhaustivo llevado a cabo en 25 microcuencas de la región interandina del Ecuador posibilitó categorizar la calidad del agua y su vínculo con usos del suelo. Los hallazgos indicaron que únicamente el 30% de las microcuencas analizadas tenían una calidad de agua relativamente buena de acuerdo con los criterios fijados por el índice empleado. [10]

3.2.6. Estado actual de la microcuenca Alaquez

La microcuenca Alaquez ha sufrido cambios notables en las décadas recientes a causa de la ampliación de la frontera agrícola y el desarrollo urbano no planificado. Estos elementos han provocado presiones en aumento sobre el recurso de agua, lo que podría impactar de manera adversa en su calidad y disponibilidad. [13]

La calidad del agua y los patrones de escorrentía en la microcuenca Alaquez han sufrido modificaciones notables. Un aumento significativo en las reclamaciones vinculadas a la contaminación del agua, particularmente en las áreas bajas de la microcuenca, evidencia estos cambios adversos. De acuerdo con los registros de vigilancia ambiental, estos cambios podrían estar relacionados con elementos como el crecimiento urbano irregular y la expansión agrícola sin implementar prácticas sustentables. [24]

3.3. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es una noción de múltiples dimensiones que implica una compleja interacción entre propiedades físicas, químicas y biológicas. Estas propiedades establecen de manera colectiva la aptitud del agua para diferentes usos, superando las consideraciones técnicas únicamente personales. Este enfoque integral incluye elementos esenciales como la salud del ecosistema, la sostenibilidad del medio ambiente y el bienestar de las personas.

Es crucial incrementar los elementos físicos, químicos y biológicos en la valoración de la calidad del agua para lograr un entendimiento integral de su condición y funcionalidad. Esta visión holística facilita la creación de estrategias de administración más eficaces, la definición de criterios de calidad apropiados y la toma de decisiones fundamentadas respecto al manejo y salvaguarda de los recursos acuáticos. La calidad del agua debe interpretarse como un indicador activo que muestra la salud global de los ecosistemas acuáticos y su habilidad para brindar servicios fundamentales a sistemas naturales y a las comunidades humanas. [25]

3.3.1. Parámetros Físicos

El agua tiene un impacto directo en la rapidez de las reacciones químicas, la solubilidad de los gases y la actividad biológica. Las fluctuaciones considerables en la temperatura pueden impactar de manera adversa en la vida acuática y modificar los procesos naturales del ecosistema. [26]

El nivel de turbidez en Unidades Nefelométricas de Turbidez NTU, señala la existencia de partículas suspendidas que disminuyen la transparencia del agua. [27]

En el agua, tanto el material disuelto como el suspendido son sólidos totales, lo que es un indicador crucial de la carga de sedimentos y minerales existentes. En microcuencas naturales, usualmente no se debe exceder los 500 mg/L de sólidos totales para preservar condiciones ecológicas apropiadas. [28]

3.3.2. Parámetros Químicos

El pH es un marcador esencial de calidad del agua que muestra su balance ácido-base. En las microcuencas andinas los niveles de pH habituales en las aguas naturales oscilan entre 6,5 y 8,5 lo que resulta ideal para la mayoría de los seres vivos acuáticos. (Valencia et al., 2022).

El oxígeno disuelto es crucial para la vida acuática y los procesos de autodepuración, dado que posibilita la respiración de seres vivos propios del lugar y promueve la degradación aeróbica de sustancias orgánicas. [29]

Los nitratos y fosfatos son elementos nutritivos y vitales para el desarrollo de las plantas acuáticas, sin embargo, el exceso puede causar la eutrofación. [30]

3.3.3. Parámetros Biológicos

Los coliformes en las heces son señales primarias de contaminación microbiana y peligro para la salud. Su nivel que superan los 1000NMP/100 ml señalan contaminación por aguas residuales de hogar lo que supone un peligro considerable para la salud pública. [31]

Los indicadores biológicos como el perifiton y los macroinvertebrados bentónicos, proporcionan datos esenciales acerca de la salud a largo plazo del ecosistema acuático. La variedad y riqueza

de estas comunidades biológicas evidencian las condiciones ambientales acumulativas y son instrumentos útiles para medir la calidad del agua. [25]

3.4. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Las cuencas hidrográficas son regiones naturales que atraviesan y acumulan la escorrentía superficial, orientándola hacia un cauce principal. La caracterización de estas cuencas se fundamenta en su territorio. [32]

El manejo completo de cuencas hidrográficas requiere tener en cuenta factores biofísicos, socioeconómicos y ambientales que afectan su operación como sistema natural. Los sistemas actuales de categorización incluyen factores como la secuencia de los ríos, el sistema de drenaje y las propiedades geomorfológicas para definir categorías más exactas en la administración. [33]

3.4.1. Características De Las Microcuencas

Las microcuencas tienen particularidades que las diferencian de otras unidades de agua. Estos abarcan una red de drenajes usualmente de primer o segundo orden, una elevada susceptibilidad a sucesos hidrológicos extremos y una estrecha relación con las actividades socioeconómicas de la zona. Adicionalmente su reacción al agua es más rápida y susceptible a cambios ambientales en comparación con cuencas más amplias. [34]

3.4.2. Importancia De Las Microcuencas Andinas

Las microcuencas andinas desempeñan un rol crucial en la preservación del ciclo hidrológico regional, funcionando como reguladoras naturales del caudal del agua y proporcionando servicios ecosistémicos esenciales. Estas unidades hidrográficas son esenciales para proveer aguas a comunidades, ya sean rurales o urbanas, además de respaldar la biodiversidad local y las actividades de producción convencionales. [29]

Las investigaciones actuales subrayan que las microcuencas andinas desempeñan un rol vital en la regulación del clima local y en la conservación de ecosistemas únicos del alto andino. Su habilidad para guardar y controlar el agua es especialmente relevante ante el cambio climático y la creciente necesidad de recursos hídricos. [30]

3.4.3. Factores que afectan a las microcuencas

La integridad de las microcuencas en la región andina ecuatoriana se ve afectada principalmente por factores como la deforestación, el cambio de uso del suelo, la contaminación generada por actividades agrícolas e industriales, y el crecimiento urbano desordenado. Estos impactos han

llevado a que alrededor del 60% de estas microcuencas presenten algún nivel de deterioro en sus funciones ecosistémicas. [23]

La fragilidad de las microcuencas se ve en aumento por factores climáticos y antropogénicos, presentando alteraciones y variaciones bruscas en los patrones de precipitación y la intensificación de actividades productivas, son las principales amenazas para su conservación. Los efectos acumulativos de estos factores comprometen la capacidad de las microcuencas para mantener sus servicios ecosistémicos fundamentales. [35]

3.4.4. Clasificación de una cuenca hidrográfica

La extensión de una cuenca hidrográfica en Ecuador puede variar considerablemente, abarcando desde pocas hectáreas hasta miles de hectáreas. Esta variabilidad es fundamental para la clasificación de cuencas propuesta por el INEFAN (“Plan de Manejo Estratégico e Integral de la Microcuenca Minas,”). (ver **Tabla 2.**)

Tabla 2: Clasificación de cuencas propuestas para el Ecuador

Categoría	Superficie en Has.	Superficie en Km2
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
Mini cuenca o quebrada	Menor a 4.000	Menor a 40

Fuente: INEFAN (1995)

3.5. Microcuenca

Una microcuenca se describe como una unidad geográfica pequeña (ver Figura 1) habitada por un número limitado de familias que gestionan los recursos locales, principalmente el suelo, el agua y la vegetación. [36]

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. [37]

En términos operativos, la microcuenca simboliza una unidad de planificación que puede ser administrada a través del uso de recursos locales. Esta zona es importante ya que abarca una gran cantidad de familias que pueden ser vistas como un centro social, teniendo los mismos intereses vinculados a compartir. [38]



Figura 1: División de una cuenca hidrográfica; subcuencas y microcuencas.

Fuente: Eoearth, adaptado por Ordoñez (2011)

3.5.1. Partes de una cuenca hidrográfica

En la figura 2 se puede observar las tres áreas principales de una cuenca hidrográfica.

• Cuenca Alta

En las cuencas hidrográficas las zonas cercanas con un sistema montañoso en la zona más alta son esenciales para la creación de los primeros cuerpos de agua. En este lugar los escurrimientos de las zonas altas ocurren una vez que el terreno ha absorbido y retenido toda el agua hasta alcanzar su capacidad máxima.

• Cuenca Media

La región de convergencia entre la cuenca alta y la cuenca baja, también llamada cuenca media, es donde los flujos de agua de la cuenca alta se unen, proporcionando diversos flujos para la creación de cauce principal.

• Cuenca Baja

El principal rasgo de esta sección de la cuenca es su topografía plana, lo que genera una zona de ecosistema significativa que promueve actividades de agricultura y ganadería. Esta disposición

geográfica posibilita que las precipitaciones se repartan de forma más homogénea, lo que favorece la infiltración. [39]

3.5.2. Importancia de una Cuenca Hidrográfica

Las cuencas de aguas son fundamentales tanto para los ecosistemas como para el progreso de las actividades humanas. A continuación, se exponen las más relevantes:

- Las cuencas contribuyen a regular la circulación del agua, disminuyendo así el peligro de sucesos naturales como inundaciones y desplazamientos de tierras.
- Funcionan como purificadores naturales que incrementan la calidad del agua al retener sedimentos y contaminantes, suministrando de esta manera agua dulce de calidad.
- Los caudales son recursos esenciales de agua dulce para la alimentación humana, la agricultura, la industria y otras tareas.
- El ritmo y la cantidad de agua en las cuencas facilitan la generación de energía hidroeléctrica, un recurso renovable que favorece el crecimiento económico. [40]



Figura 2: Partes de una cuenca hidrográfica.

Fuente: Eoearth, adaptado por Ordoñez (2011)

3.5.3. Características Físicas y Biofísicas de una Cuenca Hidrográfica

3.5.3.1. Área de drenaje

La zona de una cuenca de agua se establece como la proyección horizontal restringida por la línea de separación de las aguas. Es vital distinguir entre el área superficial de la cuenca y su proyección, dado que el área de drenaje no comprende las pendientes de montañas o colinas, pero sí su proyección. En Ecuador donde las cuencas generalmente surgen en áreas montañosas, este contraste en el valor de ambos territorios puede ser considerable. La estimación del área es esencial para efectuar cálculos exactos sobre la cantidad de agua que puede ser recogida y administrada en la cuenca. Esto es particularmente relevante para actividades vinculadas con la agricultura, la administración del agua y la planificación urbana, dado que una zona claramente definida facilita una mejor comprensión del comportamiento hidrológico y simplifica la realización de elecciones fundamentales respecto al empleo sostenible de los recursos naturales. [41]

3.5.3.2. Forma

La forma de una cuenca hidrográfica es determinada por factores geológicos y tiene un impacto significativo en el tiempo de concentración, que se define como el tiempo que una gota de lluvia tarda en recorrer la cuenca desde el punto más alejado hasta el punto de salida. Este tiempo es crucial para entender la respuesta hidrológica de la cuenca ante eventos de precipitación. [41]

3.5.3.3. Sistema de Drenaje

Una cuenca hidrográfica está compuesta por una red de canales hidrográficos que tienen la función de recolectar y conducir el agua hacia otra parte, es decir, fuera del área a drenar. Este sistema evita la acumulación de agua en las zonas bajas del terreno, lo que es crucial para el uso de estas áreas en actividades agrícolas, ganaderas o urbanas. [42]

3.5.4. Componentes de una cuenca hidrográfica

En Ecuador, normalmente se usa el concepto básico de demarcación hidrográfica, que se definió 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”. [41]

3.5.4.1.Función Ambiental

Las funciones ambientales de una cuenca hidrográfica se pueden definir por las siguientes composiciones:

- Alberga bancos de germoplasma.
- Regula la recarga hídrica.
- Conserva la biodiversidad.
- Mantiene la diversidad de los suelos. [41]

3.5.4.2.Componente Físico

Los elementos físicos esenciales de una cuenca hidrográfica son el agua, el suelo, el subsuelo y el aire. Esta cuenca tiene un terreno que se desplaza desde su cima hasta su fondo, con rasgos geográficos como arroyos y pendientes que afectan el flujo y la dinámica del agua. [43]

3.5.5. Delimitación de la cuenca

El establecimiento de las cuencas hidrográficas es un procedimiento esencial que trasciende simplemente en definir los límites naturales de la zona de drenaje. Se transforma en la unidad clave para el análisis ambiental, facilitando la identificación y valoración de los procesos e interacciones que suceden en su interior. Esta información es crucial para la organización y decisión acerca de los recursos naturales. En conclusión, la correcta asignación de cuencas hidrográficas es esencial para entender y administrar los recursos naturales, garantizando un uso sustentable y salvaguardando el entorno natural. [44]

Para definir una cuenca hidrográfica, se aplica un procedimiento metodológico, el cual es esencial para llevar a cabo investigaciones hidrológicas y morfométricas. Esto se debe a que una delimitación exacta de la cuenca facilita la evaluación de su comportamiento hidrológico, la administración de los recursos acuáticos y la planificación de acciones de preservación y gestión ambiental. [45]

3.5.6. Utilización de herramientas SIG

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS) constituyen un marco laboral para la recolección, administración y análisis de datos. Los sistemas de información geográfica se basan en la ciencia geográfica e incorporan diversos tipos de datos para examinar localizaciones geográficas y ordenar datos en capas. Estos sistemas mediante el uso de mapas y visualizaciones en 3D, simplifican la detección de patrones, conexiones espaciales complejas y circunstancias particulares dentro del conjunto de datos. Esta característica posibilita que los usuarios adquieran

un entendimiento más profundo del espacio analizado, lo que resulta vital para tomar decisiones acertadas en estos asuntos. [46]

3.5.7. Características morfométricas de una cuenca

Los atributos morfométricos de las cuencas hidrográficas aluden a la implementación de métodos que, mediante el análisis de la morfología y geomorfología, facilitan la descripción de los rasgos particulares de estas cuencas en términos numéricos. Estos parámetros son esenciales para llevar a cabo comparativas exactas entre diversas zonas de la superficie de la Tierra. Los parámetros morfométricos tienen una estrecha relación con el sistema hidrológico de una cuenca o microcuenca, una función compleja que se ve afectada por múltiples factores, siendo el clima y la conformación del suelo los más relevantes. La topografía, en particular la altitud, tiene un rol crucial en los factores que determinan el régimen hidrológico. El estudio morfométrico ofrece datos útiles para la administración de recursos acuáticos, la planificación del medio ambiente y las investigaciones de impacto, facilitando una mejor comprensión del comportamiento hidrológico. [47]

3.5.8. Parámetros morfométricos de la microcuenca hidrografía.

3.5.8.1. Perímetro (P) (km):

El perímetro de una cuenca hidrológica es la medida que representa la longitud en un plano horizontal que se extiende por la divisoria de aguas. Este indicador hace referencia a la longitud total de la línea que define la cuenca, dividiendo las zonas de drenaje hacia distintos cauces o sistemas de agua. [48]

3.5.8.2. Longitud axial (La) (km):

La longitud del cauce principal se define como la distancia en línea recta desde el origen de la corriente hasta el punto de desembocadura (o el punto más bajo de la cuenca). Esta longitud es vista como el eje central de la cuenca y es un indicador relevante en el estudio de la morfometría. [34]

3.5.8.3. Longitud del curso principal (L) (m):

La longitud del cauce principal se refiere a la distancia medida desde el punto más alejado del curso colector (el de mayor orden) de la cuenca hasta la desembocadura. Este indicador es esencial para comprender la estructura de la cuenca y su red de ríos. [34]

3.5.8.4. Longitud total del drenaje (L_n) (km):

Se determina la longitud total de los flujos de agua en una cuenca como la sumatoria de las longitudes de todos los ríos y arroyos que fluyen en dicha cuenca. Este indicador es esencial para comprender la red de ríos y el comportamiento del flujo de agua en la cuenca. [34]

3.5.8.5. Área de la cuenca (A):

El concepto de cuenca hidrográfica se refiere a la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía que, de manera directa o indirecta, se orienta hacia un mismo flujo natural. Esta superficie está definida por la división de aguas del área de análisis y usualmente se representa en kilómetros cuadrados (km^2). El área de la cuenca es un factor esencial en investigaciones hidrológicas, puesto que cualquier fallo en su cálculo puede afectar de manera significativa los resultados logrados. Así pues, es esencial llevar a cabo mediciones exactas y contrastadas para garantizar la confianza en este valor. Una adecuada demarcación y cuantificación del área de la cuenca facilitan una administración más eficiente de los recursos acuáticos y una valoración más eficaz del comportamiento del escurrimiento y otros fenómenos hidrológicos en el interior de la cuenca. [49]

3.5.8.6. Ancho de la cuenca (W):

El ancho de una cuenca de agua se establece como la proporción entre la superficie (A) de la cuenca y su longitud (L), y se simboliza con la letra W . La fórmula para determinar el ancho de la cuenca es: $W = L/A$. [50]

3.5.8.7. Coeficiente de Compacidad (C_c) o Índice de Gravelius:

Este vínculo entre el perímetro P de la cuenca y el perímetro del círculo con la misma área A . Este indicador contribuye a describir la forma y compactación de la cuenca hidrológica. [48]

3.5.8.8. Relación de Elongación (Re):

Se define el factor de forma de una cuenca hidrográfica como la relación entre el diámetro de un círculo que posee la misma área que la cuenca y la longitud de la cuenca misma. Este índice permite evaluar cuán cuadrada o alargada es la cuenca. Un factor de forma bajo indica que la cuenca es más alargada, lo que generalmente la hace menos susceptible a crecientes en comparación con una cuenca de igual área, pero con un factor de forma más alto. [48]

3.5.8.9. Factor de Forma de Horton (Rf):

El factor de forma (Rf) de una cuenca hidrográfica es un índice que mide cuán alargada o cuadrada es la cuenca. Un valor bajo de este factor indica que la cuenca es más alargada, lo que la hace menos susceptible a crecientes en comparación con una cuenca de la misma área pero con un factor de forma más alto. Esto se debe a que las cuencas alargadas tienden a tener un escurrimiento más lento y menos concentrado durante lluvias intensas. [48]

4. Metodologías para la determinación del Índice de Calidad del Agua

4.1. Índice de calidad del agua

El índice de calidad de agua es una forma precisa de analizar diferentes parámetros para calcular la calidad de un cuerpo de agua. Se presenta como una herramienta para comunicar esta información de manera efectiva, ya que, estos índices pueden expresarse mediante un número, un intervalo, un símbolo o un color, lo que facilita su interpretación. Es por ello, que la aplicación de metodologías para la clasificación de la calidad del agua se han desarrollado varios índices según su relevancia las cuales son:

4.2. Índice de Calidad General (ICG).

Este índice resulta ser ampliamente empleado en Confederaciones Hidrográficas españolas para evaluar la calidad o su rango de contaminación en el agua. Por lo cual, esta metodología es considerado como el índice más complejo debido a su alto costo económico y el tiempo requerido para su análisis, ya que se calcula a partir de 23 parámetros utilizando ecuaciones lineales. De estos parámetros, nueve son considerados básicos y siempre se utilizan, mientras que los otros 14 se toman en cuenta dependiendo de su influencia en la calidad del agua. [51]

Así mismo, la escala de medición establece que la calidad del agua se clasifica como excelente cuando el valor del ICG está entre 100 y 90; buena si oscila entre 90 y 80; intermedia si esta entre 80 y 70; admisible si esta entre 70 y 60; y finalmente, admisible cuando el índice toma valores entre 60 y 0. [52]

4.3. Índice Simplificado de Calidad de Aguas (ISQA)

El ISQA surgió en España en 1982 para evaluar la calidad del agua en las cuencas de Cataluña, basándose en 5 parámetros fisicoquímicos y se utiliza principalmente para evaluar la idoneidad del agua para consumo humano, entre otros usos específicos. Aunque proporciona un análisis rápido e intuitivo de calidad de agua, urge que se complemente con otros índices para obtener un

rango de visión más completo. Los 5 parámetros utilizados en el ISQA son: DQO, sólidos totales, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura del agua. Entonces, su ponderación va de 0 (calidad mínima) hasta 100 (calidad máxima). [53]

4.4. Índice Automático de Calidad de Aguas (IAQA)

Se presenta una variable de ISQA, que se distingue por el uso de COT (Carbono Orgánico Total) en lugar de DQO (Demanda Química de Oxígeno). Esta modificación se justifica por la precisión y exactitud de los datos proporcionados por el COT. Por ende, esta variante del ISQA se propone como una mejora para la evaluación de la calidad del agua, ya que el COT ofrece una medida más precisa de la carga orgánica presente en el agua. [53]

4.5. Índice Holandés de Calidad de Agua (IHCA)

El índice Holandés de Calidad de Agua es un método utilizado para evaluar la calidad del agua superficial, ya que se basa en la combinación de tres parámetros principales los cuales son: Demanda Bioquímica del Oxígeno en 5 días (DBO5), nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺) y porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (PSO). A través del IHCA, se asigna un puntaje a las concentraciones de estos parámetros, y el resultado se visualiza en una escala de colores que va desde el azul para indicar agua no contaminada rojo que indica una contaminación severa. [54]

4.6. Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF)

Es uno de los más conocidos y utilizados; fue desarrollado en 1970 por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos. Es un índice multiparámetro que utiliza nueve parámetros, donde el NSF determina las condiciones físico-químicas y microbiológicas de la calidad del agua ya que, proporciona la estimación del grado de contaminación en diferentes puntos y momentos específicos a evaluar, dado que esta metodología proporciona la facilidad de establecer las posibles limitaciones en función a las actividades del uso del recurso hídrico. [14]

3.6. Determinación de metodologías a utilizar para el cálculo del ICA.

Tabla 3: Tabla de metodologías para el cálculo del ICA

METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA					
INDICE	Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento ICA-NSF	Índice de Calidad General ICG	Índice Simplificado de Calidad de Aguas ISQA	Índice Automático de Calidad de Aguas IAQA	Índice Holandés de Calidad de Agua IHCA
PARAMETROS	1.- Temperatura del agua 2.- pH 3.- DBO5 4.- Nitratos 5.- Fosfatos 6.- Turbiedad 7.- Solidos totales disueltos 8.- Oxígeno disuelto. 9.- Coliformes fecales.	1.- Oxígeno disuelto 2.- Materias en suspensión 3.- Ph 4.- Conductividad 5.- DQO 6.- DBO5 7.- Coliformes totales 8.- Cloruros 9.- Sulfatos 10.- Fosfatos totales 11.- Calcio 12.- Magnesio 13.- Sodio 14.- Nitratos 15.- Detergentes 16.- Cianuros 17.- Fenoles 18.- Cadmio 19.- Cobre 20.- Cromo hexavalente 21.- Mercurio 22.- Plomo 23.- Zinc	1.- Temperatura del agua 2.- DBO5 3.- Conductividad 4.- Oxígeno disuelto 5.- Solidos totales	1.- Carbono orgánico total 2.- Temperatura del agua 3.- Conductividad 4.- Oxígeno disuelto 5.- Solidos totales	1.- Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días 2.- Porcentaje de saturación del Oxígeno disuelto 3.- Nitrógeno amoniacal

Elaborado por: Autor

El presente trabajo de investigación se basa en el enfoque cuantitativo debido a que implica la medición y el análisis numérico sujetos a los índices de calidad del agua NSF, ISQA, IHCA.

A su vez, los niveles del presente estudio son descriptiva, documental y de campo ya que pretenden describir, analizar y visualizar de forma detallada la información relevante sobre los parámetros físicos- químicos y microbiológicos del área de estudio. Para la investigación se aplicó el método deductivo ya que, a través de la información obtenida basado en las muestras de agua, se evaluó el grado de contaminación y la calidad del agua de la microcuenca Alaquez a partir de la aplicación de la metodología NSF, ISQA, IHCA, en el desarrollo del presente trabajo no se tomó en cuenta las metodologías ICG debido al alto costo económico, el tiempo requerido para su análisis ya que esta metodología consta de 23 parámetros para analizarla y de igual manera con la metodología IAQA, esta última debido a que no había la posibilidad de analizar el parámetro propuesto por la misma como lo es el Carbono Orgánico Total por falta de laboratorios certificados y cercanos a la Provincia.

4.7. Esquema metodológico

Para el presente estudio se elaboró un esquema metodológico (ver **Figura 3**), donde se establece los procedimientos en base a las metodologías para la determinación del índice de calidad del agua, caracterización del área de estudio, aplicación y comparación de datos con la normativa ecuatoriana vigente de acuerdo a los criterios de usos efectuados en la microcuenca Alaquez, desarrollando la comprensión de la investigación efectuada.

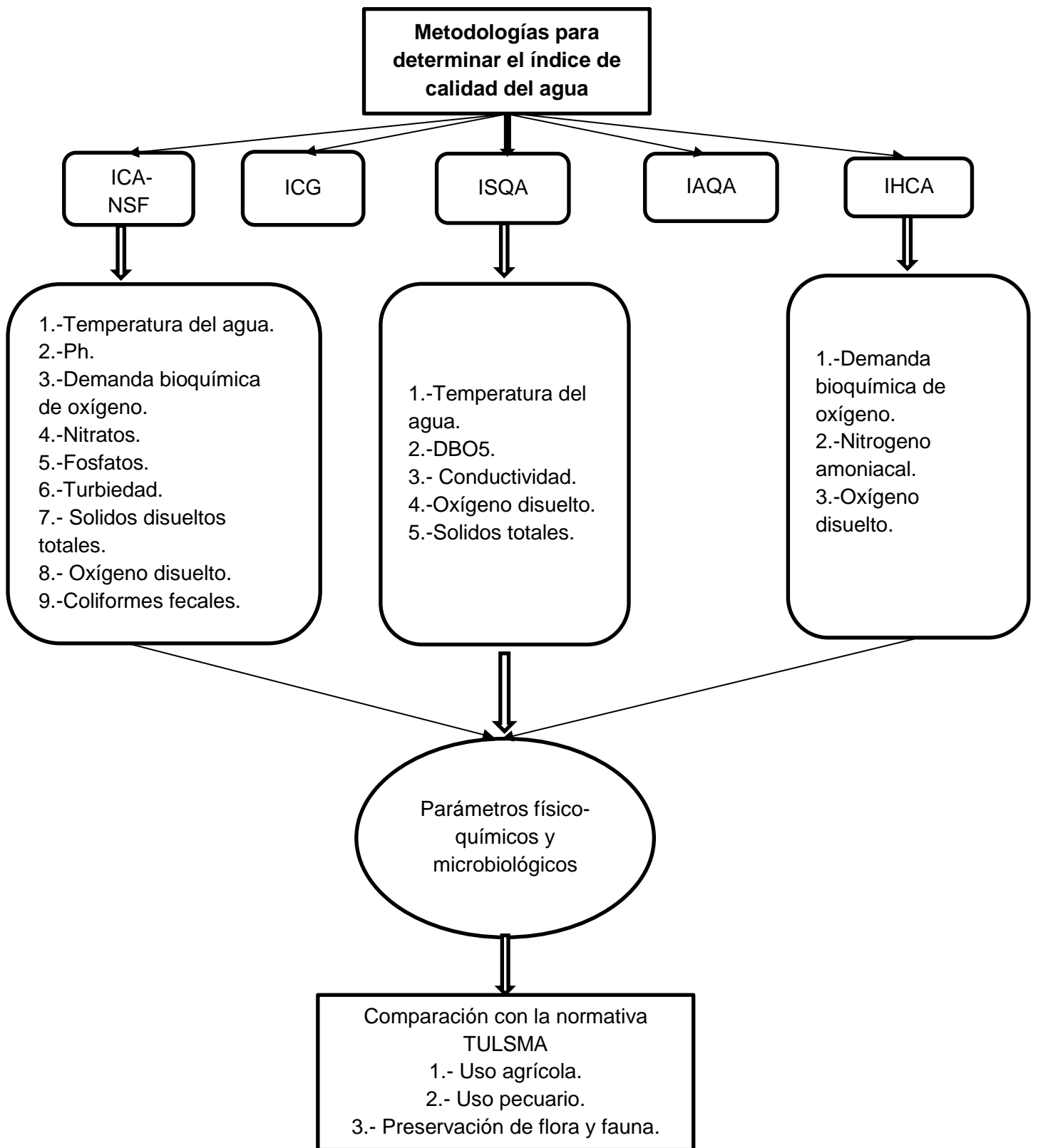


Figura 3: Esquema metodológico.

Elaborado por: Autor

4.8.MARCO LEGAL

4.8.1. Constitución de la República del Ecuador

La Constitución del Ecuador establece principios fundamentales para la gestión y protección de los recursos hídricos. El artículo 12 declara el derecho humano al agua como fundamental e irrenunciable, mientras que el artículo 318 ordena que el recurso vital es patrimonio nacional estratégico con uso público. La gestión del agua es exclusivamente pública y comunitaria, considerando esencial para la vida y prohibiendo toda forma de privatización. Estas disposiciones constitucionales establecen el marco general para la protección y manejo sostenible de las fuentes hídricas, incluyendo las microcuencas. [55]

4.8.2. Ley Orgánica de Recursos Hídricos

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua establece un marco normativo integral para la gestión de los recursos hídricos en Ecuador. Esta ley define principios fundamentales, derechos y obligaciones relacionados con la protección, conservación y recuperación del agua. Específicamente, el artículo 64 establece los criterios para la conservación del agua y prevención de la contaminación, mientras que los artículos 79 al 82 detallan las regulaciones sobre la calidad del agua y control de vertidos. [56]

4.8.3. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)

El TULSMA, en el Anexo 1 del Libro VI menciona y especifica los criterios de calidad para sus distintos usos del agua y los límites permisibles para descargas a cuerpos de agua dulce. El presente documento técnico-legal establece los parámetros específicos y sus respectivos valores máximos permisibles, siendo así esta una herramienta primordial para la evaluación, ejecución y control de la calidad del recurso hídrico. Los estudios recientes indican que aproximadamente el 60% de las microcuencas andinas presentan parámetros que exceden estos límites establecidos. [57]

4.8.4. Normas técnicas para el monitoreo de agua

Las normas técnicas ecuatorianas, establecidas por el INEN, proporcionan los lineamientos metodológicos para el muestreo, preservación y análisis de agua. La norma NTE INEN 2169:2013 especifica los procedimientos para el muestreo y manejo de muestras de agua, mientras que la NTE INEN 2176:2013 establece las técnicas de muestreo para el control de calidad del agua. Estas

normas son fundamentales para garantizar la confiabilidad y comparabilidad de los resultados analíticos. [58]

4.8.5. Ordenanzas locales relacionadas con el recurso hídrico

A nivel local, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Latacunga ha implementado ordenanzas específicas para la protección de microcuencas. La Ordenanza Municipal No. 45-2022 establece zonas de protección hídrica y regula las actividades permitidas en áreas de influencia de fuentes de agua. Los estudios de cumplimiento indican que la implementación efectiva de estas ordenanzas ha contribuido a la reducción de un 30% en las infracciones ambientales relacionadas con recursos hídricos. [13]

5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

5.1. ÁREA DE ESTUDIO

5.1.1. Ubicación Geográfica

La microcuenca Alaquez está ubicada en la Provincia Cotopaxi, cantón Latacunga, entre las coordenadas geográficas 0°55'48" S y 78°37'12" W, con una extensión aproximada de 4.000 hectáreas y un rango altitudinal que va desde los 2,850 msnm hasta los 3,900 msnm. La microcuenca forma parte de la subcuenca del río Cutuchi y presenta una topografía predominantemente montañosa característica de la región interandina ecuatoriana. [59]

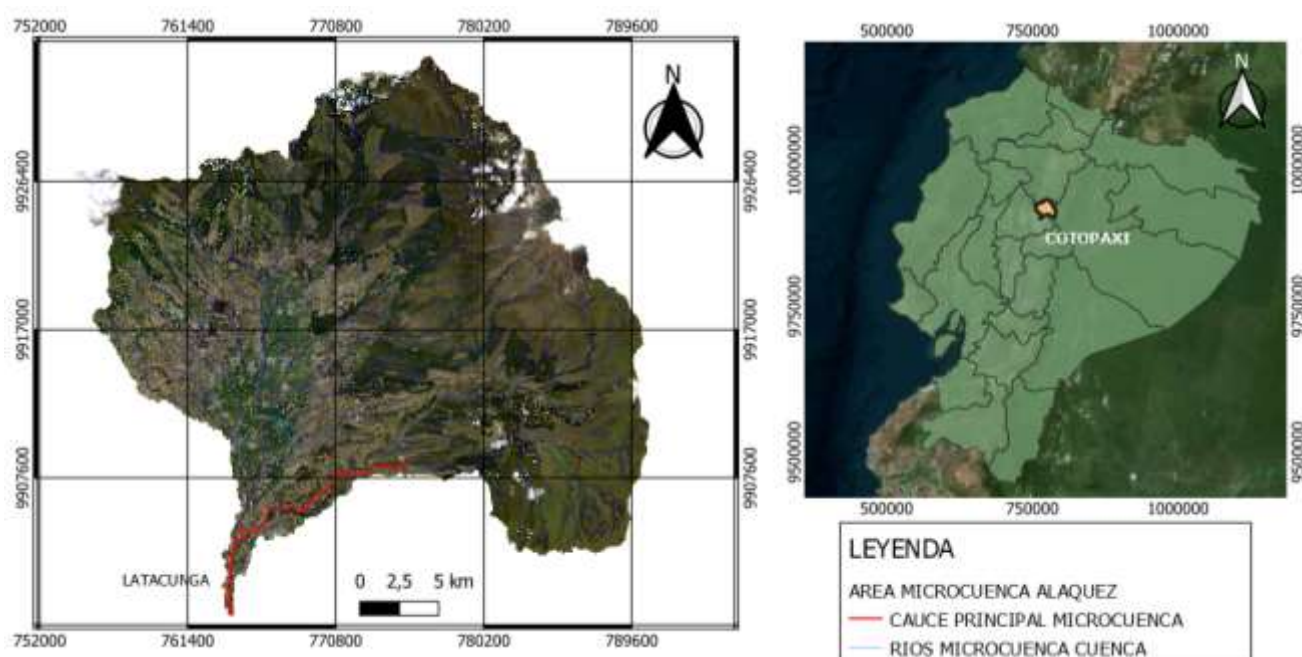


Figura 4: Área de estudio Microcuenca Alaquez, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi

Elaborado por: Autor

5.1.2. Características Climáticas

El clima de la zona se caracteriza por ser ecuatorial de alta montaña, con temperaturas medias anuales que oscilan entre 8°C y 14°C. La precipitación anual promedio varía entre 500 y 1,000 mm, con una distribución bimodal que presenta picos en los meses de marzo-abril y octubre-noviembre. Los registros meteorológicos de la última década indican una tendencia hacia la irregularidad en los patrones de precipitación, con períodos secos más prolongados. [60]

5.1.3. Características Hidrológicas

La red hidrográfica de la microcuenca está conformada por un cauce principal y diversos afluentes estacionales. El caudal base promedio es de 0.8 m³/s, con variaciones significativas según la estación. Los estudios hidrológicos recientes han identificado una reducción del 25% en los caudales durante la última década, atribuida principalmente a cambios en los patrones de precipitación y modificaciones en la cobertura vegetal de las zonas de recarga. [3]

5.1.4. Uso Del Suelo

El análisis multitemporal revela una transformación territorial significativa en la microcuenca Aláquez durante el transcurso de las últimas dos décadas, impulsada principalmente por actividades agropecuarias y crecimiento urbano. Esto ha alterado los patrones territoriales con efectos directos sobre el funcionamiento ecosistémico. La distribución actual muestra un predominio agrícola (40% del área), evidenciando su importancia económica y a la vez también generando presiones sobre recursos naturales como agua y suelo. Los sistemas agrícolas varían entre intensivos y tradicionales, cada uno con diferentes impactos ambientales.

Los pastizales representan el 25% del territorio, siendo fundamentalmente utilizados para ganadería. Su expansión gradual ha ocurrido frecuentemente a expensas de vegetación natural, impactando procesos como erosión del suelo y alteraciones en patrones hidrológicos superficiales. La cobertura vegetal natural actualmente ocupa tan solo el 20% del área total después de una reducción significativa con un ritmo anual promedio del 2.5%. Esta disminución es preocupante para conservar biodiversidad y mantener servicios ecosistémicos cruciales como regulación hídrica. Las áreas urbanas ocupan el 10% del territorio y muestran un proceso urbano creciente característico de zonas periurbanas andinas.

Este desarrollo urbano tiene impactos notables sobre el medio ambiente debido a procesos como impermeabilización del suelo y alteraciones hidrológicas superficiales. El resto (5%) incluye

categorías menores como infraestructura vial o cuerpos artificiales; aunque es un porcentaje pequeño, su diversidad complica el manejo territorial y debe ser considerada al planificar estrategias para gestionar la microcuenca. La tasa actual sugiere una intensificación continua que plantea desafíos significativos para mantener sostenibilidad ambiental a largo plazo. [61]

5.1.5. Actividades Socioeconómicas En La Zona

Las principales actividades económicas en el área de influencia de la microcuenca incluyen la agricultura, ganadería y, en menor escala, el comercio y servicios. El sector agrícola se caracteriza por cultivos de papa, maíz, hortalizas y flores, siendo esta última actividad la que genera mayor presión sobre los recursos hídricos debido a su alta demanda de agua y uso intensivo de agroquímicos. La población económicamente activa de la zona representa el 65% del total, con un ingreso promedio mensual de 450 USD por familia. [62]

5.2.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 categorizar la calidad del agua. Por lo tanto, se elaborará un cuadro comparativo basado en las siguientes metodologías de ICA.

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

5.2.1. Caracterización del área de la microcuenca.

La georreferenciación del área estudiada se realizó utilizando QGIS, facilitando la creación de un mapa base detallado que considera factores geográficos clave como accesibilidad y posibles fuentes de contaminación cerca del río. Se identificaron tres puntos estratégicos (cuenca alta, cuenca media y cuenca baja) según técnicas establecidas en la normativa ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 para muestrear adecuadamente. Por lo tanto, en la Tabla 3 y la Figura 5. se detallan las coordenadas de los puntos de muestreo del área de estudio.

Tabla 4: Coordenadas de los puntos de muestreo

PUNTO DE MUESTREO	LUGAR	COORDENADAS		ALTURA
		ESTE	NORTE	m.s.n.m.
M1	Cuenca alta “Quebrada Gallinazohuaicu”	771730,66	9907898,57	2987
M2	Cuenca media “Puente rio Alaquez (Ruta Alaquez – Av. Miguel Iturralde)”	766044,83	9904158,43	2858
M3	Cuenca baja “Puente Av. Javier Espinosa”	764320,61	9898377,62	2777

Elaborado por: Autor

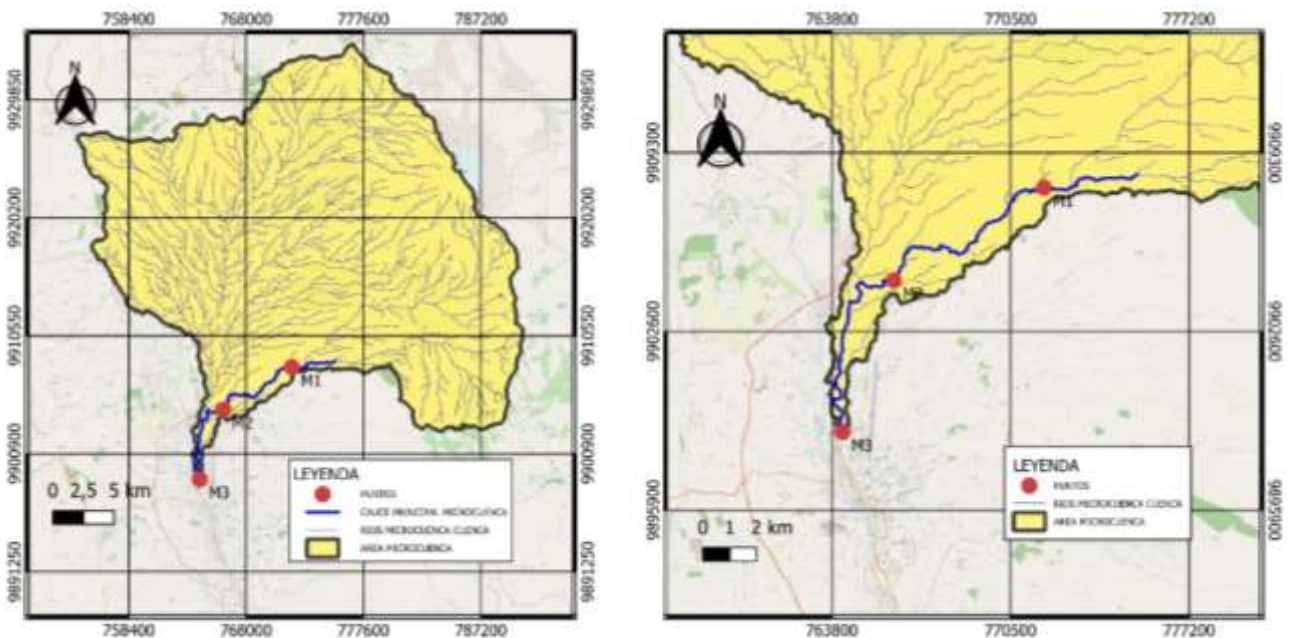


Figura 5: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

Elaborado por: Autor

5.2.2. Parámetros Morfométricos

El cálculo del perímetro y la superficie de la microcuenca de interés se realizaron directamente a partir de la tabla de atributos en QGIS, ya que se empleó la función “Agregar Archivo” para incorporar los campos necesarios, y luego, mediante la herramienta “Calculadora de Campos”, por lo cual se determinaron los valores de área (km²) y perímetro (km).

Ancho de la cuenca (W)

$$W = \frac{A}{L}$$

Ecuación 1.

Dónde:

W: Ancho de la cuenca (m)

A: Área de la cuenca (Km²)

L: Longitud de la cuenca (Km)

Coefficiente de Compacidad (Kc) o Índice de Gravelius.

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 2.

$$Kc = 0.282 P \sqrt{A} \quad (3. 2)$$

Dónde: Kc: índice de Gravelius (adimensional)

P: Perímetro de la cuenca (Km)

A: Área de la cuenca en (Km²)

Dado que, el coeficiente de compacidad abarca la forma y geometría de la cuenca generando la clasificación del coeficiente, en la Tabla 5:

Tabla 5: Clasificación del coeficiente de compacidad o Gravelius [37]

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)

Razón de Elongación (Re)

$$Re = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

Ecuación 3.

Dónde:

Re: Relación de elongación

A: Área de la cuenca. (Km²)

L: Longitud de la cuenca. (Km)

Factor de Forma de Horton (Rf)

$$Rf = \frac{A}{La^2}$$

Ecuación 4.

Dónde:

Rf: Factor de forma de Horton (Adimensional)

A: Área de la cuenca (Km²)

La: Longitud axial de la cuenca (Km)

Tabla 6: Relación de la forma Horton [37]

Rango de valores	Forma de la cuenca
< 0,22	Muy alargada
0,22 a 0,30	Alargada
0,30 a 0,37	Ligeramente alargada
0,37 a 0,45	Ni alargadamente, ni ensanchada

0,45 a 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 a 0,80	Ensanchada
0,80 a 1,12	Muy ensanchada
>1,20	Redondeando el desagüe

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

5.3.2. Determinación del Índice de calidad del Agua ICA-NSF.

Para la determinación de la calidad del agua en la microcuenca Alaquez, se establece a partir del cálculo y aplicación de la metodología NFS propuesta por Brown, emplea una escala de 0 a 100 puntos que sintetiza valores de los nueve parámetros físico -químicos y microbiológicos.

Tabla 7: Metodología del ICA-NSF

INDICE DE CALIDAD DEL AGUA				
INDICE DE LA FUNDACION NACIONAL DE SANEAMIENTO	ITEM	PARAMETRO	UNIDADES	METODO DE ENSAYO
ICA-NSF	1	Temperatura del agua	°C	In-Situ
ICA-NSF	2	PH	UpH	Stards Methods Ed. 23, 2017; 4500 H B
ICA-NSF	3	DBO5	mg/L	HACH 8000, ED. 10, 2014; Standart Methods Ed. 23,2017
ICA-NSF	4	Nitratos	mg/L	HACH 8192, ED. 11, 2019
ICA-NSF	5	Fosfatos totales	mg/L	HACH 8048, ED. 10,2017
ICA-NSF	6	Turbiedad	NTU	Standard Methods Ed. 23, 2017; 2130 B
ICA-NSF	7	Solidos totales disueltos	mg/L	Standard Methods Ed. 23, 2017; 2540 C
ICA-NSF	8	Oxígeno disuelto	mg/L	Standart Methods Ed. 23, 2017; 4500 O G
ICA-NSF	9	Coliformes fecales	NMP/100ml	APHA 9221 B, ED. 24,2023

Elaborado por: Autor

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

El Índice de Calidad del Agua (ICA) tiene un valor máximo de 100 en condiciones óptimas, el cual disminuye a medida que aumenta la contaminación en el cuerpo de agua en estudio. Este índice se utiliza para evaluar la calidad del agua y su capacidad para soportar vida acuática, así como su idoneidad para actividades humanas. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo "General" se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente **Tabla 8**:

Tabla 8: Clasificación del "ICA" propuesto por Brown [66]

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

Elaborado por: Autor

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

Por ende, 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 Índice de Calidad del Agua (ICA) superior a 90 son indicativas de una buena diversidad en la vida acuática. En contraste, las aguas clasificadas como de categoría regular según el ICA suelen presentar una menor diversidad de organismos acuáticos y, con frecuencia, favorecen el crecimiento de algas.
- Las aguas con un Índice de Calidad del Agua (ICA) clasificado como "mala" presentan una diversidad baja de vida acuática y, además, están experimentando problemas de contaminación. Esta categoría indica que la calidad del agua es insuficiente para soportar una variedad saludable de organismos acuáticos, lo que puede resultar en un ecosistema acuático debilitado y propenso a problemas ambientales
- Las aguas con un Índice de Calidad del Agua (ICA) clasificado como "pésimo" presentan un número limitado de formas de vida acuática y suelen enfrentar problemas significativos relacionados con la contaminación. Estas condiciones hacen que el agua no sea adecuada para actividades que impliquen contacto directo, como la natación, debido a los riesgos asociados con la calidad deficiente del agua

- Para establecer el valor del Índice de Calidad del Agua (ICA) en un lugar concreto, resulta imprescindible evaluar los nueve parámetros siguientes: Coliformes Fecales, pH, (DBO5), Nitratos, Fosfatos, Cambio de la Temperatura, Turbidez, Sólidos disueltos Totales, Oxígeno disuelto. [63]

Para establecer el valor del Índice de Calidad del Agua (ICA) en un lugar concreto, se requieren las mediciones de nueve parámetros esenciales.: Coliformes Fecales, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5), Nitratos, Fosfatos, Cambio de Temperatura, Turbidez, Sólidos Disueltos Totales y Oxígeno Disuelto. El cálculo del ICA se realiza mediante técnicas multiplicativas y ponderadas, asignando pesos específicos a cada parámetro según la investigación de Brown (ICAm). [64]

Para determinar el cálculo del índice de la calidad del agua se emplea la siguiente **ecuación (5.)**

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

Ecuación 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 9 a su vez se realiza la interpolación para la obtención del subíndice de cada parámetro como la ecuación:

$$y = y_0 + \frac{X - X_0}{X_1 - X_0} (Y_1 - Y_0)$$

Ecuación 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 9: Pesos relativos de los 9 parámetros

I	sub_i	W_i
1	Temperatura	0,1
2	Ph	0,12
3	DBO	0,1
4	Nitratos	0,1
5	Fosfatos	0,1
6	Turbidez	0,08
7	Oxígeno disuelto	0,17
8	Solidos disueltos totales	0,08
9	Coliformes fecales	0,15

Fuente: Landwehr y Denniger (1976)

Elaborado por: Autor

Curvas de valoración para el cálculo del ICA-NSF

ICA-NSF 1.- Temperatura.

Para el parámetro de temperatura (Sub6), primero se debe calcular la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de la muestra. Si esta diferencia es superior a 15°C, el valor de Sub6 se establece en 9. En caso contrario, si la diferencia es menor o igual a 15°C, se debe buscar el valor correspondiente en el eje X y proceder a interpolar para determinar el valor asociado en el eje Y. El resultado obtenido representa el valor de Sub6 de temperatura, al cual se le aplica un peso w6.

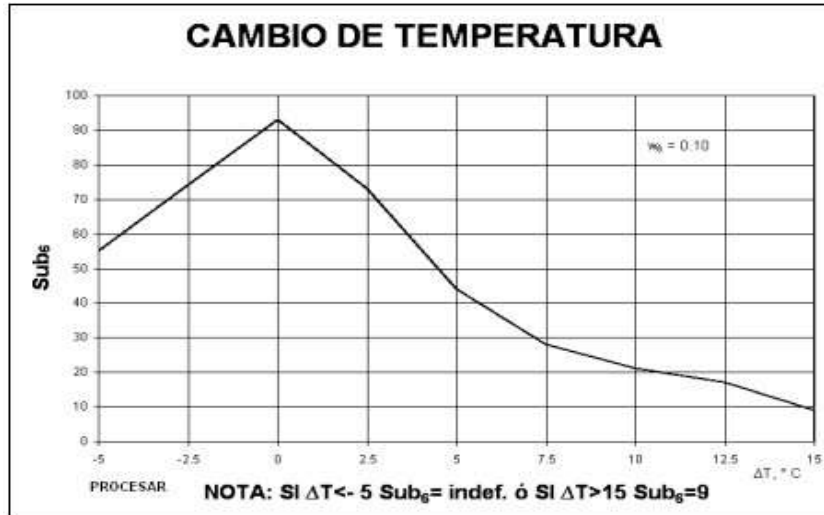


Figura 1.1: Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura

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

ICA-NSF 2.- PH.

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades, el valor de Sub2 se establece en 2. Si el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades, el valor de Sub2 se establece en 3. En el caso de que el valor de pH se encuentre entre 2 y 10, se debe buscar el valor correspondiente en el eje X y proceder a interpolar para determinar el valor asociado en el eje Y. El resultado obtenido representa el valor de Sub2 de pH, al cual se le aplica un peso w_2 .

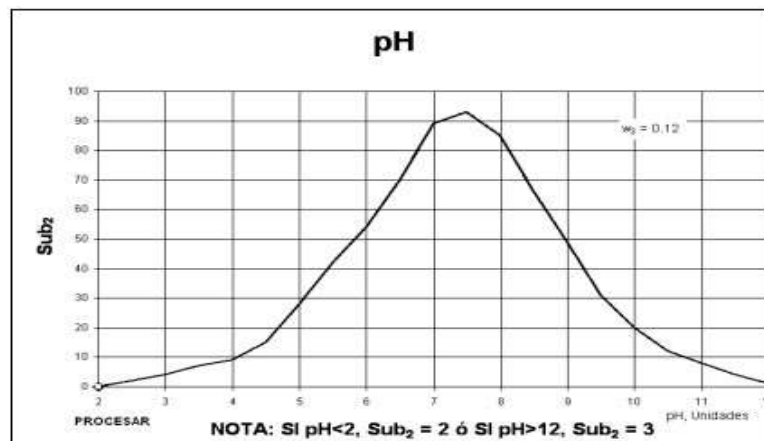


Figura 1.2: Valoración de calidad de agua en función al pH

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

ICA-NSF 3.- DBO5.

Si la concentración de DBO5 supera los 30 mg/L, el valor de Sub3 se establece en 2. Por otro lado, si la concentración es inferior a este umbral, se busca el valor correspondiente en el eje X

y se interpola para determinar el valor asociado en el eje Y. El resultado obtenido representa el valor de Sub3 de DBO5, al cual se le aplica un peso w_3 .

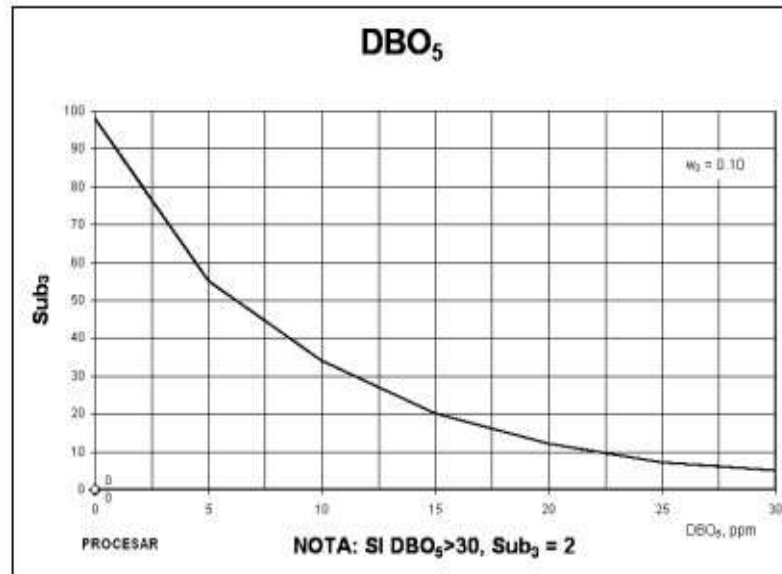


Figura 1.3: Valoración de calidad de agua en función al DBO5

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

ICA-NSF 4.- Nitratos.

Si la concentración de nitratos supera los 100 mg/L, el valor de Sub4 se establece en 2. Por otro lado, si la concentración es inferior a este umbral, se busca el valor correspondiente en el eje X y se interpola para determinar el valor asociado en el eje Y. El resultado obtenido representa el valor de Sub4 de Nitratos, al cual se le aplica un peso w_4 .

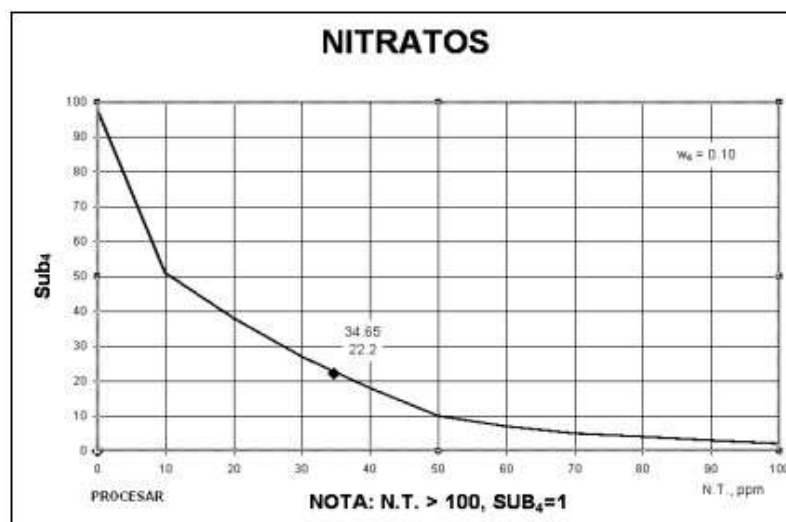


Figura 1.4: Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno

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

ICA-NSF 5.- Fosfatos.

Si la concentración de fosfatos supera los 10 mg/L, el valor de Sub5 se establece en 5. Por otro lado, si la concentración es inferior a este umbral, se busca el valor correspondiente en el eje X y se interpola para determinar el valor asociado en el eje Y. El resultado obtenido representa el valor de Sub5, al cual se le aplica un peso w_5 .

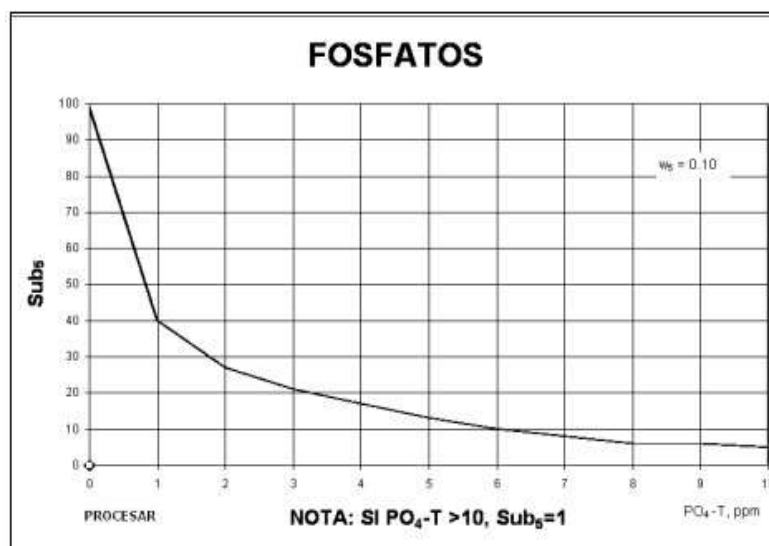


Figura 1.5: Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo

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

ICA-NSF 6.- Turbiedad.

Si la turbidez supera los 100 FAU, el valor de Sub7 se establece en 5. Por otro lado, si la turbidez es inferior a este umbral, se busca el valor correspondiente en el eje X y se interpola para determinar el valor asociado en el eje Y. El resultado obtenido representa el valor de Sub7 de Turbidez, al cual se le aplica un peso w_7 .

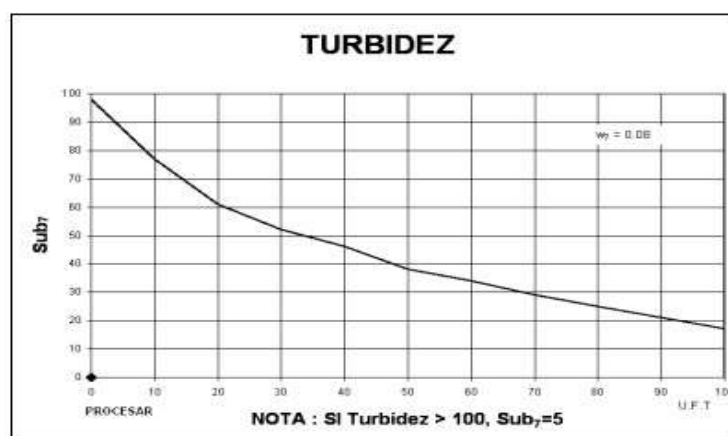


Figura 1.6: Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez

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

ICA-NSF 7.- Sólidos totales disueltos.

Si la concentración de sólidos disueltos totales (TDS) supera los 500 mg/L, el valor de Sub8 se establece en 3. Por otro lado, si la concentración es inferior a este umbral, se busca el valor correspondiente en el eje X y se interpola para determinar el valor asociado en el eje Y. El resultado obtenido representa el valor de Sub8 del Residuo Total, al cual se le aplica un peso w_8 .

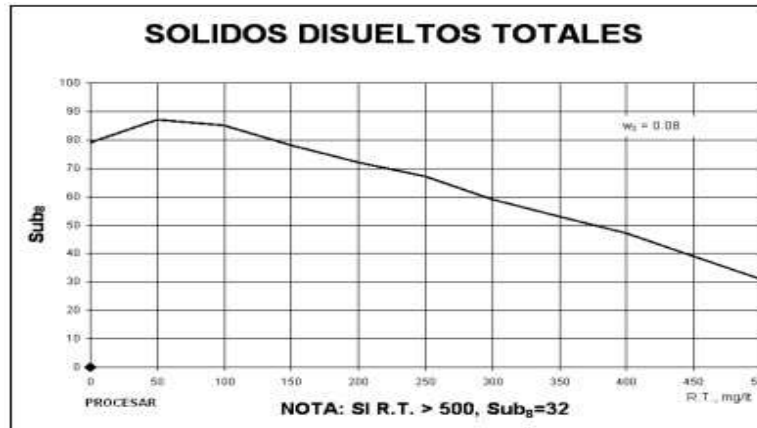


Figura 1.7: Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total

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

ICA-NSF 8.- Oxígeno disuelto.

Para calcular el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto (OD) en el agua, primero es necesario determinar el valor de saturación del OD según la temperatura del agua. Esto se puede hacer mediante tablas o fórmulas que relacionan la concentración máxima de oxígeno disuelto con la temperatura y, en algunos casos, con la salinidad y presión atmosférica.

% ODS: Porcentaje de saturación

Tabla 10: Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce

Temp	OD	Temp	OD	Temp	OD	Temp	OD
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: Autor

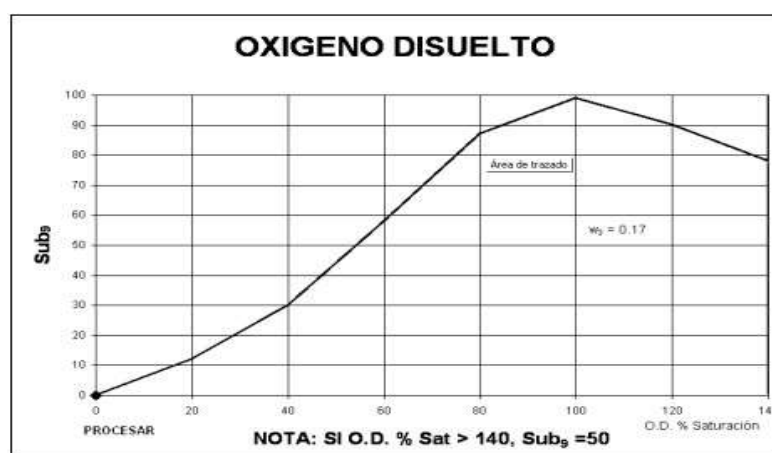


Figura 1.8: Valoración de la calidad de agua en función del % de S.O

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

ICA-NSF 9.- Coliformes fecales.

Si la concentración de coliformes fecales supera los 100,000 Bact/100 mL, el valor de Sub1 se establece en 3. Por otro lado, si la concentración es inferior a este umbral, se busca el valor correspondiente en el eje X y se interpola para determinar el valor asociado en el eje Y, El valor encontrado es el (Sub1) en Coliformes fecales, da como resultado al elevarlo al peso w_1 .

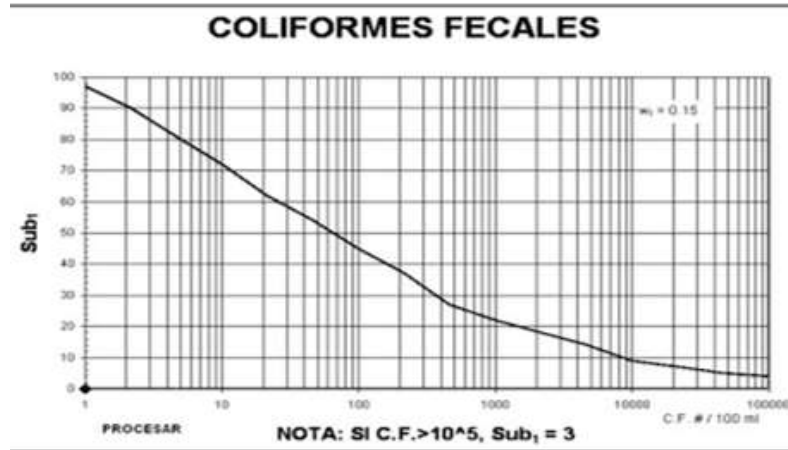


Figura 1.9: Valoración de la calidad del agua en función de Coliformes Fecales
Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

5.3.3. Determinación del Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA).

Este índice permite la valoración de la calidad del agua a través de un grupo restringido de parámetros, lo que lo convierte en una herramienta sencilla de usar y ofrece una perspectiva ágil e intuitiva. No obstante, su sencillez puede ser engañosa por su carácter arbitrario y reduccionista. Para obtener una comprensión más precisa y completa, es recomendable complementarlo con otros índices.

Tabla 11: Metodología del ISQA

INDICE CALIDAD DE AGUA				
INDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DE AGUA ISQA	ITEM	PARAMETRO	UNIDADES	METODO DE ENSAYO
ISQA	1	Temperatura del agua	°C	In-Situ
ISQA	2	DBO5	mg/L	HACH 8000, ED. 10, 2014; Standart Methods Ed. 23,2017
ISQA	3	Conductividad	µS/cm	In-Situ
ISQA	4	Oxígeno disuelto	mg/L	Standart Methods Ed. 23, 2017; 4500 O G
ISQA	5	Solidos totales disueltos	mg/L	Standard Methods Ed. 23, 2017; 2540 C

Elaborado por: Autor

Método para determinar el ISQA.

Este método utiliza cinco parámetros clave: temperatura, Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Estos parámetros se combinan según una fórmula específica para obtener un índice general de calidad del agua.

$$\text{ISQA} = \text{T} * (\text{A} + \text{B} + \text{C} + \text{D})$$

T: se infiere de la temperatura (t) en °C del agua del río.

Puede adquirir valores de 1 a 0,8.

Si $t \leq 20^\circ\text{C}$ entonces $T = 1$

Si $t > 20^\circ\text{C}$ entonces $T = 1 - (t - 20) * 0,0125$

A: se infiere de la oxidabilidad al permanganato (DQO), (a) expresada en mg/l.

Puede adquirir valores de 0 a 30.

Si $a \leq 10$ entonces $A = 30 - a$

Si $60 > a > 10$ entonces $A = 21 - (0,35 * a)$

Si $a > 60$ entonces $A = 0$

B: se infiere a partir de los sólidos suspendidos totales (SST) en mg/l.

Puede adquirir valores de 0 a 25.

Si $\text{SST} \leq 100$ entonces $B = 25 - (0,15 * \text{SST})$

Si $250 > \text{SST} > 100$ entonces $B = 17 - (0,07 * \text{SST})$

Si $\text{SST} > 250$ entonces $B = 0$

C: se infiere a partir del oxígeno disuelto (O₂) en mg/l.

Puede adquirir valores de 0 a 25.

$C = 2,5 * \text{O}_2 \text{ disuelto}$

Si $\text{O}_2 \text{ disuelto} \geq 10$ entonces $C = 25$

D: se infiere de la conductividad eléctrica expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (c) a 18 °C.

Si la conductividad se ha medido a 25°C, para convertirla a 18°C se debe multiplicar por 0,86 los valores de D pueden adquirir valores de 0 a 20.

Si $\text{conductividad} \leq 4000$ entonces $D = (3,6 - \log c) * 15,4$

Si es > 4000 entonces $D = 0$

Interpretación del ISQA.

El índice se basa en el resumen de cinco parámetros físicos y químicos en una escala de 0 a 100 puntos, con las características descritas en la tabla 12.

Tabla 12: Significado de los valores del ISQA

ISQA	CATEGORIA	POSIBLES USOS	PROPIEDADES DEL AGUA	COLOR
91 a 100	Excelente	Todos los usos.	Son aguas muy claras y limpias, aptas para el crecimiento y bienestar de la biodiversidad acuática, se asocian a zonas montañosas y de nacimientos o manantiales.	Azul
71 a 90	Buena	La mayoría de usos, si es usado para consumo humano debe ser tratada previamente	Son aguas claras que todavía son limpias. Favorece la diversidad de la biodiversidad acuática.	Verde
51 a 70	Intermedia	Riego e industria (Restringidos). Su uso involucra tratamientos previos o bien puede ser agua de reúso.	Son aguas sucias que pueden tener coloraciones, malos olores y de mal gusto.	Amarillo
26 a 50	Mala	Riego (restringido y vigilado; para cultivos permanentes arbóreos y según el tipo de riego).	Aguas deterioradas. No es aconsejable su uso para el consumo humano, bajos niveles de oxígeno disuelto que soporten la vida acuática y pueden existir sedimentos con fermentación anaeróbica.	Naranja

0 a 25	Peligrosa	Inadmisible y peligroso.	Son aguas con fermentaciones anaeróbicas por todas partes y puede presentarse una situación global de alta degradación del río. No es aconsejable su uso.	Rojo
--------	-----------	--------------------------	---	------

Fuente: adaptado por INSIVUMEH y el ICC de Prat, Puértolas, & Rieradevall (2008, p. 100); Queralt & Godé (1987, p. 22).

Elaborado por: Autor

5.3.4. Determinación del Índice Holandés de Calidad del Agua (IHCA).

La calidad del agua se puede estimar mediante el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-química del Agua, que utiliza parámetros como el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (PSO), la demanda bioquímica de oxígeno a 5 días (DBO5) y el nitrógeno amoniacal (NH₄⁺-N). La suma total obtenida se traduce en un código cromático que clasifica la calidad del agua según su nivel de contaminación según la tabla 15. Finalmente, el Sistema Holandés clasifica la calidad del agua en cinco clases, desde la Clase 1 hasta la Clase 5, cada una asociada a un color específico que refleja el grado de contaminación, según la tabla 15.

Tabla 13: Metodología del IHCA

INDICE DE CALIDAD DEL AGUA				
INDICE HOLANDES DE CALIDAD DE AGUA IHCA	ITEM	PARAMETRO	UNIDADES	METODO DE ENSAYO
IHCA	1	Oxígeno disuelto	mg/L	Standart Methods Ed. 23, 2017; 4500 O G
IHCA	2	DBO5	mg/L	HACH 8000, ED. 10, 2014; Standart Methods Ed. 23,2017
IHCA	3	Nitrógeno amoniacal	mg/L	Metodo HACH 8038 9a Edicion, 2017

Elaborado por: Autor

Tabla 14. Tabla de asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para cuerpos receptores.

PUNTOS	PSO (%)	DBO (mg/L)	NH4-N (mg/L)
1	91 a 100	≤ 3	≤ 0,50
2	71 a 90 ; 111 a 120	3,1 a 6	0,5 a 1
3	51 a 70 ; 121 a 130	6,1 a 9	1,1 a 2
4	31 a 50	9,1 a 15	2,1 a 5
5	≤ 30 y > 130	> 15	> 5

Fuente: Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica 2007.

Elaborado por: Autor

Tabla 15. Tabla de asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y NH4+-N

Clase	Promedio de puntos	Interpretación de calidad	Código de color
1	3	Sin contaminación	Azul
2	4 a 6	Contaminación insipiente	Verde
3	7 a 9	Contaminación moderada	Amarillo
4	10 a 12	Contaminación severa	Naranja
5	13 a 15	Contaminación muy severa	Rojo

Fuente: Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente de Costa Rica 2007.

Elaborado por: Autor

Para determinar el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto se necesita conocer la siguiente tabla.

Tabla 16: Porcentaje de saturación

COLUMNA	A	B	C	D	E
Lectura en el punto de muestreo	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua (°C)	Presión atmosférica (mm Hg)	100% Oxígeno disuelto (mg/L)	Porcentaje de saturación (%)
				Promedio % =	

A. Registra el dato de oxígeno disuelto dado por el laboratorio.

B. Registra la temperatura del agua.

C. Registra la presión atmosférica de un barómetro o usando la altitud del punto de muestreo.

D. Registra el valor 100% de oxígeno disuelto usando la temperatura medida y la presión atmosférica.

E. Porcentaje de saturación = $A / D \times 10$

5.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.3.1. TÉCNICAS DE MUESTREO Y ANÁLISIS

5.3.2. Métodos De Muestreo

Los métodos de muestreo para el análisis de calidad de agua deben seguir protocolos estandarizados que garanticen la representatividad de las muestras. La selección de puntos de muestreo se realiza considerando factores como accesibilidad, representatividad y potenciales fuentes de contaminación. Los estudios en microcuencas andinas recomiendan establecer al menos tres puntos de muestreo: zona alta, media y baja, con frecuencias de monitoreo mensual para obtener datos estadísticamente significativos. [29]

Las técnicas de muestreo incluyen métodos manuales y automáticos, siendo los manuales los más utilizados en microcuencas por su costo-efectividad y adaptabilidad a condiciones de campo variadas. El volumen de muestra y la profundidad de toma se determinan según los parámetros a analizar y las características del cuerpo de agua. [12]

5.3.3. Preservación De Muestras

La preservación adecuada de las muestras es crucial para mantener la integridad de los parámetros a analizar. Para parámetros físico-químicos, las muestras deben mantenerse refrigeradas a $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ desde su recolección hasta su análisis. Los tiempos máximos de almacenamiento varían según

el parámetro: 24 horas para análisis microbiológicos, 48 horas para DBO5 y hasta 7 días para algunos parámetros químicos. La implementación de preservantes específicos serán necesarios según el tipo de análisis requerido. [12]

5.3.4. Técnicas Analíticas

El uso de las técnicas analíticas debe seguir métodos preestablecidos que internacionalmente sean reconocidos. Los parámetros físicos como temperatura, pH y conductividad se miden in situ utilizando equipos portátiles calibrados. Los análisis químicos más complejos requieren instrumentación especializada en laboratorio, como espectrofotometría para nutrientes y cromatografía para compuestos orgánicos. Los análisis microbiológicos siguen técnicas de filtración por membrana o número más probable. [6]

5.3.5. Control y Aseguramiento De La Calidad

El control de calidad incluye procedimientos internos y externos para garantizar la confiabilidad de los resultados. Los protocolos de aseguramiento de calidad comprenden:

- Calibración regular de equipos e instrumentos
- Uso de blancos y estándares de control
- Análisis de duplicados y muestras fortificadas
- Participación en programas de intercomparación entre laboratorios
- Documentación detallada de procedimientos y resultados

Las investigaciones recientes indican que la implementación rigurosa de estos protocolos reduce en un 85% la incertidumbre en los resultados analíticos. [15]

5.3.6. Metodologías de Laboratorio.

Tabla 17. Metodologías utilizadas en el análisis de laboratorio

ITEM	PARAMETRO	UNIDADES	METODO DE ENSAYO
1	DBO5	mg/L	HACH 8000, ED. 10, 2014; Standart Methods Ed. 23,2017
2	DQO	mg/L	Standart Methods 24 Ed.23; Metodo 5220 D
3	Fosfatos totales	mg/L	HACH 8048, ED. 10,2017

4	Nitratos	mg/L	HACH 8192, ED. 11, 2019
5	Oxígeno disuelto	mg/L	Standart Methods Ed. 23, 2017; 4500 O G
6	PH	UpH	Stards Methods Ed. 23, 2017; 4500 H B
7	Nitrógeno amoniacal	mg/L	Metodo HACH 8038 9a Edicion, 2017
8	Solidos totales disueltos	mg/L	Standard Methods Ed. 23, 2017; 2540 C
9	Turbiedad	NTU	Standard Methods Ed. 23, 2017; 2130 B
10	Coliformes fecales	NMP/100ml	APHA 9221 B, ED. 24,2023

Elaborado por: Autor

El análisis de la calidad del agua es uno de los factores principales que sustenta las características necesarias para el uso de diversas actividades productivas.

5.4. Metodologías para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA).

De acuerdo al cuadro comparativo desarrollado, se establece las metodologías empleadas para la evaluación de la calidad del agua de acuerdo a parámetros empleados, usos principales y limitaciones que conlleva cada metodología. Es por ello que, para la presente investigación se emplea las metodologías ICA-NSF, ISQA, IHCA, ya que estos índices son ampliamente utilizados para la determinación del comportamiento de la calidad del agua en tramos particulares del río a través del tiempo, a su vez estas metodologías se basan en criterios rigurosos para la evaluación integral y confiable de la calidad del agua, su facilidad de uso, orientación para la mejora y aplicabilidad a diferentes contextos, lo cual lo hace versátil y adaptable a diversas necesidades y situaciones de estudio.

Tabla 18: Cuadro comparativo de metodologías para la determinación del ICA

INDICE	Índice de la fundación nacional de saneamiento (ICA-	Índice simplificado general de	Índice holandés de calidad de agua (IHCA)
DESCRIPCION	Índice multiparámetros que utiliza 9 parámetros para determinar la calidad del agua.	Evaluación de la calidad del agua basada en 5 parámetros fisicoquímicos.	Evaluación de la calidad del agua superficial basada en DBO5, N-NH4+, PSO.
PARAMETROS UTILIZADOS	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	DQO, solidos totales, oxígeno disuelto, conductividad, y temperatura H2O.	DBO5, N-NH4+, PSO
PONDERACION	De 0 a 100	De 0 a 100	De 0 a 100
USOS PRINCIPALES	Determinación de la contaminación en diferentes puntos	Evaluación de la idoneidad del agua para consumo humano y otros usos específicos.	Evaluación de la calidad del agua superficial.
LIMITACIONES	No contempla otros aspectos socio-ambientales.	Necesidad de ser complementado con otros índices para obtener una visión más	No toma en cuenta otros parámetros relevantes que pueden afectar la

Elaborado por: Autor

5.5. Caracterización de la microcuenca del río Alaquez 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), el factor de compacidad utilizando la ecuación (2), y la densidad de drenaje se obtuvo con el software QGIS.

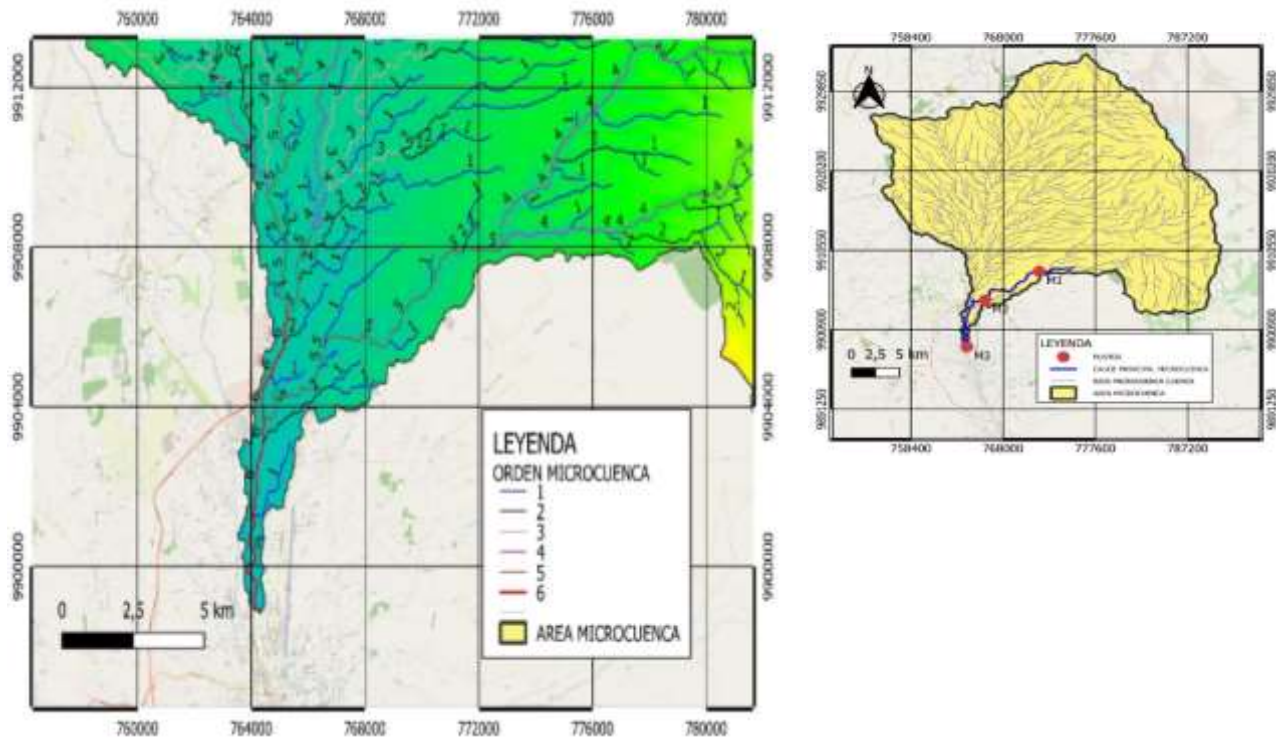


Figura 7: Orden de la microcuenca del río Alaquez.

Elaborado por: Autor

5.5.1. Muestreo

Para la toma de muestras en la microcuenca, se siguió la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013, que establece las técnicas de muestreo para evaluar la calidad del agua. El procedimiento utilizado incluyó el empleo de materiales adecuados y técnicas específicas para recolectar muestras representativas.

- Para la toma de la muestra se debe ubicar en la parte central del río, dado que la homogeneidad es mayor y proporciona una mejor evaluación de los parámetros físico – químico y microbiológico del agua.
- A su vez, la muestra debe ser tomada a una profundidad media del río y en contra de la corriente del cuerpo hídrico.
- Antes de tomar las muestras, se realizó la homogeneización de las botellas. Esto implicó lavarlas tres veces con el agua del cuerpo hídrico mismo, con el objetivo de prevenir cualquier contaminación causada por factores externos.
- Para la recolección del volumen total de agua, se utilizaron botellas de ámbar. Por otro lado, las muestras destinadas al análisis microbiológico fueron recolectadas en frascos de polietileno que se cerraron herméticamente para evitar el contacto con el aire.

Tabla 19: Descripción de los materiales empleados para la toma de muestras

N#	UNIDAD	MATERIALES	DESCRIPCION
3	U	Recipiente	Plásticos con diferente capacidad de almacenamiento
3	Pares	Guantes quirúrgicos	Látex
3	U	Embaces	Polietileno de un litro
1	U	Mandil	Talla N 40
1	U	Materiales de oficina	Cuaderno, esferos, cinta adhesiva
1	U	Cámara	2 megapíxeles
1	U	Medidor multiparamétrico	Parámetros, pH, temperatura, S. totales
1	U	Hielera portátil	Conservación de muestras

Elaborado por: Autor

5.5.2. Análisis de muestras de agua

a) Mediciones “in situ”

Con la ayuda del medidor multiparamétrico de PH y EC marca HANNA HI 9829, se realizó la toma de los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura del agua, conductividad, sólidos y pH. Además, se registró la medición de la temperatura ambiente. Anterior a la medición el equipo fue previamente revisado y calibrado para el uso y aplicación para 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.
- Este procedimiento se replicó con la toma de muestras en los tres puntos.

- Finalmente, se conservó las muestras en una hielera para su respectivo traslado.

Por lo tanto, en la **Tabla 20** se observa los resultados obtenidos mediante el muestreo in situ de los parámetros pH, temperatura del agua, conductividad, sólidos y temperatura ambiental determinados a través del medidor portátil, presentando valores de variabilidad en los tres puntos de muestreo de la microcuenca Alaquez.

Tabla 20: Resultados obtenidos mediante el muestreo in-situ

PUNTOS DE MUESTREO	PARAMETROS	UNIDAD	VALORES
Cuenca Alta M1	PH	upH	8,03
	Temperatura del agua	°C	11,9
	Conductividad	μS/cm	0,13
	Solidos	mg/L	0,48
	Temperatura ambiental	°C	12,9
Cuenca media M2	PH	upH	7,42
	Temperatura del agua	°C	14,1
	Conductividad	μS/cm	0,17
	Solidos	mg/L	0,34
	Temperatura ambiental	°C	16,2
Cuenca Baja M3	PH	upH	7,95
	Temperatura del agua	°C	16,8
	Conductividad	μS/cm	0,22
	Solidos	mg/L	0,44
	Temperatura ambiental	°C	21,7

Elaborado por: Autor

b) Análisis de agua en el laboratorio

Para el transporte de las muestras tomadas hacia el laboratorio acreditado, y el posterior análisis de los parámetros físico – químicos, y microbiológicos de la microcuenca Alaquez se realizó con la ayuda de nuestro equipo portátil.

5.5.2. Comportamiento de la calidad del Agua en la microcuenca Alaquez

El nivel de comportamiento y variación de la calidad del agua de la microcuenca Alaquez, cambia de acuerdo al grado de exposición a contaminantes que existe a las riberas del río esto causado por la intervención de actividades antropogénicas. De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla mediante la recolección de muestras en base a los parámetros físico – químico y microbiológico de las metodologías del ICA-NSF, ISQA, IHCA se describe la variación de datos en tres partes del cauce del río.

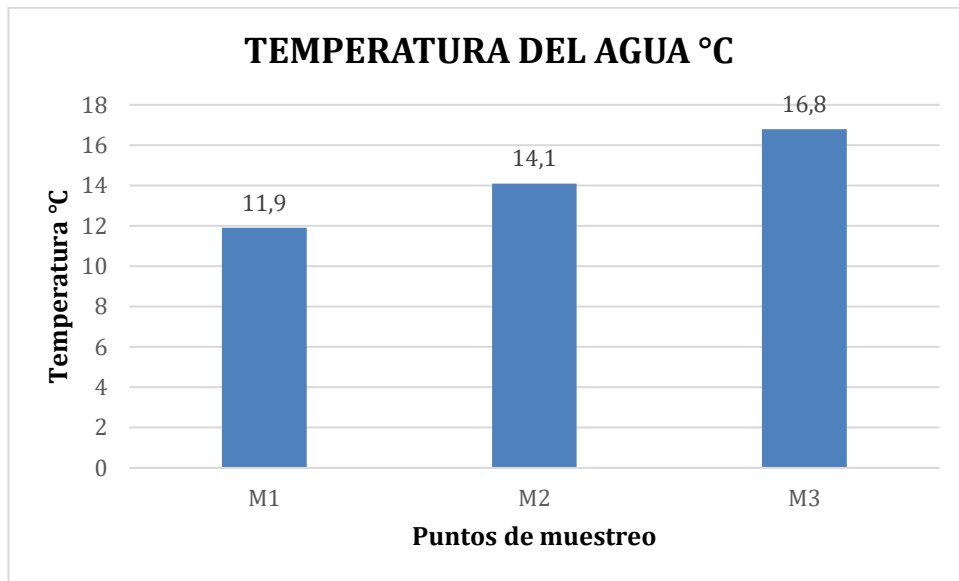
Tabla 21: Parámetros físico - químicos y microbiológico (resultados de laboratorio)

PARAMETROS	UNIDADES	CUENCA ALTA M1	CUENCA MEDIA M2	CUENCA BAJA M3
Temperatura del agua	°C	11,9	14,1	16,8
Turbidez	NTU	173	282	176
Sólidos totales disueltos	mg/l	0,12	0,17	0,26
pH	UpH	8,25	7,43	7,73
Nitratos	mg/l	0,2	0,9	3,8
Fosfatos	mg/l	0	0	0
Oxígeno disuelto	mg/l	0,8	0,68	1,63
DBO5	mg/l	69,1	78,32	70,14
Coliformes fecales	Bac/100ml	89	1250	>2420
DQO	mg/l	6	7	21
Nitrógeno amoniacal N-NH4	mg/l	0,07	0,12	<0

Elaborado por: Autor

5.5.5. Variación de los parámetros físicos.

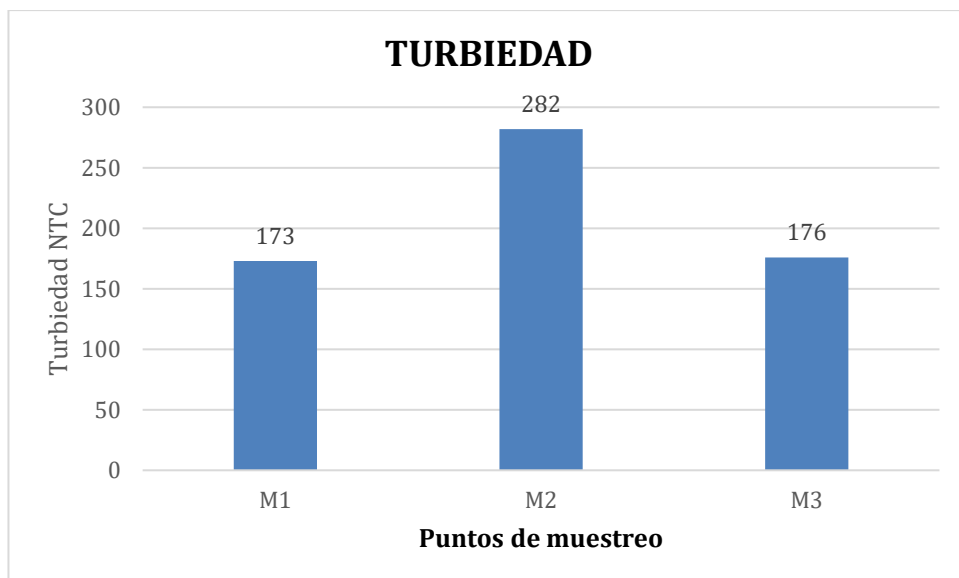
Temperatura del agua °C.



Elaborado por: Autor

De acuerdo con los resultados, se aprecia la variación ascendente de la temperatura en los 3 puntos de muestreo, influenciada por la altitud de cada ubicación y el momento de recolección de las muestras. Se destaca que, en el mes de diciembre, particularmente en la cuenca baja nos da una lectura de 16,8 °C, mientras que el valor mínimo registrado durante el muestreo corresponde a la cuenca alta, con una temperatura de 11,9 °C en el mismo mes.

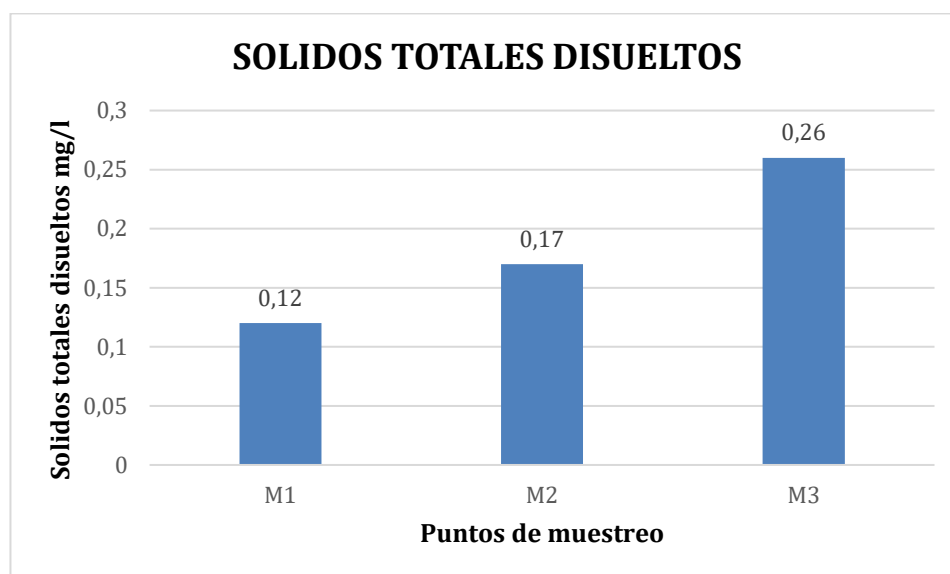
Turbidez NTU.



Elaborado por: Autor

Según los resultados se aprecia un aumento progresivo de la cuenca alta con 173 NTU con respecto a la cuenca media con 282 NTU y una disminución en la cuenca baja 176 NTU en los valores de turbidez. 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.

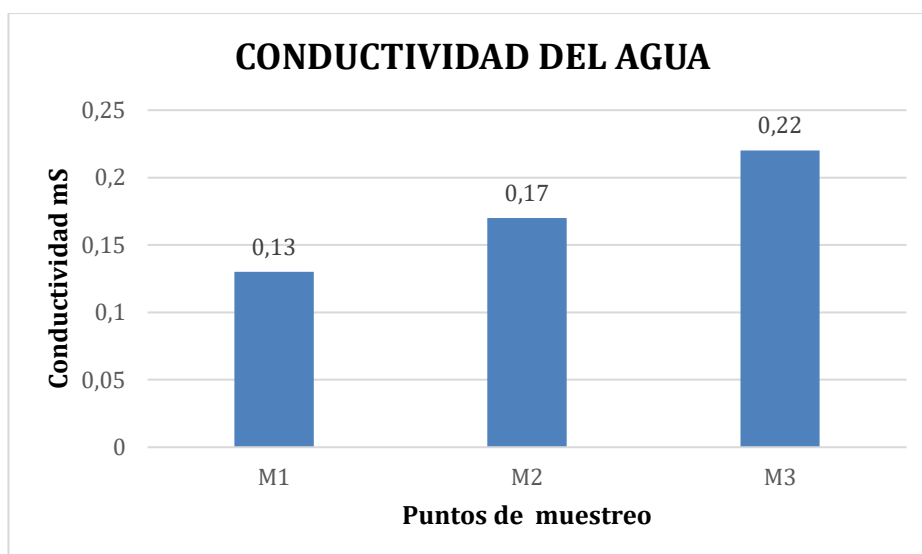
Solidos Totales Disueltos mg/l.



Elaborado por: Autor

Con los datos obtenidos, se observa un incremento especialmente en la cuenca baja con 0,26 mg/l, seguido por la cuenca media con 0,17 mg/l finalmente en la cuenca alta con 0,12 mg/l. Estos resultados reflejan la presencia de minerales y otras sustancias disueltos en el agua, influenciadas por las actividades humanas.

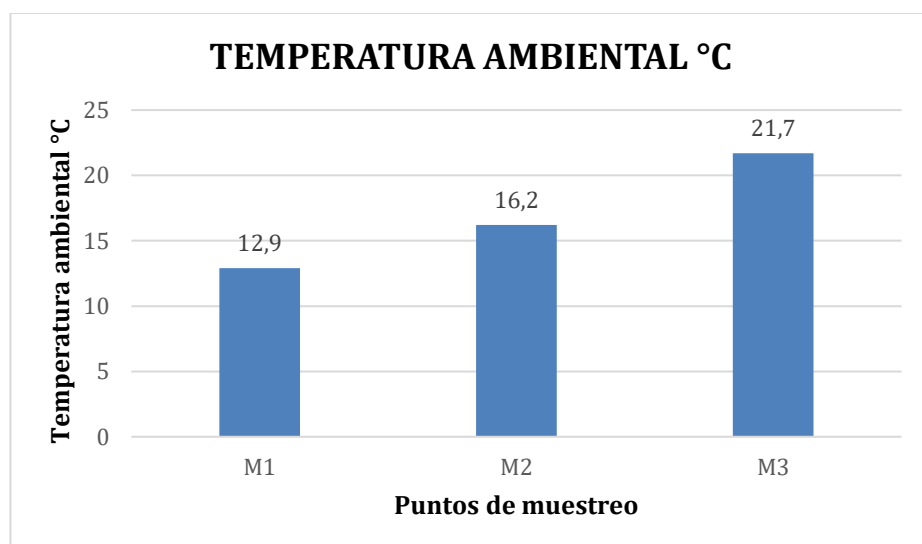
Conductividad mS.



Elaborado por: Autor

Según los datos obtenidos, se observa un incremento descendente desde la en la cuenca baja con 0,22 mg/l, seguido por la cuenca media con 0,17 mg/l finalmente en la cuenca alta con 0,13 mg/l. La conductividad en el agua es la medida de su capacidad para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos.

Temperatura ambiental °C.

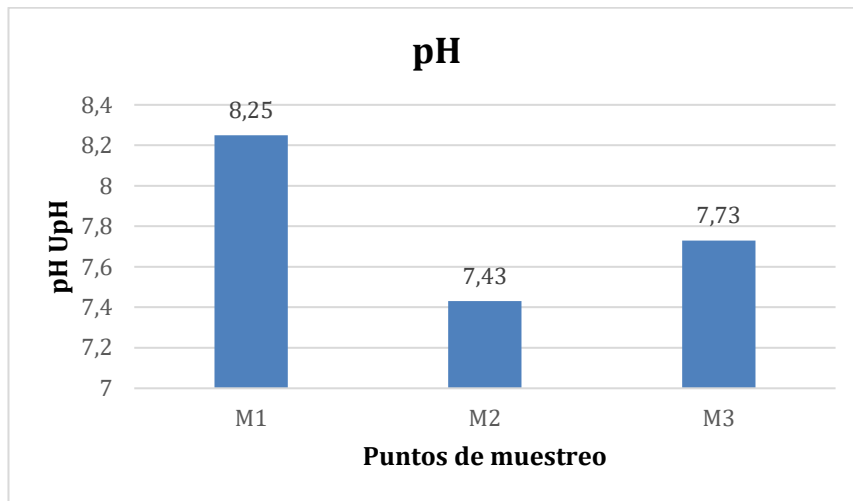


Elaborado por: Autor

Observando los resultados, se aprecia la variación ascendente de la temperatura en los 3 puntos de monitoreo, esta variación es producto de la ubicación y altitud de cada punto de muestreo, en la cuenca alta nos da una lectura de 12,9 °C, mientras que la cuenca media nos da el valor de 16,2 °C, y finalmente en la cuenca baja nos da una temperatura de 21,7 °C.

5.5.6. Variación de los parámetros químicos.

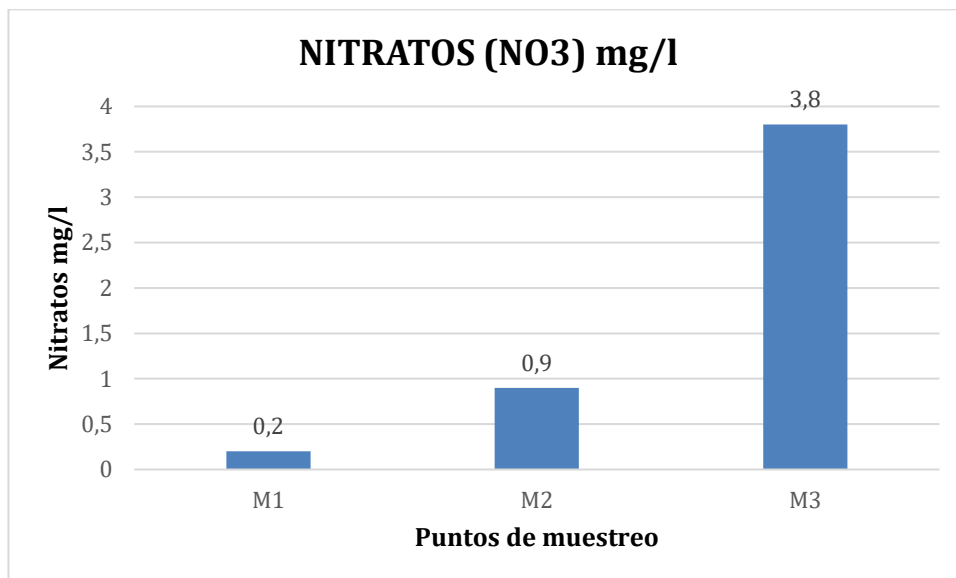
pH UpH.



Elaborado por: Autor

Según la gráfica de los resultados, se puede evidenciar valores diferentes en los tres puntos de muestreo, en la cuenca alta nos da un pH de 8,25 UpH mientras que en la cuenca media el valor desciende a 7,43 UpH y finalmente en la cuenca baja el valor del Ph vuelve a ascender a 7,73 UpH. A pesar de estas variaciones los valores están dentro de 7 y 8,5 se consideran entre el rango permisible adecuado para que se pueda dar normalmente los procesos biológicos y preservación de la flora y fauna acuática.

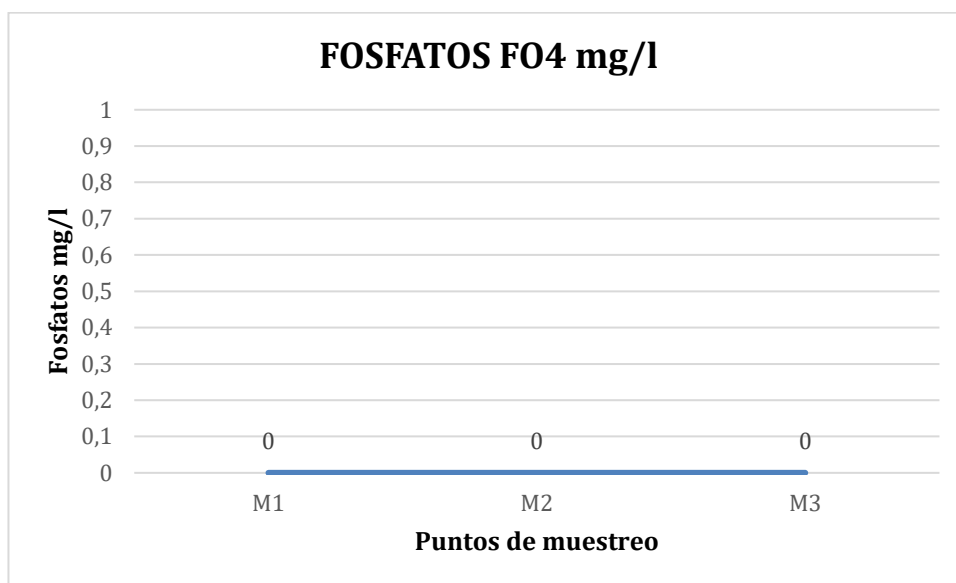
Nitratos (NO₃) mg/l



Elaborado por: Autor

Se puede observar que los niveles de nitrato varían de forma ascendente en los diferentes puntos de la microcuenca, empezando por la cuenca alta con un valor de 0,2 mg/l (concentración baja), en la cuenca media 0,9 mg/l (concentración baja) y en la cuenca baja un valor de 3,8 mg/l. 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 3,8 mg/l lo que muestra un incremento de nitratos a lo largo de la microcuenca.

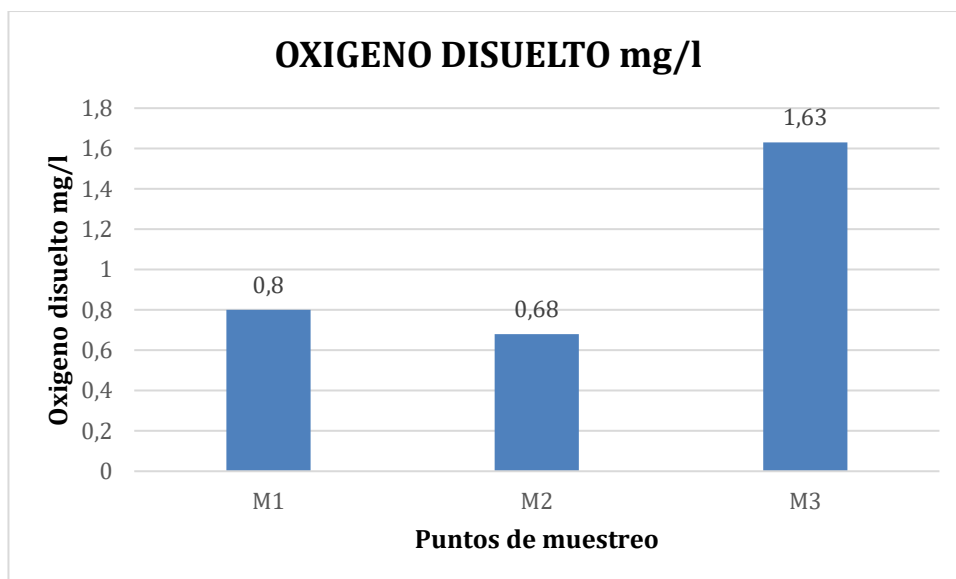
Fosfatos (FO4) mg/l



Elaborado por: Autor

De acuerdo con los datos obtenidos los niveles de fosfatos totales indican un valor de cero en todos los puntos de muestreo.

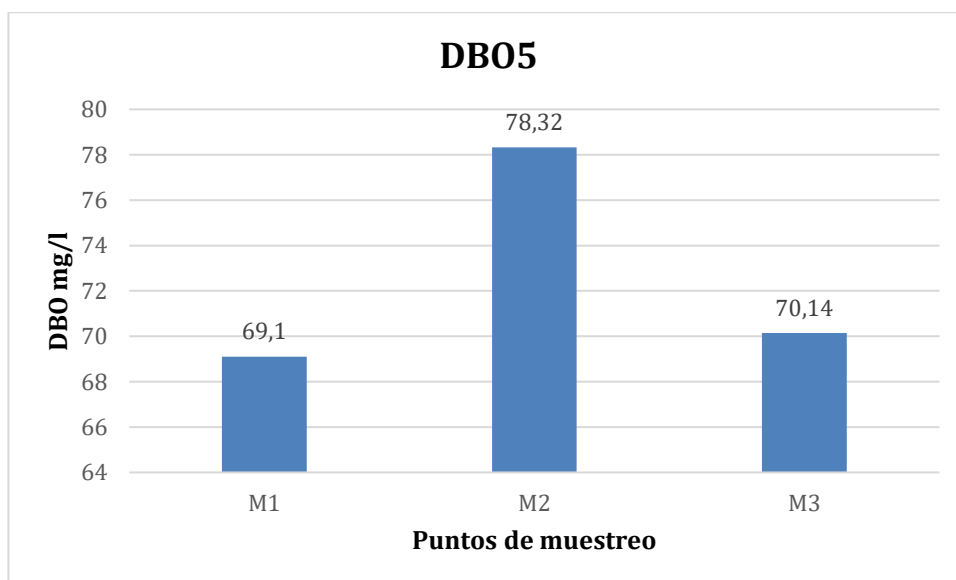
Oxígeno Disuelto mg/l



Elaborado por: Autor

La grafica revela la acumulación de oxígeno disuelto en diferentes puntos de la microcuenca, en la cuenca alta se registra una acumulación con un valor 0,8 mg/l, mientras que en la cuenca media la concentración es ligeramente baja con 0,68 mg/l y la cuenca baja la concentración es de 1,63 mg/l, debido posiblemente a la entrada de afluentes adicionales.

DBO5 mg/l.

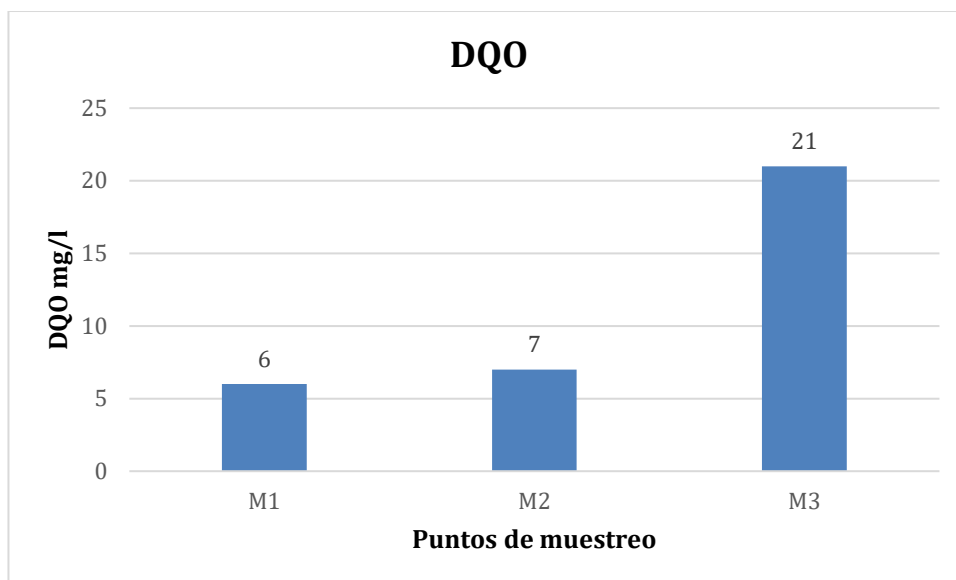


Elaborado por: Autor

Se puede observar que los niveles de DBO5 son imparciales, en la cuenca alta se determinó un valor de 69,1 mg/l en cuanto a la cuenca baja se tiene un valor de 70,14 mg/l, destacando un rango de concentración más alta en la cuenca media con un valor máximo registrado de 78,32 mg/l. Por

lo tanto, cuanto mayor sea el DBO5 mayor es el exceso de materia orgánica degradable, asimismo se establece que las aguas residuales domesticas de las comunidades incrementan la acumulación de DBO5 en los ríos.

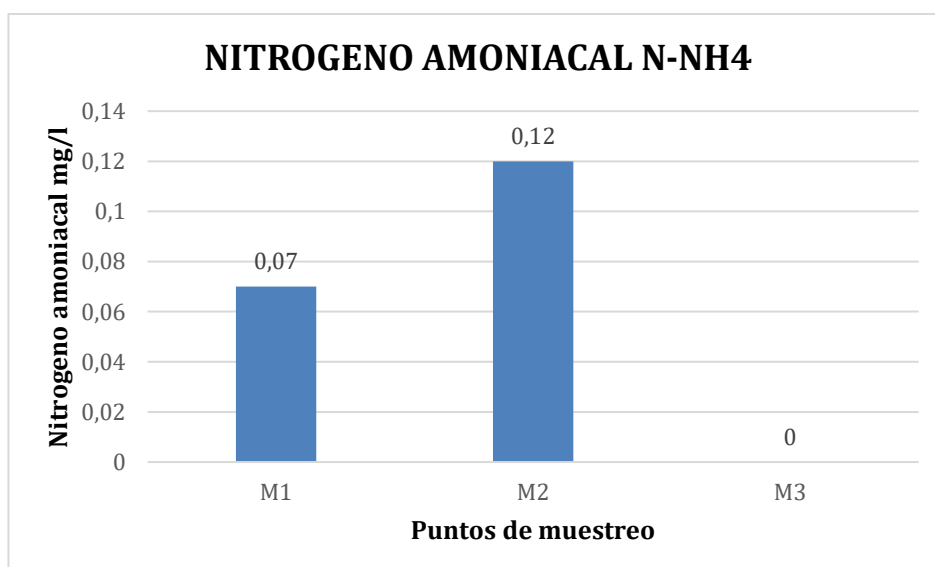
DQO mg/l.



Elaborado por: Autor

La grafica nos da a conocer los niveles de DQO, valores ascendentes, en la cuenca alta se determinó un valor de 6mg/l en la cuenca media se tiene un valor de 7mg/l, destacando un rango de concentración más alto en la cuenca baja un valor máximo registrado de 21mg/l.

NITROGENO AMONIAICAL N-NH₄ mg/l.

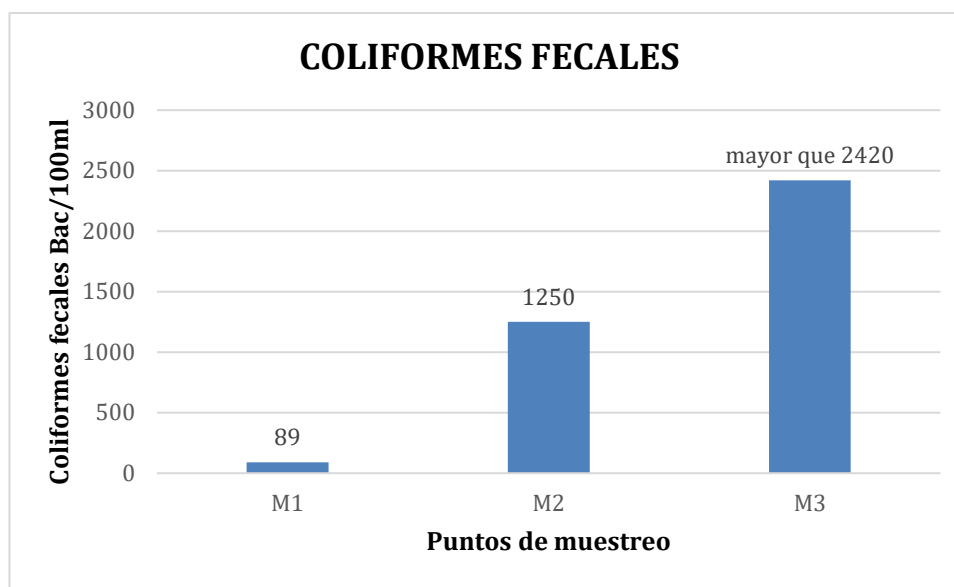


Elaborado por: Autor

Según la gráfica se logra determinar una ligera variación y ponderación con respecto al nitrógeno amoniacal en los tres puntos de muestreo, cuenca alta un valor de 0,07 mg/l, cuenca media 0,12 mg/l, mientras que en la cuenca baja no existe valor para el N-NH₄.

5.5.7. Variación de los parámetros microbiológicos.

Coliformes Fecales Bac/100ml



Elaborado por: Autor

Se observa un incremento en los niveles de coliformes fecales en la microcuenca, con concentraciones que varían entre 89 Bac/100ml en la zona alta, 1250 Bac/100ml en la zona media y >2420 Bac/100ml en la zona baja. Este aumento significativo es generado por las actividades ganaderas, las descargas de aguas residuales durante toda la trayectoria de la microcuenca Alaquez.

5.5.8. Aplicación y cálculo de la metodología ICA-NSF

Mediante la toma de muestras y posterior análisis hechos en el laboratorio y con la obtención de los resultados, se aplicó la metodología NSF para determinar el grado de contaminación del agua utilizando la ecuación (4) propuesta por Brown.

Cuenca Alta “Quebrada Gallinazohuaicu”

Óxido disuelto

Para el cálculo del valor del oxígeno disuelto, se determinó a partir de la temperatura de la muestra y el porcentaje de oxígeno disuelto saturado, ya que esto permitió la obtención del Subi requerido

para la multiplicación con el peso relativo y así generar el valor del parámetro evaluado. Por lo tanto, se explica el procedimiento de la obtención del valor del parámetro.

Procedimiento

Para determinar el oxígeno disuelto saturado, se empleó la Tabla 8 y la ecuación (6) basada en la temperatura descrita en la metodología, una vez obtenido este valor, se calculó el porcentaje de oxígeno disuelto saturado (ver Tabla 22). Luego, se realizó una interpolación para obtener el resultado del parámetro nombrado.

Tabla 22: Cálculo del porcentaje de Oxígeno Disuelto.

Cuenca Alta M1	Temperatura de muestra °C	Oxígeno disuelto saturado	% Oxígeno disuelto saturado
0,8	11,9	10,96	7,29

Elaborado por: Autor

Interpolación

Para los valores se empleó según lo descrito en la metodología para obtener los valores necesarios para la interpolación y determinar el Subi. Luego, se multiplicó este valor por el peso relativo correspondiente al parámetro, permitiendo así calcular el índice de calidad del oxígeno disuelto, como se presenta en la Tabla 22.

$$y = 2,5 + \frac{(7,29 - 5)}{(10 - 5)} (5 - 2,5)$$

$$y = 3,64$$

Cuenca alta “Quebrada Gallinazohuaicu”

Tabla 23: Resultado aplicación del ICA-NSF en la cuenca alta “Quebrada Gallinazohuaicu”.

PARAMETROS	M1	ICA parcial	Peso relativo	Total
DBO5	69,1	2,0	0,10	0,2
Fosfatos totales	0	99,00	0,10	9,9
Nitratos	0,2	92,00	0,10	9,2
Oxígeno disuelto	0,8	3,64	0,17	0,6188
pH	8,25	80,00	0,12	9,6
Cambio de temperatura	1	81,00	0,10	8,1

Sólidos totales disueltos	0,12	79,00	0,08	6,32
Turbidez	173	5,00	0,08	0,4
Coliformes fecales	89	46,0	0,15	6,9
			1,00	
ICA	51,2388			
C. AGUA	Regular			

Elaborado por: Autor

Como se puede visualizar los valores determinados en la Tabla 23 se obtuvo un resultado de 51,2388 del índice de calidad del agua en la cuenca alta, reportando así una calidad de agua REGULAR, esto muestra que, en el primer punto 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 las zonas aledañas al punto de muestreo en la microcuenca.

Cuenca media “Puente rio Alaquez (Ruta Alaquez – Av. Miguel Iturralde)”

Tabla 24: Resultado aplicación del ICA-NSF en la cuenca media “Puente rio Alaquez (Ruta Alaquez – Av. Miguel Iturralde)”.

PARAMETROS	Cuenca Media M2	ICA parcial	Peso relativo	Total
DBO5	78,32	2,0	0,10	0,200
Fosfatos totales	0	99	0,10	9,900
Nitratos	0,9	90,00	0,10	9,000
Oxígeno disuelto	0,68	2,50	0,17	0,425
pH	7,43	92	0,12	11,040
Cambio de temperatura	2,1	73,00	0,10	7,300
Sólidos totales disueltos	0,17	79,5	0,08	6,360
Turbidez	282	5,00	0,08	0,400
Coliformes fecales	1250	20	0,15	3,000

ICA	47,625
C. AGUA	Mala

Elaborado por: Autor

Analizando los valores obtenidos en la Tabla 24 se determinó un resultado de 47,625 reportando una calidad de agua MALA, se identificó un valor de oxígeno disuelto de 0,68, afectado por la llegada de afluentes adicionales y una mayor actividad biológica. Los coliformes fecales presentaron un valor de 1250, probablemente de actividades ganaderas, vertidos de aguas residuales y prácticas agrícolas. El pH registrado es de 7,43, 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, se debe principalmente a la concentración de fertilizantes en la zona, esto nos orilla a determinar que en el segundo punto de muestreo existen problemas de contaminación por aguas servidas producto de actividades antropogénicas, aguas industriales sin previo tratamiento y con descargas directas al río Alaquez.

Cuenca baja “Puente Av. Javier Espinosa”

Tabla 25: Resultado aplicación del ICA-NSF en la cuenca baja “Puente Av. Javier Espinosa”

PARAMETROS	Cuenca Baja		Peso relativo	Total
	M3	ICA parcial		
DBO5	70,14	2,0	0,10	0,2
Fosfatos totales	0,0	99	0,10	9,9
Nitratos	3,80	78,00	0,10	7,8
Oxigeno disuelto	1,63	7,50	0,17	1,275
pH	7,73	89,00	0,12	10,68
Cambio de temperatura	4,90	45,00	0,10	4,5
Sólidos totales disueltos	0,3	80	0,08	6,4
Turbidez	176,0	5,00	0,08	0,4
Coliformes fecales	2420,00	9,90	0,15	1,485

ICA	42,64
C. AGUA	Mala

Elaborado por: Autor

Mediante los valores señalados en la Tabla 25, en la cual se identifica un resultado de 42,64 reportando una calidad de agua MALA, en el tercer punto de muestreo los parámetros indican una alta cantidad de contaminantes como resultado de la influencia de actividades humanas, la agricultura intensiva, y la urbanización, este nivel de contaminación suele ser más pronunciado 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 los puntos altos y a lo largo de la trayectoria de la microcuenca.

5.5.9. Determinación del ICA-NSF en la microcuenca del Rio Alaquez

Como se puede apreciar en la Tabla 26 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 clasifica como REGULAR con un valor de 51,2388 que se le representa mediante el color amarillo indicando que la contaminación no es significativa, en la Muestra 2 ubicado en el puente rio Alaquez, la calidad de agua se categorizo como MALA con un valor de 47,625 que se le representa mediante el color naranja indicando que la contaminación es mayor, dado que la microcuenca pasa por una zona poblada lo que genera más contaminación debido a las descargas de aguas residuales de las viviendas aledañas al rio, así mismo en la Muestra 3 que se encuentra ubicado en el Puente Av. Javier Espinosa, se categorizo como MALA con un valor de 42,64, otorgándole el color naranja.

Tabla 26: Resultados de la aplicación del ICA-NSF en los tres puntos de muestreo.

PUNTOS DE MUESTREO	CATEGORIA	TOTAL	COLOR
Cuenca alta “Quebrada Gallinazohuaicu” M1	Regular	51,2388	Amarillo
Cuenca media “Puente rio Alaquez (Ruta	Mala	47,625	Naranja

Alaquez – Av. Miguel Iturralde)” M2			
Cuenca baja “Puente Av. Javier Espinosa” M3	Mala	42,64	Naranja
ICA-NSF Microcuenca Alaquez	Mala	47,168	Naranja

Elaborado por: Autor

Posteriormente en la Tabla 26 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 Alaquez.

5.5.10. Aplicación y cálculo de la metodología de ISQA

Mediante la toma de muestras y posterior análisis hechos en el laboratorio y con la obtención de los resultados, se aplicó la metodología ISQA para determinar el grado de contaminación del agua utilizando la ecuación (5)

$$ISQA = T * (A + B + C + D)$$

Cuenca alta “Quebrada Gallinazohuaicu”.

Procedimiento

Para determinar el índice de calidad de agua se requiere tener la tabla de los parámetros analizados con sus respectivos datos obtenidos en la muestra uno de la cuenca alta, para posteriormente remplazarlos en la ecuación presentada anteriormente.

Tabla 27: Cálculo del porcentaje de saturación del oxígeno en M1

Cuenca alta	Temperatura del agua °C	Demanda química de oxígeno	Sólidos totales disueltos	Oxígeno disuelto	Conductividad eléctrica
Quebrada Gallinazohuaicu	11,9	6	0,12	0,8	0,13
M1	T	A	B	C	D

Elaborado por: Autor

Interpolación

Para determinar los valores de cada ítem se empleó la metodología descrita en el ISQA conjuntamente con la tabla de parámetros y sus respectivas lecturas, para posteriormente con la ayuda de la ecuación determinar el índice de calidad de agua de la cuenca alta y dar su ponderación.

$$\text{ISQA} = T * (\text{A} + \text{B} + \text{C} + \text{D})$$

$$\text{ISQA} = 1 * ((30 - 6) + (25 - (0,15 * 0,12)) + (2,5 * 0,8) + ((3,6 - \ln(2,5 * 0,8)) * 15,4))$$

$$\text{ISQA} = 63,49$$

Resultado de aplicación del ISQA en la cuenca alta “Quebrada Gallinazohuaicu”.

ICA	63,49
C. AGUA	Intermedia

Como se puede visualizar, el valor que se obtuvo es de 63,49 del índice de calidad del agua en la cuenca alta, reportando así una calidad de agua INTERMEDIA, esto muestra que, en el primer punto de muestreo, se evidencia influencia de actividad biológica en la calidad del agua, esto se puede derivar de desechos agrícolas, y de la ganadería.

Cuenca media “Puente rio Alaquez (Ruta Alaquez – Av. Miguel Iturralde)”

Tabla 28: Cálculo porcentaje de saturación del oxígeno en M2

Cuenca media	Temperatura del agua °C	Demanda química de oxígeno	Sólidos totales disueltos	Oxígeno disuelto	Conductividad eléctrica
Puente rio Alaquez (Ruta Alaquez – Av. Miguel Iturralde)	14,1	7	0,17	0,68	0,17
M2	T	A	B	C	D

Elaborado por: Autor

Resultado de aplicación del ISQA en la cuenca media “Puente rio Alaquez (Ruta Alaquez – Av. Miguel Iturralde)”.

ICA	60,64
-----	-------

C. AGUA **Intermedia**

Como se puede visualizar los datos por cada parámetro que fueron registrados a partir del análisis del agua en el laboratorio para la segunda muestra de la microcuenca Alaquez, una vez ya analizados nos da un valor de 60,64 en el cálculo del índice de calidad del agua ISQA, por lo cual se a determinado una calidad de agua INTERMEDIA, representado por el color amarillo en la cuenca media.

Cuenca baja “Puente Av. Javier Espinosa”

Tabla 29: Cálculo porcentaje de saturación del oxígeno en M3

Cuenca baja	Temperatura del agua °C	Demanda química de oxígeno	Solidos totales disueltos	Oxígeno disuelto	Conductividad eléctrica
Puente Av. Javier Espinosa	16,8	21	0,26	1,63	0,22
M3	T	A	B	C	D

Elaborado por: Autor

Resultado de aplicación del ISQA en la cuenca baja “Puente Av. Javier Espinosa”

ICA	59,87
C. AGUA	Intermedia

El índice de calidad de agua ISQA en la cuenca baja nos da como resultado un valor de 59,87 lo cual otorga una valoración de calidad de agua INTERMEDIA con su respectivo color amarillo, como se puede observar en los resultados obtenidos anteriormente.

4.5.10. Determinación del ISQA en la microcuenca del Rio Alaquez

Como se puede evidenciar en la Tabla 26 en la que se plasma el promedio de los índices de calidad de agua para cada punto de muestreo de la microcuenca, los cuales están representados por colores y su ponderación. En la Muestra 1 con los resultados obtenidos, la calidad de agua da un valor de 63,49 que se le representa mediante el color amarillo indicando que la contaminación no es significativa, en la Muestra 2 ubicado en el puente rio Alaquez, la calidad de agua da un valor de 60,64 que se le representa mediante el color amarillo, así mismo en la Muestra 3 que se encuentra ubicado en el Puente Av. Javier Espinosa, da un valor de 59,87, todos los valores

obtenidos son diferentes pero se mantienen dentro de la clasificación de aguas con contaminación intermedia, compartiendo así el color amarillo.

Tabla 30: Resultados de la aplicación del ISQA en los tres puntos de muestreo.

PUNTOS DE MUESTREO	CATEGORIA	TOTAL	COLOR
Cuenca alta “Quebrada Gallinazohuaicu” M1	Intermedia	63,49	Amarillo
Cuenca media “Puente río Alaquez (Ruta Alaquez – Av. Miguel Iturralde)” M2	Intermedia	60,64	Amarillo
Cuenca baja “Puente Av. Javier Espinosa” M3	Intermedia	59,87	Amarillo
ISQA Microcuenca Alaquez	Intermedia	61,333	Amarillo

Elaborado por: Autor

Posteriormente en la Tabla 30 se puede visualizar la categorización en cada muestra correspondiente a los resultados obtenidos según el ISQA, lo que permite determinar el grado de calidad de agua de la microcuenca del río Alaquez.

4.5.12. Aplicación y cálculo de la metodología de IHCA

Mediante la toma de muestras y posterior análisis hechos en el laboratorio y con la obtención de los resultados, se aplicó la metodología IHCA para determinar el grado de contaminación del agua.

Procedimiento

Para poder determinar el índice de calidad de agua se requiere determinar el porcentaje de saturación del oxígeno en los tres puntos de muestreo de la microcuenca Alaquez.

Tabla 31: Cálculo del porcentaje de saturación de oxígeno

	A	B	C	D	E
Microcuenca Alaquez	Oxígeno disuelto mg/l	Temperatura del agua °C	Presión atmosférica mmHg	100% Oxígeno disuelto mg/l	Porcentaje de saturación %
Cuenca alta M1	0,8	11,9	527	7,5	11%
Cuenca media M2	0,68	14,1	536	7,55	9%
Cuenca baja M3	1,63	16,8	541	6,97	24%

Elaborado por: Autor

La suma de puntos obtenida se traduce en un código de colores que clasifica la calidad del agua del cuerpo receptor según su nivel de contaminación. Este sistema utiliza colores para indicar el estado de calidad, donde cada color corresponde a un rango específico de contaminación. (Tabla 32).

Tabla 32: Tabla de asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para cuerpos receptores.

Microcuenca Alaquez	Porcentaje de saturación %	Puntos	Demanda bioquímica de oxígeno mg/L	Puntos	Nitrógeno amoniacal mg/L	Puntos
Cuenca alta M1	11%	5	69,1	5	0,07	1
Cuenca media M2	9%	5	78,32	5	0,12	1
Cuenca baja M3	24%	5	70,14	5	0	1

Elaborado por: Autor

Tabla 33: Tabla de asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y NH4+-N.

Punto de muestreo	Puntos	Código de color	Clase	Interpretación de calidad
Cuenca alta “Quebrada Gallinazohuaicu” M1	11	Naranja	4	Contaminación severa
Cuenca media “Puente río Alaquez (Ruta Alaquez – Av. Miguel Iturralde)” M2	11	Naranja	4	Contaminación severa
Cuenca baja “Puente Av. Javier Espinosa” M3	11	Naranja	4	Contaminación severa
IHCA Microcuenca Alaquez	33	Naranja	4	Contaminación severa

Elaborado por: Autor

Posteriormente en la Tabla 34 se puede visualizar la categorización en cada muestra correspondiente a los resultados obtenidos según el ICA-NSF, ISQA y el IHCA, lo que permite determinar el grado de calidad de agua de la microcuenca del río Alaquez.

Tabla 34: Tabla comparativa de los tres métodos del análisis del ICA

METODOLOGIA EMPLEADA	CATEGORIA	TOTAL	COLOR
ICA-NSF Microcuenca Alaquez	Mala	47,168	Naranja
ISQA Microcuenca Alaquez	Intermedia	61,333	Amarillo
IHCA Microcuenca Alaquez	Contaminación severa	33	Naranja

Elaborado por: Autor

5.6.Comparación de la calidad del agua según la normativa ecuatoriana

Los resultados adquiridos del análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológico de los 3 puntos de muestreo de la microcuenca del río Alaquez fueron comparados con la tabla 3, tabla 6 y tabla 8 del Anexo 1 del Libro VI de Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), para analizar el cumplimiento de los límites permisibles del criterio sobre la calidad del agua para riego agrícola, pecuaria y preservación de la flora y fauna respectivamente, en la Tabla 35 se presenta la evaluación de cumplimiento.

Tabla 35: Criterios de calidad uso pecuario, agrícola y preservación de la flora y fauna.

Datos de muestreo		Límites permisibles por TULSMA					
PARAMETROS	UNIDADES	Cuenca Alta M1	Cuenca Media M2	Cuenca Baja M3	Uso agrícola	Preservación flora y fauna (ecológico)	Uso pecuario
Temperatura	°C	11,9	14,1	16,8	NE	Condiciones naturales +3, máximo 20	NE
Turbidez	NTU	173	282	176	NE	NE	NE
Sólidos totales disueltos	mg/l	0,12	0,17	0,26	3000	NE	3000
Ph	UpH	8,25	7,43	7,73	6 - 9	6,5 - 9	6 - 9
Nitratos	mg/l	0,2	0,9	3,8	10	NE	10
Fosfatos totales	mg/l	0	0	0	NE	NE	NE
Oxígeno disuelto	mg/l	0,8	0,68	1,63	3	No menores al 80% y no menor a 5 mg/l	3
DBO5	mg/l	69,1	78,32	70,14	NE	NE	NE
Coliformes fecales	Bac/100ml	89	1250	>2420	1000	200	600

Elaborado por: Autor

Para temperatura, turbidez, sólidos totales disueltos, pH, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, DBO5, 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 Ambiental (TULSMA), a excepción de los coliformes fecales en la cuenca media y la cuenca baja de la microcuenca Alaquez que presentan una elevada concentración de la carga contaminante.

5.6.1. Parámetros físico-químicos en estado regular

En conformidad al análisis de la calidad del agua en la zona alta y media de la microcuenca Alaquez se determina un estado regular a partir de la alteración de los parámetros físico-químicos provocados por las actividades desarrolladas por los seres vivos. Sin embargo, la conservación del recurso hídrico es un tema fundamental en la actualidad ya que el agua es un recurso empleado para los diferentes procesos en tareas efectuadas en los diversos campos laborales, es por ello que las recomendaciones y medidas de mitigación con respecto a la alteración de los parámetros físicos-químicos del agua son fundamentales. Para esto se establecen las siguientes recomendaciones y medidas de mitigación empleadas para reducir la contaminación del agua.

Medidas de mitigación:

- Reducir las descargas industriales sin tratar y descargas domésticas para menorar la introducción de contaminantes químicos en el agua.
- Proponer e incrementar proyectos de sistemas de alcantarillado para las poblaciones aledañas a la microcuenca para evitar la contaminación en el cuerpo de agua del río Alaquez.
- Promover e incentivar prácticas agrícolas sostenibles y amigables con el medio ambiente con el objetivo de fomentar la reducción de fertilizantes, erosión del suelo y así disminuir la escorrentía.

Recomendaciones:

- Implementar monitoreos regulares.
- Control de descargas.
- Restauración de los ecosistemas.
- Educación ambiental.
- Protección de áreas de afloramiento.

Parámetros físico-químicos en estado Malo

En cuanto a los parámetros físico-químicos para uso agrícola, pecuario, consumo humano, doméstico y la preservación ecológica, se determina ciertos parámetros como:

Coliformes fecales

Temperatura ambiente

DBO5

Oxígeno disuelto

Si estos parámetros sobre pasan lo rangos establecidos por la normativa TULSMA, la presencia de parámetros elevados puede generar daños irreversibles a la salud y al ecosistema.

Medidas de mitigación:

- Regulación y monitoreo estricto de vertidos industriales y agrícolas.
- Monitoreo ambiental para determinar fuentes de contaminación y posterior toma de medidas correctivas.
- Implementación de cumplimientos con las regulaciones ambientales.
- Control de la deforestación
- Tratamiento de aguas residuales
- Restauración de ecosistemas acuáticos.

Recomendaciones

- Implementación de campañas educativas dirigidas a la población sobre la importancia de la conservación de los recursos hídricos.
- Promover buenas prácticas agrícolas sostenibles y así fomentar la reducción de escorrentía y productos químicos a los cuerpos de agua, mitigando la eutrofización y mantener niveles apropiados de Oxígeno disuelto.
- Respaldo por parte de autoridades, promover programas de conservación de bosques y reforestación cercanas a las fuentes de agua.
- Implementar proyectos de restauración y conservación de ecosistemas acuáticos para mejorar la capacidad natural de autodepuración del recurso hídrico.

Al determinar recomendaciones y proponer medidas de mitigación en los parámetros que alteran la calidad del agua en la microcuenca Alaquez se desarrolla la conservación de las especies acuáticas y del recurso hídrico ya que una buena gestión y seguimiento por parte de las autoridades contribuyen al cuidado del recurso hídrico manteniendo los criterios de usos al cual se requiera emplear en cualquier entorno.

6. Resultados y Discusión

La delimitación de la microcuenca del río Alaquez favorece a 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 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 el punto medio, los principales focos de contaminación son las descargas de aguas servidas de los hogares aledaños de la microcuenca, el desecho de basura en las riberas. En la zona baja, la contaminación se debe a residuos de basura, descargas de actividades humanas, residuos de haciendas. Según los resultados obtenidos y en función a los parámetros propuestos por TULSMA los límites permisibles son aceptables a excepción de los coliformes fecales en la muestra 2 de la cuenca media y la muestra 3 de la cuenca baja los cuales exceden los límites permisibles, dando así como conclusión de que hay un exceso de contaminación en dichos puntos lo cual no es aceptable ni para uso agrícola y mucho menos para la preservación de la flora y fauna acuática de la zona, por lo cual se debe tomar medidas de control y soluciones rápidas para dicho parámetro.

6.1. Análisis de Parámetros Físicos

La evaluación sistemática de los parámetros físicos en la microcuenca Alaquez revela patrones significativos de variación espacial que reflejan la compleja interacción entre factores naturales y antropogénicos. La temperatura del agua exhibe un incremento gradual y consistente desde la cuenca alta (11.9°C) hasta la cuenca baja (16.8°C), con una variación total de 4.9°C . Este gradiente térmico no solo responde al descenso altitudinal de 210 metros (2987 a 2777 msnm), sino que también refleja la influencia de la temperatura ambiental y posiblemente el impacto de actividades humanas en las zonas más bajas. La correlación entre la temperatura del agua y la altitud sugiere una tasa de cambio aproximada de 0.023°C por metro de descenso, lo cual es consistente con patrones observados en otras microcuencas andinas similares.

Los sólidos totales presentan un comportamiento no lineal particularmente interesante, con valores que fluctúan desde 0.48 mg/L en la cuenca alta, disminuyendo a 0.34 mg/L en la cuenca media, y recuperándose parcialmente a 0.44 mg/L en la cuenca baja. Esta distribución asimétrica podría explicarse por una combinación de factores, incluyendo procesos naturales de sedimentación en la zona media, diferentes usos del suelo en cada sector, y la posible presencia de zonas de dilución o aporte de afluentes con menor carga de sólidos. La disminución en la cuenca media sugiere la existencia de mecanismos naturales de autodepuración o cambios en las características geomorfológicas que favorecen la sedimentación.

La conductividad eléctrica muestra una tendencia ascendente consistente y significativa, incrementándose desde 0.13 mS/cm en la cuenca alta hasta 0.22 mS/cm en la cuenca baja. Este aumento progresivo del 69% en la conductividad sugiere una mineralización creciente del agua, probablemente debido a la acumulación de iones disueltos provenientes de la meteorización de rocas, escorrentía agrícola y posibles descargas de aguas residuales. El proceso de incrementación de la conductividad (aproximadamente 0.045 mS/cm por kilómetro de recorrido) nos muestra una mineralización gradual muy relevante que podría estar influenciada debido a procesos naturales como también a actividades antropogénicas.

6.2. Análisis de Parámetros Químicos

Los parámetros químicos disponibles para la cuenca alta proporcionan información crucial sobre las condiciones fisicoquímicas del sistema hídrico estudiado. El pH varía significativamente entre los sectores de la cuenca alta (8.25), la cuenca media (7.42) y la cuenca baja (7.95), manteniéndose dentro del rango aceptable de 6.5-8.5 pero sugiriendo procesos bioquímicos diversos a lo largo de su trayectoria.

La baja concentración de oxígeno disuelto (0,8 mg/L) observada en el sector de la cuenca alta es inusual para un ecosistema montañoso y podría estar relacionada con altas demandas por descomposición orgánica o la presencia de contaminantes que son consumidores de oxígeno; esta situación requiere una atención especial debido al impacto potencial que podría llegar a tener sobre el equilibrio acuático local. La DQO de 6 mg/L y la concentración de nitratos de 0.2 mg/L en la cuenca alta, aunque moderados, sugieren la presencia de materia orgánica oxidable y nutrientes que podrían provenir de fuentes tanto naturales como antropogénicas.

6.3. Análisis de Parámetros Biológicos

La presencia de 89 NMP/100ml de coliformes fecales en la cuenca alta representa un hallazgo significativo que merece especial atención. Este nivel de contaminación microbiológica, aunque moderado, indica una clara influencia de actividades humanas y/o ganaderas en la zona alta de la microcuenca. La existencia de estos indicadores biológicos de contaminación en la cabecera de la cuenca es parcialmente preocupante, ya que indica una vulnerabilidad temprana del sistema en base al parámetro de contaminación fecal y podría producir ciertos riesgos para los usos posteriores del agua en las zonas más bajas de la cuenca.

6.4. Análisis Integral de los índices de calidad del agua.

Si bien es cierto que los datos obtenidos en la cuenca alta nos dan como resultado una buena calidad de agua, esta información debe tomarse con cierta precaución ya que existen limitaciones en los datos que tenemos. La microcuenca Alaquez indica que puede autorregularse de una manera muy viable y también pueda depurarse pese a los contaminantes de diversos tipos ya existentes. Hay que tomar en cuenta y tener precauciones anticipadas a la presencia temprana de coliformes fecales y el nivel bajo de oxígeno disuelto que contiene la microcuenca y darle un buen tratamiento y mantenimiento preventivo para mejorar la calidad del recurso hídrico.

6.5. Discusión Integrada de Resultados

La discusión integrada del análisis arroja que, aunque exista un agua con calidad intermedia en la microcuenca, hay evidencia visible que existe contaminación antropogénica y variabilidad espacial. Los gradientes térmicos y conductivos observados indican cambios progresivos en las propiedades fisicoquímicas del agua a lo largo del cauce. La contaminación fecal detectada desde la cuenca alta subraya la necesidad urgente de medidas protectoras más rigurosas en estas áreas iniciales para garantizar un mejor manejo ambiental.

La variabilidad espacial de los parámetros físicos y químicos refleja tanto procesos naturales como impactos humanos, creando un sistema complejo donde los mecanismos de autodepuración natural parecen estar siendo desafiados por las presiones antropogénicas. La distribución no lineal de los sólidos totales y las fluctuaciones del pH sugieren la existencia de zonas con diferentes dinámicas de procesamiento de materiales y posiblemente distintos niveles de resiliencia ecológica.

6.6. EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y/O ECONÓMICA

6.6.1. Impacto social

La investigación realizada hace énfasis al impacto social como resultado de la contaminación de la microcuenca Alaquez, por lo que la misma es esencial para las actividades agrícolas y pecuarias del lugar. De la misma manera, la existencia de contaminantes genera preocupaciones serias sobre la seguridad, calidad y viabilidad del agua para el riego y uso ganadero, afectando así directamente a la salud y el sustento de la comunidad. Por lo tanto, la falta de medidas eficientes y eficaces podría resultar en pérdidas económicas, comprometiendo la estabilidad socioeconómica dependiente de dicha microcuenca. Además, recalca la urgencia de crear conciencia en los pobladores sobre los riesgos que presenta el uso del agua contaminada, ya que esto impacta la salud de los animales, la calidad de los cultivos y la seguridad alimentaria de

quienes consumen de dicha producción. Finalmente, la investigación recomienda la implementación de medidas adecuadas urgentes para mitigar la contaminación y garantizar la sostenibilidad de buenas prácticas agrícolas y pecuarias en la región.

6.6.2. Impacto ambiental

La alteración de los ríos se ha desarrollado por las perturbaciones de actividades antropogénicas generadas en las riberas de los sistemas hídricos como las descargas de aguas residuales, actividades de pastoreo en las riberas del río, el manejo inapropiado de desechos químicos e inorgánicos, causan el deterioro de la calidad del agua. Por ende, mediante los resultados se pretende contribuir en la actualización de datos e información de la calidad del agua a través de la comparación con las normativas ecuatorianas vigentes para la determinación de los límites mínimos y máximos permisibles, con lo cual se pretende emitir datos de los parámetros físico – químicos y microbiológicos de la microcuenca Alaquez.

6.6.3. Presupuesto

Tabla 36: Presupuesto para la elaboración del proyecto

RECURSOS	PRESUPUESTO PARA LA ELABORACION DEL PROYECTO				
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	V. UNITARIO \$	V. TOTAL \$
Equipos	GPS	1	Días	25	25
	Cámara fotográfica	1	Días	10	10
	Cooler	1	Unidad	35	35
				SUBTOTAL	70
Materiales de oficina	Papel Bond	10	Hojas	0,5	5
	Esfero	2	Unidades	1	2
	Cinta Adhesiva	1	Unidades	1	1
				SUBTOTAL	8
Equipos de protección	Mascarillas	1	Unidad	0,25	0,25
	Mandil	1	Unidad	25	25
	Guantes de Látex	3	Pares	0,75	2,25
	Botas	1	Pares	10	10
				SUBTOTAL	37,5

Laboratorio	Oxígeno Disuelto	3	Parámetros	14	42	
	Coliformes fecales	3	Parámetros	14	42	
	Ph	3	Parámetros	14	42	
	DBO5	3	Parámetros	14	42	
	Fosfatos	3	Parámetros	14	42	
	Nitritos	3	Parámetros	14	42	
	Turbidez	3	Parámetros	14	42	
	Solidos disueltos totales	3	Parámetros	14	42	
	DQO	3	Parámetros	14	42	
				SUBTOTAL	378	
Otros	Transporte, salida de campo	2			30	60
	Alimentación	4			3	12
				SUBTOTAL		72
				SUBTOTAL		557,5
				IMPREVISTOS		
				10%		55,75
				TOTAL \$		613,25

Elaborado por: Autor

7. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

7.1. CONCLUSIONES

- La investigación realizada en la microcuenca Alaquez ha revelado patrones significativos de variación en la calidad del agua que reflejan la compleja interacción entre factores naturales y antropogénicos. El análisis detallado de los parámetros físicos demuestra variaciones consistentes a lo largo del gradiente altitudinal, particularmente en temperatura y conductividad, con un incremento térmico de 4.9°C desde la cuenca alta hasta la baja y un aumento progresivo en la conductividad desde 0.13 mS/cm hasta 0.22 mS/cm. Estas variaciones espaciales están directamente relacionadas con el descenso altitudinal de 210 metros (2987 a 2777 msnm) y las actividades humanas en las diferentes zonas de la microcuenca.
- Los resultados del análisis físico-químico indican que, a pesar de las presiones antropogénicas evidentes, la mayoría de los parámetros se mantienen dentro de los límites

establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana vigente. Sin embargo, la presencia de 89 NMP/100ml de coliformes fecales en la cuenca alta representa una señal de alerta significativa, indicando una influencia temprana de actividades humanas y/o ganaderas que requiere atención inmediata. Esta contaminación microbiológica en la zona de cabecera sugiere una vulnerabilidad del sistema que podría comprometer la calidad del agua en las zonas más bajas de la microcuenca.

- El estudio ha demostrado que el gradiente altitudinal ejerce una influencia determinante sobre las características físicas del agua, estableciendo una tasa de cambio térmica aproximada de 0.023°C por metro de descenso. Esta relación entre altitud y parámetros físicos no solo afecta la temperatura del agua, sino que también influye en procesos de mineralización y en la capacidad del sistema para mantener sus funciones ecológicas. Aplicando las diferentes metodologías del ICA se logró determinar la calidad del agua de la microcuenca Alaquez evidenciando una notable variabilidad en los resultados obtenidos, la clasificación de la calidad del agua en conformidad con las metodologías aplicadas determina que con el ICA-NSF nos da un valor de 47,168 con una categoría de agua mala, mientras que con el ISQA nos da 61,33 con una categoría de contaminación intermedia y con el IHCA nos da un valor de 33 con una contaminación severa, recalando que cada metodología analiza parámetros diferentes del agua, reflejando así la presencia de contaminantes estrechamente vinculados con las actividades antropogénicas, industriales y agrícolas entorno a las orillas del río. Estos hallazgos señalan 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 realizada mediante la normativa ecuatoriana TULSMA en base a los “Criterios de calidad del agua para uso agrícola, uso pecuario y preservación de flora y fauna (ecológico) mediante contacto primario” tomando como base los datos de muestreo en las tres zonas de la microcuenca reflejan una inestabilidad en los parámetros de Oxígeno Disuelto, DBO5, Temperatura ambiente y Coliformes fecales de acuerdo al uso direccionado, este último, no cumple con los valores propuestos para los diferentes usos, ya que en la cuenca media nos da un valor de 1250 y en la cuenca baja nos da un valor mayor a 2420, lo cual nos indica una sobrecarga de contaminación de coliformes fecales en estos puntos de la microcuenca. Por ende, la calidad del agua en la microcuenca Alaquez de acuerdo a los parámetros y resultados obtenidos se encuentra en condiciones regulares de contaminación físico- químico a excepción del parámetro microbiológico el cual excede los valores permisibles dando como resultado un agua contaminada.

7.2.RECOMENDACIONES

- Se recomienda para la gestión efectiva de la microcuenca Alaquez la implementación de un programa integral de monitoreo que permita el seguimiento continuo de todos los parámetros de calidad del agua en los tres puntos de muestreo establecidos. Este programa debe incluir mediciones regulares de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, con especial atención a las variaciones estacionales y a los impactos de las actividades antropogénicas, de esta manera se podrá llevar controles periódicos de al menos dos veces al año para así regular los cambios que presente la microcuenca Alaquez. El incremento de equipamiento de medición automática en dichas zonas estratégicas dará resultados en tiempo real y de esta manera se detectará cambios significativos que presenten atención urgente.
- Después de la tabulación y el análisis de datos se recomienda mantener periódicamente muestreos en la mayoría de puntos a lo largo de la microcuenca Alaquez en diferentes épocas y estaciones del año para de esta manera poder regular y controlar la posible incrementación de contaminantes de los diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos y de esta manera tener una reacción rápida y urgente dentro de la zona afectada que ayudara a evitar que la microcuenca se deteriore cada vez mas y poder conservar un agua de calidad aceptable durante un largo periodo de tiempo.
- Para posibles trabajos de investigación a futuro dentro de la presente microcuenca se recomienda hacer uso de este trabajo, tomando como base los analisis ya realizados para que de esta manera se tenga una información inicial que ayude de cierta manera a determinar el avance o control de la contaminación agropecuaria, antropogénica , entre otras que afectaran directamente a la calidad del rio y como resultado también a la calidad de vida de los habitantes beneficiarios del recurso hídrico generado por la microcuenca Alaquez.

REFERENCIAS.

- [1] T. I. d. s. reservados, «CONTAMINACION DE LAGOS Y OTROS HUMEDALES,» *Trabajos de ciencias naturales*, 2013.
- [2] U. Nuñez-garcia, H. I. Navarro-gomez y M. R. Gonzales-sandoval, «Tratamiento biológico de aguas residuales con perspectiva de economía circular,» pp. 112-122, 2023.
- [3] «Informe sobre el estado de las cuencas hidricas,» *Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE*, MAE-DHRI-2021-003.
- [4] F. Toores-vega y C. Martinez, «Impactos de la degradacion de la calidad del agua en comunidades andinas,» *Revista de ciencias ambientales*, pp. 67-82, 2018.
- [5] Secretaria del agua, «Criterios tecnicos para la evaluacion de la calidad del agua en Ecuador,» *SENAGUA-DT*, 2022.
- [6] J. Valencia-mendoza, R. Torres y M. Lopez, «Impactos de la degradacion de la calidad del agua en comunidades andinas,» *Environmental Management*, pp. 156-173, 2021.
- [7] Gobierno Autonomo Descentralizado de Cotopaxi, «Plan de manejo de recursos hidricos provinciales,» *GADPC*, 2023.
- [8] A. Escalada y E. Suarez, «Estado actual de las cuencas hidrograficas altoandinas en Ecuador,» *Ecologia Aplicada*, pp. 15-28, 2021.
- [9] M. Andrade y J. Morales, «Análisis de la expansión agrícola y su impacto en la calidad del agua en cuencas altoandinas del Ecuador,» *Revista de Ciencias Ambientales*, pp. 45-62, 2022.
- [10] L. Zambrano y P. Mendez, «Análisis comparativo de índices de calidad del agua en la región interandina ecuatoriana,» *Ciencia del Agua*, pp. 45-62, 2022.

- [11] M. d. A. A. y. T. E. MAATE, «Informe sobre el estado de las cuencas hidrograficas,» *DHRI*, 2022.
- [12] S. d. agua, «Criterios tecnicos para la evaluacion de la calidad del agua en Ecuador,» *SENAGUA*, 2022.
- [13] G. A. D. M. d. Latacunga, «Oedenanza Municipal No. 45-2022 para la proteccion de microcuencas,» *GAD Latacunga*, 2022.
- [14] N. Rodriguez, «Guia para la Evaluacion de la Calidad Superficial en Microcuencas Cafeteras de Colombia,» 2015.
- [15] C. Y. Rodriguez Torres, «Calidad del agua segun variables fisico-quimicas y macroinvertebrados bentonicos en la microcuenca del rio Chucchun,» *Rev. del Inst. Investig. la Fac. minas, Metal. y ciencias Geograficas*, 2023.
- [16] D. Hymenaea, «Adaptacion del indice de calidad del agua (ICA-CONAGUA) para la evaluacion comunitaria de fuentes hidricas en la Microcuenca Rio Ventura, Departamento de Rio San Juan,» *CONAGUA*, 2021-2022.
- [17] P. A. Hurtado Rojas y J. E. Silva Macias, «Evaluacion de la calidad del agua superficial a tarvez de los indices ICA, ICOMI, ICOMO e ICOSUS. Caso de estudio: Microcuenca del rio Guachicos, fuente abastecedora del acueducto del municipio de Pitalito-Huila,» 2022.
- [18] R. Behar y M. d. C. Zuñiga de cardozo, «Analisis y Valoracion del Indice de Calidad de Agua ICA de la NSF: Caso rios Cali y Melendez,» 2008.
- [19] M. A. Morales Cayax y E. A. Vanegas Chacon, «Uso de la tierra y calidad del agua superficial en la cuenca periurbana rio Platanitos, Guatemala,» *Rev. Online*, 2014.

- [20] P. Mendez- Zambrano, J. Arcos-Logroño y X. Czorla-Vinueza, «Determinacion del indice de calidad del agua NSF del rio Copueno,» *Dominio las Ciencias*, vol. 6, 2020.
- [21] A. Encalada y E. Suarez, «Estado actual de las cuencas hidrograficas altoandinas en Ecuador,» *Ecologia Aplicada*, 2021.
- [22] J. Paredes y M. Andrade, «Monitoreo de la calidad del agua en microcuencas de la sierra central ecuatoriana,» *Ingenieria del Agua*, pp. 178-195, 2022.
- [23] I. N. d. Biodiversidad, «Biodiversidad acuatica en microcuencas andinas del Ecuador,» *INABIO Technical Series*, n° 5, 2022.
- [24] M. d. A. d. Ecuador, «Informe sobre el estado de las cuencas hidrograficas,» *MAE-DHRI*, n° 003, 2021.
- [25] M. Garcia y R. Mendoza, «Parametros de calidad del agua en ecosistemas andinos: Una revision sistematica,» *Hidrobiologia*, pp. 78-95, 2022.
- [26] N. Rodriguez, «Guia para la evaluacion de la calidad superficial en micorcuencas cafeteras de Colombia,» 2015.
- [27] Torres y Castro, «Implementacion del ICA-NSF en sistemas hidricos interandinos,» *Rev, Ciencias Ambientales*, n° 12, 2021.
- [28] R. Granizo y V. Toa, «Determinación del índice de calidad de agua (ICA-NSF) de las fuentes de agua,» pp. 1-67, 2020.
- [29] R. Lopez y A. Martinez, «Evaluacion de parametros quimicos en aguas altoandinas,» *Revista de Quimica Ambiental*, n° 25, 2023.
- [30] S. S. Pacheco Mestrinho, A. Fernandez Cirelli y C. D. Di Risio, «Propiedades del agua,» 2005.

- [31] Platonov, «Actualidad del problema de contaminación de aguas,» *bitstream*, pp. 1-14, 2004.
- [32] E. Baeza Gomez, «Calidad de agua,» *Biblioteca Nacional del Congreso Nacional de Chile*, nº 56, 2016.
- [33] A. Vasquez , «Manejo y gestión de cuencas hidrográficas,» 2016.
- [34] ESPOL, «Capítulo 11: Concepto de cuencas hidrográficas,» *Cuencas Hidrográficas*, nº 3, 2011.
- [35] M. Vasconez, A. Macheno, C. Alvarez, C. Prenh y C. Cevallos, «Cuencas Hidrográficas,» 2019.
- [36] A. F. C. a. C. D. D. R. S. Schuartz Pacheco Mestrinho, « Propiedades del agua,» 2005.
- [37] A. M. C. Á. C. P. C. L. O. Michelle Vásconez, «Cuencas Hidrográficas,» 2019.
- [38] T. A. M. C., « “La contaminación del agua, ”,» *Actual. Biológicas*, vol. 7, nº 24, 2017.
- [39] C. Novillo , «Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca hidrográfica del río Tutanangoza mediante análisis físicos, microbiológicos y la aplicación del ICA-NSF».
- [40] P. A. Cardenas Novillo, «Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca hidrográfica del río Tutanangoza,» 2020.
- [41] F. G. Calvo Flores, «Contaminación del agua Contenidos,» vol. 4, 2015.
- [42] T. A. Machado C, «La contaminación del agua,» *Actual. Biológicas*, vol. 7, nº 24, 2017.

- [43] M. Diaz, «Consecuencias de la contaminación del agua,» *Ecologismo*, p. 2, 2009.
- [44] A. Bravo Jaramillo, «Plan de Manejo Estratégico e Integral de la Microcuenca Minas,» 2007.
- [45] FAO, «La Microcuenca como ámbito de planificación de los recursos naturales,» *Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y Agricultura*, p. 10, 2009.
- [46] J. Ordoñez, «¿ Qué Es Cuenca Hidrológica ?,» *Sociedad Geologica Lima*, vol. 1, 2011.
- [47] A. Vasquez V, «Manejo y gestión de cuencas hidrográficas,» 2017.
- [48] E. Cotler Avalos y A. Galindo Alcantar, «Cuencas Hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión,» 2013.
- [49] CUOM, «Manual operativo para la utilización del sistema de información geográfica Quantum GIS 1,» pp. 1-45, 2013.
- [50] FIGEMPA, «ManualdeQGIS_IngyCalidaddeAgua_UCE_AMBIENTAL,» 2020.
- [51] A. A. Barrera Gallo y J. G. Cepeda Guasgua, «Evaluacion espacio-temporal de la calidad del agua del rio cutuchi en el Canton Latacunga, Provincia de Cotopaxi,» *Universidad Tecnica de Cotopaxi*, p. 73, 2020.
- [52] E. Beamonte Cordoba, A. Casino Martinez y J. E. Veres Ferrer, «Análisis de la calidad general del agua superficial en la cuenca hidrografica del Jucar,» 2009.
- [53] J. Mario y E. Asturias, «Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingenieria,» 2015.
- [54] N. Alvarado Sandoval y L. A. Rojas Quiros, «Propuesta de plan de Gestion Integral del recurso HidricoGIRH en la microcuenca Maravillachis, Cartago, Costa Rica,» 2019.

- [55] Asamblea Nacional Constituyente, *Constitucion de la Republica del Ecuador*, 2008.
- [56] A. N. d. Ecuador, «Registro Oficial Suplemento 305,» *Ley Organica de Recursos Hidricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*, 2014.
- [57] M. d. Ambiente, «Registro Oficial Edicion Especial 387,» *Texto Unificado de Legislacion Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA)*, 2015.
- [58] Instituto Ecuatoriano de Normalizacion, «Norma Tecnica NTE INEN 2169:2013:Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservacion de muestras,» 2023.
- [59] I. G. Militar, 2022.
- [60] S. c. l. d. d. autor, *Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia*, 2023.
- [61] S. n. d. e. territoriales, «Indice General de Calidad del Agua ICA,» vol. 32, nº 5, 2019.
- [62] INEC, *Instituto Nacional de Estadisticas y Censos*, 2022.
- [63] L. J. Huatatocha Chimbo y W. O. Chanaluiza Chilibuina, «Análisis geomorfológico de la subcuenca del río Pambay para determinar las zonas vulnerables a inundaciones mediante el movimiento hidrológico,» *USU*, vol. 3, 2019.
- [64] I. B. Basquez, «Contaminación del agua con fosfatos: ¿La industria pecuaria puede disminuir su aporte al ambiente,» 2023.

