

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Evaluación de la calidad del agua de las microcuencas Rodeo, Campamento y Yabana en la parroquia Cumbe

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Químico

Autores:

Jonnathan Adrian Encalada Zumba

José Luis Mogrovejo Nieves

Director:

Sonia Margoth Astudillo Ochoa

ORCID:  0000-0002-8351-6031

Cuenca, Ecuador

2024 - 10 - 15

Resumen

Este proyecto tiene como finalidad analizar y evaluar la calidad del agua en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana, ubicadas en la parroquia Cumbe. La iniciativa surge en respuesta a los problemas que enfrenta la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia, que limita el acceso a agua segura durante los periodos extremos de verano e invierno. Estos problemas impactan negativamente en la salud pública y en el bienestar de la comunidad. El enfoque de este proyecto es evaluar la calidad del agua de tres microcuencas para lo cual se llevó a cabo un muestreo sistemático, conforme a las normativas INEN, durante un período de seis meses, asociado al análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Los datos obtenidos fueron analizados y representados mediante gráficas que ilustran cómo varían ciertos parámetros a lo largo del tiempo. Estos resultados permitieron evaluar la variabilidad estacional y la calidad del agua utilizando los índices ICA-NSF e ICA-Dinius. Los hallazgos muestran que, en Campamento, la calidad del agua se mantuvo en el rango "Buena" con ligeras variaciones estacionales. En Rodeo, la calidad fluctuó de "Media" en febrero a "Buena" en los meses siguientes. En Yabana, la calidad se mantuvo en el rango "Buena", con ligeras mejoras. La calidad del agua se vió afectada por la contaminación derivada del pastoreo durante la sequía; sin embargo, la escorrentía invernal contribuyó a su mejora.

Palabras clave del autor: acceso a agua segura, variabilidad estacional, escorrentía invernal



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The objective of this project is to analyze and evaluate water quality in the Campamento, Rodeo and Yabana micro-watersheds, located in the Cumbe parish. The initiative arose in response to the problems faced by the parish's water treatment plant, which limits access to drinking water during extreme summer and winter periods. These problems have a negative impact on public health and the well-being of the community. The objective of this project is to identify the coordinates in the three micro-watersheds. Systematic sampling was carried out, according to INEN standards, over a period of six months, associated with the analysis of physical, chemical and microbiological parameters. The data obtained were analyzed and represented in graphs illustrating the variation of certain parameters over time. These results made it possible to evaluate seasonal variability and water quality using the ICA-NSF and ICA-Dinius indices. The results show that, in Campamento, water quality remained in the "Good" range with slight seasonal variations. In Rodeo, the quality fluctuated from "Average" in February to "Good" in the following months. At Yabana, water quality remained in the "Good" range, with slight improvements. Water quality was affected by contamination from grazing during the drought; however, winter runoff contributed to its improvement.

Author Keywords: access to drinking water, seasonal variability, winter runoff, charts



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Introducción y objetivos.....	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Identificación del problema y justificación	12
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo General	13
1.3.2 Objetivos Específicos.....	13
Marco teórico	14
2. 1 Conceptos básicos de Agua.....	14
2.1.1 Ciclo del agua.....	14
2.1.2 Estructura química del Agua.....	15
2.1.3 Propiedades físicas del Agua	16
2.1.4 Propiedades químicas del Agua	17
2.2 Cuenca Hidrográfica	17
2.2.1 Fuentes de agua.....	18
2.2.2 Contaminantes del agua en las microcuencas.....	19
2.3 Marco Normativo.....	19
2.3.1 Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua	20
2.3.2 Reforma Tulsma.....	21
2.3.3 Código Orgánico del Ambiente (COA)	21
2.4 Introducción al muestreo.....	22
2.4.1 Preservación y transporte de la muestra.....	23
2.5 Parámetros de Calidad de Agua	24
2.5.1 Parámetros físicos	24
2.5.2 Parámetros Químicos	27
2.5.3 Parámetros microbiológicos	29
2.6 Índice de la calidad del agua.....	30
2.6.1 ICA-NSF	30
2.6.2 ICA-NSF, ICA-DINIUS	31
Capítulo 2	34
Materiales y métodos.....	34
3.1 Tipo de estudio	34
3.2 Ubicación de la zona de estudio y delimitación de las microcuencas.....	34
3.2.1 Delimitación de las microcuencas	37
3.5.1 Preparación del equipo:	42

3.5.2 Procedimiento de medición:	42
3.6.1 pH	43
3.6.2 Nitratos-Nitritos	43
3.6.3 Fosfatos	43
3.6.4 Alcalinidad.....	44
3.6.5 Dureza	44
3.6.6 Color	45
3.6.7 Turbidez	45
3.6.8 Coliformes totales y fecales	45
3.7.1 Metodología para la determinación del ICA-NSF, ICA-Dinius.....	46
3.7.2 Cálculo de los subíndices.....	50
Capítulo 3	51
Resultados y Discusiones	51
4.1 Clasificación de resultados.....	51
4.1.1 Variabilidad del ICA-NSF en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana	58
4.1.2 Variabilidad del ICA-Dinius en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana..	60
4.1.3 Variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en las microcuencas	61
4.1.3.1 Parámetros Físicos	61
4.1.3.2 Parámetros Químicos.....	67
4.1.3.3 Parámetros Microbiológicos	75
Conclusiones	78
Recomendaciones	79
Referencias.....	80
Anexos.....	85

Índice de figuras

Figura 1. Ciclo del agua en la tierra.....	15
Figura 2. Distribución del agua en la tierra	15
Figura 3. Molécula del agua.	16
Figura 4. Escala de pH.....	27
Figura 5. Valores del ICA-Dinius asociados a la calidad de agua para consumo humano..	33
Figura 6. Ubicación de los tres puntos de muestreo	35
Figura 7. Microcuenca Campamento en época de estiaje	35
Figura 8. Microcuenca Rodeo en época de estiaje	36
Figura 9. Microcuenca Yabana en época de estiaje	36
Figura 10. Delimitación de las microcuencas Rodeo, Campamento, Yabana.	37
Figura 11. Clasificación de la calidad del agua en función del índice NSF, Dinius.....	50
Figura 12. Variación espacial y temporal de la temperatura en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	62
Figura 13. Variación espacial y temporal de la dureza en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	63
Figura 14. Variación espacial y temporal de la turbiedad en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	64
Figura 15. Variación espacial y temporal de la conductividad en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	65
Figura 16. Variación espacial y temporal del color real en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	66
Figura 17. Variación espacial y temporal del pH en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.....	67
Figura 18. Variación espacial y temporal del fosfato en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana	69
Figura 19. Variación espacial y temporal de nitritos en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	70
Figura 20. Variación espacial y temporal de nitratos en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana	71
Figura 21. Variación espacial y temporal de sólidos disueltos totales en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	72
Figura 22. Variación espacial y temporal de oxígeno disuelto en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	73
Figura 23. Variación espacial y temporal de la alcalinidad en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	74

Figura 24. Variación espacial y temporal de los coliformes fecales en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	75
Figura 25. Variación espacial y temporal de los coliformes totales en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.	76

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades físicas del Agua.....	16
Tabla 2. Clasificación de cuencas, subcuencas y microcuencas.	18
Tabla 3. Clasificación del agua por la dureza en CaCO_3	26
Tabla 4. Parámetros para determinar el ICA-NSF	31
Tabla 5. Parámetros de análisis determinados por el ICA-NSF y el ICA-Dinius	32
Tabla 6. Coordenadas de los sitios de muestreo	34
Tabla 7. Frecuencia de muestreo	38
Tabla 8. Equipo y métodos empleados para los parámetros físico químicos y microbiológicos.	40
Tabla 9. Recipientes empleados en el muestreo.	41
Tabla 10. Funciones de subíndice de cada parámetro para el índice de Dinius.....	47
Tabla 11. Pesos ponderados de los parámetros empleados para el análisis.	49
Tabla 12. Resultados del muestreo #1 (Fecha: 27/02/2024).....	51
Tabla 13. Resultados del muestreo #2 (Fecha: 11/03/2024).....	52
Tabla 14. Resultados del muestreo #3 (Fecha:18/03/2024).....	53
Tabla 15. Resultados del muestreo #4 (Fecha: 27/04/2024).....	54
Tabla 16. Resultados del muestreo #5 (Fecha: 09/05/2024).....	55
Tabla 17. Resultados del muestreo #6 (Fecha: 20/05/2024).....	56
Tabla 18. Resultados del muestreo #7 (Fecha: 24/06/2024).....	57
Tabla 19. Resultados del muestreo #8 (Fecha: 8/07/2024).....	58
Tabla 20. Resultados de la calidad del agua en las microcuencas, NSF.	59
Tabla 21. Resultados de la calidad del agua en las microcuencas, Dinius.....	60

Agradecimiento

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento, en primer lugar, a Dios por brindarnos salud y guiarnos en cada momento. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este estudio. Agradecemos profundamente a la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Cumbe (JAAPS) por su apoyo incondicional, para llevar a cabo este proyecto. Nuestra gratitud también se dirige a los miembros del equipo de investigación, cuya dedicación y esfuerzo han sido fundamentales para el éxito de este estudio. Agradecemos a los residentes de las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana por su colaboración y disposición para participar en el estudio. Finalmente, deseamos expresar un agradecimiento especial a nuestra directora de tesis, la Ingeniera Sonia Astudillo por su orientación experta y valiosos consejos a lo largo de todo el proceso. Sin el apoyo de todos ustedes, este trabajo no habría sido posible.

Jonnathan Adrian Encalada Zumba - José Luis Mogrovejo Nieves

Dedicatoria

Deseamos dedicar este trabajo a nuestros seres más queridos, con un agradecimiento especial a nuestros padres y hermanos, quienes han sido nuestra principal fuente de inspiración y apoyo para alcanzar esta significativa meta. Su dedicación y esfuerzo han sido invaluable, y les expresamos nuestro amor y gratitud. Además, queremos rendir homenaje a la Virgen del Cisne y Divino niño de Praga, por su constante fortaleza y guía durante nuestra trayectoria académica. Finalmente, extendemos nuestro más profundo agradecimiento a todos aquellos que han creído en nosotros y nos han brindado su motivación y aliento a lo largo de este proceso.

Jonnathan Adrian Encalada Zumba - José Luis Mogrovejo Nieves

Introducción y objetivos

1.1 Introducción

La calidad del agua superficial es una preocupación crítica que exige atención urgente de todos los sectores. En las últimas dos décadas, el 60% de los sistemas ecológicos mundiales se han degradado por su uso insostenible. Solo el 2% del agua dulce es utilizable, y el 90% está en lagos y presas, lo que subraya la necesidad de un manejo sostenible de las cuencas, especialmente en países subtropicales, (Robledo-Hernández, 2023).

La disponibilidad de agua potable segura es un aspecto fundamental para el desarrollo sostenible de cualquier región. En la parroquia Cumbe, las microcuencas Yabana, Rodeo y Campamento son fuentes de agua que pueden ser aprovechadas por la comunidad local, pero la calidad del agua en estas áreas no ha sido exhaustivamente evaluada. Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar la calidad del agua en estas microcuencas, con el fin de mejorar el suministro sostenible de agua potable en la región.

Para lograr estos objetivos, se realizan varias actividades clave. Primero, se identificará y delimitará cada una de las microcuencas en estudio. Luego, se llevará a cabo un muestreo sistemático del agua durante los periodos representativos de sequía e invierno, lo cual permitirá capturar variaciones estacionales en la calidad del agua. La evaluación exhaustiva incluirá la medición de parámetros físico-químicos y microbiológicos, utilizando el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF, ICA-Dinius) para comparar los resultados con las normas establecidas por el Código Orgánico del Ambiente y su reglamento (COA), y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

La metodología adoptada en esta investigación es de tipo descriptivo, y se basa en la realización de ocho muestreos en cada microcuenca. Los muestreos se efectuarán siguiendo las normas establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Durante el trabajo de campo, se llevarán a cabo mediciones in situ de parámetros como conductividad, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales. Los análisis más detallados, como pH, nitratos, coliformes, alcalinidad, dureza y turbidez, se realizan en el laboratorio de Análisis Bromatológico de la Universidad de Cuenca y en el laboratorio de Calidad del Agua del Campus Balzay.

1.2 Identificación del problema y justificación

En 1990, 189 países se comprometieron a reducir en un 50% la población sin acceso a servicios de saneamiento para el año 2015. A nivel global, la cobertura de "Instalaciones de saneamiento mejoradas" aumentó del 54% en 1990 al 68% en 2015, (UNESCO, 2019).

No obstante, el desafío persiste: en 2022, aún 2200 millones de personas carecen de acceso a agua potable segura y 3500 millones no tienen acceso a servicios de saneamiento adecuados (Cárdenas, 2019). El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS), establecido en 2015 durante la Asamblea General de las Naciones Unidas, se centra en garantizar el acceso universal y equitativo al agua potable y al saneamiento, así como en mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación y el uso de productos químicos peligrosos, (Cárdenas, 2019).

En Ecuador, a pesar de ser uno de los países con mayor cantidad de agua dulce en América Latina, el 30% de la población aún no cuenta con acceso a agua segura y está expuesta al consumo de agua contaminada (UNICEF, 2017). Las provincias con mayor consumo de agua mensual, como Los Ríos, Azuay, El Oro y Bolívar, presentan rangos que varían entre 54.52 m³ y 35.53 m³ (Félix et al., 2020).

En respuesta a esta problemática, el proyecto de Vinculación con la Sociedad está realizando un estudio en la Junta Administradora de Agua Potable (JAAPS) que opera en las microcuencas de la parroquia Cumbe. El objetivo principal es desarrollar estrategias efectivas para mejorar el suministro de agua en la región, abarcando aspectos de calidad, cantidad y continuidad del recurso. La creciente población de Cumbe ha intensificado la demanda de agua, especialmente durante las épocas de sequía y lluvia, lo que hace esencial la evaluación de las tres microcuencas en el área rural. En este contexto, el JAAPS tiene como objetivo futuro la implementación de una nueva planta de suministro de agua potable.

El análisis exhaustivo de la calidad del agua en las microcuencas Rodeo, Campamento y Yabana será el enfoque principal de este proyecto de tesis. Se aplicarán métodos volumétricos, espectrofotométricos y gravimétricos para determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Se utilizarán normas específicas (NTE-INEN-1108, 2020; NTE INEN 1106, 1984; NTE INEN 995, 2013; NTE INEN 1205-1, 2013; NTE INEN 0971, 2013; NTE-INEN ISO 5667-1, 2022) para asegurar la precisión y conformidad en el análisis.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar la calidad de agua en las microcuencas Rodeo, Campamento y Yabana dentro de la parroquia Cumbe.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar y delimitar 3 microcuencas en la parroquia Cumbe, precisando sus límites geográficos.
- Realizar un muestreo sistemático del agua en las microcuencas seleccionadas, abarcando un periodo representativo de sequía e invierno en la zona.
- Evaluar la calidad del agua de las 3 microcuencas, midiendo parámetros físico-químicos y microbiológicos utilizando el índice de calidad del agua (ICA-NSF, ICA-Dinius) y analizar los resultados con respecto a las normas INEN y código orgánico del medio ambiente y su reglamento COA, en un periodo de seis meses.

Marco teórico

El agua es un recurso esencial para la vida y las actividades humanas, jugando un papel muy importante en la salud, el bienestar y el desarrollo sostenible. Su calidad se determina a través de diversas características físicas, químicas y biológicas que influyen tanto en los ecosistemas como en la salud pública.

En este capítulo, se explorarán conceptos básicos sobre el agua, diferenciando entre aguas subterráneas y superficiales, y su importancia en el ciclo hidrológico. Además, abordaremos la calidad del agua y las normativas que regulan sus índices de calidad y protección. También discutiremos los sitios de muestreo y los parámetros físicos y químicos que se utilizan para evaluar su estado. Finalmente, examinaremos los parámetros del Índice de Calidad del Agua (ICA), herramientas fundamentales para asegurar la sostenibilidad y la seguridad del recurso hídrico. Estos temas son vitales para comprender la gestión y conservación del agua en nuestro entorno.

2. 1 Conceptos básicos de Agua

2.1.1 Ciclo del agua

El ciclo del agua describe las transformaciones de estado que experimenta el agua en la tierra, siempre en movimiento debido a la acción del sol y la gravedad. Este ciclo comienza con la evaporación, que puede ocurrir de dos maneras: la evaporación del agua de océanos, ríos y lagos, y la evapotranspiración, que es la transpiración de las plantas. A medida que asciende, el vapor de agua se enfría y se condensa en pequeñas gotas, formando las nubes, (Domínguez et al., 2021).

Cuando estas gotas se agrupan y aumentan de tamaño, caen por su propio peso, dando lugar a la precipitación en forma de lluvia. Si la temperatura es muy baja, las gotas se congelan y caen como nieve o granizo. El agua que alcanza la superficie terrestre puede ser utilizada por los seres vivos, escurrir hasta llegar a un cuerpo de agua, o infiltrar en el suelo y formar acuíferos, (Domínguez et al., 2021).

En última instancia, toda el agua en la tierra participa de este ciclo perpetuo, como se puede observar en la figura 1.

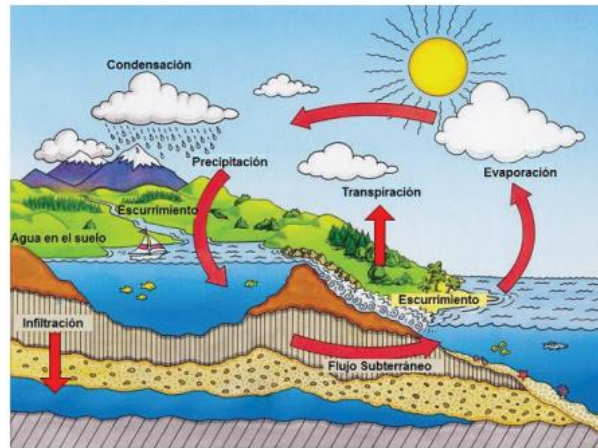


Figura 1. Ciclo del agua en la tierra

Fuente: Domínguez et al., (2021).

El constante ciclo del agua es fundamental para mantener la disponibilidad de agua dulce en la tierra y sostener los ecosistemas terrestres y acuáticos. A continuación, en la figura 2, se detalla la disponibilidad estimada de agua en nuestro planeta, (Domínguez et al., 2021).

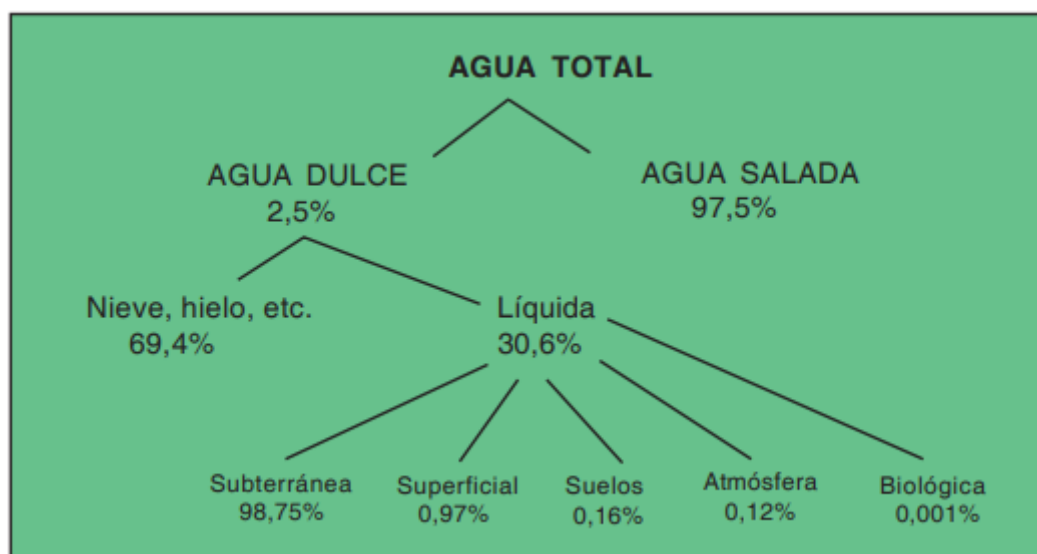


Figura 2. Distribución del agua en la tierra

Fuente: Domínguez et al., (2021).

2.1.2 Estructura química del Agua

El agua, una molécula aparentemente simple y pequeña, se compone de un átomo de oxígeno (O-) unido por enlaces covalentes fuertes a dos átomos de hidrógeno (H+). Su estructura angular, donde los átomos forman un ángulo de 104.5° , el cual confiere su polaridad distintiva, (León, 2022).

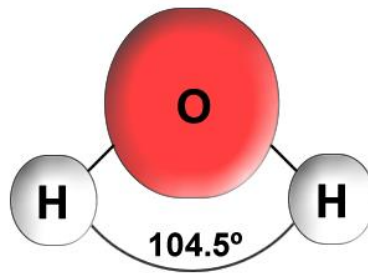


Figura 3. Molécula del agua.

Fuente: León (2022).

2.1.3 Propiedades físicas del Agua

El agua es una sustancia única en la naturaleza, destacada por sus propiedades físicas distintivas. Como solvente polar universal, el agua juega un papel fundamental en una amplia gama de procesos naturales. A continuación, en la tabla 1, se detallan algunas de sus principales propiedades físicas, (Vaquero, 2012).

Tabla 1. Propiedades físicas del Agua

Parámetro	Descripción
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Sabor	Insípido
Temperatura de ebullición	100 °C
Temperatura de fusión	0 °C
Densidad	1000 Kg/m ³
Viscosidad	1.79 E-3 Ns/m ²
Tensión superficial	7.56 E-2 N/m

Fuente: Vaquero (2012)

2.1.4 Propiedades químicas del Agua

La polaridad de la molécula del agua le confiere la capacidad de actuar como un solvente polar, disolviendo sustancias polares e iónicas esenciales para numerosos procesos biológicos y químicos. Además, con un pH neutro de 7, el agua está químicamente equilibrada y reacciona con óxidos ácidos y básicos, metales y no metales, formando compuestos como hidratos y sales fundamentales para la química ambiental y la bioquímica, (Vaquero, 2012).

2.2 Cuenca Hidrográfica

Según, Montesdeoca Portilla, (2022), una cuenca hidrográfica es una región definida topográficamente, drenada por un sistema fluvial, que dispone de una única salida a través de la cual se descarga todo el caudal efluente. Esta definición resalta la importancia de la cuenca hidrográfica como una unidad integral para la planificación y gestión de los recursos hídricos. No obstante, es importante reconocer que las cuencas hidrográficas de los grandes ríos están conformadas por múltiples cuencas menores de ríos tributarios.

Las cuencas hidrográficas son fundamentales, ya que representan el espacio donde el hombre interactúa con el ambiente. Según la FAO (2009), son ecosistemas complejos que integran diversos ecotipos y nichos ecológicos, y lo que ocurre en su interior es vital para los procesos hidrológicos y sus usuarios. La disponibilidad y calidad de recursos naturales, como agua, suelo y bosques, dependen de su uso y manejo, siendo esenciales para la vida de las comunidades rurales, que obtienen alimentos, bienes y servicios de ellos, (Salazar & Rosales, 2015)

Lombaida & Israel, (2020), define una cuenca hidrográfica como un ecosistema donde interactúan variables biofísicas y socioeconómicas, operando como un sistema integrado. Esta comprende varios componentes fundamentales:

- **Componentes Biológicos:** Incluyen bosques, cultivos y vegetación en general, que junto con la fauna constituyen la flora de la cuenca.
- **Componentes Físicos:** Comprenden el agua, el suelo, el subsuelo y el aire, elementos físicos esenciales que caracterizan la cuenca.
- **Componentes Socioeconómicos:** Engloban las comunidades que habitan la cuenca, quienes utilizan y transforman los recursos naturales para su beneficio. Además, construyen infraestructuras y obras de servicio y producción que mejoran su calidad de vida.

Las cuencas hidrográficas pueden ser subdivididas de diversas maneras según el grado de concentración de la red de drenaje, definiendo unidades más pequeñas como subcuencas y microcuencas, (Maldonado Santana et al., 2023)

- **Subcuenca:** Esta sección del terreno dirige su flujo directamente hacia el curso principal de la cuenca. Múltiples subcuencas pueden integrarse para formar una cuenca mayor.
- **Microcuenca:** Es un área más pequeña dentro de una subcuenca que canaliza su drenaje hacia el curso principal de esta. Varias microcuencas pueden agruparse dentro de una unidad menor de la subcuenca.

Esta clasificación no es única; además del grado de concentración, se consideran otros criterios como el tamaño del área (Ver Tabla 2). La definición de estas unidades toma en cuenta aspectos físicos, naturales y socioeconómicos, siendo fundamental para la gestión efectiva de los recursos hídricos y la conservación del medio ambiente, (Maldonado Santana et al., 2023).

Tabla 2. Clasificación de cuencas, subcuencas y microcuencas.

Unidad	Área (Km ²)
Microcuenca	10 - 500
Subcuenca	500 - 2000
Cuenca	más de 2000

Fuente: Maldonado Santana et al. (2023).

2.2.1 Fuentes de agua

Las fuentes principales de agua dulce disponibles para el consumo son diversas. Sin embargo, estas fuentes están distribuidas de manera desigual entre las regiones, lo que dificulta su acceso para grandes segmentos de población. Entre las principales fuentes de agua dulce se incluyen:

- **Aguas Subterráneas**

El agua subterránea se acumula debajo de la superficie terrestre y se infiltra en el terreno, moviéndose a través de los estratos geológicos por percolación. Su aprovechamiento depende de las características hidrológicas y la formación geológica del acuífero. Para extraer esta fuente de agua, se utilizan perforaciones, túneles o galerías de drenaje; en algunos casos, el agua fluye naturalmente, formando manantiales. Este tipo de fuente es especialmente adecuada para el consumo, ya que está menos expuesta a la contaminación en comparación con las aguas superficiales, (Cerón et al., 2021).

- **Aguas Superficiales**

Estos cuerpos de agua incluyen ríos, arroyos, lagos y otros recursos hídricos superficiales. Su utilización no siempre es la opción más viable debido a la influencia de actividades agrícolas y áreas urbanas cercanas, las cuales pueden impactar negativamente su calidad. No obstante, en ciertas regiones, estos cuerpos de agua son la única fuente disponible. En tales circunstancias, es esencial disponer de información detallada y exhaustiva para evaluar el estado sanitario, los caudales disponibles y la calidad del agua, asegurando así decisiones fundamentadas y sostenibles sobre su uso, (Cerón et al., 2021).

2.2.2 Contaminantes del agua en las microcuencas

La contaminación hídrica se define como la incorporación de sustancias extrañas como microorganismos, sustancias químicas, desechos industriales y otros contaminantes en los cuerpos de agua. Este fenómeno no solo compromete la disponibilidad de agua potable, sino que también tiene efectos significativos en los ecosistemas acuáticos y la diversidad biológica, (Prado-Vélez et al., 2023).

La ganadería, especialmente en áreas con alta pluviosidad y cercanas a fuentes de agua, contribuye de manera considerable a la contaminación de los cuerpos de agua mediante el pastoreo excesivo y la falta de vegetación protectora. Además, la agricultura intensiva causa contaminación difusa, principalmente por nitratos, al filtrar fertilizantes y pesticidas hacia cuerpos de agua de superficie y subterráneas, (Bustamante Paulino & Paragua Morales, 2022).

2.3 Marco Normativo

En Ecuador, la legislación actual regula estrictamente la calidad del agua destinada al consumo humano mediante leyes específicas como la Ley Orgánica de Recursos Hídricos,

Usos y Aprovechamiento del Agua. Esta normativa promueve la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos, asegurando su uso eficiente y equitativo, y la protección de los ecosistemas acuáticos, (Ley orgánica de Recursos hídricos, 2014).

Facilita la participación ciudadana en la conservación del recurso y establece roles definidos para las autoridades en la administración y regulación del agua, garantizando su disponibilidad a largo plazo y su beneficio integral para la sociedad, la economía y el ambiente. (Ley orgánica de Recursos hídricos, 2014).

Además, la normativa ecuatoriana incluye el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), específicamente el Libro VI, Anexo 1, que complementa y fortalece las disposiciones legales relacionadas con la protección ambiental y la gestión sostenible de los recursos hídricos, (TULSMA, 2017).

Por otro lado, el Código Orgánico del Ambiente (COA) es fundamental en Ecuador por su extensa cobertura de temas para la gestión ambiental. Establece directrices para la conservación de áreas protegidas, vidas silvestre y microcuencas, garantizando así la protección de estos ecosistemas. ((MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE), 2017).

2.3.1 Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua tiene como objeto garantizar el derecho humano al agua y regular la gestión integral de los recursos hídricos, asegurando el *sumak kawsay* (buen vivir) y los derechos de la naturaleza establecidos en la constitución, (Ley orgánica de Recursos hídricos, 2014).

Esta ley se fundamenta en varios principios fundamentales, tales como:

- La integración de todas las aguas (superficiales, subterráneas, atmosféricas) en el ciclo hidrológico con los ecosistemas.
- La conservación y protección del agua mediante una gestión sostenible y sustentable que garantice su permanencia y calidad.
- El agua es un bien de dominio público, inalienable, imprescriptible e inembargable.
- El agua es patrimonio nacional y estratégico, esencial para la soberanía alimentaria, prohibiendo cualquier tipo de propiedad privada sobre ella.
- El acceso al agua es un derecho humano.
- El estado garantiza el acceso equitativo al agua.

2.3.2 Reforma Tulsma

Esta norma técnica ambiental, actualizada y revisada, se emite en cumplimiento de la Ley de Gestión Ambiental y su Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Se sujeta a las disposiciones de estas leyes y es de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional, (TULSMA, 2017).

Entre los criterios establecidos en esta normativa se incluyen:

- Los principios básicos y el enfoque general para el control de la contaminación del agua.
- Los estándares de calidad del agua para sus diversos usos.
- Métodos y procedimientos para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos que pueden representar un riesgo potencial de contaminación del agua.

2.3.3 Código Orgánico del Ambiente (COA)

El Código Orgánico del Ambiente (COA) de Ecuador, a través de su enfoque en la gestión integrada del recurso hídrico, busca no solo proteger la calidad del agua en microcuencas, sino también promover su uso sostenible. Esto es particularmente relevante en un país como Ecuador, que alberga una gran diversidad de ecosistemas acuáticos, ((MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE), 2017).

A continuación, se presentan los fines del Código Orgánico del Ambiente:

- Regular los derechos y principios ambientales establecidos en la Constitución y tratados internacionales.
- Orientar las políticas públicas hacia la integración obligatoria de la política nacional ambiental en la planificación y ejecución estatal.
- Implementar el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, con participación ciudadana.
- Promover la conservación, uso sostenible y restauración de ecosistemas, biodiversidad, recursos naturales y servicios ambientales.
- Regular actividades que impacten el ambiente, promoviendo el respeto a la naturaleza y la diversidad cultural.
- Proteger el bienestar animal y el arbolado urbano.
- Prevenir, minimizar y reparar impactos ambientales.
- Fomentar la participación equitativa en la conservación y beneficios naturales.

- Promover la generación de información ambiental y coordinar actividades de gestión e investigación.
- Mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático.
- Definir competencias ambientales y atribuciones de entidades a nivel nacional y local.

2.4 Introducción al muestreo

Antes de elaborar un programa de muestreo, se debe evaluar diversos factores que determinarán sus objetivos. Estos incluyen la selección de los sitios de muestreo, los métodos y protocolos de muestreo a emplear, la frecuencia y la duración del muestreo, así como el tratamiento de las muestras y los análisis requeridos, (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2020).

Según el programa de muestreo establecido por Antúñez (2015), la calidad del agua se evalúa a través de análisis en laboratorio y la interpretación de los resultados obtenidos. Por lo tanto, es fundamental recolectar múltiples muestras representativas para asegurar una evaluación precisa. Aunque los análisis en el lugar son óptimos, ciertos métodos requieren equipos que no son portátiles, lo que subraya la necesidad de llevar a cabo operaciones de muestreo detalladas y cuidadosamente planificadas.

Existen tres tipos de muestreo de agua, las cuales se detallan a continuación:

- **Muestreo simple o puntual:** Una muestra puntual refleja la composición del agua en un lugar y momento específico, ideal para fuentes constantes como aguas de suministro y efluentes residuales. Para cuerpos de agua con variaciones temporales, se deben tomar muestras en intervalos específicos para registrar cambios en magnitud, frecuencia y duración. Los intervalos pueden variar de 5 minutos a 1 hora o más, ajustándose a la frecuencia esperada de cambios. Para variaciones espaciales significativas, se requiere tomar muestras en puntos estratégicos que capturen esta diversidad, (Agencia de regulación y control fito y zoonosanitario, 2018).
- **Muestreo compuesto:** Una muestra compuesta consiste en la combinación de varias muestras simples tomadas en el mismo lugar, pero en diferentes momentos. Estas muestras son útiles para calcular concentraciones promedio, evaluar la efectividad de las plantas de tratamiento y reducir los costos de análisis de laboratorio, (Agencia de regulación y control fito y zoonosanitario, 2018).

Generalmente, se emplean muestras compuestas que abarcan un período de 24 horas como estándar. Sin embargo, en casos específicos, se prefieren muestras

compuestas que capturen cambios rápidos o ciclos completos de operaciones periódicas para evaluar descargas o actividades irregulares.

- **Muestreo integrado:** Las muestras integradas son fundamentales en ríos y corrientes con fluctuaciones considerables en la composición a lo largo de su extensión. Este enfoque combina muestras recolectadas en múltiples puntos a través de la sección transversal para calcular la composición promedio y la carga total, ofreciendo una visión integral de la calidad del agua en entornos dinámicos, (Agencia de regulación y control fito y zoonosanitario, 2018).

En instalaciones de tratamiento que manejan varios efluentes separadamente, las muestras integradas son vitales debido a las interacciones complejas entre estos efluentes. Estas muestras permiten una evaluación precisa de cómo estas interacciones influyen en el proceso de tratamiento y en la calidad del agua tratada.

2.4.1 Preservación y transporte de la muestra

La correcta etiquetación de las muestras es fundamental para su identificación en el laboratorio y para la determinación precisa de los parámetros físico-químicos y microbiológicos. Durante la recolección, se debe obtener una porción representativa del área de estudio que sea fácil de transportar y manejar en el laboratorio. Las muestras deben seguir un protocolo específico para garantizar su validez, asegurando que sean homogéneas y representativas del área muestreada. Además, durante el transporte, los frascos deben mantenerse refrigerados a 4°C para preservar la integridad de las muestras y asegurar condiciones estables, (Guallichico, 2024).

Los envases que contienen las muestras deben estar cuidadosamente sellados y claramente etiquetados según la Normativa NTE INEN, para permitir una identificación precisa en el laboratorio. Así como también, se debe cumplir con las siguientes Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN):

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo.

2.5 Parámetros de Calidad de Agua

La calidad del agua se evalúa mediante un conjunto de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, la importancia de determinar estos parámetros es establecer los tratamientos y límites necesarios para los diferentes usos y actividades, y de este modo garantizar una buena calidad de vida para todos los ciudadanos, a la vez que cuidamos y respetamos el medio ambiente, (Fundación We Are Water, 2021).

2.5.1 Parámetros físicos

Alcalinidad

La alcalinidad se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos, que se determina por la suma de todas las bases titulables presentes, como carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. En las aguas naturales, este parámetro se expresa comúnmente en unidades de mg/L de carbonato de calcio (CaCO_3), ya que la mayoría de la alcalinidad proviene de la erosión de minerales que contienen carbonatos. La alcalinidad se atribuye principalmente a la presencia de sales de ácidos débiles, como bicarbonatos y carbonatos, así como a otros compuestos como boratos, silicatos y fosfatos, junto con bases orgánicas derivadas de la materia orgánica natural, todas ellas presentes en concentraciones relativamente bajas, (Ruiz, 2007).

Color

El color de las aguas superficiales es principalmente causado por materia orgánica como los ácidos fúlvicos y húmicos, que confieren un tono marrón amarillento. La presencia de hierro puede intensificar este color mediante la formación de humatos férricos solubles, mientras que las partículas suspendidas, como arcilla, algas, y óxidos de hierro y manganeso, también afectan la variación del color. Así, el agua puede presentar tonos que van desde amarillentos, hasta rojizos. La coloración del agua se mide en unidades de color (UC), utilizando comúnmente el sistema de Platino-Cobalto (Pt-Co), (Rodríguez Zamora, 2009).

Los límites permisibles para el agua potable según la normativa, (NTE-INEN-1108, 2020), es de 15 UC. La materia orgánica, los sedimentos y los contaminantes puede indicar la presencia de compuestos organoclorados, los cuales son regulados por la American Water Works Association, en 0.003 mg/l. Una alta concentración de estos compuestos puede representar un riesgo cancerígeno, lo que convierte el color del agua en un indicador clave de su calidad y subraya la necesidad de evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos, (Zaragoza-Bastida et al., 2016).

Conductividad

La conductividad eléctrica se refiere a la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, medida en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Este parámetro está determinado por la cantidad de iones disueltos presentes en el agua, los cuales son partículas cargadas eléctricamente provenientes de sales minerales u otras sustancias disueltas, como cloruros, sulfatos, carbonatos, entre otros. Cuanto mayor sea la cantidad de iones en el agua, mayor será su capacidad para conducir la corriente eléctrica.

Además, la temperatura del agua en el momento de la medición también puede influir en la conductividad: normalmente, a temperaturas más altas, la conductividad eléctrica tiende a ser mayor debido a la mayor movilidad de los iones, (Iberico Ruiz & Pinedo Benzaquen, 2018).

Turbiedad

La turbiedad se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) y refleja la presencia de materia coloidal que afecta la transparencia del líquido, limitando la penetración de la luz. Cuando el agua está contaminada, la visibilidad disminuye debido a los sólidos en suspensión, que pueden originarse de actividades humanas cercanas o de sustancias transportadas por la corriente, (Rodríguez Zamora., 2009).

La turbiedad del agua es un indicador importante de su calidad sanitaria; según la normativa (NTE-INEN-1108, 2020), el límite permitido para el agua potable es de 5 NTU. Según, (Rock & Rivera, 2014), indica que la eliminación de este parámetro reduce la presencia de bacterias, virus y parásitos, disminuyendo el riesgo de enfermedades, como la tifoidea, colera, y E-coli. Por lo que, al controlar la turbidez, se requiere una menor cantidad de cloro, lo que mejora la eficiencia del proceso y minimiza la formación de subproductos químicos nocivos. Así, el control de la turbidez es esencial para asegurar que el agua tratada sea segura para el consumo humano.

Temperatura.

La temperatura del agua se mide en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) o Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), es fundamental para entender y gestionar los ecosistemas acuáticos, ya que refleja la energía cinética promedio de las moléculas de agua y afecta las propiedades químicas y biológicas del medio, (Milagros, 2023).

La normativa, TULSMA, (2017), indica que el agua debe mantenerse en un rango de 5 a 20 $^{\circ}\text{C}$, para garantizar tanto la calidad microbiológica como la seguridad sanitaria del agua utilizada en diversos procesos, generalmente dicho parámetro fluctúa entre 6 $^{\circ}\text{C}$ y 15 $^{\circ}\text{C}$,

variando según la profundidad, la ubicación geográfica y la época del año. En áreas más profundas, la temperatura aumenta debido al gradiente geotérmico, mientras que factores como altitud, latitud, hora del día y condiciones ambientales también influyen en su variabilidad.

Es recomendable mantener el agua por debajo de 25 °C para evitar problemas relacionados con la proliferación de legionella. La prevención de esta bacteria incluye el control de la temperatura del agua y la eliminación de estancamientos en sistemas de distribución de agua, (Díaz García & González Pérez, 2022).

Dureza

La dureza del agua se determina por la concentración de sales minerales disueltas, especialmente los iones de Ca^{+2} y Mg^{+2} , que generalmente se expresa como una cantidad equivalente de carbonato cálcico ($CaCO_3$). En la tabla 3 se puede observar la clasificación de las aguas según su dureza, (Julián-Soto, 2010).

La OMS indica que las aguas duras pueden contribuir a la ingesta de calcio y magnesio, minerales que ayudan a prevenir la osteoporosis y beneficia el sistema cardiovascular, (Basulto, 2014).

La precipitación de carbonato de calcio ($CaCO_3$) en el interior de tuberías de fundición, acero y sobre las juntas soldadas ayuda a inhibir la corrosión al formarse una capa protectora en las superficies metálicas. Sin embargo, afecta negativamente la transferencia térmica, ya que actúan como un aislante, American water works asociation, (2002).

Tabla 3. Clasificación del agua por la dureza en $CaCO_3$

Dureza como mg/l $CaCO_3$	Tipos de Agua
0 - 75	Blanda
76 – 149	Moderadamente dura
150 – 300	Dura
>300	Muy dura

Fuente: American water works asociation, (2002).

2.5.2 Parámetros Químicos

pH

El potencial hidrógeno (pH) del agua es un indicador esencial de su acidez, neutralidad o alcalinidad, medido en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro, los valores inferiores a 7 indican acidez, mientras que valores superiores a 7 señalan alcalinidad (ver figura 4). Las aguas naturales suelen tener un pH entre 5 y 9, con un rango común de 6,0 a 8,5, (Milagros, 2023).

La temperatura del agua afecta el pH al modificar la ionización del agua y la concentración de iones hidrógeno. A temperaturas más altas, la solubilidad del dióxido de carbono (CO₂) disminuye, lo que puede aumentar el pH, (Milagros, 2023).

El pH es un parámetro fundamental en la potabilización del agua, ya que influye en procesos como la coagulación, desinfección y tratamientos biológicos, además de afectar la corrosión en las redes de distribución, (Ramírez, 2021). Según la norma, (NTE-INEN-1108, 2020), el rango aceptable de pH es de 6,5 a 8.

El pH del agua también refleja la salud del ecosistema acuático, ya que todos los organismos tienen un rango de tolerancia específico. Factores como la fotosíntesis, la respiración de microorganismos acuáticos y el equilibrio del sistema de carbono influyen en el pH del agua.

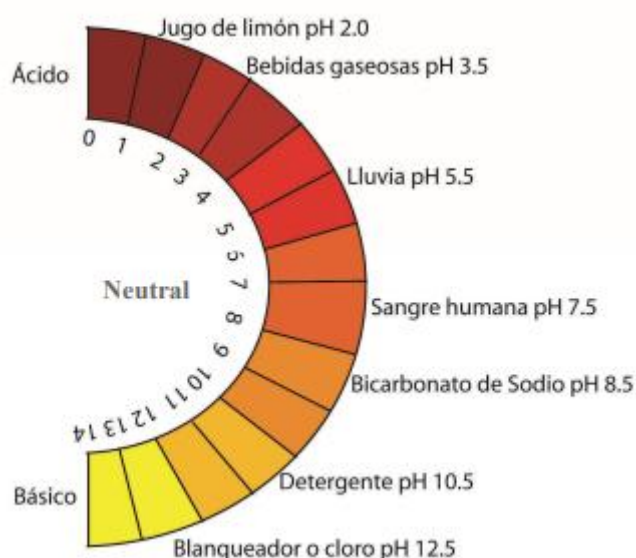


Figura 4. Escala de pH

Fuente: Milagros, (2023).

Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto en el agua se refiere a la cantidad de oxígeno atmosférico que se encuentra disuelto en ella, y sus concentraciones típicamente varían desde aproximadamente 15 mg/L a 0°C hasta alrededor de 7 mg/L a 35°C bajo una presión de 760 mmHg. Esta concentración está influenciada por factores como el movimiento del agua en ríos, la temperatura, la salinidad y la altitud,

Mantener un equilibrio adecuado de oxígeno disuelto es vital para los ecosistemas acuáticos, ya que concentraciones muy bajas afectan la respiración de los peces, mientras que un exceso puede causar burbujas de gas en sus tejidos, provocando embolias gaseosas. (Gunther, 2023).

El oxígeno disuelto es esencial en la potabilización del agua, ya que favorece la actividad de bacterias aeróbicas. Sin embargo, concentraciones excesivas pueden conducir a la formación de compuestos indeseables como los trihalometanos, cuyo límite máximo permisible es de 0.008 mg/L, según la American water works association, (2002).

Nitratos y Nitritos

Los nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-) son componentes esenciales del ciclo del nitrógeno, presentes tanto naturalmente como debido a actividades humanas como la agricultura intensiva y el tratamiento de aguas residuales. Los nitratos, derivados principalmente de fertilizantes inorgánicos y compuestos nitrogenados, son estables en ambientes oxigenados y pueden ser absorbidos por las plantas como nutrientes esenciales. Los nitritos, menos estables y más propensos a la formación durante la descomposición de nitratos, también pueden reaccionar en el cuerpo humano formando nitrosaminas, compuestos carcinogénicos, (Iberico Ruiz & Pinedo Benzaquen, 2018).

La presencia de nitratos en aguas superficiales y subterráneas, derivada de actividades agrícolas, ganaderas, procesos industriales, la oxidación de residuos nitrogenados y el uso de fertilizantes y sistemas sépticos, puede deteriorar la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos debido a su movilidad a través del suelo. Además, los nitritos, que pueden formar nitrosaminas en concentraciones elevadas, representan un riesgo para la salud pública, incluso en niveles bajos en fuentes de agua tratadas, (Cabrera Molina et al., 2003).

Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales abarcan sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica que se encuentran disueltas en el agua como moléculas, átomos, cationes o

aniones. La medición de TDS representa la suma de todas estas sustancias filtrables en el agua, usualmente determinada gravimétricamente debido a su composición mayoritariamente iónica, (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

Investigaciones indican que pueden provocar irritación gastrointestinal y, además, afectar el funcionamiento de los equipos de tratamiento en las plantas de potabilización de agua, (Yáñez & Naranjo, 2014).

Fosfatos

El ion fosfato (PO_4^{3-}) se forma a partir del fósforo inorgánico presente en forma de minerales, participando activamente en el ciclo natural del fósforo en el medio ambiente. Puede existir en solución o adherido a partículas, tanto disperso en el agua como incorporado en organismos acuáticos. La lluvia puede transportar diferentes niveles de fosfatos, los cuales se infiltran desde suelos agrícolas hacia cuerpos de agua cercanos, (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

2.5.3 Parámetros microbiológicos

Coliformes totales

Los coliformes totales, un grupo de bacterias que incluye especies como *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*, son indicadores clave de la posible contaminación fecal en el agua, (Fernández-Santisteban, 2017).

La presencia de estos microorganismos, que pueden ser aerobios o anaerobios facultativos, sugiere la existencia de contaminación fecal y la potencial presencia de patógenos, lo que representa un riesgo significativo para la salud pública. Su detección es esencial para evaluar la seguridad del agua destinada al consumo humano, ya que estos coliformes son comunes en el suelo, las plantas, los animales y los seres humanos, y su presencia en el agua indica contaminación por aguas residuales o desechos en descomposición, tanto en la superficie como en el lecho del agua y los sedimentos acumulados, (Fernández-Santisteban, 2017).

Coliformes fecales

Los coliformes fecales, incluyendo *Escherichia coli*, son bacterias que provienen principalmente de materia fecal animal o humana, y su presencia en el agua indica contaminación fecal. Estos microorganismos suelen originarse de desechos de alcantarillas, aguas residuales y excrementos de ganado. La detección de coliformes fecales es crucial para evaluar la calidad y seguridad del agua, ya que su presencia sugiere un riesgo potencial

para la salud pública, incluyendo enfermedades gastrointestinales graves si se ingieren a través de agua contaminada, (Durán & Eduardo, 2016).

2.6 Índice de la calidad del agua

La calidad del agua se evalúa mediante una combinación de parámetros físicos, químicos y biológicos que determinan su idoneidad para diversos usos. Un índice de calidad del agua (ICA) resume estos parámetros en una expresión simplificada, facilitando la comunicación de esta información. El ICA puede representarse como un número, rango, símbolo o color, permitiendo una interpretación fácil de la calidad del agua. Por ejemplo, un ICA del 0 % indica agua altamente contaminada, mientras que un 100 % sugiere condiciones óptimas para un uso específico, (Puente Miranda et al., 2023).

Los índices pueden utilizarse para generar, mejorar o actualizar la información sobre la calidad de un cuerpo de agua. Poseen la capacidad de resumir y simplificar datos complejos, pueden integrarse en modelos para la toma de decisiones, y son comprensibles para el público, los medios y los usuarios. Además, representan un aspecto particular del problema y deben interpretarse con precaución, de manera crítica y ser actualizados periódicamente. Todas estas son características del índice de calidad, (Puente Miranda et al., 2023).

2.6.1 ICA-NSF

El Índice de Calidad del Agua (ICA) más utilizado hasta la actualidad es el propuesto por la National Sanitation Foundation (NSF), creado por Brown en 1970 para el análisis de la calidad de los ríos. Este índice, que es una versión modificada del "WQI" (Water Quality Index), ha sido adoptado y validado por numerosos estudios internacionales. El ICA define ciertos parámetros con pesos ponderados y subíndices para su cálculo, permitiendo comparar la calidad del agua en diferentes tramos de ríos y a lo largo del tiempo, así como realizar comparaciones globales. Se genera a partir de elementos básicos según los usos del agua, definiendo su aptitud respecto a usos prioritarios.

El Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) se determina mediante los siguientes parámetros que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros para determinar el ICA-NSF

Parámetro	Unidad
Coliformes Fecales	NPM/100 mL
pH	Unidades de pH
Nitratos (NO ₃)	mg/L
Fosfatos (PO ₄)	mg/L
Variación de la temperatura	°C
Turbidez	NTU
Sólidos Totales Disueltos	mg/L
Oxígeno Disuelto	% de Saturación
Demanda Bioquímica	DBO

Fuente: Puente Miranda et al., (2023).

2.6.2 ICA-NSF, ICA-DINIUS

Según Torres et al., (2010), los parámetros que abarca el ICA-NSF y el ICA-Dinius determinan su importancia en el ámbito legislativo como estándares de calidad del agua. El Índice de Calidad del Agua (ICA-Dinius) ofrece una posibilidad de comparación siempre y cuando se realice de manera consistente en su cálculo. Con el propósito de establecer criterios generales, a continuación, se presentan directrices propuestas por el panel de expertos Dinius (1987). Este índice define 6 rangos que indican el estado de calidad del agua: (E) Excelente; (A) Aceptable; (LC) Levemente Contaminada; Contaminada (C); (FC) Fuertemente Contaminada; y (EC) Excesivamente Contaminada, (Vizcaíno, 2018).

A continuación, en la tabla 5 se presentan los índices evaluados por el ICA NSF, y el ICA Dinius.

Tabla 5. Parámetros de análisis determinados por el ICA-NSF y el ICA-Dinius

Parámetros	ICA NSF 1978	ICA Dinius 1972
OD	X	X
pH	X	X
DBO	X	X
Nitratos	X	X
Coliformes fecales	X	X
Temperatura	X	X
Turbiedad	X	
Sólidos disueltos totales	X	
Fosfatos	X	
Conductividad		X
Color		X
Cloruros		X
Coliformes totales		X
Alcalinidad		X
Dureza		X

Fuente: Torres et al., (2010).

Estos rangos establecen criterios en función del valor numérico del ICA, los cuales se detallan a continuación en la figura 5, dependiendo del uso previsto del agua, incluyendo medidas o límites aconsejables.

Categoría	Rango	Descripción
Excelente	90-100	No requiere tratamiento para consumo
Aceptable	80-90	Tratamiento menor requerido
Levemente Contaminada	70-80	Dudoso consumo sin tratamiento
Contaminada	50-70	Tratamiento de potabilización necesaria
Fuertemente Contaminad	40-50	Dudoso para consumo
Extremadamente contaminada	0-40	Inaceptable para consumo

Figura 5. Valores del ICA-Dinius asociados a la calidad de agua para consumo humano.

Fuente: Dinius (1987).

Capítulo 2

Materiales y métodos

3.1 Tipo de estudio

El estudio adopta un enfoque descriptivo y de trabajo de campo para analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en las microcuencas Rodeo, Campamento y Yabana durante los períodos de invierno y sequía. El objetivo es determinar la calidad del agua en estos puntos de estudio, los cuales están destinados a ser puntos de captación para la posible implementación de una nueva planta de agua potable, sujeta a la decisión del JAAPS.

3.2 Ubicación de la zona de estudio y delimitación de las microcuencas

Para la selección de los sitios de monitoreo, se realizó un recorrido de campo y se utilizó el programa Avenza Maps para identificar los tramos más representativos de las microcuencas y definir los puntos de muestreo. Se seleccionaron tres puntos en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana, considerando factores como la facilidad de captación de agua, la ausencia de una población extensa y la altitud respecto al centro urbano de la parroquia Cumbe. Las coordenadas de estos puntos se detallan en la tabla 6 y se ilustran en la Figura 6.

Tabla 6. Coordenadas de los sitios de muestreo

MICROCUENCA	LUGAR	COORDENADAS SUR	COORDENADAS NOR	ALTITUD	# Punto
Campamento	Cumbe	3.14348	79.02817	2800 msnm	1
Rodeo	Cumbe	3.14347	79.02826	2800 msnm	2
Yabana	Cumbe	3.14348	79.02817	2800 msnm	3

Fuente: Autores (2024).

Las microcuencas Campamento (Figura 7) y Rodeo (Figura 8) se originan en el páramo, desarrollándose a partir del drenaje de numerosas vertientes en la cuenca media. Es importante destacar que en estas zonas se ha sustituido la cubierta vegetal natural por pastizales para la ganadería, lo que ha desencadenado procesos erosivos significativos.

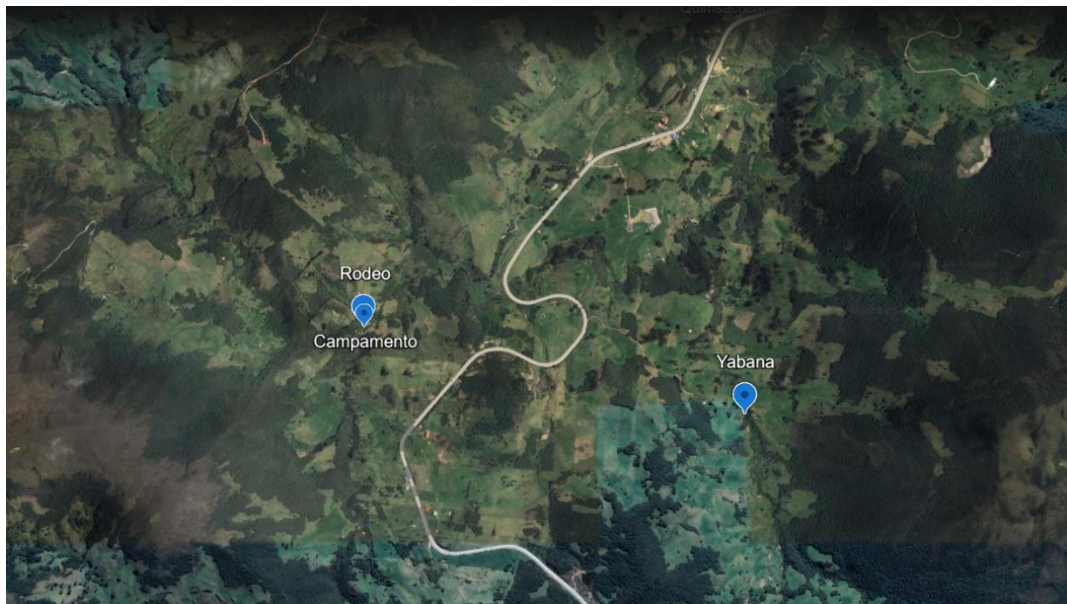


Figura 6. Ubicación de los tres puntos de muestreo

Fuente Autores (2024).



Figura 7. Microcuenca Campamento en época de estiaje

Fuente: Autores (2024)



Figura 8. Microcuenca Rodeo en época de estiaje

Fuente: Autores (2024).

El tercer punto de muestreo (Figura 9) se ubica a aproximadamente 2500 metros de las microcuencas Rodeo y Campamento. A diferencia de estas, Yabana, aunque también es una zona ganadera, cuenta con una mayor cobertura vegetal natural. Además, presenta una incidencia similar de descargas de aguas residuales y escorrentías del subsuelo que fluyen hacia la microcuenca.



Figura 9. Microcuenca Yabana en época de estiaje

Fuente: Autores (2024).

3.2.1 Delimitación de las microcuencas

La delimitación de las microcuencas se realizó utilizando el programa QGIS, empleando un modelo de elevación del terreno proporcionado por SIGTIERRAS, con una resolución de 3x3 metros por píxel. Posteriormente, mediante un procesamiento altimétrico, se generó el Modelo Digital de Terreno (MDT), a partir del cual se obtuvo la delimitación precisa de las tres microcuencas, como se muestra en la figura 10, adicional la delimitación se muestra en el presente documento como anexo K.

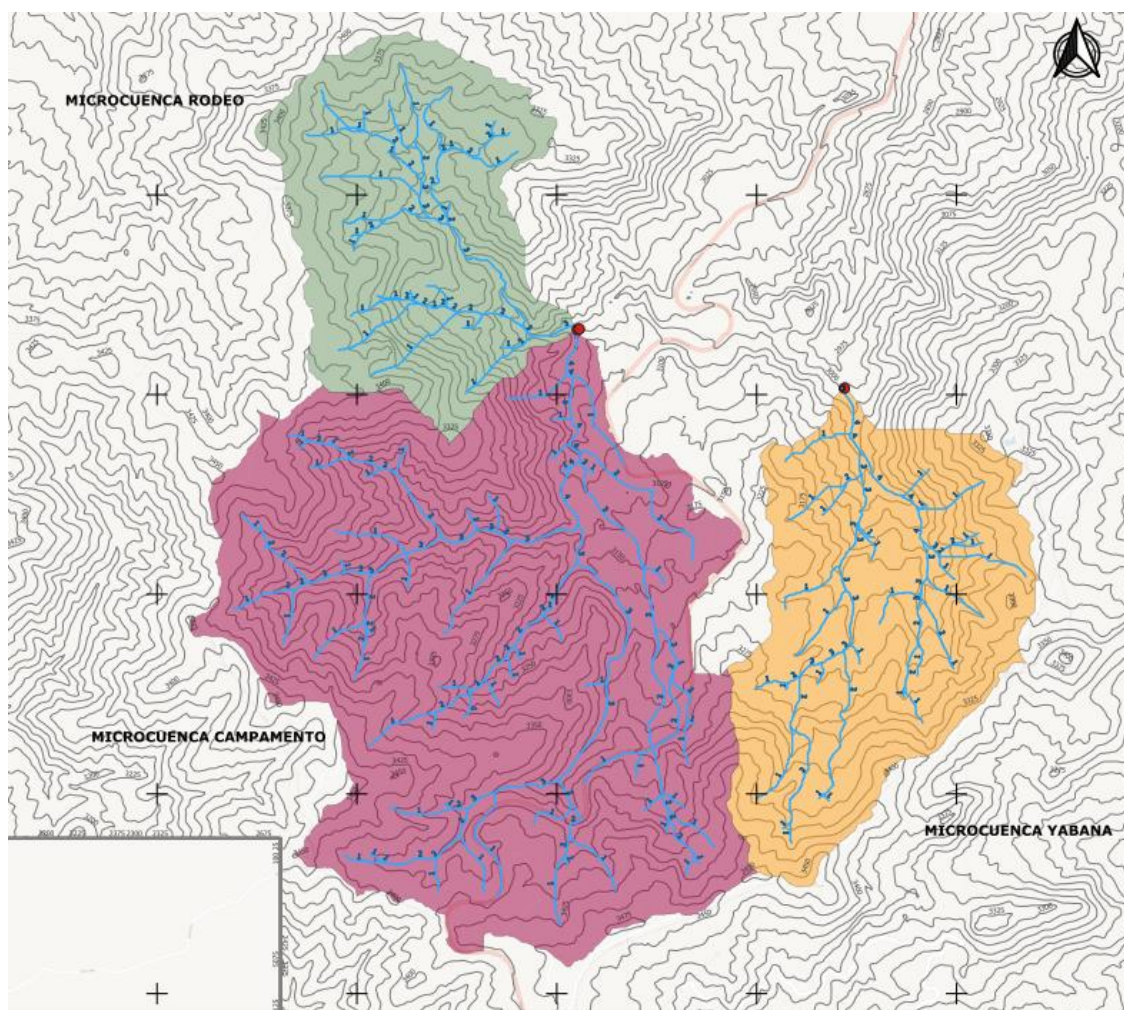


Figura 10. Delimitación de las microcuencas Rodeo, Campamento, Yabana.

Fuente: Mejía Alvaro (2024).

La Junta de Administración de Agua Potable y Saneamiento Cumbe (JAAPS) se enfoca en la gestión sostenible y conservación de las microcuencas mediante la reforestación y la adquisición de terrenos estratégicos. Estas fuentes superficiales, situadas en pequeños cauces, recogen agua de microcuencas altas que están impactadas por actividades

ganaderas, como el pastoreo intensivo y la deforestación. Estas actividades han alterado el equilibrio ecológico y la calidad del agua, por lo que es importante implementar medidas de conservación para restaurar y proteger estos recursos hídricos vitales.

3.3 Plan de muestreo

Para asegurar una evaluación representativa de la calidad del agua en los tres puntos de las microcuencas, se estableció un plan de muestreo que abarca desde febrero hasta julio de 2024. Este período fue seleccionado para cubrir tanto la época de estiaje, en los meses de febrero a marzo. Mientras que la época de invierno, se cubrió en los meses de abril a julio.

La época de estiaje y la de invierno son fundamentales porque permiten observar cómo las variaciones en el caudal y la influencia de las lluvias afectan la calidad del agua. Al incluir ambos períodos en el plan de muestreo, se garantiza una visión integral de las condiciones estacionales y sus impactos en las microcuencas.

3.3.1 Toma y Conservación de las muestras

Se realizó un muestreo simple en tres puntos de las microcuencas, siguiendo las recomendaciones de las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN 2169:1998 y NTE INEN 2176:1998 para el manejo y técnicas de muestreo de agua. La tabla 7 presenta la frecuencia de muestreo en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana durante los períodos de sequía e invierno. En total, se recolectaron 8 muestras entre febrero y julio.

Tabla 7. Frecuencia de muestreo

Meses y fechas								
Microcuenca	Febrero	Marzo		Abril	Mayo		Junio	Julio
	27	11	18	27	09	20	24	08
Campamento	X	X	X	X	X	X	X	X
Rodeo	X	X	X	X	X	X	X	X
Yabana	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Autores (2024).

Las muestras fueron recolectadas durante las horas matutinas y transportadas en una hielera junto con un equipo de medición. Este equipo incluía un Water Quality Meter Kit Sper Scientific 850081 y un Dissolved Oxygen Analyzer DO9100, diseñados para medir parámetros específicos in situ.

Se emplearon envases de plástico de 2000 ml previamente lavados de acuerdo con la normativa INEN 2226:2000 para la toma de muestras generales. Para las muestras destinadas al análisis de fosfatos, se utilizaron envases de plástico de alta densidad y esterilizados. Para el análisis de coliformes, se emplearon frascos estériles de 100 ml a 250 ml, específicos para análisis microbiológicos.

Para garantizar la calidad y precisión en la toma de muestras, se consideran los siguientes pasos:

- Utilizar guantes de nitrilo y un mandil limpio antes de comenzar la toma de muestras.
- Identificar los recipientes mediante etiquetas.
- Medir los parámetros in situ (temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y sólidos totales disueltos) siguiendo las especificaciones de cada equipo y registrar los valores.
- Homogeneizar los envases con el agua del punto correspondiente mediante al menos tres agitaciones.
- Sumergir el envase en la microcuenca hasta llenarlo por completo, asegurándose de evitar la inclusión de burbujas de aire, y tapar herméticamente.
- Colocar la muestra en la hielera para mantenerla a una temperatura de 4°C hasta su llegada al laboratorio.

La determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se realizó en el Laboratorio de Análisis Bromatológico de la Universidad de Cuenca, mientras que el análisis de fosfatos se llevó a cabo en el Laboratorio de Calidad del Agua del Campus Balzay. Los análisis se realizaron utilizando equipos específicos y técnicas de acuerdo con las normativas vigentes, detalladas en la Tabla 8.

Tabla 8. Equipo y métodos empleados para los parámetros físico químicos y microbiológicos.

Parámetros	Sitio de medición	Equipo/ Método	Fotografía
Conductividad	in situ	Equipo multiparámetros, <i>Water Quality Meter Kit Sper Scientific 850081</i>	
Sólidos disueltos totales	in situ		
Temperatura	in situ		
Oxígeno disuelto	in situ	<i>Dissolved oxygen analyzer DO9100</i>	
Fosfatos	Laboratorio de Calidad del Agua del Campus Balzay	Equipo <i>HACH DR 2800</i>	
Alcalinidad		Método volumétrico	
pH		<i>Thermo Scientific™ Orion™ Versa Star Pro™</i>	
Color real (UC)		NTE INEN-ISO 7393-1	
Turbiedad (NTU)		NTE INEN-ISO 7027	
Nitratos (<i>NO₃</i>)		NTE INEN 995: 2013	
Nitritos (<i>NO₂</i> ppm)		NTE INEN 995: 2013	
Dureza total		NTE INEN 995	
Coliformes totales		NTE INEN-ISO 9308-1	
Coliformes fecales		NTE INEN-ISO 9308-1	

Fuente: Autores (2024).

En la Tabla 9 se detallan los recipientes utilizados para el muestreo, incluyendo sus respectivos volúmenes y los parámetros específicos para los cuales están destinados. Esta tabla proporciona una descripción exhaustiva de cada recipiente, permitiendo una comprensión precisa de su uso en el proceso de muestreo.

Tabla 9. Recipientes empleados en el muestreo.

Parámetros	Recipiente	Volumen muestra	Fotografía
Parámetros físico químicos	Envases de plástico	2000 ml	
Parámetros Microbiológicos y Fosfatos	Polietileno de Alta Densidad (HDPE)	100 ml	
Transporte de muestras	Hielera	6 litros	

Fuente: Autores (2024).

3.4 Medición in situ de los parámetros de calidad de agua

Para realizar mediciones precisas de conductividad, sólidos disueltos totales y temperatura en sus respectivas unidades ($\mu\text{S/cm}$, ppm, mg/L y $^{\circ}\text{C}$), se emplea el equipo multiparámetros Water Quality Meter Kit Sper Scientific 850081. Este dispositivo está diseñado específicamente para aplicaciones en el campo de la calidad del agua, proporcionando datos exactos y confiables. El Water Quality Meter Kit Sper Scientific 850081 cuenta con sondas intercambiables de alta precisión que permiten la lectura de cada uno de los parámetros mencionados.

Para medir el porcentaje de oxígeno disuelto se utilizó el analizador Dissolved Oxygen Analyzer DO 9100. Este dispositivo preciso mide tanto el oxígeno disuelto como la

temperatura. La sonda emplea una película delgada con un sensor polarográfico y un termistor para la medición y compensación de temperatura. Una membrana permeable separa la solución del electrodo, permitiendo que el oxígeno reaccione y se mida con precisión en porcentaje (%) y mg/L.

3.5. Procedimiento para la medición de parámetros in situ.

Para la medición de parámetros in situ, se sigue el siguiente procedimiento:

3.5.1 Preparación del equipo:

- Verificar que el conductímetro portátil Water Quality Meter Kit Sper Scientific 850081 y el equipo Dissolved oxygen analyzer DO 9100 estén correctamente calibrados y en buen funcionamiento antes de su uso.
- Asegurarse de que las sondas estén limpias y en buenas condiciones, ya que la suciedad o el daño pueden afectar la precisión de las mediciones.
- Conectar la sonda al equipo siguiendo las instrucciones del fabricante.

3.5.2 Procedimiento de medición:

- Tomar una muestra de agua utilizando un frasco limpio y libre de contaminantes que pueden afectar los resultados.
- Sumergir la sonda de oxígeno disuelto en el frasco con la muestra de agua, garantizando que esté completamente sumergida y en posición estable.
- Permitir que el equipo se estabilice durante al menos cinco minutos para garantizar lecturas precisas y estables.
- Registrar los valores del parámetro medido: oxígeno disuelto.
- Sumergir la sonda en el agua de la microcuenca, hasta que quede completamente sumergida y en una posición estable.
- Permitir que el equipo se estabilice durante al menos cinco minutos para garantizar una lectura precisa y estable.
- Una vez que la lectura se haya estabilizado, registrar los parámetros: temperatura, sólidos totales disueltos y conductividad.

3.6 Procedimiento de los parámetros químicos

3.6.1 pH

Para medir el pH con el equipo Thermo Scientific Orion VersaStar Pro, se debe proceder de la siguiente manera.

- Encender el equipo y asegurarse de que esté en el modo de medición adecuado.
- Tomar 50 ml de la muestra en un vaso de precipitado limpio.
- Sumergir el electrodo en la muestra de agua, sin que este toque el fondo del vaso.
- Esperar a que la lectura se estabilice en la pantalla del equipo.
- Registrar el valor de pH mostrado una vez que la lectura sea estable.
- Limpiar el electrodo después de la medición.

3.6.2 Nitratos-Nitritos

- Calibrar el espectrofotómetro a cero utilizando agua destilada, ajustando la absorbancia a cero o la transmitancia al 100 %.
- Tomar una muestra de 50 cm³ de agua.
- Filtrar, si es necesario, para eliminar las partículas en suspensión.
- Adicionar 1 cm³ de solución de ácido clorhídrico HCl de concentración 1 normal (1N) (HCl) 1 N a la muestra y mezclar bien para asegurar una reacción completa.
- Colocar la muestra en las celdas del espectrofotómetro y medir su absorbancia a una longitud de onda de 220 nm para determinar la concentración de nitratos (NO₃⁻).
- Realizar una medición adicional a 275 nm para identificar y corregir cualquier interferencia causada por la materia orgánica disuelta.
- Calcular y registrar los resultados de la concentración de nitratos, expresados en mg/L o ppm, considerando las interferencias detectadas y las correcciones aplicadas.

3.6.3 Fosfatos

- Encender el equipo HACH DR 2800 y verificar su calibración.
- Preparar los reactivos de fosfatos siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Filtrar las muestras si es necesario.
- Transferir un volumen específico de las muestras a cubetos de reacción limpios.
- Añadir el reactivo de fosfatos a los cubetos.

- Mezclar bien y permitir que la reacción se desarrolle durante el tiempo recomendado, generalmente 10 minutos, para asegurar la formación completa del complejo coloreado.
- Colocar los cubetos en el compartimento del HACH DR 2800.
- Seleccionar el método de medición para fosfatos en el menú del equipo.
- Registrar la absorbancia.
- Obtener la concentración de fosfatos en las muestras en mg/L, proporcionada por el equipo, y compararla con los estándares para determinar la concentración de fosfatos presente en las muestras analizadas.

3.6.4 Alcalinidad

Se determinó la alcalinidad total del agua mediante un método volumétrico basado en la titulación con una disolución de ácido clorhídrico HCl 0.02 N. Se utilizó el indicador naranja de metilo para identificar el punto final de la titulación.

Este parámetro se determinó en el laboratorio de análisis bromatológico de la facultad de Ciencias químicas mediante el siguiente procedimiento:

- Colocar 50 ml de la muestra de agua en un erlenmeyer de 250 ml
- Adicionar 2 gotas de naranja de metilo en la muestra.
- Proceder a titular con ácido clorhídrico 0.02 N
- Detener el viraje cuando la muestra haya cambiado de color amarillo a naranja.
- Registrar el volumen obtenido en la titulación.
- Con la siguiente fórmula se procede a determinar la alcalinidad total.

$$\text{Alcalinidad Total CaCO}_3 \text{ mg/l} = \frac{V_{\text{Titulación}} * N * K * \text{meq CaCO}_3 * 1000 * 1000}{V_{\text{muestra}}}$$

Ecuación 1

3.6.5 Dureza

Para la determinación de este parámetro según la NTE INEN 995, se prepararon los equipos y los reactivos necesarios, incluyendo una solución estándar de EDTA, un indicador de complejo de calcio y magnesio, y una solución de cloruro de calcio y magnesio. Se tomó una muestra de agua y se ajustó su pH a un rango adecuado (generalmente entre 10 y 11) con una solución tampón si era necesario. Se añadió el indicador de complejo a la muestra en un matraz Erlenmeyer.

Se tituló la muestra con la solución estándar de EDTA usando una bureta hasta observar un cambio de color, lo cual indicó que todos los iones de calcio y magnesio habían reaccionado. Se registró el volumen de EDTA utilizado y se calculó la dureza del agua, expresada en mg/L de CaCO_3 (carbonato de calcio), basándose en el volumen de EDTA consumido durante la titulación.

3.6.6 Color

La determinación del color en la muestra se realizó con un espectrofotómetro calibrado con estándares de platino-cobalto de concentraciones conocidas, seleccionados por su alta precisión y reproducibilidad.

Para asegurar mediciones precisas, se limpió la celda fotométrica del espectrofotómetro. El procedimiento comenzó con el lavado de la celda y su llenado con agua destilada, que sirvió como blanco para establecer una línea base. Tras medir el blanco, se llenó la celda con 10 ml de la muestra y se colocó en la cámara del espectrofotómetro. El espectrofotómetro proporcionó valores de absorbancia que, al compararse con los estándares calibrados, permitieron determinar el color de la muestra con precisión.

3.6.7 Turbiedad

Para este parámetro se emplea el siguiente procedimiento:

- Lavar meticulosamente la celda fotométrica para eliminar cualquier residuo.
- Llenar la celda con agua destilada para calibrar el blanco, estableciendo una referencia base.
- Retirar la celda y lavarla nuevamente para evitar contaminaciones.
- Introducir un volumen específico de la muestra en la celda limpia.
- Colocar la celda con la muestra en la cámara fotométrica del espectrofotómetro.
- Medir la turbidez utilizando la función de prueba de turbidez del espectrofotómetro.
- Asegurar la exactitud de las mediciones eliminando posibles fuentes de error.

3.6.8 Coliformes totales y fecales

- Preparar los equipos y materiales necesarios, incluyendo filtros de membrana de 0.45 μm , bombas de vacío y placas de Petri con los medios de cultivo apropiados (m-Endo para coliformes totales y mFC para coliformes fecales).
- Lavar y esterilizar todos los equipos y utensilios previamente para evitar contaminaciones.

- Filtrar un volumen específico de la muestra, generalmente 100 ml, a través del filtro de membrana utilizando el sistema de vacío.
- Retirar la membrana con pinzas estériles.
- Colocar la membrana en una placa de Petri con el medio de cultivo adecuado.
- Incubar las placas a 35-37°C durante 24 horas para coliformes totales y a 44.5°C durante 24 horas para coliformes fecales.
- Contar las colonias en las placas tras la incubación.
- Identificar las colonias de coliformes totales por su coloración roja o metálica en el medio m-Endo, y las de coliformes fecales por su coloración característica en el medio mFC.
- Registrar los resultados como el número de colonias por 100 ml de muestra para cada tipo de coliforme analizado.

3.7 Análisis del ICA-NSF, ICA Dinius.

Durante el periodo de monitoreo, se tomaron ocho muestras de agua en un periodo de 6 meses en cada una de las tres microcuencas, sumando un total de veinte y cuatro muestras. Estas muestras proporcionaron información sobre el estado del agua en cada microcuenca. Una vez obtenidos los valores de los parámetros estudiados, se evaluó la calidad del agua utilizando el software ICA-Test v1.0.

Mediante cálculos matemáticos, este programa permitió valorar la calidad del agua asignando los valores de los parámetros en las unidades correspondientes y aplicando los pesos según la metodología establecida por la NSF y Dinius.

3.7.1 Metodología para la determinación del ICA-NSF, ICA-Dinius

Con la información recopilada y considerando la aplicabilidad de estos parámetros a las microcuencas seleccionadas, se procedió a determinar el valor del Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF).

El índice NSF (1978) se fundamenta en la ecuación 2. Este método consiste en la suma de los productos resultantes de los subíndices de cada parámetro de calidad y los pesos o porcentajes asignados a cada parámetro (Brown, R. M., 1970).

$$ICA_a = \sum_{i=1}^n (Sub_i * W_i)$$

Ecuación 2

Donde:

- ICA_a : índice de calidad
- i : cada uno de los parámetros de calidad elegidos
- Sub_i : subíndice del parámetro i ; (se encuentra entre 0 y 100)
- W_i : pesos relativos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre 0 y 100, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a 100.

El índice de calidad de Dinius (1972) se calcula mediante la ecuación 3, que consiste en multiplicar cada subíndice elevado a su ponderación correspondiente. Esta ponderación en el ICA-Dinius se basa en 9 parámetros, detallados en la tercera columna de la tabla 11.

En tal sentido, el índice

$$I = \prod_{i=1}^n (Si^{Wi})$$

Ecuación 3

Donde:

- I : índice de calidad
- Si : Subíndice de la calidad para el parámetro i .
- Wi : Coeficiente de ponderación del parámetro i .
- n : Número total de parámetros.

Para calcular el respectivo subíndice de cada parámetro se basó en las siguientes fórmulas que se describen a continuación en la tabla 10.

Tabla 10. Funciones de subíndice de cada parámetro para el índice de Dinius.

Parámetro	Función subíndice (Si)
Oxígeno disuelto (OD)	$Si_{OD} = 0.82 (OD) + 10.56$
Coliformes totales (CT)	$Si_{CT} = 136(CT)^{-0.1311}$
Coliformes fecales (CF)	$Si_{CF} = 106(CF)^{-0.1286}$

Potencial de hidrógeno (pH)	$Si_{pH} = 10^{0.6803+0.1856*pH} \quad Si \text{ pH} < 6.9$ $Si_{pH} = 100 \quad Si \text{ pH} = 7$ $Si_{pH} = 10^{3.65-0.2216**pH} \quad Si \text{ pH} > 7$
Conductividad (Cond)	$Si_{Cond} = 506 (Cond)^{-0.3315}$
Color (Col)	$Si_{Col} = 127 (Col)^{-0.2394}$
Dureza (Dur)	$Si_{Dur} = 552(Dur)^{-0.4488}$
Alcalinidad total (Alk)	$Si_{Alk} = 110(Alk)^{-0.1342}$
Nitratos (NO_3)	$Si_{(NO_3)} = 125(NO_3)^{-0.2718}$

Fuente: Autores (2024)

A continuación, en la tabla 11 se muestran los pesos ponderados asignados a cada parámetro en los índices NSF (1978) y de Dinius (1972).

Tabla 11. Pesos ponderados de los parámetros empleados para el análisis.

Parámetro	Valor Wi-NSF (1978)	Valor Wi-Dinius (1972)
Coliformes Fecales	0.17375	0.144
pH	0.12375	0.105
Nitratos (NO3)	0.11375	0.118
Fosfatos (PO4)	0.11375	-
Variación de la temperatura	0.11375	-
Turbidez	0.09375	-
Sólidos Totales Disueltos	0.08375	-
Oxígeno Disuelto	0.18375	0.137
Conductividad	-	0.107
Color	-	0.091
Dureza	-	0.093
Alcalinidad Total	-	0.091
Coliformes Totales	-	0.118

Fuente: Autores (2024)

Utilizando el software ICA-Test v1.0, se obtienen los valores necesarios que permiten calcular el índice de calidad del agua en cada punto de muestreo. En la figura 11, se exhiben los rangos de calidad y los colores establecidos conforme a los estándares de calidad del agua propuestos por Dinius (1972) y NSF (1978). La aplicación de estos índices busca interpretar y relacionar de manera coherente los resultados de calidad, teniendo en cuenta los valores definidos para cada uno de estos índices.

Indice Dinius (1972)		INSF(1978)		Color
Calidad	Rango	Calidad	Rango	
Excelente	91-100	Excelente	91-100	Blue
Buena	81-90	Buena	71-90	Green
Regular	51-80	Regular	51-70	Yellow
Mala	41-50	Mala	26-50	Brown
Muy mala	0	Muy mala	0-25	Red

Figura 11. Clasificación de la calidad del agua en función del índice NSF, Dinius.

Autor: Vega (2021).

3.7.2 Cálculo de los subíndices

Según Puente Miranda et al. (2023), el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) requiere los valores de 9 parámetros, aunque es posible realizarlo con al menos 6 de ellos. En nuestro estudio, para el cálculo del ICA-NSF se utilizaron los valores de ponderación W_i -NSF 1978, como se detalla en la Tabla 11. Para el ICA-Dinius, se emplearon los valores de ponderación W_i -Dinius 1972, también citados en la misma tabla.

Para el cálculo de los subíndices, se empleó un procedimiento que consistió en la interpolación en curvas estandarizadas propuestas por Brown para obtener los subíndices (I), lo que permite una evaluación precisa al considerar cada parámetro individualmente. Estos subíndices se determinan con las gráficas que relacionan las concentraciones con los valores de calidad, expresados en una escala de 0 a 100, indicando desde muy mala hasta excelente.

Capítulo 3

Resultados y Discusiones

En este capítulo se presentan los resultados de los análisis de las muestras de las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana durante las épocas de estiaje e invierno, en el periodo de 6 meses. Los cuales se comparan con las normativas nacionales (TULSMA) e internacionales (FAO).

4.1 Clasificación de resultados

Para calcular el índice de calidad, se consideran los resultados obtenidos en los análisis realizados en el Laboratorio de Análisis Bromatológico y Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca. Estos resultados corresponden a los tres puntos de muestreo durante las temporadas de estiaje e invierno en la zona. Los datos obtenidos se presentan detalladamente en las Tablas 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19.

Tabla 12. Resultados del muestreo #1 (Fecha: 27/02/2024)

Parámetro	Campamento	Rodeo	Yabana
Temperatura (°C)	11,3	11,3	11,4
Conductividad (us/cm)	41,5	26,6	43,2
Alcalinidad (mg/L)	17,5	31	28
Color real (UC)	300	280	230
Turbiedad (NTU)	17	15	12
Nitratos (NO3, ppm)	27	32	29
Nitritos (NO2, ppm)	0,5	0,5	0,2
Dureza total (mg CaCO3/L)	110	90	87
Fosfatos (mg/L)	0,04	0,36	0,17
OD (mg/L)	11,3	12,3	12,6
pH	7,39	7,49	7,68
SDT (mg/L)	28	24	28,7
Coliformes totales (UFC/100ml)	200	250	150
Coliformes fecales (UFC/100ml)	90	100	78

Fuente: Autores (2024).

Tabla 13. Resultados del muestreo #2 (Fecha: 11/03/2024)

Parámetro	Campamento	Rodeo	Yabana
Temperatura (°C)	11,8	11,4	11,3
Conductividad (us/cm)	54	26,64	58,3
Alcalinidad (mg/L)	22,5	28	34,5
Color real (UC)	150	180	110
Turbiedad (NTU)	9	11	7
Nitratos (NO3, ppm)	13	10	18
Nitritos (NO2, ppm)	0,3	0,2	0,2
Dureza total (mg CaCO3/L)	98	120	100
Fosfatos (mg/L)	0,04	0,36	0,17
OD (mg/L)	11,8	12	12,3
pH	7,86	7,61	7,78
SDT (mg/L)	26,2	31,1	39,1
Coliformes totales (UFC/100ml)	120	160	80
Coliformes fecales (UFC/100ml)	80	10	20

Fuente: Autores (2024).

Tabla 14. Resultados del muestreo #3 (Fecha:18/03/2024)

Parámetro	Campamento	Rodeo	Yabana
Temperatura (°C)	11,6	11,4	11,5
Conductividad (us/cm)	62,2	55,8	65,6
Alcalinidad (mg/L)	27	36	48
Color real (UC)	160	200	190
Turbiedad (NTU)	12	20	18
Nitratos (NO ₃ , ppm)	22	35	28
Nitritos (NO ₂ , ppm)	0,2	0,2	0,3
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	150	100	90
Fosfatos (mg/L)	0,05	0,05	0,03
OD (mg/L)	12,6	12,1	12,2
pH	7,67	7,77	7,83
SDT (mg/L)	42,4	37,2	44,1
Coliformes totales (UFC/100ml)	80	120	110
Coliformes fecales (UFC/100ml)	38	64	54

Fuente: Autores (2024).

Tabla 15. Resultados del muestreo #4 (Fecha: 27/04/2024)

Parámetro	Campamento	Rodeo	Yabana
Temperatura (°C)	12	11,4	11,7
Conductividad (us/cm)	70,1	55,8	57,1
Alcalinidad (mg/L)	35	36	38
Color real (UC)	90	100	120
Turbiedad (NTU)	20	35	28
Nitratos (NO ₃ , ppm)	15	10	12
Nitritos (NO ₂ , ppm)	0,5	0,3	0,2
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	98	110	115
Fosfatos (mg/L)	0,07	0,1	0,04
OD (mg/L)	10,8	11,9	11,2
pH	7,69	7,56	7,79
SDT (mg/L)	47,2	38,2	44,1
Coliformes totales (UFC/100ml)	68	90	120
Coliformes fecales (UFC/100ml)	20	35	40

Fuente: Autores (2024).

Tabla 16. Resultados del muestreo #5 (Fecha: 09/05/2024)

Parámetro	Campamento	Rodeo	Yabana
Temperatura (°C)	11,2	11	11,6
Conductividad (us/cm)	57,4	45,8	53,2
Alcalinidad (mg/L)	36	38	35
Color real (UC)	90	80	100
Turbiedad (NTU)	15	10	12
Nitratos (NO ₃ , ppm)	8	18	12
Nitritos (NO ₂ , ppm)	0,2	0,3	0,3
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	90	120	160
Fosfatos (mg/L)	0,08	0,17	0,09
OD (mg/L)	12,3	11,8	12
pH	6,84	7,54	7,70
SDT (mg/L)	36,8	29,4	34,4
Coliformes totales (UFC/100ml)	80	95	120
Coliformes fecales (UFC/100ml)	32	24	45

Fuente: Autores (2024).

Tabla 17. Resultados del muestreo #6 (Fecha: 20/05/2024)

Parámetro	Campamento	Rodeo	Yabana
Temperatura (°C)	11,5	11	11,5
Conductividad (us/cm)	54,8	41,6	49,8
Alcalinidad (mg/L)	38	35	32
Color real (UC)	85	88	70
Turbiedad (NTU)	17	5	18
Nitratos (NO ₃ , ppm)	10	6	15
Nitritos (NO ₂ , ppm)	0,3	0,2	0,5
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	120	98	140
Fosfatos (mg/L)	0,075	0,135	0,065
OD (mg/L)	11	12,2	11,8
pH	6,63	7,48	7,52
SDT (mg/L)	33,4	27,8	32,3
Coliformes totales (UFC/100ml)	60	110	86
Coliformes fecales (UFC/100ml)	27	44	23

Fuente: Autores (2024).

Tabla 18. Resultados del muestreo #7 (Fecha: 24/06/2024)

Parámetro	Campamento	Rodeo	Yabana
Temperatura (°C)	11	11	10,7
Conductividad (us/cm)	71,3	63,11	70,05
Alcalinidad (mg/L)	34	32	46
Color real (UC)	150	100	80
Turbiedad (NTU)	25	15	10
Nitratos (NO3, ppm)	20	8	12
Nitritos (NO2, ppm)	0,5	0,3	0,5
Dureza total (mg CaCO3/L)	120	110	90
Fosfatos (mg/L)	0,06	0,05	0,07
OD (mg/L)	11,5	11,3	11
pH	7,98	7,75	6,69
SDT (mg/L)	45	37,3	40
Coliformes totales (UFC/100ml)	120	108	90
Coliformes fecales (UFC/100ml)	47	39	41

Fuente: Autores (2024).

Tabla 19. Resultados del muestreo #8 (Fecha: 8/07/2024)

Parámetro	Campamento	Rodeo	Yabana
Temperatura (°C)	11,2	11	11,6
Conductividad (us)	57,4	45,8	53,2
Alcalinidad (mg/L)	36	38	35
Color real (UC)	85	88	70
Turbiedad (NTU)	17	5	18
Nitratos (NO3, ppm)	10	6	15
Nitritos (NO2, ppm)	0,3	0,2	0,5
Dureza total (mg CaCO3/L)	120	98	140
Fosfatos (mg/L)	0,075	0,135	0,065
OD (mg/L)	11	12,2	11,8
pH	6,63	7,48	7,52
SDT (mg/L)	33,4	27,8	32,3
Coliformes totales (UFC/100ml)	60	110	86
Coliformes fecales (UFC/100ml)	27	44	23

Fuente: Autores (2024).

4.1.1 Variabilidad del ICA-NSF en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana

Los resultados de los 8 muestreos realizados en las tres microcuencas se presentan en la Tabla 20 mediante numeración y esquemas de color, lo que facilita una visualización clara y concisa de la variabilidad de los índices de calidad (ICA-NSF). Estos resultados fueron obtenidos utilizando el software correspondiente.

En la microcuenca Campamento, la calidad del agua se mantiene en un rango de "Buena" a lo largo de todos los meses. Los valores muestran una ligera tendencia al alza desde febrero hasta junio, con una pequeña disminución en julio.

La microcuenca Rodeo muestra una variabilidad más notable en la calidad del agua. En febrero, la calidad del agua es "Media", pero mejora significativamente en marzo y se mantiene en un rango de "Buena" en los meses siguientes, con un valor máximo en julio.

En contraste, en la microcuenca Yabana, la calidad del agua se mantiene consistentemente en un rango de "Buena" durante todos los meses, similar a la microcuenca Campamento. Los valores son bastante estables, con una ligera mejora en marzo y junio.

Según la clasificación de la calidad del agua NSF-Dinius, el agua analizada se clasifica como de calidad buena, lo que la hace no apta para el consumo sin un proceso de purificación adecuado. Por otro lado, el agua de calidad media requiere un proceso de potabilización más riguroso para garantizar su aptitud para el consumo humano.

Tabla 20. Resultados de la calidad del agua en las microcuencas, NSF.

Calidad del agua ICA-NSF								
Microcuenca	Febrero	Marzo		Abril	Mayo		Junio	Julio
Día	27	11	18	27	09	20	24	08
Campamento	72.79 Buena	76.66 Buena	76.35 Buena	77.82 Buena	77.90 Buena	77.00 Buena	73.74 Buena	76.35 Buena
Rodeo	70.33 Media	79.62 Buena	71.98 Buena	72.77 Buena	77.79 Buena	80.23 Buena	78.50 Buena	80.67 Buena
Yabana	72.42 Buena	78.06 Buena	73.36 Buena	76.15 Buena	77.45 Buena	77.55 Buena	76.70 Buena	77.82 Buena

Fuente: Autores (2024).

La calidad del agua en las microcuencas de Campamento, Rodeo y Yabana durante los meses de febrero a julio presenta variaciones que pueden estar influenciadas por diversas actividades antropogénicas. Una de las actividades principales que podría tener un impacto significativo es el pastoreo de ganado alrededor de estas microcuencas, especialmente durante los meses de febrero, marzo y principios de abril.

En las tres microcuencas estudiadas, durante los tres primeros meses, correspondientes a la época de sequía, las áreas son utilizadas para el pastoreo de ganado vacuno. Esta práctica contribuye significativamente a la contaminación del agua debido a la presencia de heces y orina de los animales. Los excrementos de ganado son fuentes importantes de patógenos y nutrientes, como nitrógeno y fósforo, que deterioran la calidad del agua.

Esto resulta en una disminución de la calidad del agua durante estos meses, como se evidencia en los análisis realizados.

En contraste, los resultados obtenidos durante los meses de mayo, junio y julio, correspondientes a la época de invierno, muestran un cambio significativo en la calidad del agua. La escorrentía superficial, aumentada por las lluvias, juega un papel esencial en la dilución y purificación de los contaminantes presentes en las microcuencas. Este fenómeno se traduce en una mejora de la calidad del agua, reduciendo la concentración de contaminantes.

Este fenómeno de mejora en la calidad del agua durante la temporada de lluvias ha sido corroborado por la investigación de Cadeño (2016), que también señala cómo la mayor escorrentía en zonas ganaderas contribuye a una purificación natural del agua, el cual obtiene una calificación del agua como buena en épocas de invierno.

4.1.2 Variabilidad del ICA-Dinius en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana

Los resultados obtenidos utilizando el Índice de Calidad del Agua (ICA) Dinius se presentan en la Tabla 21. Estos resultados indican que la calidad del agua se clasifica como regular, dado que, según la literatura sobre Dinius, un rango de calidad regular se define entre 51 y 80. Cabe destacar que el ICA Dinius incorpora un mayor número de parámetros en su evaluación en comparación con el Índice de Calidad del Agua (ICA) NSF, lo que permite una valoración más detallada de la calidad del agua.

Tabla 21. Resultados de la calidad del agua en las microcuencas, Dinius.

Calidad del agua ICA-DINIUS								
Microcuenca	Febrero	Marzo		Abril	Mayo		Junio	Julio
Día	27	11	18	27	09	20	24	08
Campamento	70.96 Regular	73.10 Regular	71.14 Regular	74.68 Regular	76.17 Regular	74.78 Regular	69.69 Regular	74.71 Regular
Rodeo	73.13 Regular	77.62 Regular	71.45 Regular	77.26 Regular	76.95 Regular	79.75 Regular	76.28 Regular	79.40 Regular

Yabana	72.80 Regular	75.92 Regular	71.77 Regular	74.80 Regular	74.57 Regular	77.33 Regular	75.78 Regula	76.80 Regula
--------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-----------------	-----------------

Fuente: Autores (2024).

De acuerdo con Vizcaíno (2018) y la clasificación establecida por el panel de expertos Dinius (1987), el Índice de Calidad del Agua (ICA-Dinius) categoriza el agua que se encuentra en el rango de "Levemente Contaminada" (LC) como una que presenta una calidad inferior a la ideal, pero que no está gravemente comprometida. Esta clasificación indica que el agua contiene ciertos niveles de contaminación que podrían requerir medidas de atención y gestión para mejorar su calidad. Aunque la situación no es crítica, es aconsejable implementar estrategias de monitoreo, y purificación para reducir los contaminantes y asegurar que el agua cumpla con los estándares necesarios para el consumo humano.

4.1.3 Variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en las microcuencas

Para una interpretación más precisa de los valores obtenidos del ICA-NSF e ICA-Dinius en las microcuencas, se ha llevado a cabo un análisis detallado de los resultados de los parámetros muestreados. Se utilizaron gráficos para ilustrar la variabilidad espacial y temporal entre los puntos de muestreo en cada microcuenca a lo largo del período de monitoreo.

4.1.3.1 Parámetros Físicos

Temperatura

Según el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente, la temperatura en condiciones naturales debe mantenerse entre 5 °C y un máximo de 20 °C. Este parámetro es fundamental de monitorear, dado que no debe exceder los 25 grados Celsius para un análisis adecuado. La figura 12 muestra los datos de temperatura recopilados a lo largo de todo el período de observación en las microcuencas Rodeo, Campamento y Yabana.

Aunque se observa una tendencia descendente en la temperatura, con mínimos alcanzando los 11 °C y máximos llegando hasta 12 °C, se encuentra por debajo del umbral crítico de 25 grados, lo que representa una ventaja significativa en la prevención de la proliferación de la bacteria Legionella, (Díaz García & González Pérez, 2022).

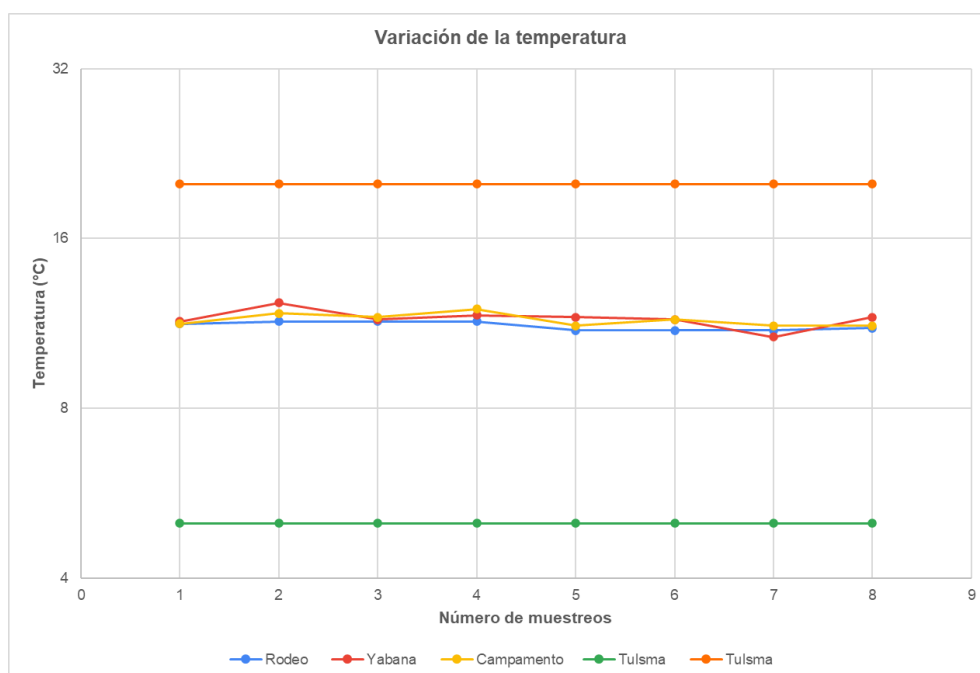


Figura 12. Variación espacial y temporal de la temperatura en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

Las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana muestran su pico más alto durante el mes de febrero, coincidiendo con el período de mayor estiaje en estas zonas. Este fenómeno ocurre debido a condiciones climáticas específicas que caracterizan este mes.

Los picos mínimos de temperatura se registran en abril y julio. En abril, la temperatura desciende debido al aumento de la humedad, mientras que en julio los mínimos se deben al fenómeno invernal, que trae temperaturas más bajas por la menor incidencia solar y mayor frecuencia de precipitaciones.

Según Imbaquingo et al., (2023), el aumento de temperatura reduce el oxígeno disuelto y favorece microorganismos patógenos, mientras que los mínimos, causados por mayores niveles de humedad y el fenómeno invernal, ayudan a mantener el equilibrio ecológico al incrementar el oxígeno disponible.

Andrade (2019), reporta una temperatura promedio de 13.97 °C, aproximadamente 1.5 °C superior a los 11.5 °C registrados en esta investigación. Dicha diferencia se debe a la altitud de las microcuencas Yabana, Campamento y Rodeo evaluadas, que se encuentran a unos 2800 m s.n.m. En estas altitudes, la mayor elevación se asocia con temperaturas más bajas debido a la menor presión atmosférica y otros efectos climáticos.

Dureza total

Según el TULSMA, la dureza total en condiciones naturales no debe superar los 500 mg/L si el agua requiere únicamente tratamiento convencional para consumo humano o uso doméstico. En la Figura 13, se observa la variabilidad de este parámetro a lo largo de todo el período en las microcuencas Rodeo, Campamento y Yabana.

En las microcuencas Rodeo, Campamento y Yabana, los resultados se encuentran en un rango de 90 a 160 mg/L, lo que indica que el agua es moderadamente dura. Esto coincide con los estudios realizados por (Beita-Sandí & Barahona-Palomo, 2010a), quien registró un mínimo de 42.4 mg CaCO_3/L durante la época de lluvias y un máximo de 122.8 mg CaCO_3/L en la época de sequía, clasificándose ambas como aguas moderadamente duras.

Estos resultados son consistentes con la clasificación general de dureza en las microcuencas analizadas, que se sitúan dentro del rango de 90 a 160 mg/L, indicando una calidad de agua relativamente similar en ambas estaciones.

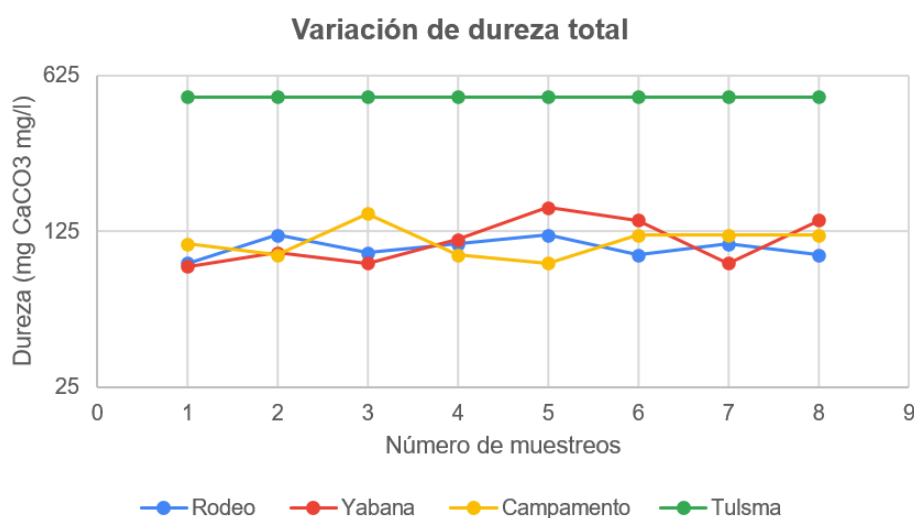


Figura 13. Variación espacial y temporal de la dureza en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

La ingesta adecuada de minerales como el calcio y el magnesio a través del agua dura puede ser beneficiosa, además de mejorar el sabor y la percepción del agua, lo que fomenta una mayor ingesta de líquidos. Sin embargo, es fundamental equilibrar estos beneficios con consideraciones prácticas, como el riesgo de depósitos de cal en tuberías. En conjunto, el consumo de agua en este rango de dureza no solo contribuye a la hidratación, sino que

también se presenta como un aliado en la promoción de la salud ósea y cardiovascular, (Beita-Sandí & Barahona-Palomo, 2010).

Turbiedad

Según el TULSMA, el límite máximo permisible de turbiedad para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional es de 100 NTU. La figura 14, muestra que, las microcuencas Rodeo y Yabana presentan picos de turbiedad más altos en comparación con la microcuenca Campamento, que exhibe una notable disminución en este periodo.

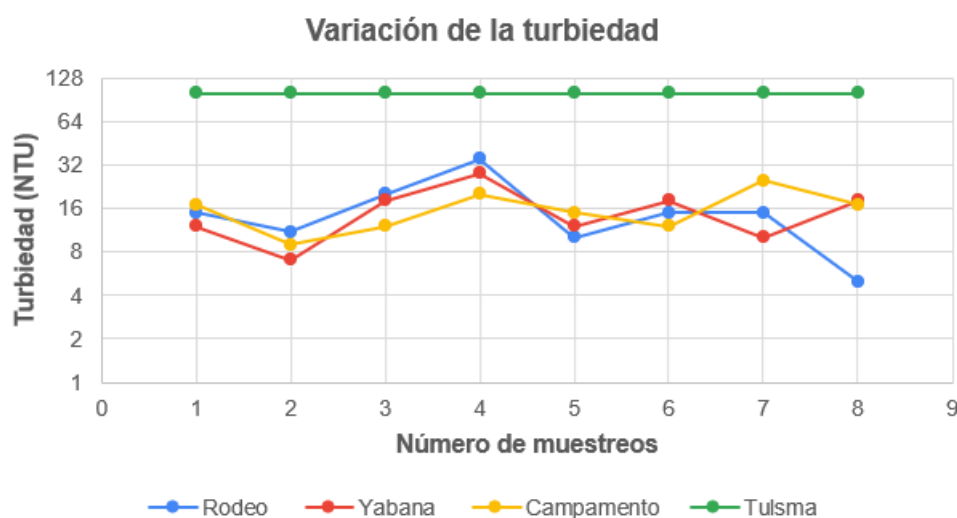


Figura 14. Variación espacial y temporal de la turbiedad en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

La turbiedad en las tres microcuencas aumenta uniformemente desde el segundo hasta el cuarto muestreo en marzo, alcanzando un máximo de 35 NTU durante la época de sequía. Sin embargo, desde el quinto muestreo hasta el octavo, que abarca de abril a julio, la turbidez disminuye y se estabilizó en un promedio de 16 NTU. A pesar de estas fluctuaciones, todos los valores de turbiedad se mantienen dentro del rango permitido por la normativa vigente.

La turbiedad del agua se ve afectada por la erosión natural, que introduce sedimentos debido a factores como las lluvias, el flujo del agua y la composición del suelo. Además, las actividades humanas, incluyendo la urbanización, la industrialización, la agricultura y la construcción, intensifican este problema al impactar directamente el medio ambiente, (Imbaquingo et al., 2023).

El análisis realizado por (Domínguez et al., 2015), reporta valores de turbidez de 13 NTU, los cuales se encuentran dentro del rango de resultados obtenidos en esta investigación. Esta concordancia sugiere que las condiciones ambientales y los factores que influyen en la turbidez son comparables en ambos estudios, respaldando la validez de los datos obtenidos y la metodología utilizada en esta investigación.

Es fundamental controlar la turbiedad en las tres microcuencas si el agua llegara a destinarse para consumo humano, ya que según la norma INEN 1108, la turbiedad no debe superar los 5 NTU, aunque la OMS recomienda mantenerla por debajo de 1 NTU. La turbiedad puede albergar microorganismos patógenos y facilitar el crecimiento de bacterias, lo que incrementa el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, como la gastroenteritis. Además, el agua con alta turbiedad puede dificultar el proceso de tratamiento y desinfección, ya que los contaminantes pueden proteger a los patógenos de los desinfectantes, (Rock & Rivera, 2014).

Conductividad

Según la FAO, la conductividad eléctrica del agua destinada a tratamiento convencional debe mantenerse entre 0 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La figura 15, muestra que, durante los muestreos en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana, la conductividad presenta variaciones significativas, con picos más altos en marzo y en junio. A pesar de estas fluctuaciones, todos los valores medidos se mantienen dentro del rango permitido por las normativas vigentes.

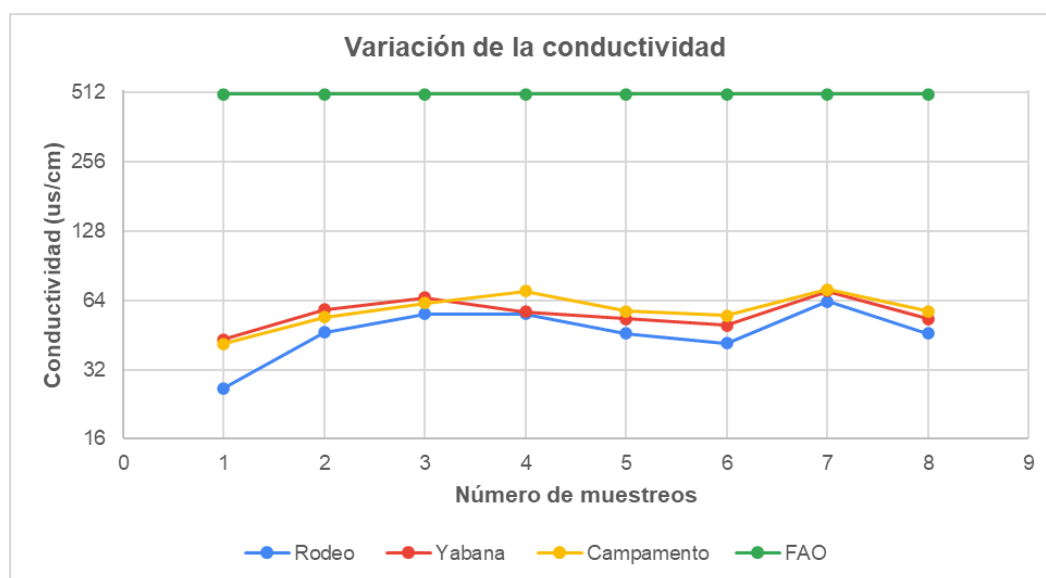


Figura 15. Variación espacial y temporal de la conductividad en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

En los primeros cuatro muestreos, se observa un aumento en la conductividad en las tres microcuencas, lo que puede atribuirse al período de estiaje, caracterizado por un mayor cambio de temperatura y una mayor solubilización de iones. A partir del quinto periodo de muestreo, con el inicio del período invernal, la conductividad disminuye debido a la reducción de la temperatura y, por ende, a una menor solubilización de iones en el agua.

Los resultados obtenidos por (Domínguez et al., 2015), reportan un valor promedio de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual son similares a los valores encontrados en la presente investigación. Esto sugiere que la concentración de sales disueltas en el agua de las microcuencas analizadas es mínima, lo cual es beneficioso, ya que disminuye el riesgo de acumulación de sales en los sistemas de tratamiento y en los suelos irrigado.

Color real

La normativa TULSMA establece un límite permisible de 75 UC para el color en agua que únicamente requiere tratamiento convencional destinada para consumo humano y doméstico. Los resultados obtenidos muestran que, durante la temporada de estiaje, los niveles de color en las tres microcuencas superan este límite, variando entre 150 y 300 UC (ver figura 16). Este incremento podría estar relacionado con la presencia de materia orgánica natural, como sustancias húmicas, y metales como hierro, manganeso o cobre.

A partir del cuarto muestreo, el color del agua disminuye, manteniéndose en valores entre 100 y 75 UC. Sin embargo, durante toda la temporada de análisis, el color del agua de las microcuencas se encuentra por encima del valor establecido por la normativa.

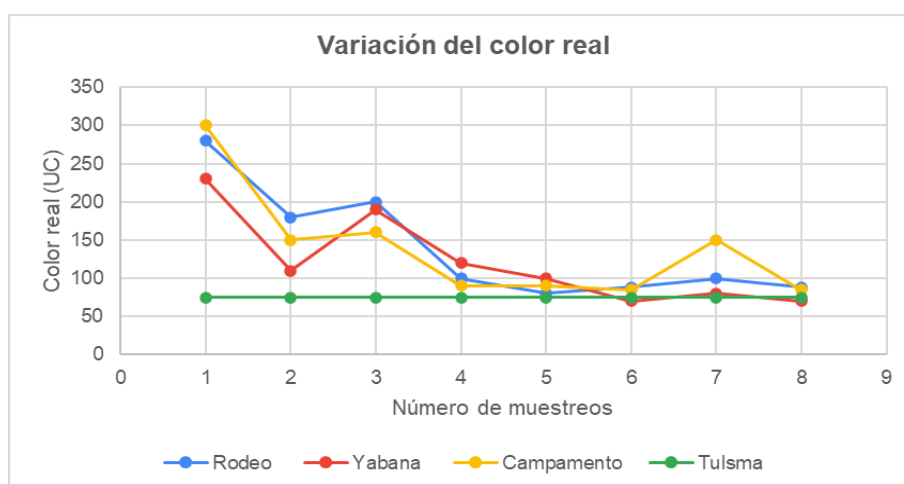


Figura 16. Variación espacial y temporal del color real en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

Los estudios de Andrade (2019) y de Aguilar y Maldonado (2023) indican valores de color en el agua de las microcuencas de 120 UC y 123 UC, respectivamente, lo que sugiere una fuerte concordancia entre los resultados. A partir del cuarto muestreo, se confirmó que las condiciones ambientales y las fuentes de color son consistentes entre ambos estudios, lo que refuerza la fiabilidad de los métodos utilizados en esta investigación.

Los resultados de esta investigación muestran que el color del agua supera el límite máximo permisible para agua potable es de 15 UC establecido por la NTE-INEN 1108. Esto indica que la materia coloidal y los compuestos asociados pueden albergar microorganismos patógenos y contribuir a la formación de subproductos tóxicos durante la desinfección, aumentando así el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, (Zaragoza-Bastida et al., 2016).

4.1.3.2 Parámetros Químicos

pH

Según el TULSMA, el pH debe estar en un rango de 6 a 9 unidades en aguas que requieren únicamente un tratamiento convencional para consumo y uso doméstico. Los datos presentados en la figura 17, indican que los valores de pH medidos en las tres microcuencas, que fluctúan entre 6.63 y 7.83 unidades, cumplen con este rango normativo, confirmando así el cumplimiento de la normativa vigente.

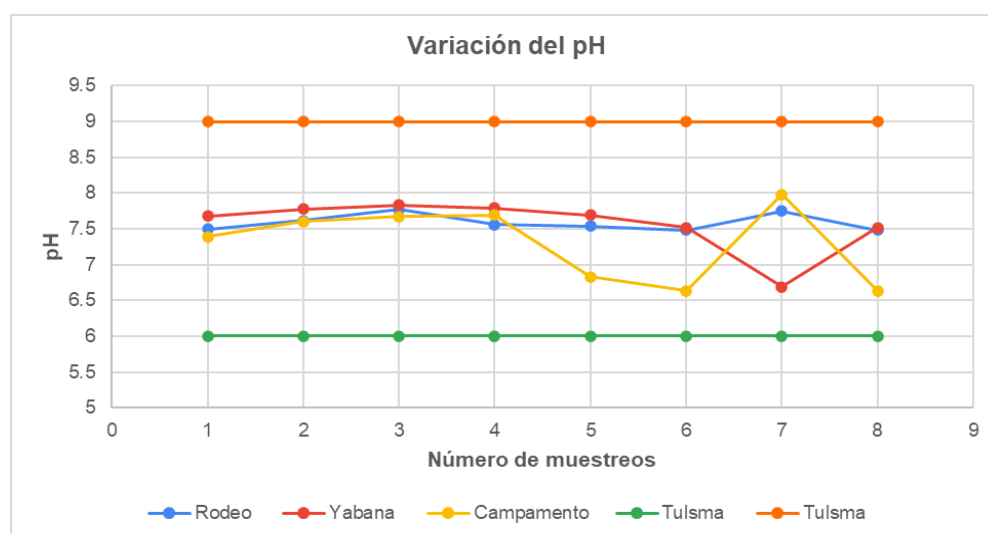


Figura 17. Variación espacial y temporal del pH en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

En la microcuenca Campamento, se observa una disminución del pH durante los periodos de muestreo en marzo y mayo (cuarto y sexto muestreo). Esta disminución del pH podría estar relacionada con la actividad de pastoreo en la zona, que ha causado liberación de materia orgánica y erosión del suelo, afectando negativamente la calidad del agua en la microcuenca.

En la microcuenca Rodeo, los valores de pH mostraron una estabilidad notable durante el período de análisis, permaneciendo en un rango ligeramente alcalino. Esta condición es beneficiosa para la vida acuática y cumple con los requisitos para el consumo humano y el tratamiento convencional del agua.

En la microcuenca Yabana, el pH se mantuvo relativamente constante hasta el sexto muestreo. Sin embargo, en los dos últimos muestreos se observó una notable fluctuación, con una disminución en uno de los análisis seguida de un aumento en el siguiente. Esta variabilidad podría deberse a cambios estacionales, alteraciones en las fuentes de entrada de agua, o a eventos puntuales como precipitaciones intensas o actividades humanas en la zona.

Imbaquingo et al., (2023), en su investigación, menciona que, en ríos no contaminados, los niveles de pH típicamente oscilan entre 6,0 y 8,5. Y que este parámetro impacta directamente en los sistemas biológicos. Valores fuera de este rango pueden limitar el crecimiento y la función de los organismos acuáticos en general, así como afectar la biota de los humedales en particular.

Baldeón, (2018), llevó a cabo un estudio de control de calidad del agua destinada al consumo humano, evaluando tanto aguas crudas como purificadas. En su análisis del agua de vertiente, obtuvo un valor de pH de 6.72, que, aunque es ligeramente inferior a los resultados presentados en este estudio, se encuentra dentro del rango aceptable. Este valor indica que el agua cumple con los estándares de potabilidad, aunque con una tendencia hacia la acidez en comparación con los resultados obtenidos en nuestras mediciones.

El pH del agua influye en la forma química activa de desinfectantes como el cloro, que es más eficaz en entornos ácidos, mientras que un pH alto puede aumentar la formación de subproductos no deseados, como los trihalometanos. Asimismo, un pH inapropiado puede afectar la estabilidad de desinfectantes como el ozono y la resistencia de ciertos microorganismos, (OPS, 1999).

Fosfatos

La normativa de la FAO establece que la concentración de iones fosfato en el agua debe mantenerse entre 0 y 2 mg/L. Los datos presentados en la figura 18, muestran que, en las tres microcuencas estudiadas, los niveles de fosfato se mantienen por debajo de 0.5 mg/L, cumpliendo con los límites establecidos.

En la microcuenca Campamento, los niveles de PO_4^{3-} varían entre 0.04 y 0.08 mg/L. En contraste, la microcuenca Rodeo muestra una mayor variabilidad, con concentraciones que fluctúan entre 0.36 y 0.05 mg/L durante los primeros tres muestreos, estabilizándose después. En la microcuenca Yabana, los niveles de fosfato presentan una ligera variación, oscilando entre 0.3 y 0.17 mg/L.

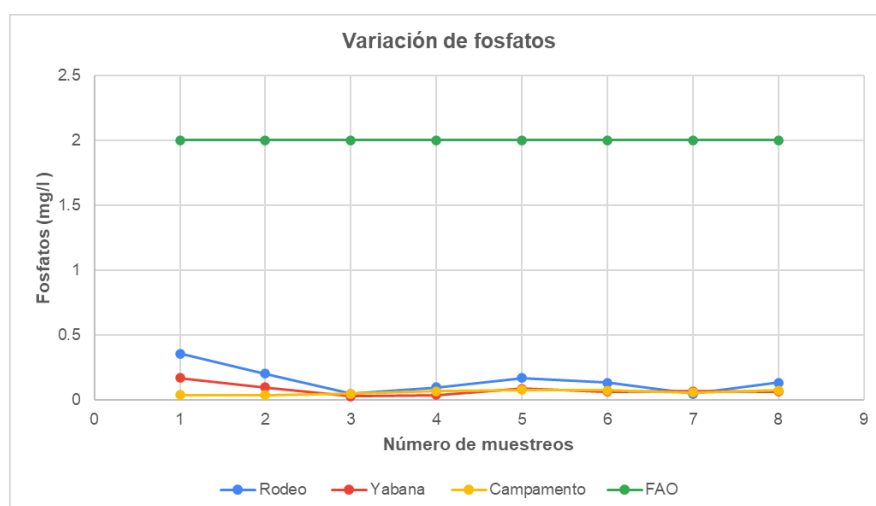


Figura 18. Variación espacial y temporal del fosfato en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana

Fuente: Autores (2024).

En relación con los datos presentados en la figura 18, los niveles de PO_4^{3-} se contrastan con los resultados del estudio realizado por Andrade,(2019). El cual obtuvo un valor máximo de 0.35 mg/l estos valores indican que la presencia de fosfatos en las fuentes de agua se debe a las actividades ganaderas, agrícolas.

Nitritos

Los nitritos son esenciales para el crecimiento y la supervivencia de los organismos acuáticos, pero pueden tener efectos negativos si sus concentraciones exceden los límites establecidos. De acuerdo con la normativa TULSMA, el nivel máximo permitido de nitritos en agua

destinada al consumo humano y doméstico que requiere tratamiento convencional es de 1.0 mg/L.

En la figura 19, se muestra que, en la microcuenca Yabana, los niveles de nitritos fluctuaron entre 0.2 mg/L y 0.5 mg/L, con un promedio de 0.37 mg/L. En la microcuenca Rodeo, los niveles variaron de 0.2 mg/L a 0.5 mg/L, promediando 0.33 mg/L, y en la microcuenca Campamento, se registraron niveles de 0.3 mg/L a 0.6 mg/L, con un promedio de 0.43 mg/L. Todos estos valores se mantienen dentro del límite permisible.

Los niveles de nitrito en el agua variaron estacionalmente, acumulándose en el suelo durante la estación seca y liberándose al comenzar la época de lluvias. Como resultado, se observaron concentraciones más altas de nitrito tras intensas precipitaciones.

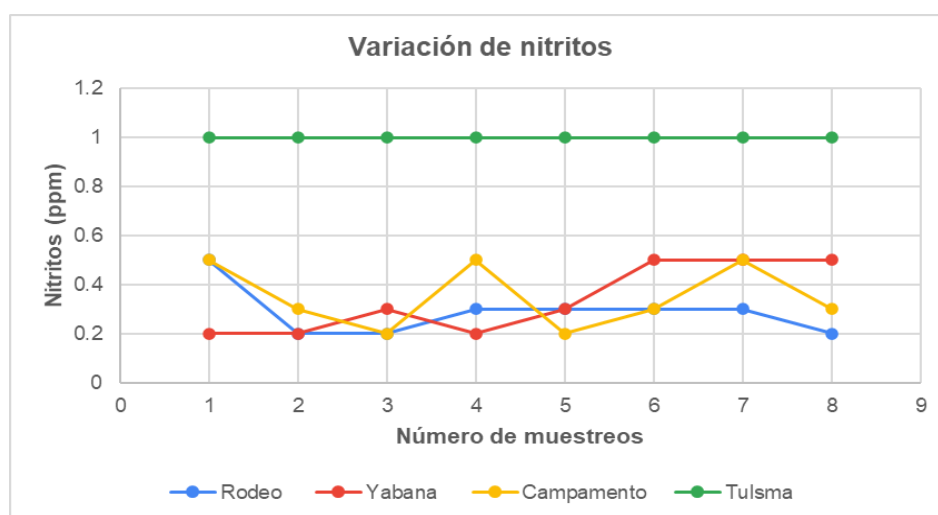


Figura 19. Variación espacial y temporal de nitritos en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

Nitratos

De acuerdo con la normativa TULSMA, el nivel máximo permitido de nitratos en el agua destinada al consumo humano y doméstico que requiere tratamiento convencional es de 10 mg/L.

La concentración de nitratos (como nitrógeno) en el sedimento fue significativamente más alta que la de los nitritos. La figura 20, muestra que, durante la época de lluvias (tercer muestreo), los niveles medios de nitratos alcanzaron valores excepcionales: 35 mg/L en Rodeo, 28 mg/L en Campamento y 22 mg/L en Yabana. En contraste, durante la temporada seca, las concentraciones fluctuaron entre 5 y 20 mg/L en las mismas microcuencas.

Según Bolaños-Alfaro et al., (2017), los nitratos, provenientes principalmente de fertilizantes, actividades agrícolas y descargas industriales, pueden acumularse en el agua debido a su alta solubilidad. Esto provoca un aumento en las concentraciones de nitratos en ríos y acuíferos. Esta contaminación puede resultar en serios problemas de salud, como metahemoglobinemia, especialmente en bebés, al reducir la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre.

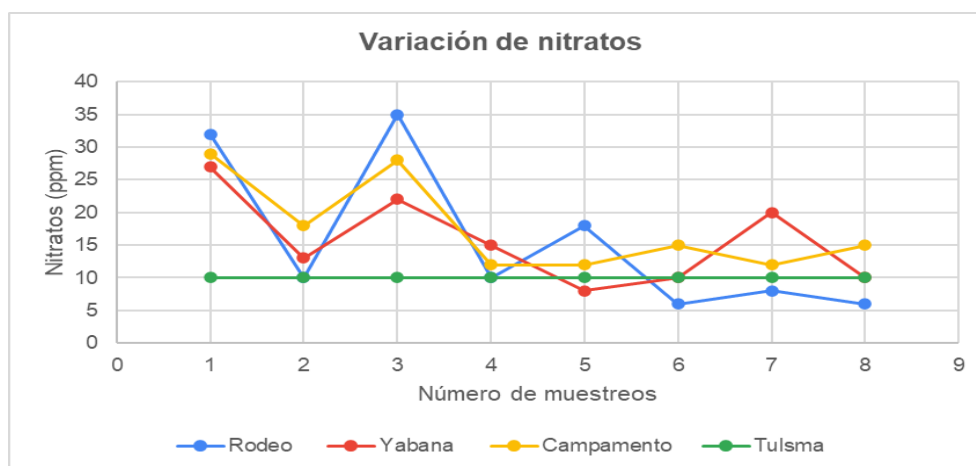


Figura 20. Variación espacial y temporal de nitratos en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana

Fuente: Autores (2024).

Sólidos Disueltos Totales

En las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana, los niveles de sólidos disueltos totales (STD), como se muestra en la figura 21, se mantuvieron dentro del límite permitido de 500 mg/L según la FAO. Los valores medidos oscilaron entre 24 mg/L y 47.2 mg/L, cumpliendo con las normativas vigentes.

La variación de los sólidos disueltos totales (STD) entre los puntos de muestreo fue mínima, con fluctuaciones insignificantes a lo largo del período de análisis. Sin embargo, en abril, durante los muestreos 3 y 4, se observó un pico significativo en las microcuencas debido a intensas precipitaciones en la zona alta, que provocaron una fuerte escorrentía y el arrastre de sedimentos.

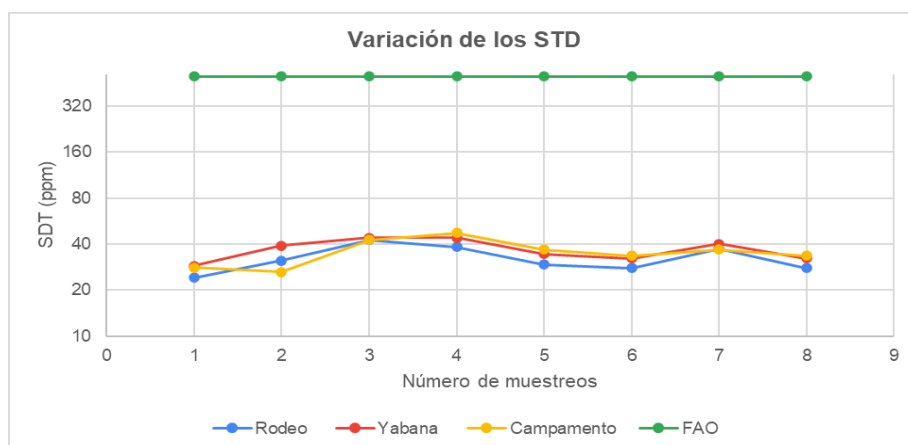


Figura 21. Variación espacial y temporal de sólidos disueltos totales en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

Cárdenas (2020) realizó una evaluación de la calidad del agua en la microcuenca hidrográfica del río Tutanangoza, donde registró un valor de 47 mg/L. Este valor es comparable a los obtenidos en el presente estudio, lo que indica una similitud en las condiciones de calidad del agua entre ambas investigaciones.

Oxígeno Disuelto

Según la normativa TULSMA, el oxígeno disuelto en agua destinada al consumo humano y doméstico debe estar entre 6 mg/L y 10 mg/L. Los datos obtenidos cumplen con estos límites establecidos. La figura 22, muestra la variación del oxígeno disuelto en las tres microcuencas, con niveles que fluctúan entre 10.5 y 12.5 mg/L, reflejando cambios dentro de este rango debido a las condiciones ambientales y estacionales.

El estudio realizado por Pizarro, (2024), indica que una concentración de oxígeno disuelto (OD) entre 8 y 12 mg/L es óptima para el desarrollo de especies acuáticas. Esta concentración se logra mediante el equilibrio entre la producción de oxígeno por fotosíntesis y su consumo a través de respiración, descomposición de materia orgánica y otras reacciones químicas.

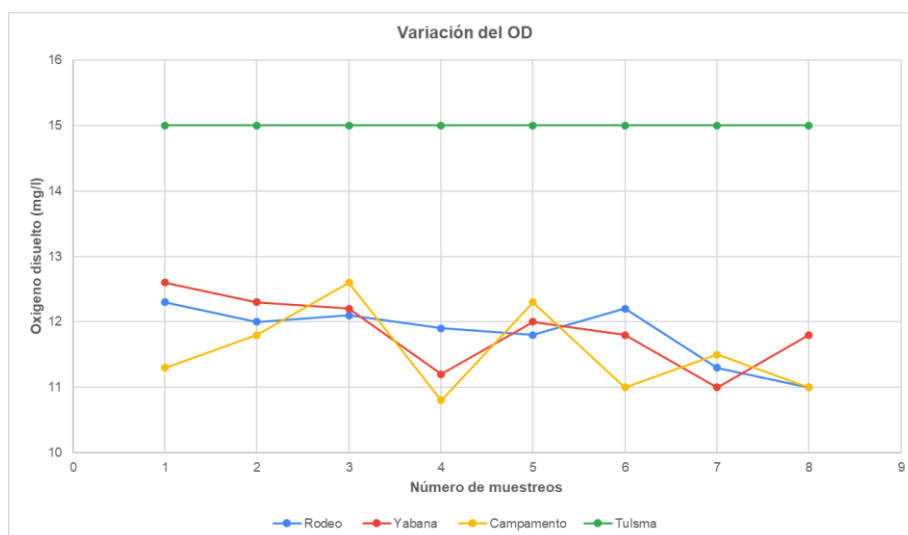


Figura 22. Variación espacial y temporal de oxígeno disuelto en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

En las tres microcuencas, se puede observar un aumento en los niveles de oxígeno disuelto en varios muestreos, como se ilustra en la figura 22. Este incremento coincide con una disminución de la temperatura del agua, que descendió de 12°C a 11°C. Esto confirma que, según (Méndez, 2013), la solubilidad del oxígeno en el agua aumenta con la disminución de la temperatura, ya que las moléculas de agua se acercan entre sí, facilitando la disolución del oxígeno.

La disminución en la actividad biológica a temperaturas más bajas puede haber contribuido al aumento del oxígeno disuelto (OD), ya que reduce el consumo de oxígeno por los organismos. Así, una caída de 1°C en la temperatura favoreció un incremento en los niveles de OD, confirmando la relación entre temperatura y solubilidad del oxígeno, (Méndez, 2013).

Entre los factores que afectan el nivel de Oxígeno Disuelto (OD) se encuentran los días soleados, que elevan el OD en áreas con algas o plantas debido a la fotosíntesis, y la turbulencia de la corriente, que aumenta el OD al mezclar el aire con el agua en movimiento rápido, (Imbaquingo et al., 2023).

De acuerdo con Calvo-Brenes et al., (2023), los niveles de OD fluctúan por factores fisicoquímicos y biológicos, equilibrándose entre la transferencia atmosférica y la columna de agua. Además, la mezcla interna, la turbulencia, la fotosíntesis en días soleados y el movimiento de las corrientes influyen en la cantidad de OD en el agua.

Alcalinidad

La variación de la alcalinidad en las microcuencas, tal como se muestra en la figura 21, refleja cómo las condiciones climáticas influyen en la calidad del agua. Durante el periodo de sequía, de febrero a abril, el aumento en la alcalinidad se debe a la concentración de minerales causada por la evaporación. (Beita-Sandí & Barahona-Palomo, 2010b), indican que el incremento en los niveles de bicarbonatos, comunes en aguas naturales, puede ayudar a estabilizar el pH y contribuir a la vida de las especies acuáticas.

Sin embargo, en la temporada de invierno, de mayo a julio, la alcalinidad disminuye debido a la dilución de minerales por las precipitaciones. Esta reducción en la concentración de bicarbonatos y otros compuestos alcalinos puede llevar a fluctuaciones en el pH del agua. El manejo de la alcalinidad es fundamental para mantener un equilibrio adecuado en la calidad del agua, protegiendo la estabilidad ecológica de las microcuencas, (Calvo-Brenes et al., 2023).

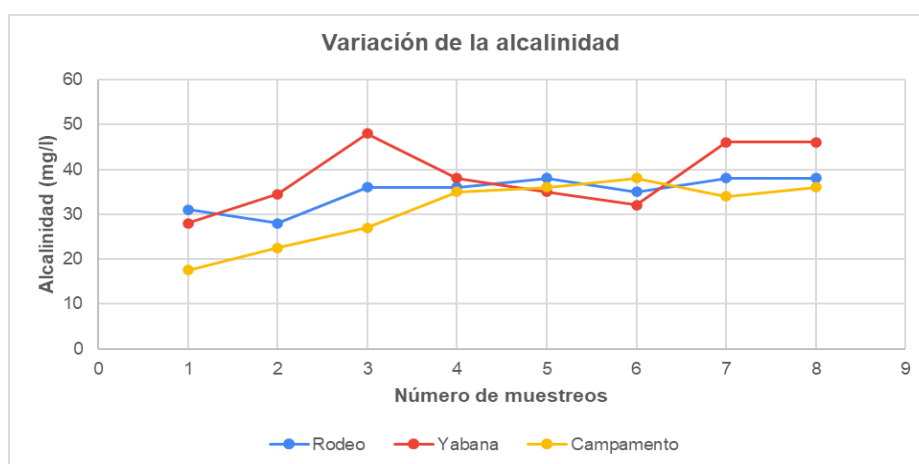


Figura 23. Variación espacial y temporal de la alcalinidad en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

La alcalinidad del agua puede generar problemas de salud si es excesiva, alterando el pH estomacal y dificultando la digestión, lo que causa malestar gastrointestinal. También puede afectar la disponibilidad de minerales esenciales y hacer que el agua tenga un sabor poco agradable, desincentivando su consumo, (HACH, 2024).

4.1.3.3 Parámetros Microbiológicos

Coliformes fecales

Según la normativa TULSMA, el límite permisible de coliformes fecales en agua destinada al consumo humano y doméstico es de 20 UFC/100 ml. La figura 24, muestra tanto los picos máximos como mínimos de coliformes fecales en las microcuencas estudiadas. Mientras que la microcuenca Rodeo cumple con el límite permitido en el segundo muestreo, los valores en los restantes muestreos superan este límite. Este incumplimiento puede atribuirse a prácticas locales como el pastoreo de ganado, excrementos de animales y el mal manejo de desechos orgánicos en la zona, lo que contribuye a una mayor contaminación con coliformes fecales.

Imbaquingo et al., (2023), señala que la simple presencia de microorganismos coliformes en el agua indica contaminación. A pesar de que los niveles sean bajos, el agua aún se considera contaminada, ya que un incremento en los coliformes aumenta la probabilidad de que también estén presentes otros patógenos.

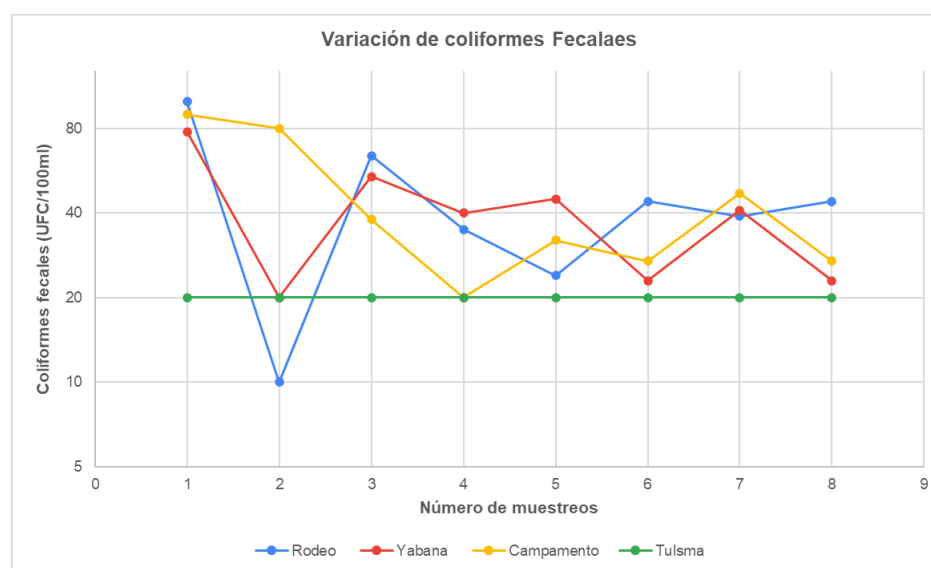


Figura 24. Variación espacial y temporal de los coliformes fecales en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

Coliformes totales

La normativa TULSMA establece que el límite permisible de coliformes totales en agua para consumo humano y doméstico, que requiere tratamiento convencional, es de 50 UFC/100 ml. Como se muestra en la Figura 25, los primeros dos muestreos registran los niveles más altos de coliformes totales. Con el tiempo, estos valores disminuyen, pero se mantienen entre 55 y 120 UFC/100 ml, superando constantemente el límite permitido.

Este incumplimiento puede atribuirse a las prácticas de uso del suelo en la zona de estudio, donde los terrenos se destinan al pastoreo de ganado vacuno. Pinos-Rodríguez et al., (2012), señalan que la presencia de ganado aumenta la carga de coliformes debido a la deposición de excrementos, los cuales son arrastrados por las lluvias y el escurrimiento superficial hacia los cuerpos de agua cercanos.

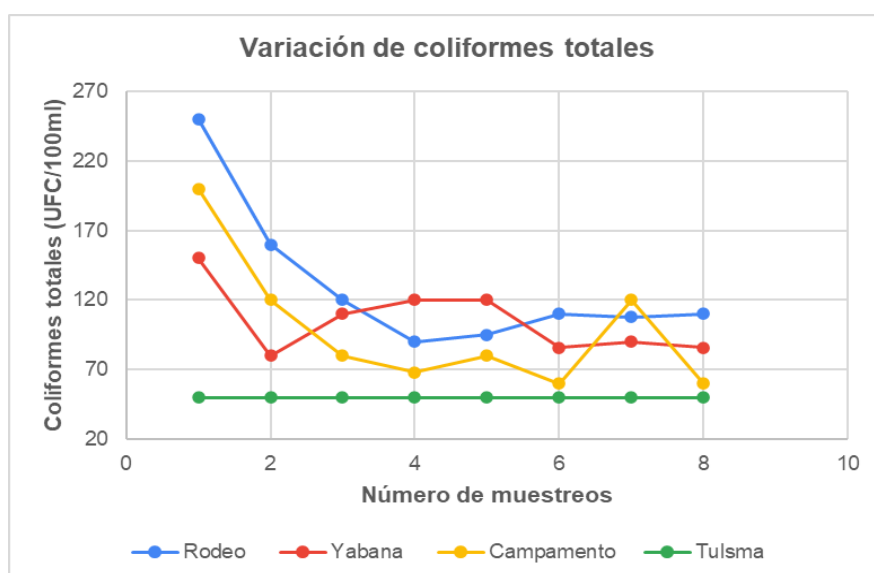


Figura 25. Variación espacial y temporal de los coliformes totales en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana.

Fuente: Autores (2024).

Según la investigación de Moreano, (2023), en todos los puntos de muestreo se observó que las concentraciones de coliformes totales excedieron el límite establecido por la normativa TULSMA. Esta alta presencia de coliformes en las aguas superficiales sugiere una contaminación significativa, probablemente derivada de aguas residuales o desechos animales, lo que contribuye al aumento de estos microorganismos en el agua.

4.2 Delimitación de las microcuencas

Las microcuencas Rodeo, Campamento y Yabana, están ubicadas en su totalidad en la provincia de Azuay, cantón Cuenca, parroquia Cumbe.

La microcuenca Rodeo se compone principalmente de zonas de páramo y pajonal, y se ubica dentro de las siguientes coordenadas geográficas: 717489.0750, 719111.3250, 9651747.3000, 9653817.3000. Por otro lado, la microcuenca Campamento presenta una diversidad de paisajes que incluyen áreas de pastoreo, arbustos, páramo y quebradas, y se encuentra en las coordenadas geográficas: 717164.700, 720002.700, 9649134.300, 9652311.300. La microcuenca Yabana, en cambio, se caracteriza por sus zonas de pastoreo, cobertura vegetal, árboles y especies nativas, y está situada en las coordenadas geográficas: 719846.7000, 721406.7000, 9649533.3000, 9652032.3000.

Conclusiones

En el presente estudio, se logró identificar y delimitar con precisión las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana en la parroquia Cumbe, estableciendo claramente sus límites geográficos. El proceso incluyó un mapeo detallado que proporcionó datos complementarios exhaustivos, como la altitud y sus coordenadas. Además, se realizó un muestreo sistemático del agua en estas microcuencas durante un periodo representativo de sequía e invierno. La información obtenida no solo mejora nuestra comprensión actual de las características y dinámicas de las microcuencas, sino que también es fundamental para la planificación y ejecución de futuros proyectos, permitiendo una gestión más precisa y efectiva de los recursos hídricos en la región.

El análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) en las microcuencas Campamento, Rodeo y Yabana muestra ciertas variaciones en la calidad del agua a lo largo del período estudiado. En Campamento, el agua se mantiene en el rango "Buena" con ligera variación estacional. Rodeo presenta fluctuaciones mayores, con calidad "Media" en febrero que mejora a "Buena" en los meses siguientes. Yabana mantiene una calidad "Buena" de manera consistente, con ligeras mejoras en ciertos meses.

La calidad del agua se ve comprometida por la presencia de patógenos y nutrientes durante los meses de sequía, causada por el pastoreo de ganado, lo que impactó negativamente en su calidad. Sin embargo, en la temporada invernal, la escorrentía superficial ayuda a diluir y mejorar la calidad del agua. Los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA-Dinius) reflejan una calidad "Regular", lo cual indica que, aunque no se detecta contaminación severa, es fundamental implementar medidas de monitoreo y tratamiento para cumplir con los estándares de calidad para el consumo humano.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en las microcuencas revela una variabilidad significativa en la calidad del agua, influenciada por factores estacionales y actividades humanas. Aunque la mayoría de los parámetros, como temperatura, turbidez, conductividad y pH, se mantienen dentro de los límites aceptables, se observan fluctuaciones relacionadas con la estacionalidad y las prácticas locales. Los niveles de color del agua y la presencia de coliformes fecales y totales en algunos casos superan los límites permitidos, lo que muestra contaminación y requiere un monitoreo más riguroso. La variación en los nitratos y sólidos disueltos totales refleja el impacto de la agricultura y las condiciones climáticas.

Recomendaciones

- **Implementación de Medidas de Control para la Contaminación:** Es necesario implementar un plan de manejo para regular el pastoreo de ganado en las microcuencas durante los meses de sequía, con el objetivo de reducir la contaminación por patógenos y nutrientes. Además, es esencial definir zonas de exclusión alrededor de las fuentes de agua y promover prácticas de manejo sostenible del ganado. Este enfoque no solo ayudará a prevenir el deterioro de la calidad del agua, sino que también protegerá las fuentes de agua contra la contaminación agrícola.
- **Monitoreo y Tratamiento de la Calidad del Agua:** Es esencial implementar un programa de monitoreo continuo para la calidad del agua en las microcuencas, que incluya mediciones regulares de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Adicionalmente, se deben considerar sistemas de tratamiento adecuados para abordar problemas identificados como la presencia de coliformes fecales y totales, así como la contaminación por nitratos y sólidos disueltos.
- **Planificación de Proyectos Basada en Datos Actualizados:** La información obtenida del mapeo y el análisis de la calidad del agua debe ser utilizada para guiar la planificación y ejecución de futuros proyectos en la región. La gestión de los recursos hídricos debe basarse en estos datos para desarrollar estrategias eficaces que consideren las características específicas de cada microcuenca, optimizando así el uso y conservación de estos recursos vitales.
- **Educación y Concienciación Comunitaria:** Es importante desarrollar e implementar programas educativos y de sensibilización para las comunidades locales sobre la importancia de proteger las fuentes de agua y adoptar prácticas que minimicen el impacto ambiental. Fomentar la participación activa de la comunidad en la vigilancia y conservación de las microcuencas puede contribuir significativamente a la mejora de la calidad del agua y a la sostenibilidad de los recursos hídricos.
- **Implementar prácticas agrícolas sostenibles y técnicas de manejo de aguas pluviales** para reducir la escorrentía y la contaminación ayudará a mitigar los efectos adversos sobre las microcuencas.
- **La calibración de los equipos antes de realizar los análisis es esencial para garantizar que los resultados sean precisos y que el valor de la calidad del agua refleje fielmente la realidad.**

Referencias

- Agencia de regulación y control fito y zoonosanitario. (2018). *Instructivo de muestreo para calidad de agua*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/agua5.pdf>
- Antúñez, S. (2015). *Procedimiento de muestreo de agua superficial*. https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/PROCEDIMIENTO_DE_MUESTREO_DE_AGUA_SUPERFICIAL.pdf
- Baldeón, J. (2018). *Control de la calidad del agua para el consumo humanos a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la parroquia San Andrés, Chimborazo*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3166/1/jose%20blade%C3%B3n%20cajo%20TESIS%20AGUA%20POTABLE%20SAN%20ANDRES.pdf>
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Beita-Sandí, W., & Barahona-Palomo, M. (2010). Fisico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 2(2), 157-179. <https://doi.org/10.22458/urj.v2i2.156>
- Blandón, L. C. (2019). Calidad de las aguas superficiales en la microcuenca río Pire, municipio de Condega Nicaragua. *Revista Científica Estelí*, 31, Article 31.
- Bustamante Paulino, N., & Paragua Morales, M. (2022). Impactos de la contaminación de microcuencas en Huánuco sobre la calidad de vida de los pobladores. *Investigación Valdizana*, 16(1), 17-26.
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Calvo-Brenes, G., Salazar-Céspedes, K., Calvo-Brenes, G., & Salazar-Céspedes, K. (2023). Estrategia de monitoreo hídrico comunitario para la microcuenca río Jorco basado en el análisis de indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos de la calidad de agua. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(4), 181-193. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i4.6456>
- Cabrera Molina, E., Hernández Garciadiego, L., Gómez Ruíz, H., & Cañizares Macías, M. del

- P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92.
- Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., Soto-Paz, J., Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., & Soto-Paz, J. (2021). Agua subterránea: Tendencias y desarrollo científico. *Información tecnológica*, 32(1), 47-56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100047>
- COA, (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE). (2017). *Código orgánico del ambiente*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Díaz García, S., & González Pérez, J. (2022). La importancia de la temperatura del agua en las redes de abastecimiento. *Ingeniería del Agua*, 26(2), 107-123. <https://doi.org/10.4995/ia.2022.17366>
- Domínguez, M., Alejandra, G., Rosero, R., & Alberto, C. (2021). *Evaluación de la calidad del agua en la quebrada Huarmiyacu del cantón Urcuquí, provincia de Imbabura para el prediseño de la planta de potabilización de agua para consumo humano de las poblaciones de San Blas y Urcuquí*.
- Fundación We Are Water. (2021). Importancia Del Análisis Para Determinar La Calidad Del Agua De Consumo (NOM-127, NOM-201 Y WHO) 2/2. <https://na.mxns.com/es-mx/blog/importancia-del-analisis>
- Gunther, T. (2023, febrero 1). *El Oxígeno disuelto y la calidad del agua*. LG Sonic. <https://www.lgsonic.com/es/el-oxigeno-disuelto/>
- Iberico Ruiz, G. J., & Pinedo Benzaquen, A. R. (2018). Evaluación de la concentración de los parámetros fisicoquímicos y micro biológicos de la quebrada Charhuayacu y su impacto socio ambiental en los sectores Shango y Azungue, Moyobamba, 2018. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31612>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2020). *Instructivo de toma y preservación de muestras de aguas y sedimentos*. <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I004+INSTRUCTIVO+DE+TOMA+Y+PRESERVACI%C3%93N+DE+MUESTRAS+SEDIMENTOS+Y+AGUA+SUPERFICIAL+PARA+LA+RED+DE+MONITOREO+DE+CALIDAD+DEL+IDEAM+v3.pdf/477bbe4a-5825-49c8-9961-10805a3c2288?version=1.0>
- Imbaquingo, C., Marcelo, F., Bustamante, O., José, B., & Rivera, A. C. R. (2023). Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental.
- Julián-Soto, F. (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de

- incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11(2), 167-177.
- León, J. A. C. (2022). *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales*. Ecoe Ediciones.
- Lombaida, Z., & Israel, J. (2020). Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-CT008684.pdf>
- Ley orgánica de Recursos-Hídricos-Usos y aprovechamiento del agua (2014). <https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADdricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
- Guallichico, T. J. P. (2024). Desarrollo de un plan de muestreo para el monitoreo de la calidad del agua del río Pachijal. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/25600/1/CD%2014140.pdf>
- Milagros, J. (2023). Evaluación de la calidad del agua superficial de la laguna confinada Bahía de los incas del lago Titicaca. http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/900/Bianet_Milagros_CCOYA_JORGE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Méndez, F. (2013). *Determinación de la situación actual de la calidad y las potencialidades del agua superficial, en dos épocas climáticas, en los municipios de Cantel y San Mateo, del departamento de Quetzaltenango, Guatemala*. <https://www.cytacunoc.gt/wp-content/uploads/2017/10/Mendez-Mendez-Rony-Felipe-2013.pdf>
- Maldonado Santana, C., Franco-Billini, C., & Jáuregui-Haza, U. J. (2023). Gestión integrada de las cuencas hidrográficas: Hacia un nuevo paradigma en la gobernanza del agua. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 6(2), 67-101. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i2.2951>
- Montesdeoca Portilla, A. L. (2022). *Establecimiento de las áreas de protección en las fuentes de agua de la microcuenca del río Escudillas* [bachelorThesis]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12318>
- Moreano, A. (2023). Evaluación de la calidad del agua y determinación de metales pesados en sedimentos de la microcuenca del río Alajua. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/bitstream/123456789/37951/1/CBT%20041.pdf>
- Pizarro, B. S. B. (2024). MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL.
- NTE-INEN-1108. (2020). NTE-INEN-1108. <https://es.scribd.com/document/468762493/nte-inen-1108>

- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370.
- Prado-Vélez, J. A., Rodríguez-Moreira, L. R., & Intriago-Flores, J. B. (2023). *Strategies to reduce contaminants: Water quality in the lower basin of the Portoviejo River*. 8(11).
- Puente Miranda, D. G., Valenzuela García, L. I., Alarcón Herrera, M. T., Puente Miranda, D. G., Valenzuela García, L. I., & Alarcón Herrera, M. T. (2023). Determinación histórica de índices de calidad del agua en observatorios participativos en el norte de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 39. <https://doi.org/10.20937/rica.54697>
- Propian. (2020). Clasificación del agua por su dureza. ProainShop. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/clasificacion-del-agua-por-su-dureza>
- Robledo-Hernández, J. A. (2023). Evaluación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF en las microcuencas del Parque Nacional Río Dulce como herramienta en la gestión integral del manejo sustentable, Livingston, Izabal, Guatemala, Centroamérica. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(1), 106-116. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.6241>
- Rock, C., & Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. coli y su Salud. <https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/670057/AZ1624S-2014.pdf?sequence=1>
- Ruiz, N. (2007). *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0120-56092007000300019&script=sci_arttext
- Salazar, J., & Rosales, O. (2015). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Pisque y su incidencia en la producción de agua, en la provincia de Imbabura. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6949/2/03%20RNR%20212%20ARTICULO.pdf>
- Torres, P., Cruz, C. H., Patiño, P., Escobar, J. C., & Pérez, A. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua -ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 86-95.
- TULSMA (2017). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Vaquero, M. P. (Ed.). (2012). *Agua para la salud: Pasado, presente y futuro*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Vega, A. (2021). Evaluación de la calidad del agua del río Upano, tramo de la ciudad de Macas

mediante el análisis de macroinvertebrados.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15438/1/236T0579.pdf>

Yáñez, j. a. j., & naranjo, m. m. c. (2014). Validación de métodos analíticos para la determinación de la demanda química de oxígeno (rango bajo, rango medio, rango alto), sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos en matrices de agua clara y residual en el centro de investigaciones y control ambiental "CICAM". <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8461/1/BQ%2062.pdf>

Zaragoza-Bastida, A., Valladares-Carranza, B., Ortega-Santana, C., Zamora-Espinosa, J., Velázquez-Ordoñez, V., Aparicio-Burgos, J., Zaragoza-Bastida, A., Valladares-Carranza, B., Ortega-Santana, C., Zamora-Espinosa, J., Velázquez-Ordoñez, V., & Aparicio-Burgos, J. (2016). Repercusiones del uso de los organoclorados sobre el ambiente y salud pública. *Abanico veterinario*, 6(1), 43-55.

Anexos



Anexo a. Identificación y delimitación de los puntos de muestreo.



Anexo b. Unión de las microcuencas Campamento y Rodeo.



Anexo c. Microcuenca Campamento



Anexo d. Microcuenca Rodeo



Anexo e. Microcuenca Yabana.



Anexo f. Muestreo



Anexo g. Medición de parámetros insitu.



Anexo h. Análisis del agua en el laboratorio



Anexo i. Análisis del agua en el laboratorio



Anexo j. Medición de parámetros insitu.

Anexo k. Delimitación de las microcuencas

