

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

**Evaluación de la calidad del agua de los ríos Matadero, Llaviuco y
Tomebamba mediante la aplicación de ICA-NSF**

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


Autores:

Christian David Molina Larrea

José Luis Tinoco Ordóñez

Director:

Sonia Margoth Astudillo Ochoa

ORCID:  0000-0002-8351-6031

Cuenca, Ecuador

2024-11-27

Resumen

Los ríos Llaviuco, Matadero y Tomebamba, son ríos provenientes del Parque Nacional Cajas, son una fuente hídrica crucial para la ciudad de Cuenca, abasteciendo agua para potabilización y soportando actividades recreativas y agrícolas. El incremento de actividades ha generado preocupaciones sobre su impacto en la calidad del agua. Por esta razón, se llevó a cabo una evaluación de la calidad de las aguas utilizando el índice de calidad de agua ICA- NSF, que incluye parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Estos parámetros son: temperatura, turbidez, pH, sólidos disueltos totales, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes fecales. El estudio se desarrolló durante un periodo de dos meses, realizando análisis en cinco puntos de muestreo a lo largo de los tres ríos. Los resultados indicaron que la calidad del agua es generalmente buena, se comparó los resultados con los límites establecidos por la normativa TULSMA Anexo 1 tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional y con estudios previos. Se detectaron niveles altos de coliformes fecales en el punto 5 de muestreo (Río Tomebamba a la altura Italpisos S.A) que supera los límites permisibles durante las dos primeras semanas de estudio. Al comparar los resultados con estudios previos, se constató que, a partir del punto 5 la tendencia se mantiene. Sin embargo, los mismos estudios, ayudaron a constatar que la calidad del agua de los ríos no ha mostrado cambios significativos.

Palabras clave del autor: impacto ambiental, análisis de laboratorio, parámetros fisicoquímicos, monitoreo de cuerpos de agua



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 Llaviuco, Matadero, and Tomebamba rivers, originating from Cajas National Park, are crucial water sources for the city of Cuenca, supplying water for purification and supporting recreational and agricultural activities. The increase in activities has raised concerns about their impact on water quality. For this reason, a water quality assessment was conducted using the NSF-WQI Water Quality Index, which includes physical, chemical, and microbiological parameters. These parameters are: temperature, turbidity, pH, total dissolved solids, nitrates, phosphates, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand (BOD), and fecal coliforms. The study was carried out over a two-month period, with analyses conducted at five sampling points along the three rivers. The results indicated that the water quality is generally good. The findings were compared with the limits established by the TULSMA regulation Annex 1, Table 1: Maximum permissible limits for water intended for human consumption and domestic use, which require only conventional treatment, and with previous studies. High levels of fecal coliforms were detected at sampling point 5 (Tomebamba River near Italpisos S.A.), exceeding permissible limits during the first two weeks of the study. When compared to previous studies, it was found that from point 5 onwards, this trend persists. However, the same studies confirmed that the water quality of the rivers has not shown significant changes over time.

Author Keywords: environmental impact, laboratory analysis, physicochemical parameters, water bodies monitoring



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

Agradecimiento	9
Dedicatoria.....	10
Objetivos.....	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
Introducción	13
CAPÍTULO I.....	14
Marco teórico	14
1.1 Muestreo.....	15
1.1.1 Muestras puntuales.....	16
1.1.2 Muestras periódicas.....	16
1.1.3 Muestras continuas.....	16
1.1.4 Muestras en serie	16
1.1.5 Muestras compuestas.....	17
1.1.6 Muestras de grandes volúmenes	17
1.2 Calidad de agua.....	17
1.3 Índices de calidad	18
1.3.1 Normativa TULSMA.....	19
1.3.2 Índice de calidad ICA - NSF.....	20
1.4 Parámetros	21
1.4.1 Oxígeno Disuelto	21
1.4.2 Coliformes Fecales	21
1.4.3 pH.....	21
1.4.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno	21
1.4.5 Nitratos	22
1.4.6 Fosfatos.....	22
1.4.7 Temperatura	22
1.4.8 Turbiedad	22
1.4.9 Sólidos disueltos totales	23
1.5 Pesos relativos índice NSF	23
1.6 Software ICA Test.....	23

CAPÍTULO II	24
Metodología	24
2.1 Métodos para la recolección de datos.....	24
2.1.1 Área de estudio.....	24
2.1.2 Muestreo.....	24
2.1.3 Toma de muestra.....	24
2.1.4 Puntos de muestreo.....	25
2.2 Materiales, reactivos y equipos.....	26
2.3 Análisis y procedimientos para determinación de análisis fisicoquímico y microbiológicos.....	27
2.3.1 Temperatura.....	27
2.3.2 Turbidez.....	27
2.3.3 Potencial de hidrógeno (pH)	27
2.3.4 Sólidos disueltos totales	27
2.3.5 Nitratos	27
2.3.6 Fosfatos.....	28
2.3.7 Oxígeno disuelto.....	28
2.3.8 Demanda bioquímica de oxígeno.....	28
2.3.9 Coliformes Fecales	29
2.4 Determinación del índice de calidad ICA-NSF	29
Capítulo III	32
Resultados y discusión	32
3.1 Resultados.....	32
3.2 Análisis de resultados mediante software ICA Test.....	37
3.3 Análisis de resultados mediante el cálculo del I-NSF	38
3.4 Análisis Semanal.	39
3.4.1 Semana 1	40
3.4.2 Semana 2	41
3.4.3 Semana 3	41
3.4.4 Semana 4.	41
3.5 Análisis de los puntos de muestreo.....	42
3.5.1 Punto 1: (Molino del puente)	42
3.5.2 Punto 2: (Río Llaviuco)	43
3.5.3 Punto 3: (Confluencia Río Llaviuco y río Matadero)	43
3.5.4 Punto 4: (Sayausí)	43

3.5.5	Punto 5: (Río Tomebamba).....	43
3.6	Análisis de parámetros.	43
3.6.1	Temperatura	44
3.6.2	pH.....	45
3.6.3	Sólidos Disueltos Totales.....	45
3.6.4	Oxígeno Disuelto	46
3.6.5	Turbiedad	47
3.6.6	Nitratos	48
3.6.7	Fosfatos.....	49
3.6.8	Demanda Bioquímica de Oxígeno	50
3.6.9	Coliformes Fecales	51
Capitulo IV	.....	53
Conclusiones y Recomendaciones	.....	53
4.1	Conclusiones	53
4.2	Recomendaciones	54
Referencias	.....	55
Anexos	.....	61
Anexo A	Demanda bioquímica de oxígeno	61
Anexo B	Oxígeno disuelto.....	61
Anexo C	Potencial de hidrógeno (pH)	62
Anexo D	Turbiedad	62
Anexo E	Fosfatos.....	63
Anexo F	Nitratos	64
Anexo G	Temperatura.....	64
Anexo H	Coliformes fecales	65
Anexo I	Sólidos totales suspendidos.....	65
Anexo J	.....	66
Anexo K	.....	67

Índice de figuras

Figura 1.....	26
Figura 2.....	38
Figura 3.....	40
Figura 4.....	42
Figura 5.....	44
Figura 6.....	45
Figura 7.....	45
Figura 8.....	46
Figura 9.....	47
Figura 10.....	48
Figura 11.....	49
Figura 12.....	50
Figura 13.....	51

Índice de tablas

Tabla 1.....	25
Tabla 2.....	26
Tabla 3.....	30
Tabla 4.....	30
Tabla 5.....	33
Tabla 6.....	34
Tabla 7.....	35
Tabla 8.....	36
Tabla 9.....	37
Tabla 10.....	37
Tabla 11.....	38
Tabla 12.....	39

Agradecimiento

Primeramente, quiero agradecer a Dios por darme la sabiduría con la cual eh culminado este trabajo de titulación. Agradezco a mamá, papá y a mi ñaño mayor por siempre darme ese empujoncito extra que necesitaba para no rendirme y seguir.

Agradezco a la Ing. Sonia Astudillo y al Dr. Giovanni Larriva ya que sin sus conocimientos este trabajo no sería posible y sobre todo agradecerles por su tiempo y gran paciencia.

Por último, agradezco a todas esas personas que no creyeron en mí y pensaban que me estancaría en el camino, para ser muy sincero fueron ustedes quienes me dieron las ganas de salir adelante y demostrarle a cualquiera que yo puedo esto y mucho más.

Christian David Molina Larrea

Quiero expresar mis agradecimientos más sinceros a todas las personas que hicieron posible el desarrollo y culminación de este proyecto de titulación.

A la Mgt. Sonia Astudillo, directora de carrera, docente, tutora y excelente persona, quien nos ha ayudado durante el proceso del trabajo de titulación y también como estudiantes, dejándonos muchas enseñanzas y consejos que nos servirán como profesionales.

Al Dr. Giovanni Larriva que nos ayudó durante nuestra estancia en el laboratorio de aguas, brindándonos todas las ayudas posibles para poder realizar los análisis que requeríamos para nuestro trabajo de titulación.

Y a todos los docentes en general, que impartieron sus enseñanzas semestre a semestre brindándonos conocimientos que nos permitirán ser mejores personas e ingenieros.

José Luis Tinoco Ordoñez

Dedicatoria

Quiero dedicar no solo este trabajo si no toda esta vida Universitaria a mi familia mami, papi, ñaño lo logre, lo logramos tantas cosas que tuvimos que pasar y aquí está la recompensa.

Christian David Molina Larrea

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación y la culminación de mi carrera universitaria a mi familia, especialmente a mi madre Mirian, quien ha sido un ejemplo constante de Madre, Persona y Profesional. Su apoyo incondicional a lo largo de cada día de mi vida y en cada uno de mis proyectos ha sido fundamental para alcanzar este logro. Gracias a su gran cariño y amor, este objetivo ha sido posible.

A mis hermanos, Alex y Daniela, por su constante apoyo, cariño y por ser un pilar fundamental en mi vida. A mis abuelos, cuyo amor y respaldo han sido siempre una fuente de inspiración para seguir adelante.

A mis amigos que me han ayudado dentro y fuera de la Universidad con consejos, apoyo y amistad incondicional.

Y sobre todo a Dios que me ha dado fortaleza, valentía y sabiduría para poder llevar a cabo con mis estudios.

José Luis Tinoco Ordoñez

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la calidad del agua de los ríos Llaviuco, Matadero y Tomebamba mediante la aplicación del índice ICA-NSF.

Objetivos Específicos

- Definir cinco puntos de muestreo que abarquen la zona de estudio de los ríos Llaviuco, Matadero y Tomebamba
- Realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras recolectadas, considerando los nueve parámetros que integran el índice ICA-NSF.
- Calcular el índice de calidad del agua en función de los parámetros obtenidos.
- Evaluar los resultados obtenidos en función de la normativa ambiental vigente y realizar una comparación con estudios previos.

Introducción

Los recursos hídricos son esenciales para el desarrollo de la vida de la Tierra, sin embargo, alrededor del 0,3% de los recursos hídricos son utilizables, esto es un indicador de la sensibilidad y la importancia de la concientización del uso del agua como recurso natural (Carabalí et al., 2019).

El agua es una sustancia necesaria muy importante para sustentar las actividades de supervivencia como el abastecimiento del agua potable, agricultura, industria, generación de energía y también actividades vitales del ser humano, como la nutrición, la respiración, la circulación, la excreción y la reproducción (Jacobo-Marín, 2022).

A medida que crecen las poblaciones humanas y las economías, la demanda mundial de agua dulce ha aumentado rápidamente, esto presenta un desafío significativo en la actualidad de suministro de agua (Carr et al., 2012). Por otro lado, teniendo en cuenta el cambio climático, la urbanización acelerada, sobreproducción y el uso de agua en actividades industriales, generan problemas de contaminación, sequías e inundaciones, mala distribución y poca disponibilidad de uso de recursos hídricos, lo cual afecta a la calidad del agua y como consecuencia a la salud y vida de los ecosistemas que requieren agua para su supervivencia (Olmstead, 2014).

Según Delpla et al. (2009), es crucial evaluar la calidad del agua para garantizar su disponibilidad y uso seguro para las generaciones actuales y futuras. La calidad del agua impacta directamente en la salud pública, la biodiversidad y el desarrollo económico. Una evaluación adecuada permite detectar contaminantes, comprender los factores que afectan la calidad del agua y tomar decisiones informadas para su manejo sostenible (Tarquino, 2004).

En la última década han surgido modelos de gestión de sostenibilidad para mantener la calidad del agua, inicialmente se usaba un enfoque instrumental de predicción y control dominado por soluciones técnicas de final de proceso (Pahl-Wostl et al., 2008). Actualmente se busca resolver los problemas desde la fuente, que es una de los objetivos de esta investigación al evaluar la calidad del agua en los ríos antes de su captación y distribución (Blanco & Donoso, 2016).

CAPÍTULO I

Marco teórico

Ecuador cuenta con abundantes recursos hídricos, como ríos, lagos, lagunas y acuíferos, que son una riqueza natural crucial para la vida y el desarrollo del país (Instituto del agua Ecuador, 2024). Estos recursos son fundamentales no solo para el abastecimiento de agua potable y el desarrollo de actividades como la agricultura, la ganadería y la industria, las cuales son cruciales para la seguridad alimentaria y el bienestar de la sociedad, sino también para la producción de energía hidroeléctrica, que fomenta la autosuficiencia energética y ayuda en la lucha contra el cambio climático al emplear fuentes renovables (Wingfield et al., 2021).

Un río se lo define como una corriente de agua que empieza a fluir desde lo más alto de las montañas hasta los terrenos más bajos los cuales son regados por los mismos efluentes de agua. Sabiendo el significado de un río podemos hablar acerca de los ríos Llaviuco, Matadero que al confluir forman parte del río Tomebamba los cuales surgen en el parque Nacional Cajas que está ubicado en la provincia de Azuay, en el sur del Ecuador (Espejo & Tenelanda, 2018).

Según el Ministerio del Ambiente (2015), el Parque Nacional Cajas, con una extensión de 29.000 hectáreas, está situado en la cordillera occidental de los Andes, en la provincia del Azuay, a 34 kilómetros al oeste de la ciudad de Cuenca, en la ruta Cuenca-Sayausí-Molleturo. Se encuentra a una altitud que varía entre los 3.200 y 4.500 metros sobre el nivel del mar. El área del parque abarca las parroquias rurales de Sayausí, San Joaquín, Chaucha y Molleturo, del cantón Cuenca. El Ministerio del Ambiente lo integró al Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador (SNAP) por sus importantes características arqueológicas y sus valores excepcionales que contribuyen a los objetivos nacionales de conservación (Monsalve & Fernando, 2016).

Con más de 230 lagunas, muchas de origen glacial, el parque alberga diversas cuencas hidrográficas que abastecen a ríos y afluentes cruciales para la zona. Estos cuerpos de agua sirven como reservas de agua dulce, contribuyendo al equilibrio ecológico y proporcionando hábitats únicos para la biodiversidad (Ministerio del ambiente, 2015).

Según Molina Villamar (2016), el Parque Nacional Cajas es la fuente de importantes ríos que son esenciales para la agricultura, el consumo humano y la producción de energía hidroeléctrica en las zonas aledañas. Además, estas fuentes de agua son cruciales para preservar una gran diversidad de flora y fauna, con lagunas que contienen diversas formas de vida acuática y ríos que brindan hábitats vitales para múltiples especies. El parque cuenta con un total de 786 cuerpos de agua, entre los que se encuentran aproximadamente 165

lagunas que superan una hectárea y 621 lagunas más pequeñas. A lo largo del tiempo, la calidad del agua en estos cuerpos ha sufrido una notable degradación, causada por actividades humanas como la pesca deportiva, la expansión de asentamientos, el desarrollo de áreas turísticas y la presencia de zonas industriales (Ministerio de Salud Pública, 2015).

Los asentamientos humanos, también conocidos como núcleos habitados, son una fuente importante de contaminación del agua debido a la presencia de contaminantes microbiológicos procedentes de aguas residuales y desechos tanto humanos como animales. Esta situación se ve agravada por las instalaciones turísticas, que introducen contaminantes y pueden causar daños significativos a los ecosistemas acuáticos (Rolín Gonzales, 2018).

Además, la urbanización y el desarrollo turístico no solo deterioran la calidad del agua, sino que también ejercen mayor presión sobre los recursos hídricos, afectando la biodiversidad y la sostenibilidad de estos entornos (Peñafiel, 2014).

En cuanto a la contaminación provocada por la pesca deportiva, esta ocurre debido a la introducción de desechos como sedales, anzuelos y plásticos, el uso de cebos que liberan residuos químicos, y la perturbación de los sedimentos del fondo, lo que incrementa la turbidez del agua. La mala gestión de residuos y la introducción de especies no nativas también contribuyen al deterioro de la calidad del agua. Además, la introducción de productos químicos y la sobreexplotación de peces agravan esta problemática. Es crucial fomentar prácticas sostenibles y adoptar medidas que mitiguen estos impactos para preservar la salud de los ecosistemas acuáticos y asegurar la continuidad de esta actividad recreativa (Cury, 2020).

Por otro lado, los vertidos industriales en los ríos representan un problema grave que afecta considerablemente a los ecosistemas acuáticos. Muchas industrias descargan sus aguas residuales en los ríos, lo que deteriora la calidad del agua y tiene efectos devastadores en la flora y fauna de estos hábitats. Además de los residuos líquidos, las emisiones gaseosas y productos químicos liberados por las industrias también contribuyen al deterioro de la salud de los ríos. La alteración del pH y la introducción de sustancias tóxicas afectan negativamente la biodiversidad y comprometen la capacidad de los ríos para mantener un equilibrio ecológico (Quintana Teanga & Tingo Revelo, 2023).

1.1 Muestreo

El muestreo es crucial para evaluar la calidad del agua, como menciona Antonio (2013), ya que la precisión de los análisis depende directamente de la calidad de las muestras

recolectadas. Para evaluar correctamente la calidad del agua, es necesario obtener diferentes tipos de muestras que permitan medir parámetros como las concentraciones de materiales inorgánicos, minerales o químicos disueltos, gases disueltos, materia orgánica disuelta y sólidos en suspensión en el agua o sedimento, en momentos y ubicaciones específicas o a intervalos determinados. Algunos parámetros, como los gases disueltos, requieren ser medidos "in situ" para obtener resultados exactos. Además, es fundamental considerar los métodos de conservación de las muestras cuando sea necesario. Se recomienda separar las muestras destinadas a análisis químicos, microbiológicos y biológicos, ya que los equipos y procedimientos para su recolección y manejo varían.

La norma INEN 2176-2013 describe varios tipos de muestreo, entre los que se incluyen:

1.1.1 Muestras puntuales

Son muestras individuales recolectadas manual o automáticamente en aguas superficiales, a una profundidad específica o en el fondo. Representan la calidad del agua en el lugar y momento exactos en que se obtienen. En el muestreo automático, se recolectan varias muestras en intervalos de tiempo o de flujo establecidos (INEN, 2013b).

1.1.2 Muestras periódicas

Se recogen a intervalos de tiempo regulares mediante un mecanismo cronometrado que inicia y finaliza la recolección del agua en un periodo específico. Comúnmente, se bombea la muestra a varios recipientes durante un tiempo fijo, controlando el volumen para cada uno (INEN, 2013b).

1.1.3 Muestras continuas

Se toman a un flujo constante y contienen todos los componentes presentes durante el periodo de muestreo, aunque no siempre proporcionan información sobre la variación de las concentraciones de parámetros específicos en ese periodo (INEN, 2013b).

1.1.4 Muestras en serie

Para crear perfiles de profundidad, se obtienen varias muestras a distintas profundidades en un punto del cuerpo de agua. Para perfiles de áreas, se recolectan muestras a una profundidad específica en varios puntos del cuerpo de agua (INEN, 2013b).

1.1.5 Muestras compuestas

Estas muestras, recolectadas de forma manual o automática, combinan varias muestras individuales, independientemente del tipo de muestreo (dependiente del flujo, tiempo, volumen o localización). Las muestras continuas se agrupan para obtener una composición promedio, asegurándose de que los parámetros de interés no varíen significativamente durante el muestreo (INEN, 2013b).

1.1.6 Muestras de grandes volúmenes

Algunos análisis requieren grandes cantidades de muestra, desde 50 litros hasta varios metros cúbicos, para estudiar pesticidas o microorganismos no cultivables. Estas muestras se recolectan de manera convencional, asegurando la limpieza de los recipientes, o se pasan por filtros o cartuchos absorbentes, dependiendo del análisis. Se usan cartuchos de intercambio iónico o de carbón activado para pesticidas y filtros de polipropileno con poros de 1 μm para el análisis de criptosporidium. En aguas turbias, con sólidos en suspensión que saturan rápidamente los filtros, es necesario emplear un sistema de filtrado en serie para asegurar que la muestra final tenga un contenido bajo de sólidos y retenga las sustancias deseadas (INEN, 2013b).

1.2 Calidad de agua

Según Ramírez (2011), cuantificar el estado de los cuerpos de agua requiere evaluar concentraciones, características y aspectos físicos relacionados con sustancias orgánicas e inorgánicas, así como la composición y el estado de la biota acuática presente en esos cuerpos. Las variaciones en la calidad del agua, tanto en el espacio como en el tiempo, son el resultado de factores internos y externos al cuerpo de agua. Una evaluación integral de la calidad del agua en los cuerpos hídricos debe incluir el análisis de tres componentes clave: la hidrología, las características fisicoquímicas y la biología del agua.

De acuerdo con Ramírez (2011), en la sociedad actual, el acceso al agua en cantidad y calidad suficiente es una necesidad fundamental para cualquier comunidad. Por ello, la evaluación de la calidad del agua tiene múltiples objetivos:

- Identificación de problemas: Detectar inconvenientes vinculados a la calidad del agua, ya sea por contaminación o modificaciones en las características del entorno acuático.

- Relación con usos actuales del agua: Establecer conexiones entre los problemas de calidad del agua y los diversos usos de este recurso, teniendo en cuenta las demandas actuales y futuras
- Intervención y control de parámetros de calidad: Evaluar qué parámetros de calidad del agua necesitan intervención y control, implementando medidas apropiadas para mejorar la situación.
- Identificación de Recursos Disponibles: Buscar los medios y recursos disponibles para realizar las intervenciones necesarias, considerando aspectos financieros, tecnológicos y de gestión.

En síntesis, la evaluación de la calidad del agua no solo implica medir parámetros, sino también adoptar un enfoque integral que busque identificar problemas, establecer relaciones, intervenir cuando sea necesario y utilizar eficientemente los recursos disponibles para mejorar la calidad del agua y satisfacer las necesidades de la población.

1.3 Índices de calidad

Según Peñafiel (2014), analizar el estado del agua implica analizar su composición química, características físicas y aspectos biológicos en comparación con su estado natural, los impactos humanos y los posibles usos. Para hacer más comprensibles los resultados obtenidos durante el estudio, se emplean los (ICA), los cuales condensan múltiples parámetros en una expresión sencilla y fácil de comprender. El ICA es una herramienta que describe la situación del cuerpo de agua al integrar mediciones de diferentes aspectos de su calidad. Su popularidad ha crecido gracias a la capacidad para revelar tendencias en los cambios de las fuentes de agua.

El análisis del estado del agua es fundamental para comprender la salud y sostenibilidad de los recursos hídricos. Este enfoque integral considera no sólo la detección de compuestos químicos, sino también los aspectos físicos y biológicos, lo que proporciona una visión integral de la condición de cuerpos acuáticos. La implementación de Índices ICA se convierte en una herramienta valiosa para los gestores del agua y los investigadores, ya que facilita la interpretación y seguimiento de los cambios en las características del agua a lo largo del tiempo (Torres et al., 2009).

Así mismo Rojas et al. (2010), en su investigación señala que el índice de calidad del agua es una representación simplificada que resulta de la combinación, más o menos compleja, de

varios parámetros que describen las características del agua. Su principal ventaja es que es más fácil de interpretar que una lista extensa de datos numéricos.

Pueden tener diversas aplicaciones:

1. Gestión del recurso: Brindar información útil para que los responsables de la toma de decisiones establezcan prioridades en el manejo del recurso.
2. Clasificación de zonas: Permite realizar una comparación del estado del recurso en distintas regiones geográficas.
3. Cumplimiento de regulaciones: Ayudan a determinar si se están excediendo los límites establecidos por la normativa ambiental y las políticas vigentes.
4. Análisis de tendencias: El monitoreo de los índices a lo largo del tiempo, pueden revelar si la calidad medioambiental está en aumento o declive.
5. Divulgación pública: Los índices pueden ser útiles en para sensibilizar y educar a la población sobre cuestiones ambientales.
6. Investigación Científica: Facilitan el análisis de grandes volúmenes de datos, proporcionando una visión clara de los fenómenos ambientales.

1.3.1 Normativa TULSMA

El agua destinada al consumo humano y otros fines debe cumplir con ciertos estándares de calidad, los cuales se vuelven cada vez más difíciles de alcanzar debido a la contaminación por diversas sustancias en las fuentes de agua. Esto implica que se necesiten tratamientos complejos y costosos, lo que resulta un desafío para las comunidades con limitados recursos técnicos y económicos. Por ello, es fundamental elegir cuidadosamente las fuentes de agua y garantizar la protección de los ríos; si el agua cruda es más limpia, el proceso de tratamiento será menos costoso y el agua será más segura para el consumo (Pauta et al., 2019).

En Ecuador la normativa TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente) tiene como objeto la mitigación y regulación de la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua. De acuerdo con el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua (MAE, 2015). Esta norma establece parámetros de

calidad según sus usos, límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado.

1.3.2 Índice de calidad ICA - NSF

Es un valor singular que indica la calidad, resultado de combinar las mediciones de ciertos parámetros específicos de la calidad del agua. Su uso se ha vuelto más frecuente para identificar posibles tendencias globales en variaciones del agua. La creación del índice de calidad del agua debe capturar la calidad de manera global, evitando centrarse únicamente en un conjunto específico de parámetros. Al construir un ICA, es crucial elegir parámetros que sean representativos, asignar subíndices a cada uno de ellos y utilizar un método de agregación que se adapte de manera óptima, por ejemplo, para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos toma en cuenta un índice de calidad basado en tres parámetros: contacto directo del humano, contacto indirecto y el contacto con el agua remota. Otro ejemplo que podemos dar es el Índice de contaminación propuesto por McDuffie & Haney que propone una relación entre los valores medidos de los parámetros y los niveles naturales del parámetro (García & Husserl, 2018).

El índice de calidad más usado es el propuesto por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos. Este se basa principalmente en un método de agregación de suma aritmética ponderada que transforma los valores por medio de curvas funcionales producidas por el método Delphi de la "Rand Corporation's" (Ball & Church, 1980).

$$ICA = \sum_{i=1}^n w_i * SI_i$$

(Soledad, C. M., & Dennisse, U. P. 2016)

Donde w_i representa el peso relativo del parámetro i , n es el total de parámetros empleados (en este caso, 9), y SI_i indica el subíndice de calidad correspondiente al parámetro i . La obtención de los subíndices para cada parámetro se basó en curvas funcionales especificadas por la NSF. Entre los parámetros que maneja el NSF tenemos: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad, sólidos disueltos (García & Husserl, 2018).

1.4 Parámetros

1.4.1 Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto mide la cantidad de oxígeno presente en los cuerpos de agua, siendo un indicador clave de la contaminación y de la capacidad del agua para sostener la vida vegetal y animal. Niveles elevados suelen reflejar una alta tasa de fotosíntesis, especialmente en plantas acuáticas. Factores como la intensidad de la luz y la turbulencia del agua pueden aumentar estos niveles (Valencia, 2011).

1.4.2 Coliformes Fecales

Los coliformes fecales son un grupo de bacterias representado por las familias de las enterobacterias donde se destacan bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas; aunque el mayor representante es la bacteria *Escherichia coli*, que han sido utilizadas como un indicador de riesgo de contaminación para el agua potable. Se distingue de los coliformes totales por la característica de ser termo tolerantes su facilidad de crecer a elevadas temperaturas y por la capacidad de producir la enzima glucuronidasa (Valencia, 2011).

1.4.3 pH

El pH es un valor indicativo del grado de acidez del agua. Además, este parámetro origina variación en la composición de la fauna y flora de los cuerpos de agua e influye en el grado de toxicidad de ciertos compuestos, como el amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, entre otros (Pérez & Restrepo, 2008).

1.4.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se refiere a la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para descomponer residuos orgánicos de manera aeróbica. Este parámetro mide la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de materia orgánica biodegradable en una muestra de agua, resultado de la oxidación aerobia. En laboratorio, la DBO se determina generalmente a 20 °C durante un periodo de 5 días, y se expresa en mg/l de O₂, siendo conocida como DBO₅. Este método fue introducido en 1936 por la Asociación Americana de Salud Pública y desde entonces es un indicador clave de la contaminación del agua, tanto en aguas residuales como en agua potable. La DBO también señala la cantidad de materia orgánica que puede fomentar la eutrofización y el consumo de oxígeno, ayudando

a identificar el aumento de materia orgánica en los cuerpos de agua (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014).

1.4.5 Nitratos

El nitrato es un parámetro que indica la descomposición de materia orgánica animal y/o vegetal, generando metahemoglobina (color azul de la piel) en los infantes alimentados con leche preparada, debido a que los nitratos se reducen a nitritos dentro del sistema digestivo de los niños (Pérez & Restrepo, 2008).

1.4.6 Fosfatos

El ion fosfato (PO_4^-) se origina a partir del fósforo inorgánico presente como mineral y juega un papel importante en el ciclo de este elemento en el medio ambiente. También puede encontrarse en forma de partículas suspendidas o en los organismos acuáticos. El agua de lluvia puede arrastrar fosfatos desde los suelos agrícolas hacia los cuerpos de agua cercanos. La contaminación por fosfatos se relaciona directamente con el uso de fertilizantes en la agricultura, y en ciertas áreas se observa la falta de respeto a las restricciones sobre el uso del suelo cerca de las fuentes de agua, lo que agrava esta situación (Segarra Rojas, 2016).

1.4.7 Temperatura

La temperatura es una de las variables más significativas en los cuerpos de agua, sirviendo de indicativo de la estabilidad ecológica del sistema. Además, las variaciones de este parámetro generan un cambio en el ambiente de desarrollo de la fauna y flora presentes en los cuerpos de agua; elevando el potencial tóxico de ciertas sustancias disueltas en el agua (Pérez & Restrepo, 2008)

1.4.8 Turbiedad

La turbiedad se refiere al nivel de opacidad del agua causado por la presencia de partículas en suspensión, como coloides, arcillas, granos de sílice y materia orgánica. La concentración de estas partículas afecta la transparencia del agua al reducir el paso de la luz. Actividades como la construcción de carreteras, la minería y las canteras exponen el suelo a la erosión, lo que facilita que, a través de la escorrentía, este parámetro se vea alterado en los ríos (Pérez & Restrepo, 2008).

1.4.9 Sólidos disueltos totales

Los sólidos totales disueltos reflejan la cantidad de sales disueltas y partículas en suspensión, tanto orgánicas como inorgánicas. Estos sólidos permiten establecer vínculos con otros parámetros, como la DQO y la DBO, lo que resulta en análisis más precisos (Sierra, 2011).

1.5 Pesos relativos índice NSF

Los valores asignados a cada parámetro según el ICA-NSF son los siguientes: Oxígeno disuelto: 0.17; coliformes fecales: 0.15; pH: 0.12; DBO5: 0.10; nitratos: 0.10; fosfatos: 0.10; temperatura: 0.10; turbiedad: 0.08; y sólidos totales: 0.08. Si alguna de estas variables está ausente, el valor total del índice se puede calcular redistribuyendo su peso entre los otros parámetros. El resultado final de este índice debe estar entre 0 y 100, donde 0 indica una calidad de agua muy pobre y 100 representa una calidad de agua excelente (Solares, 2017).

1.6 Software ICA Test

El software ICA Test es una herramienta utilizada para evaluar la calidad del agua mediante el cálculo del Índice de Calidad del Agua ICA-NSF. Este índice se fundamenta en la medición de diversos parámetros físicos, químicos y biológicos del agua, ofreciendo una evaluación cuantitativa de su calidad.

CAPÍTULO II

Metodología

La obtención de datos se llevó a cabo en cada ubicación de muestreo en cuatro fechas distintas. Se realizó una toma de muestra cada dos semanas, sumando un total de cuatro tomas de muestra en un periodo de dos meses. Cada muestra fue sometida a análisis mediante nueve parámetros que componen el índice ICA-NSF. Estos parámetros incluyen: temperatura, turbidez, pH, sólidos disueltos totales, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes fecales.

2.1 Métodos para la recolección de datos

2.1.1 Área de estudio

El proceso de muestreo se realizó en cinco ubicaciones específicas a lo largo de los tres ríos sujetos a análisis. Posteriormente las muestras obtenidas se trasladaron al laboratorio de análisis de aguas ubicado en el campus Balzay de la Universidad de Cuenca.

2.1.2 Muestreo

Según la norma INEN 2176:2013, se realizó un muestreo puntual, ya que el flujo del agua a muestrear no es uniforme. Las muestras puntuales son recolectadas de forma manual o automática y se obtuvieron de la superficie del agua, a una profundidad determinada y en el fondo.

Siguiendo la norma INEN 1105:1983, para prevenir la contaminación de las muestras, el muestreo se llevó a cabo en áreas distantes de la orilla del río y a una profundidad de 20 cm. Las muestras se almacenaron en recipientes de polietileno estériles, etiquetados adecuadamente, y se conservaron a una temperatura de 4°C. Se realizaron análisis de parámetros fisicoquímicos de acuerdo con la norma INEN 2176:2013 (INEN, 2013b) y análisis microbiológicos según la norma INEN-ISO 19458:2014 (INEN, 2014b). Posteriormente, las muestras se transportaron al laboratorio en un ambiente fresco y protegidas de la luz, conforme a la norma INEN 2169:2013, para ser analizadas de manera inmediata (INEN, 2013a).

2.1.3 Toma de muestra

La norma INEN 2176:2013 especifica que para tomar muestras en superficie se debe usar una cubeta o botella de boca ancha, que se sumerge en el cuerpo de agua y se retira una

vez llena. El volumen mínimo requerido es de un litro para los análisis fisicoquímicos, en recipientes de 125 ml, para los análisis microbiológicos, se deben colocar en recipientes de polietileno. Además, la norma indica que la temperatura adecuada para el traslado de las muestras debe ser de 4°C, utilizando cajas térmicas o coolers.

2.1.4 Puntos de muestreo

Este proceso de muestreo se realizó de manera aleatoria en cinco ubicaciones específicas a lo largo de los ríos Llaviuco, Matadero y Tomebamba. Estos cinco puntos de muestreo son:

- Salida de la laguna Llaviuco.
- Río Matadero a la altura del Molino (Molino del puente).
- Confluencia entre el río Llaviuco y Matadero.
- Río Tomebamba a la altura de Sayausí.
- Río Tomebamba luego de la empresa Italpisos SA.

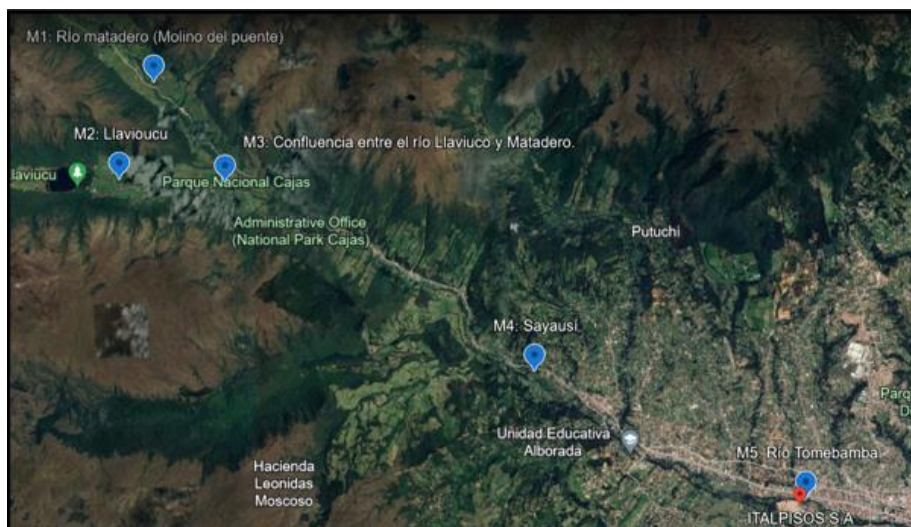
Tabla 1

Puntos de muestreo

Puntos Muestreo	Nombre	Coordenadas	
		X	Y
Punto 1	Río Matadero a la altura del Molino (Molino del puente).	-2.830175	-79.134336
Punto 2	Salida de la laguna Llaviuco.	-2.843589	-79.136565
Punto 3	Confluencia entre el río Llaviuco y Matadero.	-2.843450	-79.123942
Punto 4	Río Tomebamba a la altura de Sayausí.	-2.871878	-79.079745

Punto 5	Rio Tomebamba luego de la empresa Italpisos SA.	-2.887136	-79.044029
----------------	----------------------------------------------------	-----------	------------

Figura 1
Puntos de muestreo



Nota. Fuente (Google Earth)

2.2 Materiales, reactivos y equipos

Tabla 2

Materiales, reactivos y equipos utilizados.

Materiales	Reactivos	Equipos
Tubos de ensayo	NitraVer 5	Turbidímetro HACH 2100P
Pipetas	PhosVer 3 Phosphate	Termómetro de mercurio
Gradilla para tubos de ensayo	Frascos de Winkler	pH-metro Boeco Germany BT-700
Vaso de precipitación	Kovac	Hach HQ40d
		HACH 2800
		Exstik ii

2.3 Análisis y procedimientos para determinación de análisis fisicoquímico y microbiológicos.

2.3.1 Temperatura

El parámetro de temperatura fue medido en el sitio de muestreo utilizando un termómetro calibrado, a una profundidad de 20 cm desde la superficie del agua. Una vez que el valor de la temperatura en °C se estabilizó, se procedió a registrarlo.

2.3.2 Turbidez

El equipo utilizado para la cuantificación de turbidez es el Turbidímetro HACH 2100P. Para usar este equipo correctamente, se debe colocar aproximadamente 15 ml de la muestra en la cubeta de análisis, limpiar la celda con el paño proporcionado por el equipo e insertar la muestra en el compartimento correspondiente. Luego, se debe leer el valor de turbidez en unidades de NTU y registrarlo.

2.3.3 Potencial de hidrógeno (pH)

Para la medición del pH se utilizó el equipo Boeco Germany BT-700, un dispositivo multiparámetro en el que se selecciona el electrodo de pH. Primero, se colocaron aproximadamente 25 ml de muestra en un vaso de precipitación y se introdujo el electrodo en el vaso, evitando que tocara las paredes. Se esperó hasta que el valor mostrado por el equipo se estabilice y luego se registró el pH correspondiente a cada muestra.

2.3.4 Sólidos disueltos totales

Este parámetro fue cuantificado utilizando el equipo Hach HQ40d, que consta de un electrodo que se introduce directamente en la muestra. Después de un breve periodo, el equipo muestra el valor de sólidos totales disueltos en mg/l correspondiente.

2.3.5 Nitratos

El equipo HACH 2800, utilizado para la cuantificación de nitratos proporciona valores en mg/L. Antes de introducir la muestra en el espectrofotómetro, se debe preparar añadiendo reactivo de nitrato (nitraVer 5) a 10 ml de muestra. Primero se realiza una lectura del blanco solo con

la muestra y luego se introduce la muestra con el reactivo de nitrato, registrando el valor obtenido.

2.3.6 Fosfatos

De manera similar a los nitratos, se utilizó el equipo HACH 2800, que viene previamente calibrado para que el valor leído sea en mg/l. Antes de introducir la muestra en el espectrofotómetro, se realiza una lectura del blanco. Luego, se añade el reactivo PhosVer 3 Phosphate a 10 ml de muestra y se procede a leer el valor de cada muestra.

2.3.7 Oxígeno disuelto

Para la medición de oxígeno disuelto, se empleó el equipo denominado Exstick II. Este proceso consiste en colocar el electrodo en aproximadamente 25 ml de muestra. Una vez que el equipo se estabiliza, proporciona un valor de lectura en mg/L. A Continuación, se procede a calcular el porcentaje de saturación de oxígeno mediante la siguiente fórmula.

$$\%Saturación = \frac{Oxígeno\ disuelto\ (Mg/L)}{Oxígeno\ disuelto\ teórico\ (Mg/L)} \times 100$$

(Peñafiel, 2014)

2.3.8 Demanda bioquímica de oxígeno

Según INEN 1202:2013 El procedimiento para la DBO corresponde al método de Winkler, el cual consistió en introducir almohadillas tampón de nutrientes para DBO en 15 ml de muestra, seguidamente colocando estos 15 ml en el frasco Winkler y llenándolo con agua destilada aireada. Para leer los resultados, se debe emplear la siguiente fórmula:

$$DBO = \frac{oi-Of}{20/V}$$

Donde:

O_i corresponde al oxígeno inicial.

O_f el oxígeno final

V el volumen del frasco Winkler que estamos ocupando.

El oxígeno inicial se procedió a leer con el equipo Hach HQ40d una vez que se haya llenado el frasco Winkler con los nutrientes para DBO y agua destilada. La segunda medición se realizó con el mismo equipo después de 5 días de que el frasco haya estado en la incubadora a 20°C. Con toda esta información y utilizando la fórmula anteriormente detallada, se obtuvo el valor de DBO para cada muestra.

2.3.9 Coliformes Fecales

La normativa INEN 1108:2020 recomienda el método de las diluciones sucesivas y valoración del Número Más Probable (NMP) se aplica para la detección de coliformes fecales.

Este método implicó la preparación de diluciones de 1/10 a 1/100 a partir de una muestra de agua. Para ello, se preparó tres series de tres tubos, cada uno conteniendo 10 ml de caldo nutritivo. En la primera fila de tubos, se colocó directamente la muestra de agua y se homogenizó con un agitador electrónico. En la segunda fila, se realizó la primera dilución tomando 1 ml de cada tubo de la primera fila y colocándolo en la segunda fila, homogeneizando nuevamente con un agitador electrónico. Para la dilución 1/100, se toma 1 ml de la segunda fila y se coloca en la tercera fila, homogeneizando con el agitador electrónico. Luego, los tubos se incuban a una temperatura de 37°C.

Después de aproximadamente 24 horas de incubación, se verifica la presencia de turbidez y gas en cada tubo de ensayo. Si esto ocurre, la prueba es positiva; si no ocurre, la prueba es negativa. Se verifica el número de tubos que dan una reacción positiva en las tres filas y se analiza el NMP de coliformes utilizando la tabla correspondiente al límite de confianza del 95%.

Finalmente, se añaden unas gotas de reactivo de Kovac en cada tubo. Si aparece un anillo rojo, la prueba es positiva para coliformes fecales; si no aparece, la prueba es negativa.

2.4 Determinación del índice de calidad ICA-NSF

Se determinó la calidad del agua a través de ecuaciones definidas para cada uno de los 9 parámetros que conforman el ICA-NSF y mediante el uso del software ICA Test.

$$ICA = \sum_{i=1}^n w_i * SI_i$$

(Soledad, C. M., & Dennisse, U. P. 2016)

Donde w_i representa el peso relativo del parámetro i , n es el total de parámetros empleados (en este caso, 9), y SI_i indica el subíndice de calidad correspondiente al parámetro i . La obtención de los subíndices para cada parámetro se basó en curvas funcionales especificadas por la NSF. Entre los parámetros que maneja el NSF tenemos: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad, sólidos disueltos (García & Husserl, 2018).

Tabla 3

Pesos relativos de los parámetros según el índice NSF

PARÁMETROS	PESO RELATIVO
Oxígeno Disuelto	0,17
Coliformes Fecales	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxígeno	0,10
Fosfatos	0,10
Nitratos	0,10
Temperatura	0,10
Solidos totales suspendidos	0,08
Turbiedad	0,08

Nota. Fuente (Peñafiel, 2014)

La clasificación de la calidad de agua se realiza de acuerdo con los siguientes rangos numéricos:

Tabla 4

Clasificación de la calidad de agua

RANGO	CLASIFICACIÓN
0-25	Muy mala
26-50	Mala
51-70	Media
71-90	Buena
91-100	Excelente

Nota. Fuente (Peñafiel, 2014)

Capítulo III

Resultados y discusión

3.1 Resultados

Se estableció 5 puntos de muestreo específicos de manera estratégica, ubicados en la zona de estudio que abarca los ríos Llaviuco, Matadero y Tomebamba. La selección de estos puntos se basó en la accesibilidad, las características hidrológicas y el posible impacto de las actividades humanas en la calidad del agua, lo que permitió obtener una evaluación representativa de las condiciones y calidad del agua en los tres ríos.

Puntos de muestreo:

Punto 1: Río Matadero a la altura del Molino (Molino del puente).

Punto 2: Salida de la laguna Llaviuco.

Punto 3: Confluencia entre el río Llaviuco y Matadero.

Punto 4: Río Tomebamba a la altura de Sayausí.

Punto 5: Río Tomebamba luego de la empresa Italpisos SA.

Una vez definidos los puntos de muestreo, se llevó a cabo los análisis en el laboratorio.

Con los 9 parámetros medidos en los diferentes puntos de muestreo y respetando el rango de tiempo destinado para cada muestra, se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales posteriormente servirán para calcular el índice ICA-NSF.

Tabla 5

Resultados semana 1

SEMANA 1 19/02/2024							
Parámetro	Unidades	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Limite Permissible
Temperatura	°C	8	8	10	11	11	±3 Condición natural
pH	-	7,20	7,20	7,30	7,40	7,20	6-9
Sólidos disueltos totales	mg/L	67,10	58,50	68,40	61,30	62	1000
Oxígeno disuelto	mg/L	8,44	8,36	8,68	8,1	8,2	No menor a 6 mg/L
Turbiedad	NTU	2	1	2	1	2	100
Fosfatos	mg/L	0,03	0,07	0,01	0	0,03	0,5
Nitratos	mg/L	0	0,2	0	0,3	0	10
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	1,75	1,42	0,79	1,01	1,32	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	Negativo	Negativo	43	460	>2400	600

Tabla 6

Resultados semana 2

SEMANA 2 04/03/2024							
Parámetro	Unidades	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Limites Permisible
Temperatura	°C	10	10	11	12	12	±3 Condición natural
pH	-	7,01	7,2	7,1	7,1	7,2	6-9
Sólidos disueltos totales	mg/L	55,5	55,7	56,4	49,9	50,2	1000
Oxígeno disuelto	mg/L	8,49	8,66	8,56	8,46	8,56	No menor a 6mg/L
Turbiedad	NTU	2	1	2	2	3	100
Fosfatos	mg/L	0,06	0,09	0,09	0,09	0,1	0,5
Nitratos	mg/L	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	10
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	1,90	2,58	2,01	0,99	1,42	2
Coliformes fecales	NMP/100 MI	210	1	93	93	>2400	600

Tabla 7

Resultados semana 3

SEMANA 3 18/03/2024							
Parámetro	Unidades	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Limite Permissible
Temperatura	°C	8	9	9	10	10	±3 Condición natural
pH	-	7,12	7,1	7,2	7,21	7,21	6-9
Sólidos disueltos totales	mg/L	71,8	58,8	66,6	62,4	64,7	1000
Oxígeno disuelto	mg/L	8,71	8,5	8,57	8,70	8,64	No menor a 6 mg/L
Turbiedad	NTU	2	2	2	2	2	100
Fosfatos	mg/L	0,06	0,01	0,02	0,03	0,13	0,5
Nitratos	mg/L	0,2	0	0,1	0,2	0,1	10
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	1,46	0,61	0,63	0,99	0,28	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	Negativo	4	43	Negativo	Negativo	600

Tabla 8*Resultados semana 4*

SEMANA 4 01/04/2024							
Parámetro	Unidades	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Limite Permissible
Temperatura	°C	10	11	11	12	12	±3 Condición natural
pH	-	7,01	7,2	7,1	7,1	7,2	6-9
Sólidos disueltos totales	mg/L	57,3	90	57,3	47,4	46,8	1000
Oxígeno disuelto	mg/L	7,93	7,82	8,03	8,07	7,98	No menor a 6 mg/L
Turbiedad	NTU	3	2	3	3	6	100
Fosfatos	mg/L	1,14	0,23	0,25	0,27	0,23	0,5
Nitratos	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	0,64	1,84	0,58	1,30	1,76	2
Coliformes fecales	NMP/100 MI	Negativo	4	43	Negativo	Negativo	600

3.2 Análisis de resultados mediante software ICA Test

Tabla 9

Resultados de valores del Índice ICA-NSF mediante software ICA test.

Punto Muestreo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio punto de muestreo
1	89,02	76,01	87,94	80,31	83,32
2	87,97	85,37	85,3	81,48	85,03
3	82,48	76,86	80,64	78,38	79,59
4	77,96	78,33	88,34	84,81	82,36
5	75,28	73,50	88,16	83,98	80,23
Promedio Semanal	82,54	78,01	86,07	81,79	

Tabla 10

Resultados clasificación de calidad del agua usando software ICA test.

Punto Muestreo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio
1	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
2	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
3	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
4	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

5

Buena

Buena

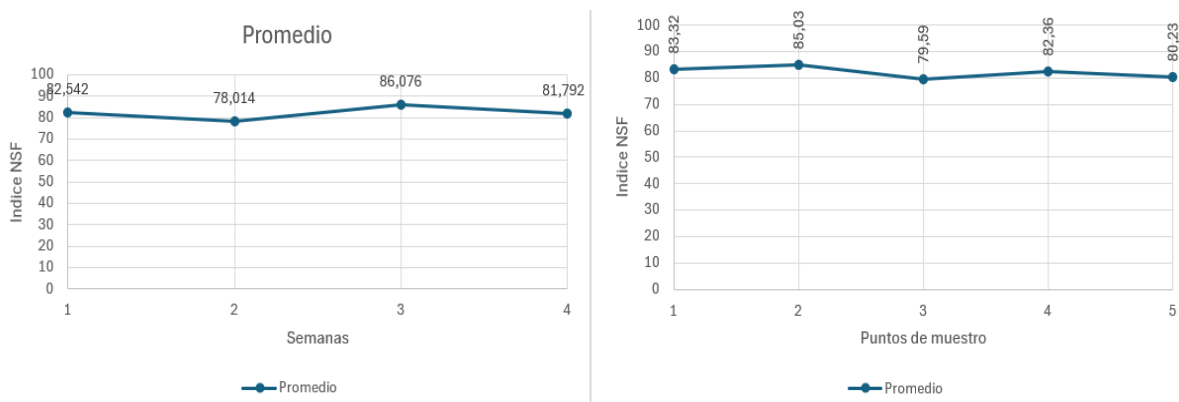
Buena

Buena

Buena

Figura 2

Representación gráfica ICA NSF del promedio de todos los puntos de muestreo a lo largo de todas las semanas de análisis.



3.3 Análisis de resultados mediante el cálculo del I-NSF

El cálculo del I-NSF se realizó mediante ecuaciones definidas para cada uno de los 9 parámetros que conforman el I-NSF.

Tabla 11

Resultados de valores del Índice ICA-NSF

Punto Muestreo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio punto de muestreo
1	89,67	80,04	88,03	79,66	84,352
2	89,58	79,11	87,07	81,07	84,210
3	83,41	78,01	82,99	78,24	80,66

4	77,94	78,43	88,12	84,40	82,22
5	76,54	73,88	88,09	83,57	80,52
Promedio semanal	83,42	77,89	86,86	81,38	

Tabla 12

Resultados clasificación de calidad del agua.

Punto Muestreo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
1	Buena	Buena	Buena	Buena
2	Buena	Buena	Buena	Buena
3	Buena	Buena	Buena	Buena
4	Buena	Buena	Buena	Buena
5	Buena	Buena	Buena	Buena

Durante cuatro semanas se realizaron las mediciones de los parámetros para determinar la calidad del agua ICA, usando el análisis del software ICA Test, y mediante ecuaciones definidas para el cálculo de ICA.

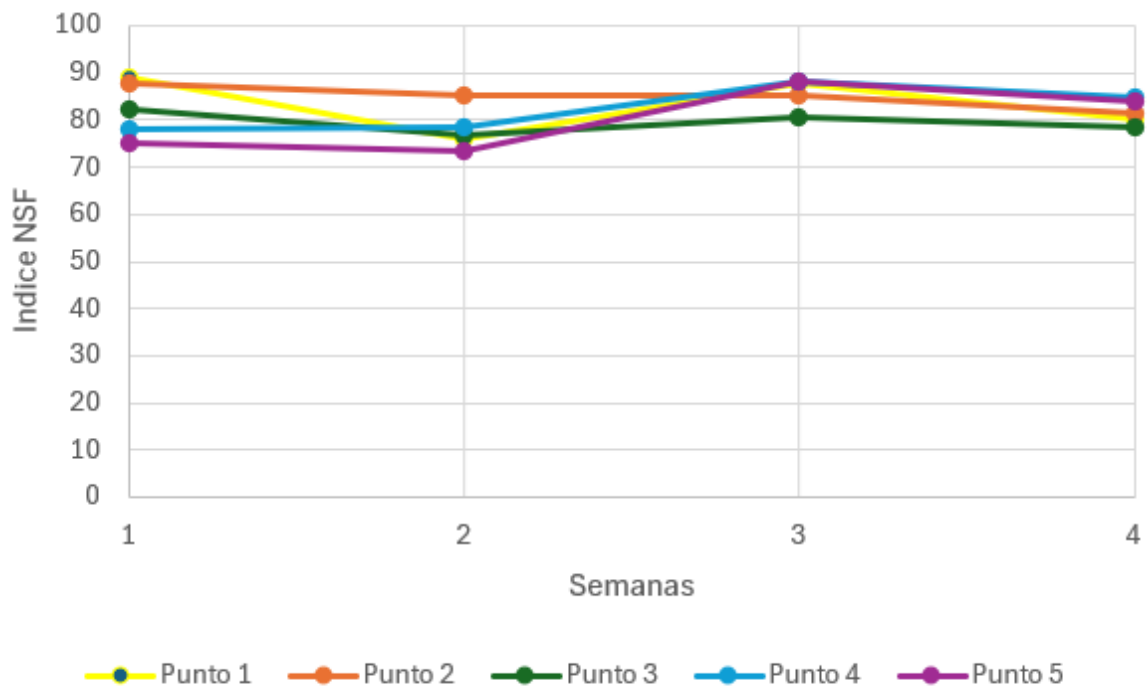
Tanto como el cálculo por software y mediante ecuaciones, los valores fueron relativamente similares por lo que hay concordancia en la calificación de cada uno de los puntos que en términos generales representa una calidad de agua Buena en todos los puntos de estudio.

3.4 Análisis Semanal.

Una vez completado el estudio durante las cuatro semanas, se determinó que este monitoreo es crucial para identificar tendencias a lo largo del tiempo y garantizar que la calidad del agua no se deteriore. A pesar de que el estudio no presenta valores preocupantes, es fundamental continuar con el monitoreo para asegurar que los niveles de calidad se mantengan y para detectar cualquier cambio negativo en etapas tempranas.

Figura 3

Representación gráfica ICA NSF referente a las semanas de análisis.



3.4.1 Semana 1

Los resultados obtenidos en la primera semana oscilaron entre 75,8 - 89,02 (Tabla 9) con un promedio de 82,542, estos valores reflejan que la calidad del agua en los cinco puntos analizados de los ríos se encuentra dentro del rango de clasificación bueno según la (Tabla 2) de clasificación del ICA-NSF.

Estos resultados indican que en todos los puntos de muestreo el agua presenta una calidad adecuada para usos y actividades que no requieran que el agua no tenga una calidad excelente, como actividades recreativas o incluso como fuente para tratamiento de agua potable, siempre y cuando se apliquen los procesos de tratamiento necesarios.

El rango de valores entre 71 y 90 en el índice NSF (Tabla 2) sugiere que el cuerpo de agua en estudio se mantiene en un estado de conservación aceptable, con niveles de contaminación relativamente bajos. Esto es consistente con el conocimiento previo de los puntos de muestreo, ya que se tiene constancia de que los ríos incluidos en el estudio no enfrentan altas cargas contaminantes.

3.4.2 Semana 2

En la mayoría de los puntos muestran una calidad del agua que puede clasificarse como buena, con valores que oscilan entre 73,5 y 85,37 con un promedio de 78,014.

El punto cinco de esta semana (Tabla 9), aunque todavía se encuentra dentro del rango de buena, sigue siendo el punto con la calidad de agua más baja, cercano al límite inferior de la clasificación buena, sugiriendo que hay factores locales que están afectando la calidad del agua en ese punto en particular. Es esencial implementar un mayor control en este punto para evitar que su calidad se deteriore y que este impacto negativo se extienda a áreas circundantes.

3.4.3 Semana 3

En la mayoría de los puntos muestran una calidad del agua que puede clasificarse como calidad buena, con valores que oscilan entre 80,64 y 88,34 con un promedio de 86,08.

Los puntos 4 y 5 tienen valores muy similares (Tabla 9) y cercanos al rango de clasificación excelente indicando condiciones óptimas en esos puntos, el punto 3 tiene el valor más bajo (80,64) pero no significativo, lo que sugiere que hay algún factor que afecta la calidad del agua en ese punto específico.

Es importante destacar que los valores de esta semana son superiores a 80 y el índice de calidad de cada punto no estaban tan alejados entre sí, lo que quiere decir que no existieron cambios significativos en el control de los puntos manteniendo una calidad homogénea en el efluente de agua.

3.4.4 Semana 4.

La mayoría de los puntos muestran una calidad del agua que puede clasificarse como buena, con valores que oscilan entre 78,38 y 84,81 con un promedio de 81,79 (Tabla 9).

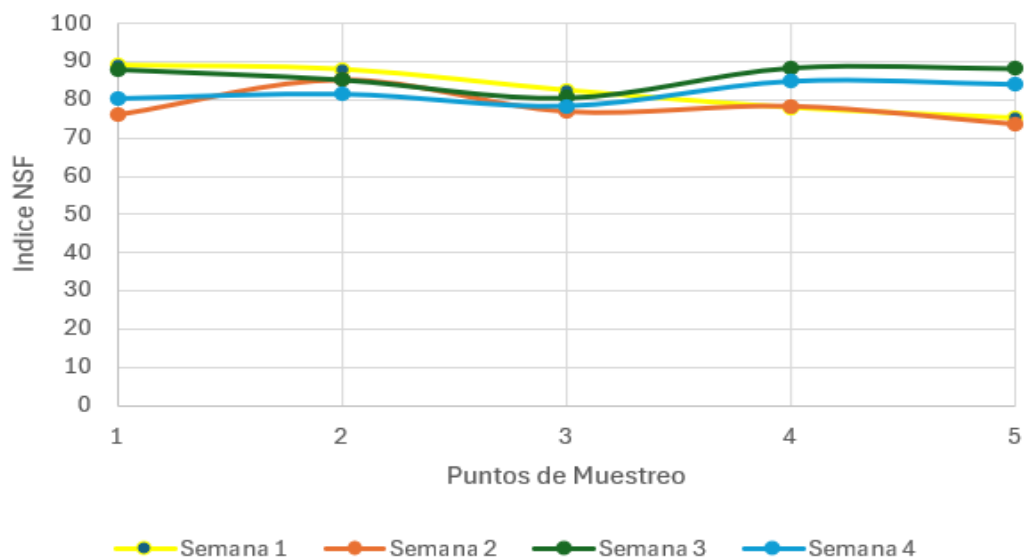
Los puntos cuatro y cinco presentan los valores más altos de calidad de agua y se observa que el punto tres presenta un valor de 78,38 siendo el más bajo, sin embargo, no pierde la calificación de buena.

3.5 Análisis de los puntos de muestreo.

El análisis revela variaciones en la calidad del agua en cada punto a lo largo de las semanas. Aunque la mayoría de los puntos muestran una calidad buena, hay fluctuaciones que no necesariamente son representativas en términos de calidad, pero que necesitan ser comprendidas y gestionadas para mejorar la calidad del agua en todas las ubicaciones.

Figura 4

Representación gráfica ICA NSF referente a los puntos de muestreo



3.5.1 Punto 1: (Molino del puente)

La calidad del agua mantiene la clasificación buena, con un ligero decrecimiento en la semana 2 y 4, recuperando tendencia buena en la semana 1 y 3. es decir la calidad se mantiene a lo largo del tiempo, y factores externos no influyen significativamente afectando al índice de calidad. El promedio del índice de calidad en este punto es de 84,35

3.5.2 Punto 2: (Río Llaviuco)

La tendencia presenta clasificación buena, con una tendencia a estabilizarse. Se presenta un decrecimiento en la semana 2 y significativa recuperación en la semana 3 y 4. El promedio de este punto es de 84,21, es decir en comparación al punto 1 se mantiene una tendencia de buena calidad de agua confirmando el estado bueno de este efluente con respecto al otro.

3.5.3 Punto 3: (Confluencia Río Llaviuco y río Matadero)

La tendencia de la calidad del agua es relativamente estable en calidad buena, con ligeras fluctuaciones en la semana dos y cuatro, dando un promedio de 80,66 que comparado con el punto de los ríos anteriores disminuye.

3.5.4 Punto 4: (Sayausí)

La tendencia mejora notable en la semana 3, igualmente mantiene la calidad buena en la semana 1 y 2 se recomienda identificar factores que mejoran la calidad en la semana 3 para aplicarlos de manera consistente. El promedio de esta semana es de 82,22.

3.5.5 Punto 5: (Río Tomebamba)

Se muestra una tendencia con una fuerte disminución significativa en la semana 1 y continúa descendiendo en la semana 2, con una fuerte recuperación posterior en la semana 3 y volviendo a decrecer en la cuarta semana, dando un promedio de 80,52 que es el valor más bajo comparado con los ríos anteriores.

3.6 Análisis de parámetros.

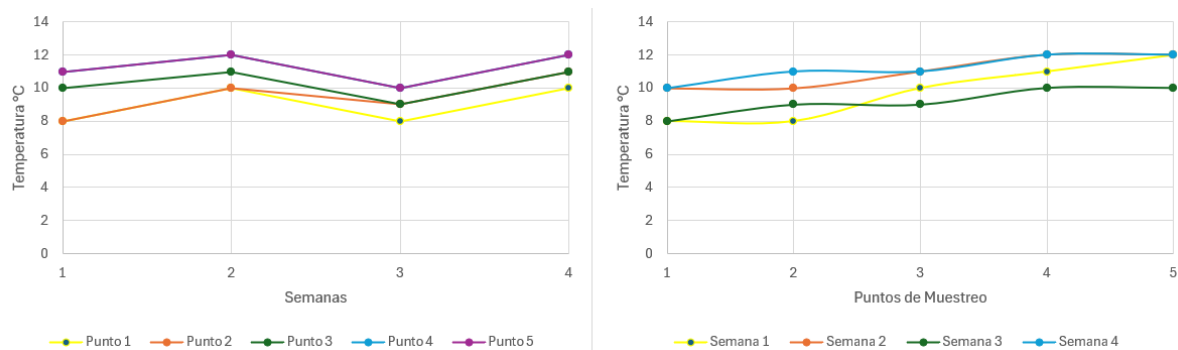
Una vez analizada la calidad del agua, se llevó a cabo un análisis más detallado, se comparó los parámetros del efluente del agua con los valores establecidos en la normativa TULSMA Anexo 1 tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional y la Norma Colombiana resolución 2115-2007 (para Fosfatos). Además, se realizó una comparación de los resultados con estudios previos.

3.6.1 Temperatura

Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio para la temperatura se encuentran entre 8 y 12 °C grados Celsius.

Figura 5

Resultados Temperatura con respecto a las semanas y por cada punto de muestreo.



Según la normativa TULSMA Anexo 1 tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional, la temperatura del agua en cuerpos de agua naturales debe mantenerse dentro de ± 3 °C respecto a temperatura en condiciones naturales.

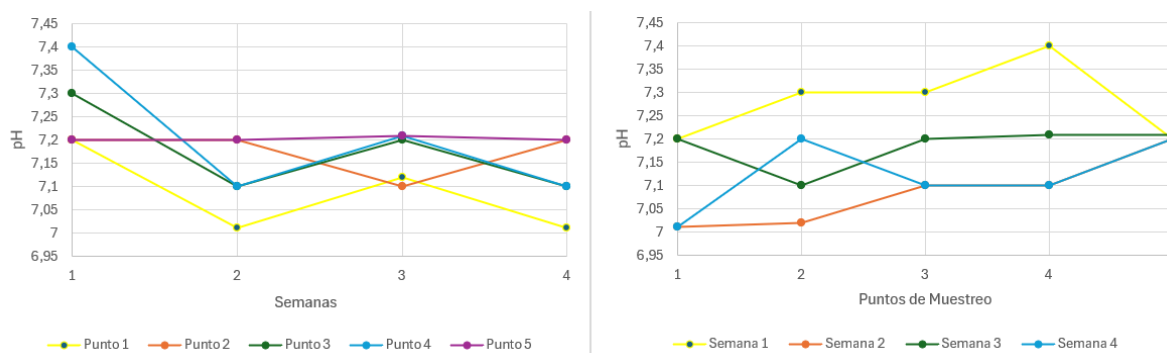
La figura 5, representa los valores correspondientes a la temperatura durante las semanas de estudio en cada uno de los puntos de muestreo. Los resultados de temperatura cumplen con los límites establecidos por la normativa TULSMA, los puntos donde se realizó el estudio se encuentran ubicado en la parte baja del Parque Nacional Cajas alrededor de 3160 msnm y 3000 msnm con una temperatura promedio que bordea los 8°C y los 15°C. Estos valores también cumplen con lo establecido por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, con valores que oscilan entre los -2°C y 18°C, los cuales se deben a las condiciones climáticas de la zona estudio, que incluyen frecuentes heladas, lloviznas, neblinas y días de sol intenso. A pesar de estos cambios en el clima, las mediciones de temperatura del agua no presentan variaciones drásticas, lo que asegura que se mantengan dentro de los límites establecidos por la norma de calidad del agua. (Ministerio de Ambiente, Agua, 2023).

3.6.2 pH

Los valores de pH obtenidos se encuentran en un rango de 7 a 7,4. Este rango indica que el agua de estos ríos es neutral a ligeramente alcalina.

Figura 6

Resultados pH con respecto a las semanas y por cada punto de muestreo.



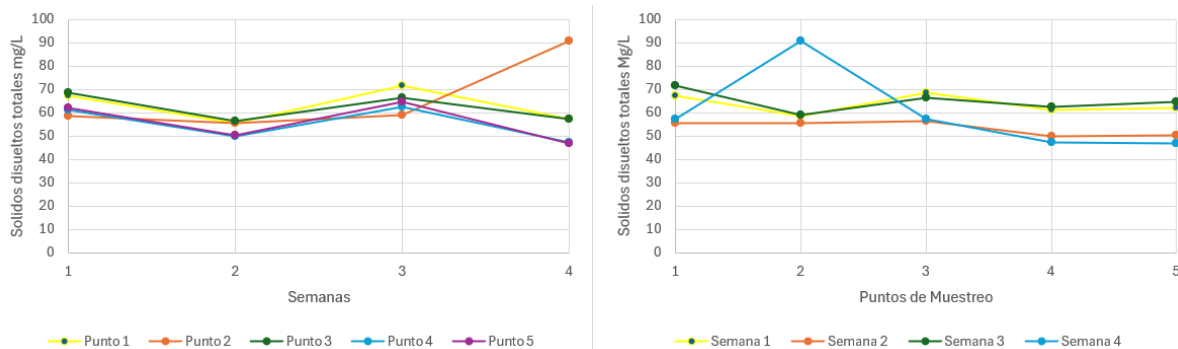
Al comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos por la normativa TULSMA Anexo 1 tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional, se observa en la figura 15 que los valores de pH en cada punto de estudio están dentro del rango permitido de 6 a 9, valores que indican buena calidad del agua y en las cuales deben de situarse para usos y consumo. Segarra Rojas (2016) en su estudio obtiene valores de pH entre 7.1 y 7.9, ETAPA EP también en su análisis anual concuerdan con este estudio afirmando que el pH de estos cuerpos de agua no se ha visto afectados alrededor del tiempo hasta el actual estudio.

3.6.3 Sólidos Disueltos Totales

La normativa TULSMA Anexo 1 tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional, establece que el límite máximo permisible de sólidos disueltos en cuerpos de agua es de 1000 Mg/L.

Figura 7

Resultados Sólidos disueltos totales con respecto a las semanas y por cada punto de muestreo.



En la Figura 7 se observa que todos los valores de TDS en los puntos de muestreo están muy por debajo del límite permisible de 1000 mg/L que indica la normativa TULSMA, indicativo que está dentro de los límites establecidos por la misma. En la semana 4 en el punto 2 de muestreo se puede observar un valor máximo de 90 mg/L este valor si bien está por encima del resto de resultados se encuentra significativamente dentro del límite establecido, no es alarmante y puede atribuirse a una variabilidad natural o a un evento puntual que no afecta la tendencia general.

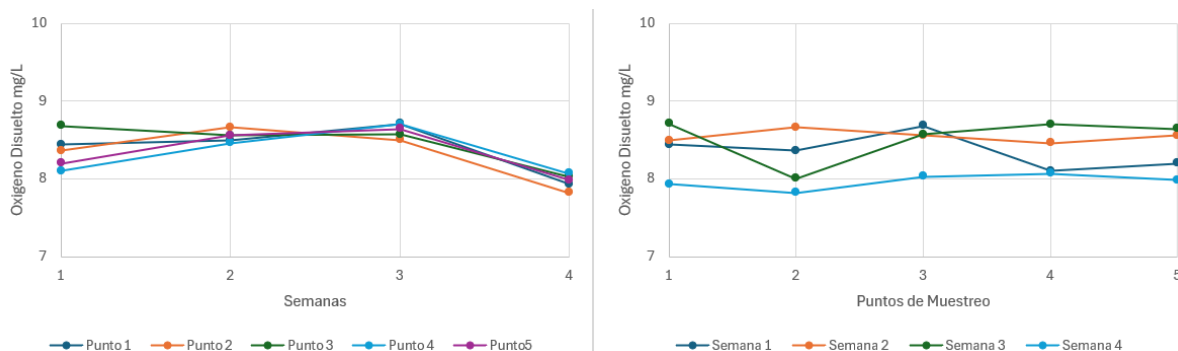
La mayoría de los valores se encuentran entre 45 y 90 mg/L, lo que indica que los ríos presentan una baja concentración de sólidos disueltos. ETAPA EP en su informe anual, en el 2024 los valores de sólidos disueltos totales no superan los 100 mg/L, de misma manera Vintimilla Palacios (2016) en su estudio que abarca las zonas de los ríos Llaviuco, Matadero y Tomebamba, presenta valores cercanos a nuestro estudio que corroboran que este parámetro no varía con el tiempo.

3.6.4 Oxígeno Disuelto

Los valores obtenidos para el oxígeno disuelto están entre el 7,82 y 8,71 mg/L.

Figura 8

Resultados Oxígeno Disuelto con respecto a las semanas y por cada punto de muestreo.



Los niveles de oxígeno disuelto en todos los puntos de muestreo cumplen con los límites permisibles establecidos por la normativa TULSMA, todos los valores se encuentran por encima de los 6 mg/L. Lo que indica que estas aguas cuentan suficiente oxígeno disponible en los cuerpos de agua e indicativo que no existe una contaminación del agua y puede dar soporte para el crecimiento y reproducción animal y vegetal. Además, la presencia de contaminantes podría reducir el nivel de este parámetro, ya que los contaminantes pueden consumir oxígeno durante los procesos de descomposición y degradación, lo que resulta en niveles más bajos de oxígeno disuelto disponible para los organismos biológicos del agua (Bhardwaj et al., 2015). La temperatura del agua tiene importancia significativa en este parámetro ya que el oxígeno tiene mayor capacidad de disolverse a temperaturas bajas como se puede observar en la figura 5, la temperatura no sobrepasa los 12°C y en contraste a una mayor temperatura del agua las moléculas de agua se mueven más rápido, lo que reduce su propensión a retener moléculas de oxígeno (Cárdenas Patiño & Crespo Cuzco, 2024).

Los valores reportados por ETAPA EP en 2024 respaldan los hallazgos de este estudio, registrando niveles superiores a 7 mg/L en áreas cercanas a los puntos de muestreo. Investigaciones previas, como las de Alva Saldaña y Rojas Gonzales (2019), y Pauta et al. (2019), también coinciden con este estudio, al obtener resultados no por debajo de los límites permitidos.

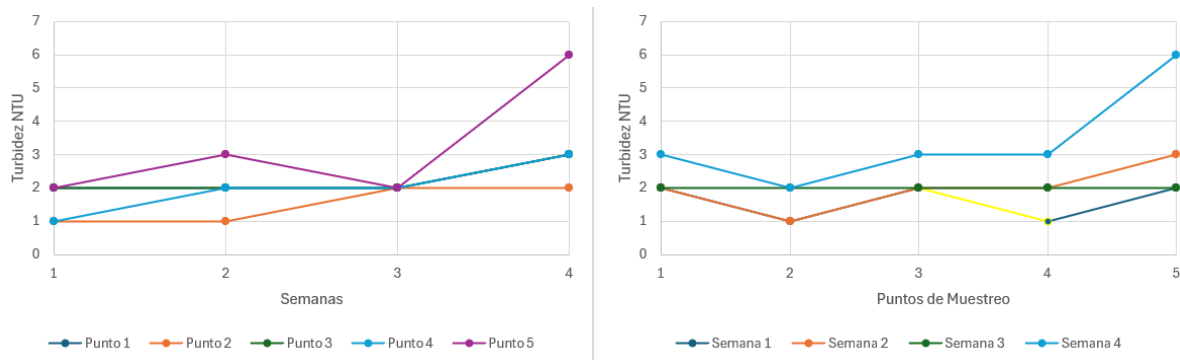
3.6.5 Turbiedad

Los valores obtenidos para la turbiedad están entre 1 y 6 NTU. El valor más alto, de 6 NTU, se registró en la última semana de estudio en la última estación.

La normativa TULSMA Anexo 1 tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional establece que los límites máximos permisibles para la turbiedad en cuerpos de agua son hasta 100 NTU, para aguas de consumo humano.

Figura 9

Resultados Turbidez con respecto a las semanas y por cada punto de muestreo.



Al comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos por la normativa TULSMA, se evidencia que todos los valores de turbidez están considerablemente por debajo del límite permitido de 100 NTU. De hecho, el valor máximo de 6 NTU registrado en la última semana está muy por debajo del límite mínimo establecido.

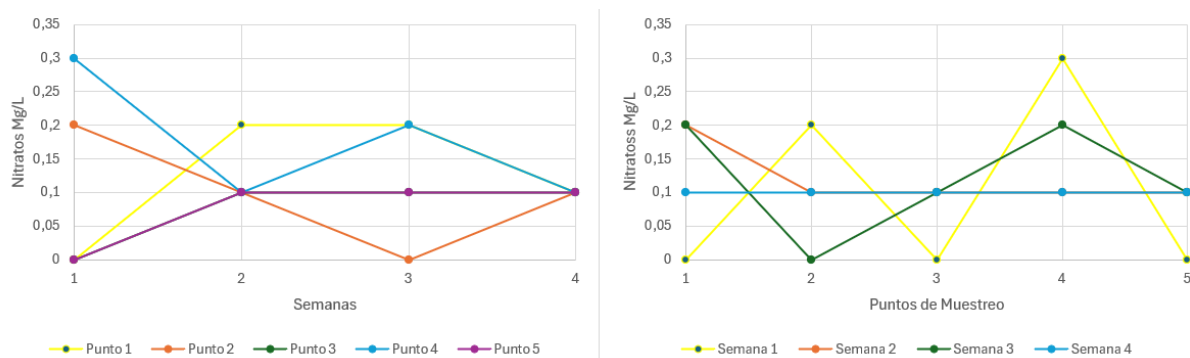
Según el estudio realizado por Segarra Rojas (2016), que compara la evolución de este parámetro desde 1994 hasta 2012 y el del año 2016, los valores obtenidos son consistentes con los de este estudio, permaneciendo dentro de los límites establecidos por la normativa TULSMA. De manera similar, el informe anual de 2024 de ETAPA EP confirma que los valores reportados en el presente año se mantienen estables y no muestran variaciones significativas que superen los límites permisibles.

3.6.6 Nitratos

Los valores obtenidos para los nitratos están entre 0.0 y 0.3 mg/L. Estos niveles son consistentemente bajos a lo largo del periodo de estudio.

Figura 10

Resultados Nitratos con respecto a las semanas y por cada punto de muestreo.



Los valores que se observan en la figura 19, indican que los niveles de nitratos están muy por debajo del límite permitido de 10 mg/L límite establecido por la normativa TULSMA Anexo 1 tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional. Los resultados demuestran que están notablemente por debajo del límite mencionado, lo que indica que este parámetro no registra una tendencia que pueda afectar a la calidad del agua.

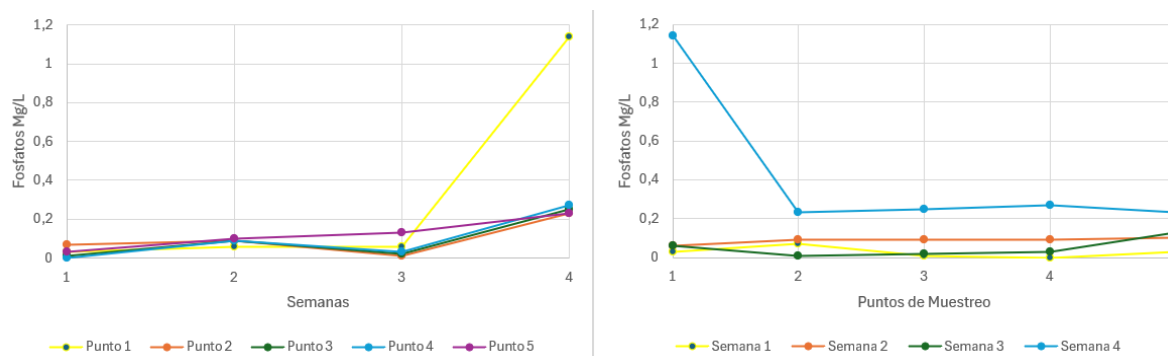
Tomando referencias en estudios como el de Vintimilla Palacios (2016) y Rincón et al. (2016), en el sitio de estudio conocido como Llaviuco, la concentración promedio de nitratos es de 0.09 y 0.12 mg/L respectivamente, y a lo largo del río en trayectos cercanos a los puntos de muestreo también se obtienen valores que no sobrepasan y son ligeramente similares, lo que confirma que los resultados de este parámetro, obtenidos en este estudio además de cumplir con la normativa ecuatoriana vigente, también respalda los resultados obtenidos.

3.6.7 Fosfatos

Los valores obtenidos para fosfatos durante el tiempo de estudio van desde 0 a 1,2 mg/L

Figura 11

Resultados Fosfatos con respecto a las semanas y por cada punto de muestreo



La Norma Colombiana resolución 2115-2007 indica que el límite máximo permisible de fosfatos es de 0,5 mg/L. De todos valores obtenidos en laboratorio solo uno es superior al límite, lo que sugiere que la calidad de agua es generalmente adecuada según la normativa. El valor que supera el límite es de 1,2 mg/L en el punto 1 en la semana 4, aunque esta variación no es constante y no tiene una tendencia continua, esta alta concentración podría derivar de componentes naturales del suelo y minerales, así como de estiércol y otros tipos de materia orgánica provenientes de desechos agrícolas (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

En ese punto en concreto, el elevado valor pudo haber sido producto de los factores mencionados y también de un hecho fortuito ya que no ocurre periódicamente, y así mismo río abajo en los siguientes puntos de muestreo, los valores no se encuentran en esos niveles.

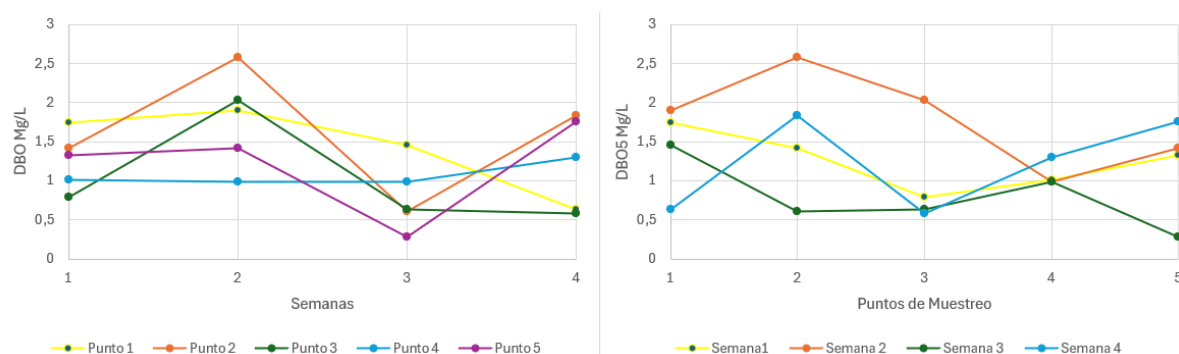
Si bien ETAPA EP, no hace análisis de este parámetro. Estudios como el de Rincón et al. (2016) corroboran los valores de este estudio, los cuales indican que no sobrepasan el límite de la normativa vigente y siendo muy cercanos a los valores obtenidos en el presente estudio.

3.6.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los valores DBO se encuentran en un rango de 0,48 y 2,58 mg/L. La normativa TULSMA Anexo 1 tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional establece que el límite máximo permisible para la DBO en cuerpos de agua es de 2 mg/L.

Figura 12

Resultados Demanda Bioquímica de Oxígeno con respecto a las semanas y por cada punto de muestreo.



Los resultados obtenidos por Flores Rengifo (2022) no superan el límite permisible en la estación Llaviuco, lo que coincide con los análisis y se ajusta a lo establecido por la normativa TULSMA. Así mismo, los datos de monitoreo proporcionados por ETAPA EP en 2024, con rangos de 0.4 a 0.75 mg/L, concuerda con esta investigación.

Sin embargo, al comparar los resultados con los límites estipulados por la normativa TULSMA, se observa que los niveles de DBO en el punto 2, durante la semana 2, superan el límite permisible de 2 mg/L. En el año 2020, ETAPA EP reportó un incremento de 2.3 mg/L, que también excede este umbral. Según Ramírez (2011), estos aumentos pueden estar asociados a contaminantes que generan los desechos domésticos e industriales de carácter

orgánico al ser descargados en los ríos, en los que persisten condiciones aeróbicas. Así mismo indica que la demanda bioquímica de oxígeno es mayor en caudales bajos, ya que a mayor temperatura aumenta la velocidad de biodegradación de la materia orgánica.

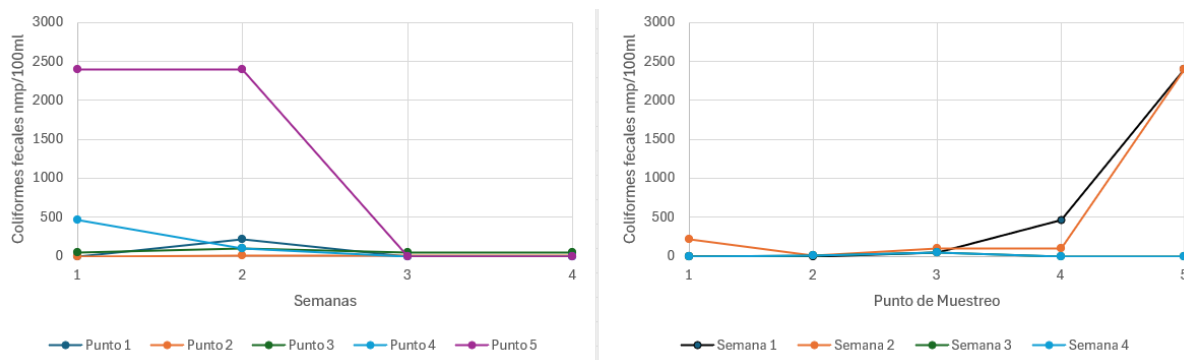
Si bien existe este valor que sobrepasa los límites, no se puede concluir a que se debe exactamente esta variación ya que a lo largo del estudio no se repitieron valores por encima del mismo, lo que puede traducirse en un hecho puntual que afecto el valor en esa semana y en ese punto específico.

3.6.9 Coliformes Fecales

La normativa TULSMA Anexo 1 tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional establece que el límite máximo permisible para los coliformes fecales en cuerpos de agua es de 600 NMP/100 ml.

Figura 13

Resultados Coliformes Fecales con respecto a las semanas y por cada estación.



Como se observa en la figura 13, para los puntos 1,2,3 y 4 los valores obtenidos para los coliformes fecales estuvieron mayormente por debajo del límite permisible de 600 NMP/100 ml según la normativa TULSMA. No obstante, en el punto 5 durante la semana 1 y la semana 2 de estudio, los valores superan significativamente este límite, alcanzando niveles por encima de 2400 NMP/100 ml. La fluctuación de estos valores se puede atribuir a las aguas de desecho doméstico que descargan sus heces al medio acuático, a granjas, chiqueros y restaurantes que no cuentan con medios de sanidad (Cortés-Lara MC, 2003).

Según Peñafiel (2014), los coliformes son un indicador directo del riesgo de contaminación debido a la presencia de bacterias patógenas y su elevado nivel limita considerablemente los usos del agua. Por lo tanto, esta agua no es apta para el consumo humano, uso doméstico o

riego, y no garantiza la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, tal como lo establece la normativa TULSMA. En el punto 5 de muestreo como está dentro de la zona urbana se evidencia un valor mayor para coliformes.

Pauta et al. (2019) en su estudio reporta valores notablemente altos de este parámetro en ciertas áreas del río y señala que la contaminación en el río Tomebamba puede ser causada por diversas fuentes difusas que son difíciles o imposibles de controlar. Estas incluyen descargas de escorrentía superficial directa de zonas urbanas, la carga de sedimentos por erosión del suelo en las subcuencas, contaminación por escorrentía pluvial no urbana, el desbordamiento de los colectores marginales hacia cuerpos de agua superficiales y, sobre todo, los derrames descontrolados de agua de lluvia en sistemas de alcantarillado combinados, que también se consideran contaminación difusa.

De igual manera los monitoreos realizados por ETAPA EP a lo largo de los años 2019 y 2024 registraron valores superiores a 2400 NMP/100 ml y muestran una tendencia que se mantiene alrededor de todo ese tiempo, lo que indica que los valores de este estudio están en concordancia a los existentes actualmente. Esta información coincide con Barros (2004) y (Pesántez, 2015) establecen que la calidad de agua del río Tomebamba al salir del parque nacional Cajas tiene una calidad excelente, la misma que va disminuyendo al pasar por zonas de restaurantes, zonas piscícolas y ganaderas pasando a la calidad Buena y río abajo llegando a la zona de la ciudad se ve más afectada por la población y actividades humanas que pueden repercutir en la calidad del agua.

Capítulo IV

Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

Para esta investigación se definieron los puntos de muestreo considerando la accesibilidad, características hidrológicas y la influencia potencial de actividades en la calidad del agua, los cuales abarcan cinco ubicaciones concretas a lo largo de los ríos Llaviuco, Matadero y Tomebamba. Estos cinco puntos de muestreo fueron: Salida de la laguna Llaviuco. Río Matadero a la altura del Molino (Molino del puente). Confluencia entre el río Llaviuco y Matadero. Río Tomebamba a la altura de Sayausí. Río Tomebamba luego de la empresa Itaipisos SA. Se realizó los muestreos de acuerdo con la normativa INEN 2176:2013.

Se logró determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua de los ríos Matadero Llaviuco, Tomebamba y compararlos con los valores establecidos por la normativa legal vigente TULSMA y La Norma Colombiana resolución 2115-2007 (fosfatos). Los valores tales como temperatura, pH, sólidos disueltos, oxígeno disuelto, turbidez, fosfatos, nitratos, DBO, cumplen con los valores establecidos en la norma para un efluente de cuerpo de agua dulce, sin embargo, los valores de coliformes fecales superan los niveles permisibles de la normativa TULSMA por encima de los 600 NMP/100 MI durante las dos primeras semanas de estudio en el punto 5 (Río Tomebamba luego de la empresa Itaipisos SA) que está dentro de la zona urbana, que de acuerdo con estudios realizados por ETAPA EP y otros estudios bibliográficos realizados en zonas cercanas a los puntos de muestreo de este estudio, indican que estos valores concuerdan con esta investigación, mostrando valores altos que repercuten en la calidad del agua y que se mantienen.

Los valores del Índice NSF obtenidos indican que no hay una diferencia significativa en la calidad del agua a lo largo del curso de los ríos, desde el punto más alejado en el río Matadero, a la altura del molino (punto 1), la salida de la laguna Llaviuco en el Parque

Nacional El Cajas (punto 2) hasta pasar por todos los puntos que finaliza en el Río Tomebamba. Los análisis realizados para calcular el índice de calidad del agua confirman una clasificación general de "Buena".

Los valores del índice de calidad no muestran una tendencia a la baja por lo que permanecen estables, lo que indica que no hubo cambios significativos causados por factores externos que alteran drásticamente la calidad del agua durante este período. Esto sugiere que la calidad del agua es buena y constante. Estos resultados coinciden con estudios previos mencionados en el desarrollo de esta investigación.

Los valores obtenidos en esta investigación resaltan la importancia del uso y cuidado adecuado del agua. Las aguas de los ríos que llegan a la ciudad de Cuenca desde el Parque Nacional el Cajas se encuentran en buenas condiciones para su uso con valores que se mantienen. Sin embargo, los problemas de contaminación y manejo inadecuado del agua surgen a medida que el efluente atraviesa las zonas urbanas, donde es necesario implementar procesos de remediación para garantizar la sostenibilidad de los ríos.

4.2 Recomendaciones

Implementar un programa de monitoreo continuo para detectar cambios en la calidad del agua de manera más precisa, especialmente en los puntos con mayor variabilidad.

Realizar estudios complementarios para comprender mejor las causas de las variaciones en la calidad del agua, como análisis de contaminantes específicos, estudios de impacto ambiental y evaluaciones de la infraestructura de tratamiento de agua, además considerar el uso de tecnologías avanzadas de monitoreo, como sensores en tiempo real para una evaluación más completa.

Aplicar técnicas de tratamiento y gestión del agua más rigurosas para mejorar la calidad, como la mejora de las plantas de tratamiento, el control de fuentes contaminantes, y la restauración de ecosistemas acuáticos.

Referencias

- Antonio, L.-R., William. (2013). *Calidad fisicoquímica del agua.: Métodos simplificados para su muestreo y análisis*. Universidad Piloto de Colombia.
- Alva Saldaña, G. S., & Rojas Gonzales, J. A. (2019). Estimación del déficit de oxígeno disuelto usando el modelo Streeter y Phelps en la cuenca baja del río Moche, 2019. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40048>
- Barros, S. (2004). Informe de la Calidad de Agua de los Ríos de Cuenca: Empresa publica Municipal de Comunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – ETAPA EP.
- Blanco, E., & Donoso, G. (2016). Agua potable rural: Desafíos para la provisión sustentable del recurso. *Actas de Derecho de Agua*, 63-79.
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., Segura-Araya, G., 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), 15-27. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Carabalí, J. Q., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., Carrera-Villacrés, D., Carabalí, J. Q., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco. *Siembra*, 6(2), 46-57. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
- Cárdenas Patiño, C. M., & Crespo Cuzco, B. A. (2024). *Estimación de la calidad del agua mediante técnicas de modelización con árboles de regresión y el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento para la cuenca hidrográfica del Río Yanuncay* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27246>

- Cury, I. P. (2020). *Análisis comparativo entre un estudio de caso de impactos pesca deportiva y el listado de impactos ambientales específico en el marco de licenciamiento ambiental colombiano*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/37983>.
- Delpla, I., Jung, A.-V., Baures, E., Clement, M., & Thomas, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, 35(8), 1225-1233. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.001>
- Espejo Ruiz, J. C., & Tenelanda Patiño, P. A. (2018). *Estudio de la calidad del agua: caso de estudio del río Déleg - provincia del Cañar* (Bachelor's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30336>
- Espinoza Berrezueta, D. A., & Zumba López, T. C. (2018). *Estudio del impacto ambiental en la calidad del agua del río Cuenca producido por la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba* (Bachelor's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30325>
- ETAPA EP. (2014). *Estudio de la calidad de los ríos Tomebamba, Yanuncay y Tarqui, aguas arriba de las captaciones de agua para la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Programa de Monitoreo de los Recursos Hídricos.
- Flores Rengifo, L. A. (2022). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TOMBAMBA BASADO EN UN ANÁLISIS JERÁRQUICO PARA IDENTIFICAR LOS PESOS DE LOS PARÁMETROS DE UN ÍNDICE PROPIO DE CALIDAD DEL AGUA*. Universidad de Cuenca.
- García, C. B., & Husserl, J. (2018). *Metodología para determinación del índice de calidad del agua a partir de parámetros fáciles de medir en campo*.
- Goyenola, G. (2007). *Determinación de la Alcalinidad Total*. Retrieved from http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf International Institute for E
- INEN. (1983). *NTE INEN 1105:1983 AGUAS. MUESTREO PARA EXÁMEN MICROBIOLÓGICO*.
- INEN. (2013). *NTE INEN 1202:2013 AGUA. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)*.
- INEN. (2013a). *NTE INEN 2169—AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS*.

INEN. (2013b). *NTE INEN 2176:2013. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.*

INEN-ISO. (2013). *NTE INEN-ISO 7027 :2013.*

INEN. (2020). *NTE INEN 1108:2020 AGUA POTABLE. REQUISITOS.*

Instituto del agua Ecuador. (2024, marzo 7). Recursos Hídricos del Ecuador: Un Recorrido por su Rica Diversidad Acuática. Instituto del Agua. <https://institutodelagua.es/recursos-hidricos/recursos-hidricos-del-ecuadorrecursos-hidricos/>

Jacobo-Marín, D. (2022). Régimen energético, usos del agua y antinomias jurídicas: El caso del fracking en México. *Economía, sociedad y territorio*, 22(70), 921-949. <https://doi.org/10.22136/est20221822>

J. Bhardwaj, K. K. Gupta and R. Gupta, "A review of emerging trends on water quality measurement sensors," *2015 International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD)*, Mumbai, India, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICTSD.2015.7095919.

MAE.(2015). Libro VI, Anexo I. En M. d. Ambiente, Texto Unificado de Legislación

Ministerio Del ambiente. (2015). *Parque Nacional Cajas*. Sistema de áreas protegidas del Ecuador. <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/parque-nacional-cajas>

Monsalve, R., & Fernando, D. (2016). Valoración económica de recursos hídricos para el suministro de agua potable. El caso del Parque Nacional Cajas. La cuenca del río Tomebamba. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/54425>

Monitoreo ecohidrología – ETAPA EP. (2024). Recuperado 17 de septiembre de 2024, de <https://www.etapa.net.ec/gestion-ambiental/plataformas-de-cuidado-meteorologico-e-hidrologico/monitoreo-ecohidrologia/>

- Molina Villamar, J. E. (2016). *Análisis del manejo del recurso hídrico del área de influencia del Parque Nacional El Cajas*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/13879>
Secundaria del Ministerio del Ambiente. Ecuador.
- Nan, Y., Bao-hui, M., & Chun-kun, L. (2011). Impact Analysis of Climate Change on Water Resources. *Procedia Engineering*, 24, 643-648.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2710>
- Olmstead, S. M. (2014). Climate change adaptation and water resource management: A review of the literature. *Energy Economics*, 46, 500-509.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.09.005>
- Pahl-Wostl, C., Mostert, E., & Tàbara, D. (2008). The Growing Importance of Social Learning in Water Resources Management and Sustainability Science. *Ecology and Society*, 13(1). <https://www.jstor.org/stable/26267907>
- Pauta, G., Velazco, M., Gutierrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 76-88.
- Peñafiel Romero, A. G. (2014). *Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba mediante el índice ICA del Instituto Mexicano de tecnología del agua* (Bachelor's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20919>
- Pérez, G. R., & Restrepo, J. J. R. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia
- Pesántez, B. J. D. (2015). 4.1 SELECCIÓN DE LOS OBJETOS DE CONSERVACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL TOMBAMBA.
- Quintana Teanga, E. G., & Tingo Revelo, L. M. (2023). *Evaluación de impactos ambientales de las actividades antrópicas en la microcuenca del lago Yahuarcocha* [bachelorThesis]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14219>
- Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. C. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80.
- Ramírez, C.A. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico*. Medellín: EDICIONES DE LA U. <https://cmad.ama.cu/index.php/cmada/article/view/141>

- Rincón, J., Merchan, D., Sparer, A., Rojas, D., & Zarate, E. (Eds.). (2016). *La descomposición de la hojarasca como herramienta para evaluar la integridad funcional de ríos altoandinos del sur del Ecuador*. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v65n1/0034-7744-rbt-65-01-00321.pdf>
- Rojas, L. V., Macías, N. A., & Fonseca, D. F. (2010). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*, 10(18), Article 18. <https://cmad.ama.cu/index.php/cmada/article/view/141>
- Rolin Gonzales, T. (2018). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el asentamiento humano Señor de los Milagros, distrito de Yarinacocha—Region Ucayali—2018. *Universidad Nacional de Ucayali*. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3845>
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., Mora-Alvarado, D., Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35-46. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Tarquino, I. R. (2004). Tendencias Mundiales en la Gestión de Recursos Hídricos: Desafíos para la Ingeniería del Agua. *Ingeniería y Competitividad*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.25100/iyc.v6i1.2289>
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15).
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico.
- Solares, P. C. A. S. (2017). DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA ICA-NSF PARA CONSUMO HUMANO DE LOS RÍOS TEOCINTE Y ACATÁN, QUE ABASTECEN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA SANTA LUISA ZONA 16, GUATEMALA. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.36829/08ASA.v12i1.1424>.

Valencia E, D. M. (2011). Macroinvertebrados acuáticos epicontinentales y la calidad biológica del agua del río Jordán, Jamundí (Valle del Cauca). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali

Vintimilla Palacios, D. M. (2016). *Determinación de contaminación difusa en la Cuenca del río Tomebamba en Monay* [masterThesis].
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23344>

Wingfield, S., Martínez-Moscoso, A., Quiroga, D., & Ochoa-Herrera, V. (2021). Challenges to Water Management in Ecuador: Legal Authorization, Quality Parameters, and Socio-Political Responses. *Water*, 13(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/w13081017>

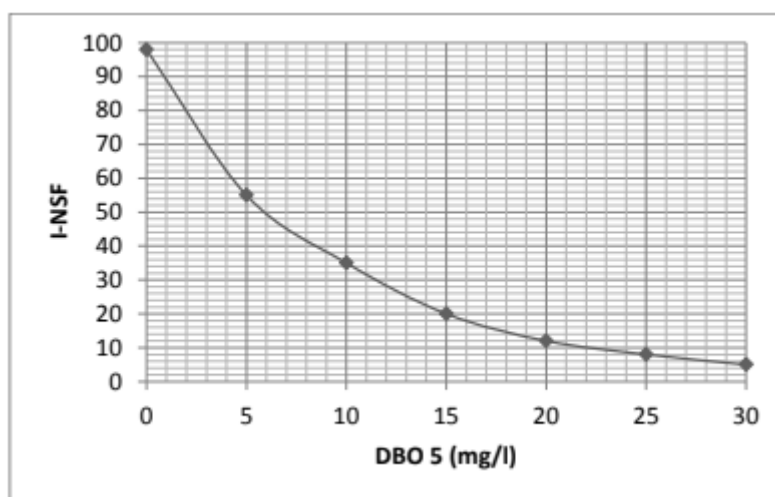
Anexos

Anexo A Demanda bioquímica de oxígeno

$$I_{DBO} = -3E - 05 DBO^5 + 0.0022 DBO^4 - 0.0701 DBO^3 + 1.1556 DBO^2 - 12.841 DBO + 97.968$$

Anexo A

Comportamiento del I-NSF de la DBO5.



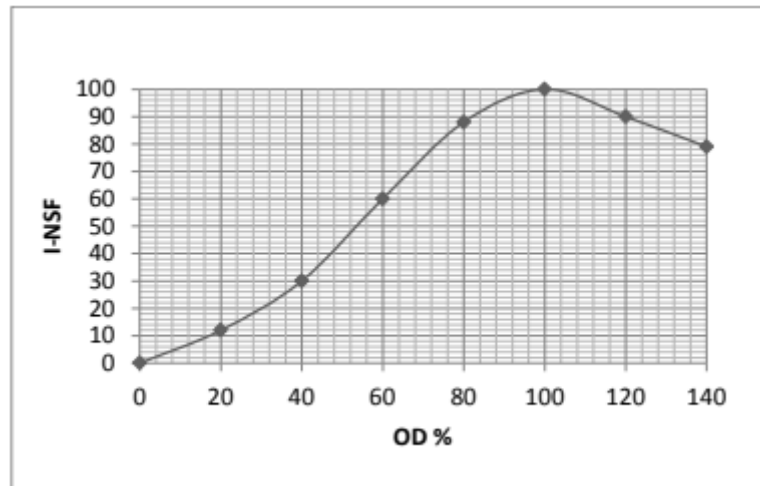
Anexo B Oxígeno disuelto

Para:

$$60 < OD(\%) \leq 100 \quad I_{OD} = -0.020D^2 + 4.20D - 120$$

Anexo B

Comportamiento del I-NSF del Oxígeno Disuelto.



Anexo C Potencial de hidrógeno (pH)

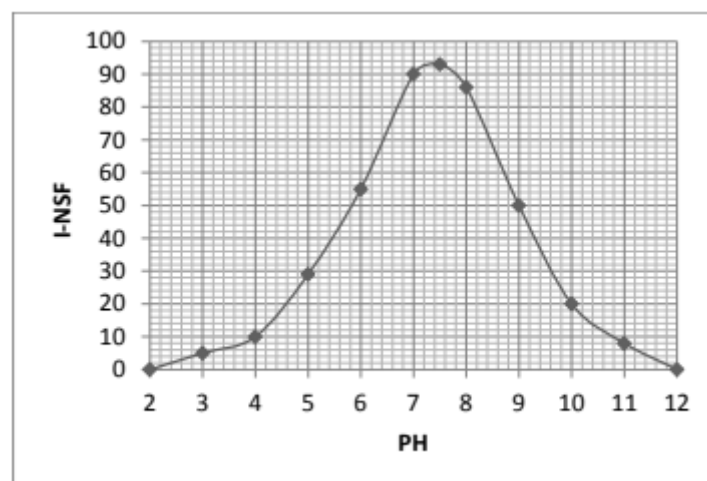
Para:

$$5 < pH \leq 10$$

$$I_{pH} = -0.2pH^5 + 9.2756pH^4 - 164.1pH^3 + 1383.4pH^2 - 5552.1pH + 8544.3$$

Anexo C

Comportamiento del I-NSF del pH.

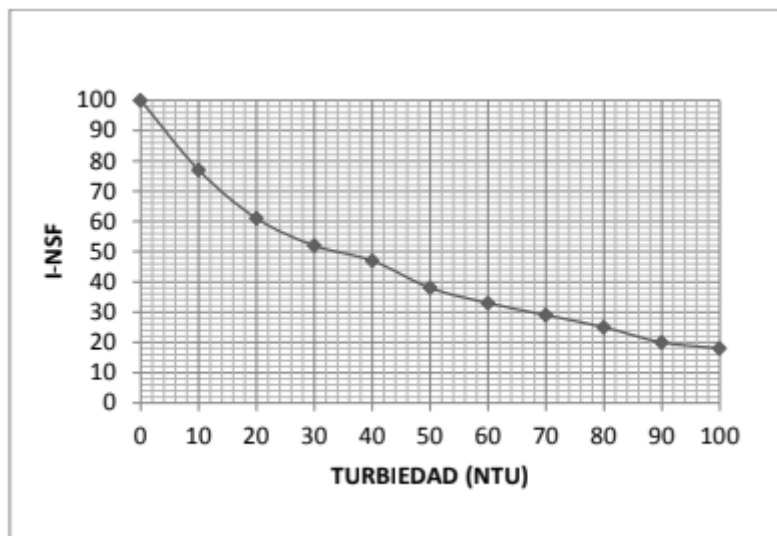


Anexo D Turbiedad

$$I_T = 3E - 08T^5 + 9E - 06T^4 - 0.0011T^3 + 0.0734T^2 - 2.9951T + 100.1$$

Anexo D

Comportamiento del I-NSF de la Turbiedad.



Anexo E Fosfatos

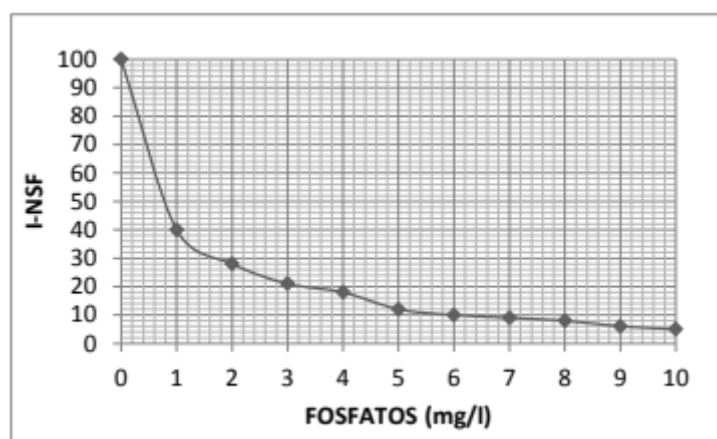
Para:

$$0 \leq PO_4 \leq 7$$

$$I_{PO_4} = 0.0167(PO_4)^6 - 0.4346(PO_4)^5 + 4.5641(PO_4)^4 - 24.533(PO_4)^3 + 71.066(PO_4)^2 - 110.42(PO_4) + 99.967$$

Anexo E

Comportamiento del I-NSF de los Fosfatos.

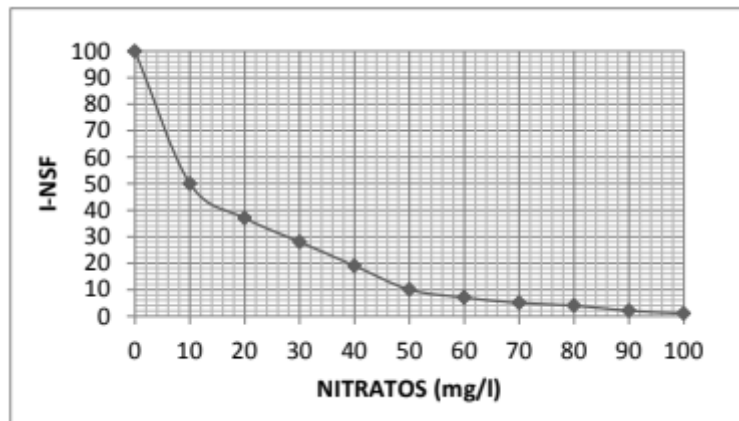


Anexo F Nitratos

$$I_{N-NO_3} = 6E - 09(N - NO_3)^6 - 2E - 06(N - NO_3)^5 + 0.0002(N - NO_3)^4 - 0.0151(N - NO_3)^3 + 0.4873(N - NO_3)^2 - 8.529(N - NO_3) + 99.9$$

Anexo F

Comportamiento del I-NSF de los Nitratos.



Anexo G Temperatura

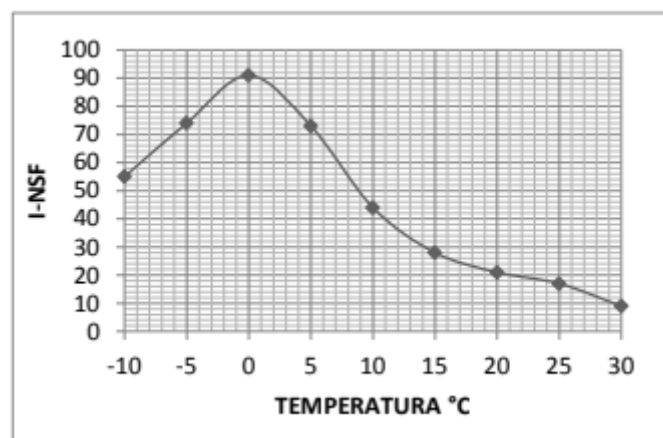
Para:

$$5 < \Delta T \leq 30$$

$$I_{\Delta T} = -3E - 06\Delta T^5 - 0.0003\Delta T^4 + 0.007\Delta T^3 + 0.2283\Delta T^2 - 9.8767\Delta T + 116$$

Anexo G

Comportamiento del I-NSF de la Temperatura.



Anexo H Coliformes fecales

$$1 \leq CF \leq 10 \quad I_{CF} = -10.12 \ln(CF) + 95.896$$

$$10 \leq CF \leq 100 \quad I_{CF} = 111.86CF^{-0.194}$$

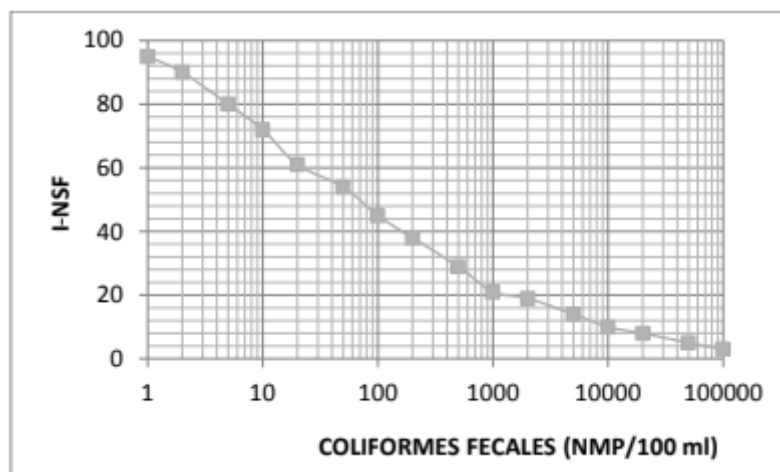
$$100 \leq CF \leq 1000 \quad I_{CF} = -10.34 \ln(CF) + 92.777$$

$$1000 \leq CF \leq 10000 \quad I_{CF} = 1E - 07CF^2 - 0.0024CF + 23.308$$

$$10000 \leq CF \leq 100000 \quad I_{CF} = -3.072 \ln(CF) + 38.331$$

Anexo H

Comportamiento del I-NSF de los Coliformes Fecales.

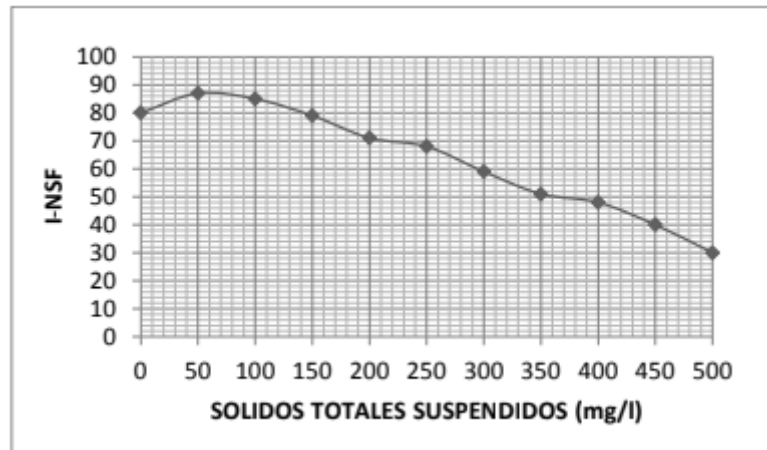


Anexo I Sólidos totales suspendidos

$$I_{SS} = -1E - 13SS^6 + 2E - 10SS^5 - 9E - 08SS^4 + 3E - 05SS^3 - 0.0051SS^2 + 0.3382SS + 79.945$$

Anexo I

Comportamiento del I-NSF de los Sólidos Totales Suspendidos.



Anexo J

Toma de Muestras



Anexo K

Análisis parámetros en laboratorio

